

Vibeke Frilund Kristiansen

# Alternative løsninger for prioritering av buss i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Juni 2022



Vibeke Frilund Kristiansen

# **Alternative løsninger for prioritering av buss i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering**

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Arvid Aakre  
Juni 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



## Forord

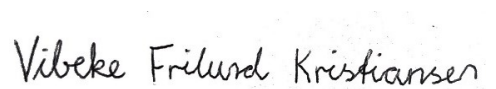
Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet våren 2022, og er avsluttende for masterprogrammet bygg- og miljøteknikk. Masteroppgaven er skrevet innenfor studieretningen veg, jernbane og transport, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Høsten 2021 ble det skrevet en prosjektoppgave som var et forarbeid til masteroppgaven. En del formuleringer og litteraturstudie som ble gjort i denne oppgaven er derfor blitt brukt videre i deler av masteroppgaven. Prosjektoppgaven er lagt ved i komprimert mappe.

Jeg vil gjerne takke Morten Henriksen for å ha tatt meg med i Asplan Viak-programmet 2021-2022, og dermed gav meg muligheten til å skrive oppgaven min i samarbeid med dem. Videre vil jeg takke Stig Alstad og Oddrun Dalgard som er rådgivere innen trafikk- og transportplanlegging hos Asplan Viak for tips og innspill til modellering i Aimsun.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til hovedveileder ved NTNU, førsteamanuensis Arvid Aakre, for god veiledning under masteroppgaven. Arvid har gitt gode innspill og tips til modelleringen og simuleringen, samt hjulpet med struktur av oppgaven.

Trondheim, juni 2022



Vibeke Frilund Kristiansen

# Sammendrag

Nullvekstmålet er et sentralt mål i sammenheng med utviklingen av de store norske byene, og går ut på at veksten i persontransporten skal tas med kollektivtransport, sykkel eller gange. I dag velger de fleste å benytte seg av personbilen som transportmåte. Dette skyldes at tilbudene for buss, sykkel og gange ikke er gode nok. Det viser seg at reisetiden påvirker valg av transportmåte i stor grad, og det er beregnet at reisetiden til buss ikke bør være mer enn dobbelt så lang som reisetiden med bil for at bussen skal være konkurransedyktig. Ofte er det slik at bussen står i de samme køene som biltrafikken, blant annet før kryss, og de reisene har da ingen fordel av å velge buss som transportmiddel. Bussprioritering hvor bussen slipper å stå i disse køene vil derfor kunne være en effektiv måte å redusere forsinkelser og reisetid for bussen, og dermed kunne bidra til at flere velger buss som transportmåte.

I Norge blir bussen stort sett prioritert ved bruk av tradisjonell signalprioritering og kollektivfelt, men det vil være mulig å prioritere bussen på andre måter også. Hensikten med denne oppgaven er derfor å studere alternative løsninger for å prioritere bussen i forbindelse med kryss uten å bruke tradisjonell signalprioritering. For å begrense oppgavens omfang studeres det ikke hvordan myke trafikanter skal håndteres i løsningene, og det er heller ikke valgt å se på hvordan trafikksikkerheten påvirkes.

Gjennom en litteraturstudie viste det seg at det er mange ulike måter å prioritere bussen på i forbindelse med kryss. Bussen kan prioriteres ved bruk av signalregulering eller ved fysisk utforming. Mange av prioriteringstiltakene som ble funnet i litteraturen viste seg å være i forbindelse med lyskryss, men det vil være muligheter for å benytte disse løsningene i andre krysstyper også.

For å finne frem til alternative løsninger for å prioritere bussen ble det først gjennomført en skissefase. Metoden som er valgt for å vurdere de skisserte løsningene er en kvantitativ metode, hvor simuleringsprogrammet Aimsun er benyttet. Løsningene har blitt modellert og simulert ved ulike trafikkmengder, bussfrekvenser og avstander. Effekten av løsningene er studert ved å se på forsinkelsen for buss og annen trafikk før og etter tiltak. Modelleringen og simuleringen er gjennomført på et prinsipielt nivå uten å hente inn data. Det kan derfor stilles spørsmål ved hvor realistiske resultatene er, og gitt andre forutsetninger og inngangsdata vil resultatene kunne være annerledes. Resultatene ses likevel på som gode nok til å kunne vurdere om løsningene vil gi besparelser for bussen, og i hvor stor grad annen trafikk påvirkes.

Fra skissefasen ble fire løsninger tatt med videre til modellering og simulering i Aimsun. Dette var løsningene «elektronisk busslomme», «elektronisk bussfelt», «elektronisk bussfelt i lyskryss» og «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring». Fra resultatene ser det ut til at alle løsningene vil kunne gi besparelser for bussen. Løsningene med elektronisk bussfelt og løsningen «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring» viste seg å kunne gi de største besparelser for bussen. For løsningen «elektronisk busslomme» var besparelsene fra resultatet relativt små, men besparelsene vil kunne være større under andre forutsetninger. Hvor store besparelsene for bussen er og hvordan annen trafikk påvirkes vil variere med avstander, bussfrekvenser, trafikkmengder og kapasitet ved innkjøring til rundkjøring.

Det anbefales å studere alle løsningene nærmere ved bruk av virkelige data slik at modellene kan kalibreres og valideres. Det burde også gjennomføres praktisk utprøving av løsningene slik at systemene kan tilpasses situasjonene best mulig.

# Abstract

The zero-growth goal is a key target in connection with the development of the large Norwegian cities and means that the growth in passenger transport will be taken by public transport, cycling or walking. Today, most people choose to use the car as a means of transport. This is because the options for taking the bus, biking, or walking are insufficient. It turns out that travel time affects the choice of mode of transport to a large extent, and it is estimated that the travel time by bus should not be more than twice as long as the travel time by car for the bus to be competitive. It is often the case that the bus is in the same queues as car traffic, including before intersections, and the travelers then have no advantage in choosing the bus as a means of transport. Bus prioritization where the bus can avoid these queues can therefore be an effective way to reduce delays and travel time for the bus, and thus be able to contribute to more people choosing buses as a mode of transport.

In Norway, the bus is largely prioritized using traditional signal prioritization and dedicated bus lanes, but it will be possible to prioritize the bus in other ways as well. The purpose of this thesis is, therefore, to study alternative solutions for prioritizing the bus in connection with intersections without using traditional signal prioritization. To limit the scope of the task, it has not been studied how pedestrians and cyclists are to be handled in the solutions, nor has it been chosen to see how traffic safety is affected.

Through a literature study, it turned out that there are many ways to prioritize the bus in connection with intersections. The bus can be prioritized by using signal control or by physical design. Many of the prioritization measures found in the literature turned out to be in connection with traffic lights, but there will also be opportunities to use these solutions in other types of intersections as well.

A sketch phase was first carried out to find alternative solutions for prioritizing the bus. The method chosen to evaluate the solutions is a quantitative method, where the simulation program Aimsun is used. The solutions have been modeled and simulated at different traffic volumes, bus frequencies, and distances. The effect of the solutions has been studied by looking at the delays for buses and other traffic before and after the measures. The modeling and simulation have been carried out on a principled level without collecting data. It can therefore be questioned how realistic the results are, and given other assumptions and input data, the results may be different. Nevertheless, the results are seen as good enough to be able to assess whether the solutions will provide savings for the bus, and to what extent other traffic is affected.

From the sketch phase, four solutions were taken on to modeling and simulation in Aimsun. These were the solutions: "electronic bus bay", "electronic bus lane", "electronic bus lane at traffic lights" and "median bus lanes through the central island of a roundabout". From the results, it seems that all the solutions will be able to provide savings for the bus. The solutions with electronic bus lanes and the solution "median bus lanes through the central island of a roundabout" proved to be able to provide the greatest savings for the bus. For the solution "electronic bus bay", the savings in the result were relatively small, but the savings may be greater under other conditions. The size of the savings for the bus and how other traffic is affected will vary with distances, bus frequencies, traffic volumes, and capacity at the roundabout.

It is recommended to study all the solutions in more detail using real data so that the models can be calibrated and validated. Practical testing of the solutions should also be carried out so that the systems can be adapted to the situations as best as possible.

# Innholdsfortegnelse

Figurer .....	x
Tabeller .....	xiii
1. Introduksjon .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Tema og forskningsspørsmål .....	2
1.3 Avgrensninger .....	2
1.4 Oppbygning .....	3
2. Litteraturstudie .....	4
2.1 Metode for litteratursøk .....	4
2.2 Plankryss .....	5
2.3 Reisetid med buss .....	6
2.4 Typer prioritering .....	9
2.4.1 Trafikksignalprioritet (TSP)/Tradisjonell signalprioritering .....	10
2.4.2 Tilfartskontroll .....	10
2.4.3 Elektronisk bussfelt .....	12
2.4.4 Kollektivfelt ved kryss .....	16
2.4.5 Dynamiske bussfelt .....	19
2.4.6 Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring .....	20
2.4.7 Påbudt/forbudt svingebevegelse .....	22
2.5 Skilt og oppmerking .....	22
2.6 Trafikkmodeller .....	23
2.6.1 Detaljeringsnivå .....	23
2.6.2 Dynamiske og statiske modeller .....	24
2.6.3 Stokastiske og deterministiske modeller .....	24
2.6.4 Analytiske modeller og simuleringsmodeller .....	24
2.7 Oppsummering .....	24
3. Metode .....	26
3.1 Bakgrunn for valg av metode .....	26
3.2 Skissering .....	26
3.3 Aimsun Next 22.0.0 .....	27
3.3.1 Formulere mål og omfang .....	28
3.3.2 Samle grunnlagsdata .....	28
3.3.3 Bygge simuleringsmodellen .....	29
3.3.4 Kalibrering av modeller .....	44
3.3.5 Analyse av resultat .....	45



3.4	SIDRA Intersection 9.0 .....	47
4.	Resultat .....	49
4.1	Skissefase .....	49
4.1.1	Elektronisk busslomme .....	49
4.1.2	Elektronisk bussfelt .....	50
4.1.3	Elektronisk bussfelt i lyskryss .....	51
4.1.4	Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring .....	52
4.1.5	Buss føres helt frem i forkjøringsregulert kryss .....	53
4.1.6	Buss føres helt frem i rundkjøring .....	55
4.1.7	Tilfartskontroll i rundkjøring .....	56
4.2	Trafikksimulering.....	57
4.2.1	Elektronisk busslomme .....	57
4.2.2	Elektronisk bussfelt .....	63
4.2.3	Elektronisk bussfelt i lyskryss .....	70
4.2.4	Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring .....	72
5.	Diskusjon .....	81
5.1	Elektronisk busslomme .....	81
5.2	Elektronisk bussfelt .....	83
5.3	Elektronisk bussfelt i lyskryss .....	87
5.4	Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring .....	89
5.5	Usikkerheter og feilkilder med metoden .....	91
6.	Konklusjon .....	92
7.	Videre arbeid .....	94
8.	Referanser.....	95
9.	Vedlegg.....	100

# Figurer

Figur 1: Metode for litteratursøk. ....	5
Figur 2: T-kryss med kanalisering, hentet fra s. 27 i Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss (Statens vegvesen, 2013). ....	6
Figur 3: Transportmiddelfordeling for hele landet (Urbanet analyse, 2020). ....	7
Figur 4: Fordeling av reisetid for bussen i Oslo og Trondheim, hentet fra s. 41 i Håndbok V123 Kollektivhåndboka (Statens vegvesen, 2014). ....	8
Figur 5: Typer prioritering (Dadashzadeh og Ergun, 2018). ....	9
Figur 6: Skisse av tilfartskontroll før et signalregulert kryss (Dadashzadeh og Ergun, 2018). ....	11
Figur 7: Tilfartskontroll i tilfart til rundkjøring (Naper og Aalde, 2018). ....	11
Figur 8: Skisse av elektronisk bussfelt før et signalregulert kryss (Guler, Gayah og Menendez, 2016). ....	12
Figur 9: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt på Artherstrasse i Zug (Regierungsrat des Kantons Zug, 2013). ....	13
Figur 10: Plan for testing av elektronisk bussfelt (Gylt og Norgård, 2021). ....	14
Figur 11: Forslag til skilting av elektronisk bussfelt (Aakre, 2021a). ....	15
Figur 12: «Virtual transit lane» (NACTO, u.å.). ....	17
Figur 13: «Right turn pocket lane» (NACTO, u.å.). ....	17
Figur 14: «Shared transit lane» (NACTO, u.å.). ....	17
Figur 15: «Queue-jump lane» (NACTO, u.å.). ....	18
Figur 16: «Short transit lane» (NACTO, u.å.). ....	19
Figur 17: «Dropped transit lane» (NACTO, u.å.). ....	19
Figur 18: Viser dynamisk bussfelt (Viegas og Lu, 2007). ....	20
Figur 19: Ulike utforminger av midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring (Naper og Aalde, 2018). ....	21
Figur 20: Skisse av påbudt svingebevegelse for biltrafikk, hentet fra s.49 i Håndbok V123 Kollektivhåndboka (Statens vegvesen, 2014). ....	22
Figur 21: Kollektivavslutning etter trafikkdeler, hentet fra s.44 i Håndbok V123 Kollektivhåndboka (Statens vegvesen, 2014). ....	22
Figur 22: De ulike detaljeringsnivåene (Persson et al., 2019). ....	23
Figur 23: Flytdiagram for metode. ....	26
Figur 24: Fremgangsmåte for gjennomføring av en simulering (Persson et al., 2019). ....	28
Figur 25: Viser seksjon, node og detektor i Aimsun. ....	30
Figur 26: Noder i rundkjøring i Aimsun. ....	30
Figur 27: «Visibility along main stream» satt til 60 meter (venstre) og til 25 meter (høyre). ....	31
Figur 28: Trafikketerspørsel ved bruk av OD-matrise. ....	31
Figur 29: Illustrasjon av busslomme, kantstopp og reservert kjørefelt i Aimsun. ....	32
Figur 30: Reservert felt over motgående kjørefelt i Aimsun. ....	33
Figur 31: Reserverte felt gjennom sentraløya i rundkjøring i Aimsun. ....	33
Figur 32: Prioritering av buss i løsningen «elektronisk bussfelt» i Aimsun. ....	34
Figur 33: «Equipped vehicle» lagt inn på detektor og «Vehicle type». ....	35
Figur 34: Svingebevegelser som tilhører de ulike fasene. ....	35
Figur 35: Viser hvor bussfasene i kontrollplanen er plassert. ....	36
Figur 36: Viser fasen hvor bussen prioriteres, «Recall» settes til «No». ....	36
Figur 37: Viser hvordan prioritering av busslinjer legges inn i Aimsun. ....	37

Figur 38: Prioritering av buss ved bruk av signalregulering når bussen er i en busslomme i Aimsun.....	37
Figur 39: Viser node mellom to seksjoner i Aimsun. ....	38
Figur 40: Viser faser med og uten signalgruppe.....	38
Figur 41: Viser «recall» for begge fasene i Aimsun.....	38
Figur 42: Viser hvordan prioritet for busslinjer legges inn i Aimsun. ....	39
Figur 43: Viser signalgrupper for løsning med midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring i Aimsun.....	40
Figur 44: Rundkjøring med "yellow box" (venstre) og rundkjøring uten "yellow box" (høyre). ....	41
Figur 45: Plassering av detektorer i løsningen «elektronisk bussfelt». ....	42
Figur 46: Trigger for å avslutte prioritering av bussen i Aimsun. ....	42
Figur 47: Trigger for å starte prioritering av bussen i Aimsun. ....	42
Figur 48: Triggere som er lagt inn i «Policy» i Aimsun. ....	43
Figur 49: Fremgangsmåte i en simulering. ....	43
Figur 50: Strekninger hvor det er benyttet «subpaths» i Aimsun (røde områder). ....	45
Figur 51: Eksempel på resultat for forsinkelse ved bruk av «subpaths». ....	46
Figur 52: Site reports og Site displays i SIDRA Intersection 9.0. ....	47
Figur 53: Inndatavinduet «Site Demand and Sensitivity» i SIDRA Intersection 9.0.....	48
Figur 54: Belastningsgrad og forsinkelse ved økende trafikkmengde. ....	48
Figur 55: Prinsipptegning av elektronisk busslomme før rundkjøring og forkjørregulert kryss (tegnet i AutoCAD). ....	50
Figur 56: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt før et forkjørregulert kryss (tegnet i AutoCAD). ....	51
Figur 57: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt før en rundkjøring (tegnet i AutoCAD). ....	51
Figur 58: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt i lyskryss (tegnet i AutoCAD).....	52
Figur 59: Prinsipptegning av buss gjennom sentraløya i rundkjøring, trafikk som krysser kollektivfeltene har vikeplikt for bussen (tegnet i AutoCAD). ....	52
Figur 60: Prinsipptegning av forkjørregulert kryss hvor buss føres helt frem i venstresvingefelt (tegnet i AutoCAD). ....	53
Figur 61: Prinsipptegning av forkjørregulert kryss hvor buss føres helt frem i høyresvingefelt (tegnet i AutoCAD). ....	54
Figur 62: Prinsipptegning av rundkjøring hvor buss føres helt frem med kollektivfelt (tegnet i AutoCAD). ....	55
Figur 63: Prinsipptegning av tilfartskontroll i rundkjøring (tegnet i AutoCAD). ....	56
Figur 64: Brukt trafikkmengde i løsningen «elektronisk busslomme».....	57
Figur 65: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 50 meter. ....	58
Figur 66: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 100 meter. ....	58
Figur 67: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 150 meter. ....	59
Figur 68: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 200 meter. ....	59
Figur 69: Trafikkmengder i løsningen «elektronisk busslomme». ....	60
Figur 70: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 50 meter (5 min bussfrekvens). ....	60
Figur 71: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 100 meter (5 min bussfrekvens).....	61

Figur 72: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 150 meter (5 min bussfrekvens).....	61
Figur 73: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 200 meter (5 min bussfrekvens).....	62
Figur 74: Avstander for elektronisk bussfelt. ....	63
Figur 75: Brukte trafikkmengder i løsningen «elektronisk bussfelt» .....	65
Figur 76: Strekning hvor det er sett på forsinkelse ved prioritering og avbrutt prioritering (rødt område). ....	67
Figur 77: Trafikkmengder som er brukt i løsningen «elektronisk bussfelt». ....	67
Figur 78: Strekninger det er hentet ut forsinkelse fra (røde områder). ....	68
Figur 79: Forsinkelse for buss ved økende trafikkmengde og ulike lengder på elektronisk bussfelt. ....	68
Figur 80: Forsinkelse for buss ved økende trafikkmengde og ulike avstander før rundkjøring.....	68
Figur 81: Forsinkelse for annen trafikk ved økende trafikkmengde og ulike lengder på elektronisk bussfelt.....	69
Figur 82: Forsinkelse for annen trafikk ved økende trafikkmengde og ulike avstander før rundkjøring.....	69
Figur 83: Avstander og retninger i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss». ....	70
Figur 84: Brukte trafikkmengder i løsningen «Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring».....	72
Figur 85 Illustrerer navn på retninger i Aimsun. ....	73
Figur 86: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 5 minutter.....	74
Figur 87: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 4 minutter.....	74
Figur 88: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 3 minutter.....	75
Figur 89: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 2 minutter.....	75
Figur 90: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 1 minutt.....	76
Figur 91: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 5 minutter.....	77
Figur 92: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 4 minutter.....	77
Figur 93: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 3 minutter.....	78
Figur 94: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 2 minutter.....	78
Figur 95: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 1 minutt.....	79

# Tabeller

Tabell 1: Detaljeringsnivå av trafikkmodeller (Persson et al., 2019; Aakre, 2021d; Appel, Aakre og Kronborg, 2018). .....	23
Tabell 2: Fordeler og ulemper med simulering (Trafikverket, 2014; Aakre, 2021d). .....	27
Tabell 3: Hva som er testet under modelleringen og simuleringen av løsningene. ....	29
Tabell 4: Anbefalte verdier, standardverdier og brukte verdier for reaksjonstider (Persson et al., 2019). .....	44
Tabell 5: Anbefalte verdier, standardverdier og brukte verdier for kjøretøylengde og gjennomsnittlig minsteavstand mellom kjøretøy i kø (Persson et al., 2019). .....	44
Tabell 6: Beskrivelse av avstander for elektronisk bussfelt. ....	63
Tabell 7: Formler for kjøppbygging ved signalregulering. ....	64
Tabell 8: Beskrivelse av formler. ....	64
Tabell 9: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 100 meter langt bussfelt. ...	65
Tabell 10: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 200 meter langt bussfelt. .	65
Tabell 11: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 300 meter langt bussfelt. .	65
Tabell 12: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 30 meter. ....	66
Tabell 13: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 50 meter. ....	66
Tabell 14: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 100 meter. ....	66
Tabell 15: Forsinkelse i eller langs elektronisk bussfelt ved prioritering og avbrutt prioritering. ....	67
Tabell 16: Trafikkmengder som er benyttet i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss»	70
Tabell 17: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 5 minutter. ....	71
Tabell 18: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 4 minutter. ....	71
Tabell 19: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 3 minutter. ....	71
Tabell 20: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 5 minutter. ....	71
Tabell 21: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 4 minutter. ....	72
Tabell 22: Forsinkelse for buss med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser. ....	73
Tabell 23: Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser ved ulike bussfrekvenser. ....	76
Tabell 24: Forsinkelse for buss med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser. ....	76
Tabell 25: Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser ved ulike bussfrekvenser. ....	79
Tabell 26: Endring i forsinkelse med og uten prioritering for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser og trafikkmengder i en 1-felts rundkjøring. ....	79
Tabell 27: Gjennomsnittlig forsinkelse for buss ved ulike trafikkmengder i en 1-felts rundkjøring (5 min bussfrekvens). ....	80
Tabell 28: Endring i forsinkelse med og uten prioritering for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser og trafikkmengder i en 2-felts rundkjøring. ....	80
Tabell 29: Gjennomsnittlig forsinkelse med og uten prioritering for buss ved ulike trafikkmengder i en 2-felts rundkjøring (5 minutt bussfrekvens). ....	80

# 1. Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Befolkningen øker, noe som fører til at persontransporten øker. I sammenheng med dette har det blitt utformet et mål om nullvekst, hvor denne økningen skal overføres til miljøvennlige transportmåter som kollektivtransport, sykkel og gange. Dette vil føre til bedre fremkommelighet, i tillegg til mindre klimagassutslipp, en mer effektiv arealbruk, redusert støy og bedre luftkvalitet (Miljødirektoratet, u.å.).

I dag velger de fleste å benytte seg av personbilen som transportmåte (Urbanet analyse, 2020). Dette skyldes blant annet at tilbudene for buss, sykkel og gange ikke er gode nok. En av hovedgrunnene for at buss velges bort er reisetiden (Ellis, 2020). En del av reisetiden til bussen består av forsinkelser. Det har blitt gjennomført mange undersøkelser av hvordan kollektivtrafikanter opplever forsinkelser, hvor mange har svart at dette er en stor ulempe (Ellis, 2020). Det er tre hovedfaktorer som påvirker forsinkelser i sammenheng med buss, dette er forsinkelser fra samhandling med andre kjøretøy, forsinkelser i kryss og forsinkelser på busstopp (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Store deler av forsinkelsene for buss er knyttet til kryss og flaskehals, og det er derfor her man bør vurdere ulike tiltak for å prioritere bussen (Aakre, 2021c).

Pålitelighet er en viktig faktor for valg av transportmåte (Davies, 2014). Små reduksjoner i forsinkelse for bussen vil kunne ha en stor innvirkning på påliteligheten, da bussystemene er ustabile og kun små forstyrrelser vil kunne gi upålitelige tilbud (Guler, Gayah og Menendez, 2016). For at å reise med buss skal være konkurransedyktig mot personbilen vil en utbedring av busstilbudet være helt sentralt, da spesielt i forbindelse med fremkommelighet. Det er ofte slik at bussen må stå i de samme køene som biltrafikken, og de reisende vil da ikke ha noen fordel av å velge buss som transportmiddel (Waterson, Rajbhandari og Hounsell, 2003). En kø vil også ha større påvirkning på reisetiden til bussen enn for annen trafikk. Dette skyldes at bussen ikke vil kunne velge å kjøre andre ruter eller endre tidspunkt for ruten for å unngå å stå i kø (Davies, 2014). Bussprioritering hvor bussen slipper å stå i disse køene vil derfor kunne være en effektiv måte å redusere forsinkelser og reisetid for bussen (Aakre, 2021c), og dermed kunne bidra til at flere velger å benytte seg av buss som transportmiddel.

I dag blir prioritering ved bruk av tradisjonell signalprioritering og kollektivfelt mye brukt for å prioritere, og prioritering ved bruk av tradisjonell signalprioritering og bussprioritering blir ofte sett på som det samme. Dette vises blant annet i den danske håndboken «trafikplanlægging i byer» der bussprioritering er beskrevet som teknikker som gjør at takten i en signalregulering kan tilpasses busstrafikken slik at den får bedre fremkommelighet (Vejregler, 2012). Denne typen prioritering vil derimot kunne føre til store forsinkelser for biltrafikken (Gu *et al.*, 2021). Det er i denne sammenheng valgt å studere alternative løsninger for å prioritere bussen uten å benytte tradisjonell signalprioritering.

## 1.2 Tema og forskningsspørsmål

Det blir stadig mer aktuelt å prioritere buss i byer og tettsteder. Frem til i dag er det gjort mye angående prioritering av buss i kryss med tradisjonell signalprioritering, men relativt lite når det gjelder prioritering i forkjørsregulerte kryss og rundkjøringer. Det vil likevel være store muligheter for å prioritere buss også i disse krysstypene. Målet for oppgaven er derfor å finne frem til alternative løsninger for slik prioritering, og temaet for oppgaven er:

*Alternative løsninger for prioritering av buss i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering.*

Det finnes flere måter å prioritere buss over annen trafikk på, som i denne studien vil være biler og lastebiler. Hvilken løsning man skal benytte og effekten av løsningene bør vurderes nøye. Første forskningsspørsmål går derfor ut på hvordan bussen kan prioriteres:

1. Hvordan kan buss prioriteres over annen trafikk i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering?

Når en trafikkgruppe prioriteres, vil dette føre til mindre prioritet for en annen trafikkgruppe. Ved innføring av nye prioriteringstiltak for buss bør det derfor studeres hva bussen tjener på tiltaket og hvilke ulemper det vil ha for annen trafikk. Det andre forskningsspørsmålet vil derfor være:

2. Hvilken effekt vil prioriteringstiltakene ha på buss og annen trafikk?

## 1.3 Avgrensninger

Oppgaven går ut på å finne alternative løsninger for å kunne prioritere buss i forbindelse med kryss uten å bruke tradisjonell signalprioritering. Hva som menes med tradisjonell signalprioritering er beskrevet nærmere i kapittel 2.4.1. Det er tidligere gjort en rekke studier ved bruk av tradisjonell signalprioritering med forlenget grøntid og forkortet rødtid, og det er derfor valgt å ikke se på slike løsninger i denne oppgaven. Det vil allikevel benyttes signalregulering for å prioritere, men dette vil være på utradisjonelle måter hvor for eksempel bussen føres forbi køer før kryss eller for å hindre trafikk i å kjøre forbi bussen.

Det er nødvendig å begrense oppgavens omfang. Det er derfor valgt å se bort fra hvordan fotgjengere og syklister skal håndteres i løsningene og hvordan dette vil påvirke hvordan løsningene fungerer. Det er heller ikke valgt å gå dypt inn på hvordan reisetidsforholdet mellom bil og buss er. Fokuset i oppgaven er å finne løsninger hvor reisetiden og trafikkavviklingen for bussen bedres. Løsningene som presenteres vil også kunne påvirke trafiksikkerheten, men dette er det heller ikke valgt å gå inn på. Videre er resultatene i oppgaven kun basert på modellering og simulering, og ikke praktisk utprøving av løsningene. Det er derfor usikkerhet knyttet til hvordan løsningene fungerer i praksis.

## 1.4 Oppbygning

Masteroppgaven er delt inn i teori, metode, resultat, diskusjon og konklusjon. I teorikapittelet vil relevant litteratur fra litteraturstudiet bli presentert. Hvordan forskningsspørsmålene skal besvares beskrives videre i metodekapittelet. Videre presenteres resultater fra skissering og simulering i kapittel 4, etterfulgt av en diskusjon. I kapittel 6 finnes konklusjonen av forskningsspørsmålene, etterfulgt av forslag til videre arbeid i kapittel 7.



## 2. Litteraturstudie

Høsten 2021 ble det gjennomført en prosjektoppgave som var et forarbeid til masteroppgaven. En stor del av denne oppgaven var å gjennomføre en litteraturstudie om temaet for masteroppgaven. Deler av dette kapittelet er derfor hentet fra denne oppgaven. Prosjektoppgaven er lagt ved i komprimert mappe.

I dette kapittelet beskrives ulike typer av tidsbasert prioritering og prioritering med vegutforming. Store deler av prioriteringstiltakene som presenteres er i sammenheng med lyskryss, men det vil være muligheter for å kunne benytte disse tiltakene i andre krysstyper også. I flere av løsningene som beskrives i kapittelet brukes det signalregulering for å prioritere, men løsninger hvor bussen prioriteres ved bruk av tradisjonell signalprioritering med forlenget grøntid og forkortet rødtid beskrives ikke. Kapittelet presenterer også noe teori om trafikkmodeller.

### 2.1 Metode for litteratursøk

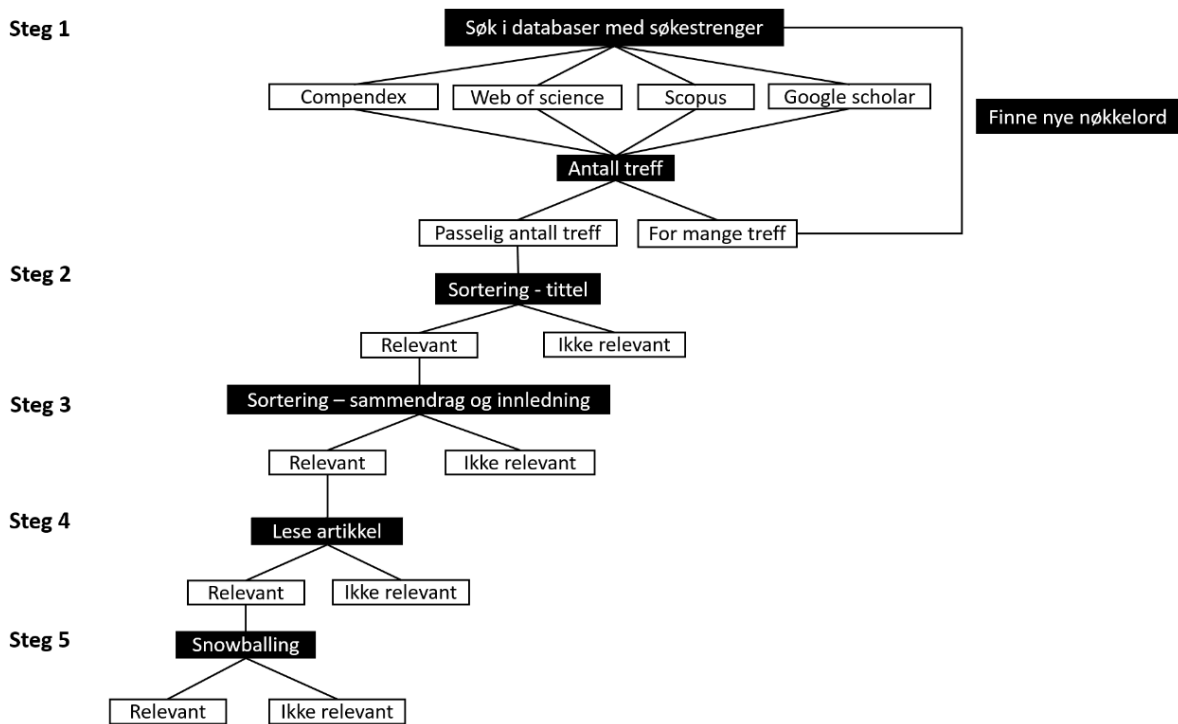
Ved å gjennomføre et litteratursøk får man vite «state of the art», noe som er nyttig for å kunne utforme problemstilling og forskningsspørsmål. Det ble funnet flere relevante kilder i litteratursøket, hvor deler av disse har blitt benyttet i oppgaven. Litteratursøket er vist i vedlegg 1.

Oppbygningen av litteratursøket er basert på litteratursøket til Andreas Nøklebye i masteroppgaven «Enabling Lean Design with Management of Model Maturity» (Nøklebye, 2018). I Figur 1 er metoden for litteratursøket vist. I steg 1 i litteratursøket ble det gjort søk i databasene Compendex, Scopus og web of science, samt google scholar. Her ble det gjort søk både i hele artikler og i tittel for å kunne finne relevant litteratur. Søkeord som ble brukt var «bus priority», «public transport», «spatial priority», «intersection», «innovative» og «roundabout». Om litteraturen var relevant ble i første omgang vurdert ut ifra tittelen. Videre ble artiklenes sammendrag og innledning lest, og artiklene ble deretter vurdert som relevante eller ikke. I steg 4 ble de artiklene som fortsatt var relevante lest mer grundig. Til slutt ble metoden «snowballing» brukt for å forsøke å finne mer relevant litteratur, hvor da referansene til de artiklene som fortsatt var relevante ble sett nærmere på.

Under litteratursøket har det vært ønskelig å finne litteratur som ikke omhandler bruk av tradisjonell signalprioritering. Det er derfor gjort søk ved å bruke søkestrenger som inneholdt «NOT signal» og «Spatial priority». Det viste seg likevel at store deler av litteraturen ved disse søkeordene også omhandlet tradisjonell signalprioritering. Ved å benytte «NOT signal» vil man også kunne miste eksempler på løsninger hvor signalregulering brukes for å prioritere bussen på andre måter enn tradisjonell signalprioritering.

Det viste seg under litteratursøket at det var vanskelig å finne relevant litteratur. Veileder tipset derfor om å søke i sveitsisk litteratur, da det blant annet er etablert elektroniske bussfelt der. Det ble derfor gjennomført søk ved bruk av tyske søkeord som «elektronische busspur», «Busbevorzugung», «Kreuzung», «Kreisverkehr» og «Alternative losungen». Gjennom disse søkeordene ble det funnet noe litteratur om elektroniske bussfelt i Sveits,

men lite om andre typer løsninger. I tillegg til søk i databaser har det blitt funnet relevant faglitteratur fra Statens Vegvesen og Urbanet analyse.



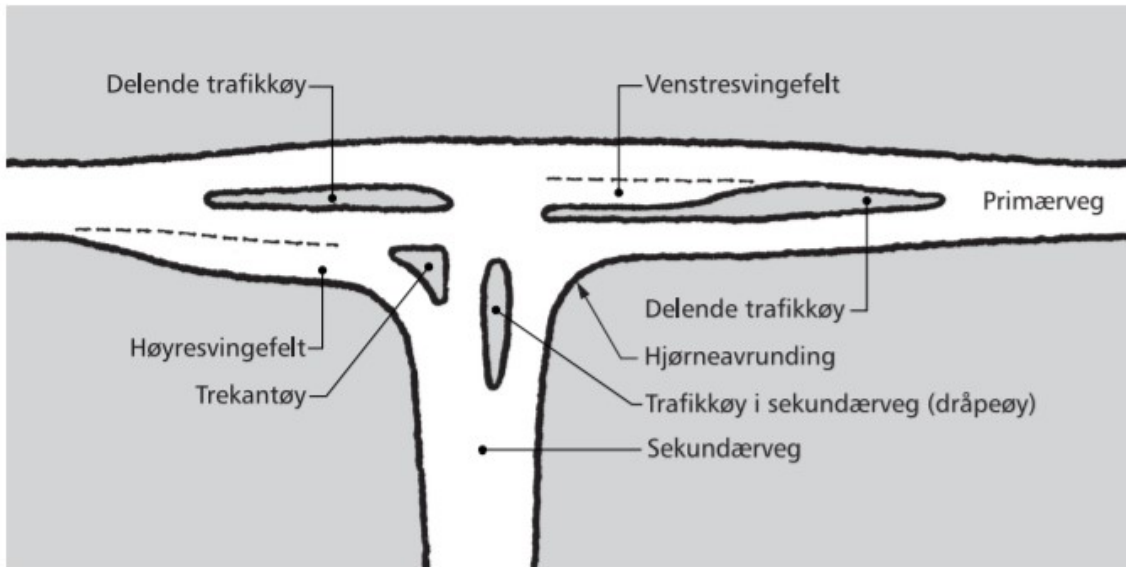
Figur 1: Metode for litteratursøk.

## 2.2 Plankryss

Plankryss er T-kryss, X-kryss eller rundkjøringer, og disse vil ofte være kritiske punkter for trafikkavvikling. Det er derfor nødvendig å gjøre kapasitetsberegninger ved utformingen av slike typer kryss (Statens vegvesen, 2013).

Dersom kryssene befinner seg på en hovedveg skal de ifølge «Håndbok N100 veg- og gateutforming» forkjørsreguleres (Statens vegvesen, 2021a). T-kryss og X-kryss kan utformes med eller uten kanalisering. Kanaliseringen kan bestå av trafikkøy, venstresvingefelt og høyresvingefelt, og kan enten gjøres ved bruk av oppmerking eller fysisk. I Figur 2 vises kanalisering i et T-kryss. Fordelen ved å benytte kanalisering er at det gjør det enklere og tryggere å komme seg gjennom kryssområdet. Dette gjelder spesielt for venstresvingende trafikk, da de vil begrense kapasiteten og avviklingen i krysset. For å bedre dette kan krysset utformes med et venstresvingefelt (Statens vegvesen, 2013).

Ofte vil venstresving ut fra en sideveg kunne skape mye kø og forsinkelse da man må forholde seg til trafikk som kommer fra begge kjøreretninger, og eventuelt trafikk som kommer fra motsatt side (Statens vegvesen, 2009). Det vil derfor ofte oppstå forsinkelser for bussen dersom den skal foreta en venstresving ut fra en sideveg (Statens vegvesen, 2014).

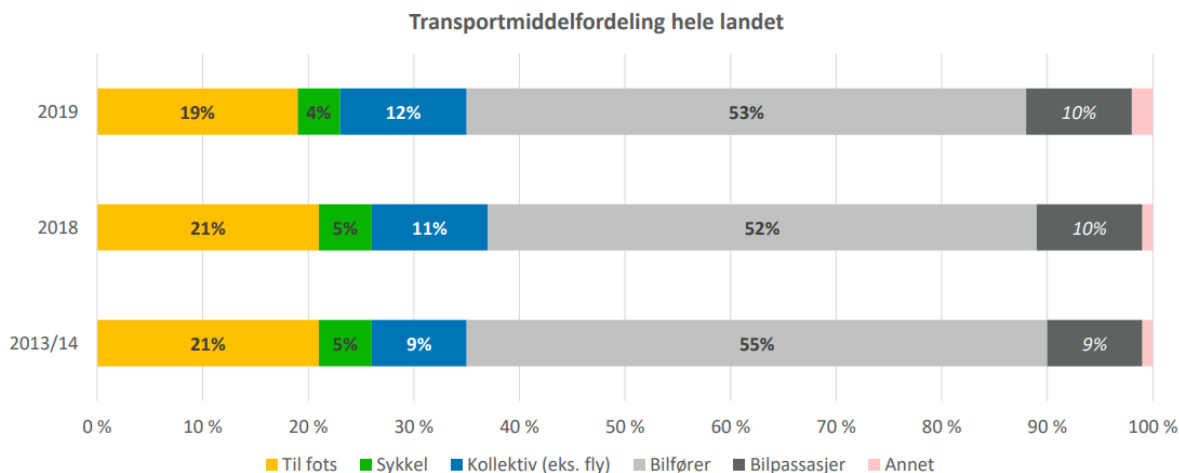


Figur 2: T-kryss med kanalisering, hentet fra s. 27 i Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss (Statens vegvesen, 2013).

Rundkjøringer blir valgt som krysstype hvor vegene som krysser hverandre er av samme type og trafikkmengden i armene er relativt lik. Rundkjøring er den sikreste formen for plankryss, og har få konfliktpunkter. Rundkjøringer vil også være fartsdempende, noe som fører til at ulykkene som oppstår ofte er mindre alvorlige. I tillegg vil det også være lite forsinkelser i forbindelse med en rundkjøring, da det er få som må stoppe helt opp (Statens vegvesen, 2013). En rundkjøring vil derfor gi bedre trafikkflyt og trafiksikkerhet, samt redusere drivstofforbruk og utslipp (Zakeri og Choupani, 2021). Rundkjøringer vil derimot kunne være ubehagelig for busspassasjerer da det er flere svingebevegelser (Siedler og Ruud, 2012).

## 2.3 Reisetid med buss

Befolkningen øker, noe som fører til at persontransporten øker. I sammenheng med dette har det blitt utformet et mål om nullvekst, noe som går ut på at denne økningen skal overføres til miljøvennlige transportmåter som kollektivtransport, sykkel og gange. Dette vil føre til bedre fremkommelighet, i tillegg til mindre klimagassutslipp, en mer effektiv arealbruk, redusert støy og bedre luftkvalitet (Miljødirektoratet, u.å.). I dag velger over halvparten å benytte seg av bilen som transportmåte, se Figur 3 (Urbanet analyse, 2020). Dersom vi skal oppnå nullvekstmålet vil et økt fokus på å bedre busstilbudet være nødvendig. Busstilbudet vil sikre et tilbud for alle, i tillegg til å håndtere trafikkveksten på en miljøvennlig måte (Statens vegvesen, 2017).



Figur 3: Transportmiddelfordeling for hele landet (Urbanet analyse, 2020).

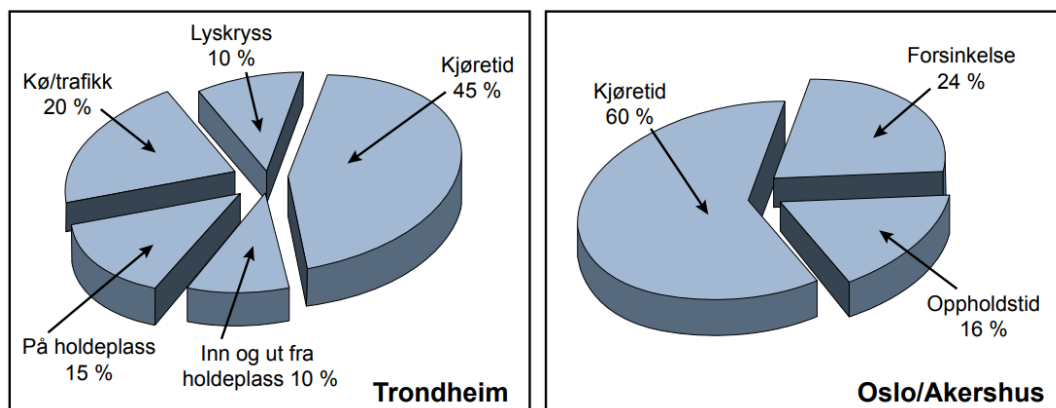
Buss vil kunne ha en miljømessig fordel da flere kan benytte seg av samme kjøretøy. Dette gjør at hver trafikant vil ta mindre plass i trafikken og utslippet for hver trafikant vil også bli mindre (Norheim *et al.*, 2011). Det er ikke nødvendigvis slik at man oppnår en miljøgevinst dersom man setter inn flere busser (Ellis, 2020). Mange byer har utvidet busstilbudet ved at de har etablert flere bussruter som dekker et større område, samt økt bussfrekvensen. Dette fører til at bussen har flere utkjørte km enn før, men det vil ikke nødvendigvis føre til flere passasjerer eller at antallet bilreiser reduseres (Norheim, u.å.). Hvor stor miljøgevinsten er vil derfor avhenge av hvor stor etterspørselen blir etter at tiltakene er innført og hvor mange av passasjerene som overføres fra bil. Busser vil også skape negative miljøeffekter, og for at buss skal være mer klimavennlig enn bil bør det være 8 eller flere passasjerer på bussen. Dette er basert på analyse av en gjennomsnittlig buss og bilpark i Oslo (Norheim *et al.*, 2015).

Ved bussprioritering gjøres det tiltak på driften eller område hvor bussen oppholder seg slik at hastigheten til bussen økes eller at forsinkelsene reduseres. Dette vil føre til at påliteligheten og attraktiviteten for kundene øker (TPB, 2011). Når man prioriterer bussen, vil dette ofte føre til mindre prioritet for annen trafikk. I teorien vil man kunne gi hvilken som helst prioritet. En høyere prioritet vil gi mindre forsinkelser, mens en lavere prioritet vil gi mer forsinkelser. Det er ikke åpenbart hva bussprioritering er, og det vil derfor være mange ulike måter å evaluere et bussprioriteringstiltak på. Noen velger å se på reisetiden for buss og bil etter tiltak i forhold til før tiltak, mens andre velger å kun se på differansen i reisetiden før og etter tiltak. Prioriteringstiltak kan også evalueres ved å se på endringen i reisetid for bussen opp mot endringen i reisetid for biltrafikken. Man kan også sammenligne reisetiden til buss og bil ved å se på differansen i reisetiden mellom buss og bil etter tiltak opp mot hvordan differansen i reisetid var før tiltak. Hvordan reisetiden endres kan ses på i sekunder, men man kan også velge å se på det som prosent. Om man ser på hvordan reisetiden blir for hvert kjøretøy eller om man ser på reisetiden for hver person vil også påvirke evalueringen av tiltakene (Aakre, 2021c). Dersom man for eksempel ser på reisetiden for en buss vil besparelsene i reisetid for selve bussen kunne være mindre enn de samlede besparelsene for passasjerene (Guler, Gayah og Menendez, 2016).

Det viser seg at reisetiden påvirker valg av transportmåte i stor grad (Beirão og Cabral, 2007). Reisetiden til bussen består typisk av en kjøretid på 50-60%, en oppholdstid på busstopp på 20% og 20-30% venting på trafikksignaler/forsinkelse på grunn av

overbelastning (TPB, 2011). Selve kjøretiden er det lite man kan gjøre noe med. Når det gjelder tiden på busstopp er dette noe man ønsker å beholde da man vil at flere skal ta buss. Når flere tar buss vil dette føre til at det etableres flere busstopp, som igjen gir mer tid på busstopp. Den delen av reisetiden som består av forsinkelser på grunn av trafikksignaler eller overbelastning vil derimot kunne gjøres noe med (Aakre, 2021c). Det er anslått at dersom reisetiden for bussen reduseres med 10 prosent vil dette kunne gi mellom 4-6 prosent flere passasjerer (Norheim og Siedler, 2012). I Nederland har det blitt beregnet at reisetiden for kollektivtransport ikke bør være mer enn dobbelt så lang som reisetiden med bil for å kunne være konkurransedyktig mot bilen (Norheim, u.å.). For at reise med buss skal bli valgt over reise med personbil må derfor reisetiden reduseres. Dette kan blant annet oppnås ved å bedre fremkommeligheten. Faktorer som påvirker fremkommeligheten til bussen er blant annet kjørehastighet, hindringer i vegmiljøet og stoppfrekvens (Statens vegvesen, 2017).

En ting man bekymrer seg for med buss er at den skal bli forsinket på grunn av bilkøer, som igjen vil føre til mindre pålitelige busstilbud (Dadashzadeh og Ergun, 2018). De største problemene for fremkommeligheten til bussen oppstår i rushtiden på grunn av høy tetthet i biltrafikken. I Figur 4 vises fordeling av reisetiden for buss i Oslo og Trondheim. Her kan man se at forsinkelser utgjør en stor del av reisetiden til bussen, og at store deler av disse er i forbindelse med kø/trafikk eller i lyskryss (Statens vegvesen, 2014). Det viser seg gjennom analyser at trafikantene synes forsinkelsestid er omtrent seks ganger så belastende som den faktiske reisetiden (Kjørstad og Ellis, 2018). Store deler av forsinkelsen som er knyttet til buss oppstår i sammenheng med kryss eller flaskehals, og det vil derfor være her man bør se på ulike tiltak for å prioritere bussen (Aakre, 2021c; Dadashzadeh og Ergun, 2018). Dette kan blant annet gjøres ved å enten bruke kollektivfelt, signalregulering eller restriksjoner på øvrig trafikk (Naper og Aalde, 2018).



Figur 4: Fordeling av reisetid for bussen i Oslo og Trondheim, hentet fra s. 41 i Håndbok V123 Kollektivhåndboka (Statens vegvesen, 2014).

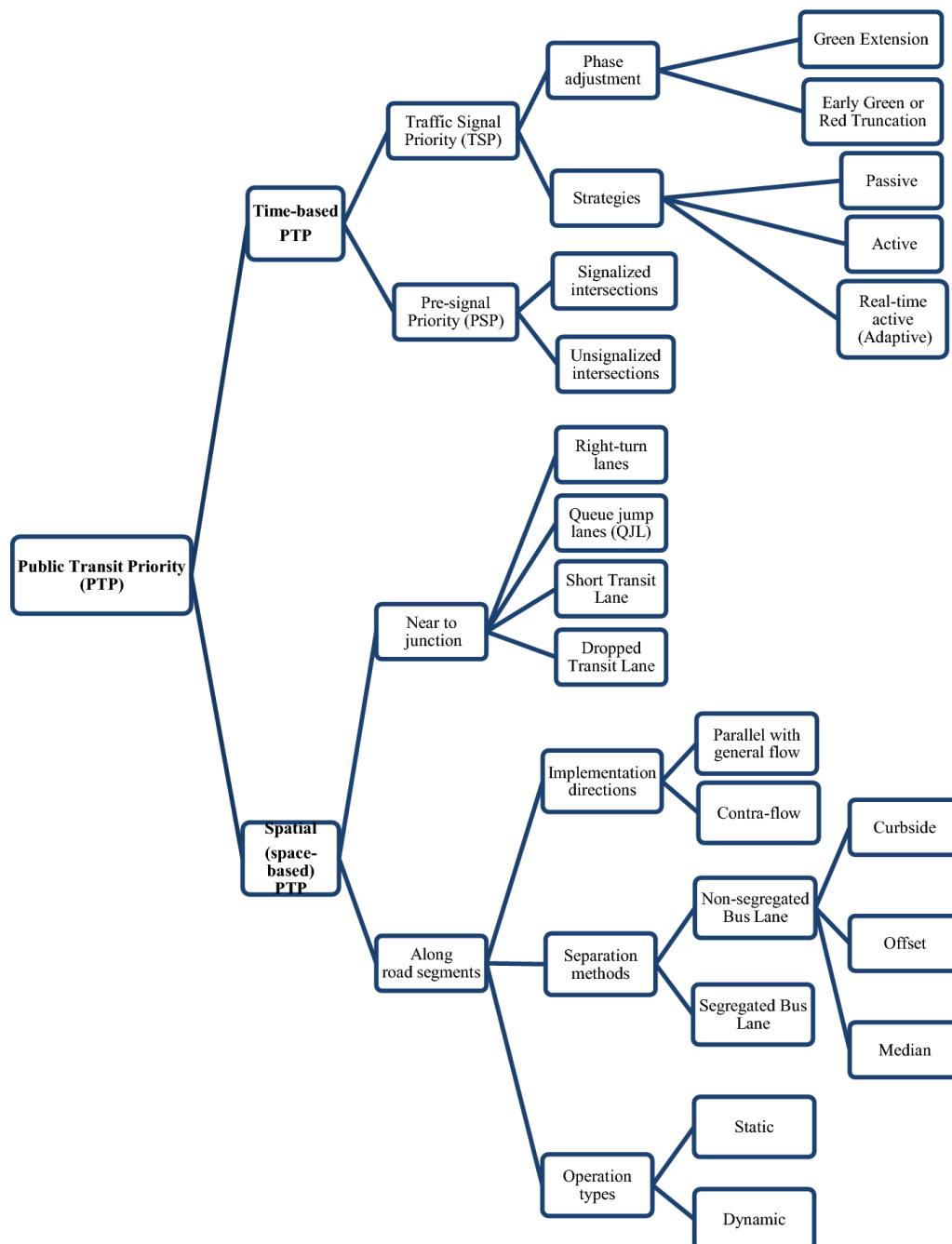
Det som er viktig i forbindelse med et bedret busstilbud er at ulempene for annen trafikk ikke blir overdrevent store (Ellis, 2020). Ofte vil man i sammenheng med å bedre busstilbudet også sette i gang restriktive tiltak som har som mål å redusere bilbruken. Dette kan for eksempel være økte kostnader, redusert fremkommelighet eller å redusere antallet parkeringsplasser (Lerudsmoen, 2017). Her vil det være viktig at man ikke bare skaper unødvendig ulemper for biler uten at det er til fordel for bussen (Aakre, 2021c).

## 2.4 Typer prioritering

Typer av prioritering kan ifølge *Dadashzadeh og Ergun (2018)* deles inn i to kategorier:

- Tidsbasert prioritering
- Prioritering med vegutforming

De tidsbaserte metodene går ut på at man prioriterer bussen ved å gi tidsprioritet, og kan være tiltak som trafikksignalsprioritet (TSP) og tilfartskontroll. Prioriteringstiltak med vegutforming vil prioritere gjennom å gi plass til bussen, og et eksempel på et slikt tiltak er kollektivfelt (*Dadashzadeh og Ergun, 2018*). I Figur 5 vises ulike typer prioritering innenfor disse to kategoriene.



Figur 5: Typer prioritering (*Dadashzadeh og Ergun, 2018*).

### 2.4.1 Trafikksignalprioritet (TSP)/Tradisjonell signalprioritering

Tradisjonell signalprioritering, trafikksignalprioritet (TSP), brukes for å redusere oppholdstiden til busser ved trafikksignaler. Dette gjøres ved å forlenge grøntiden eller forkorte rødtiden når en buss er til stede (Dadashzadeh og Ergun, 2018). For at TSP skal fungere må bussen komme seg helt frem til lyskrysset, dette kan for eksempel gjøres ved bruk av kollektivfelt (NACTO, u.å.).

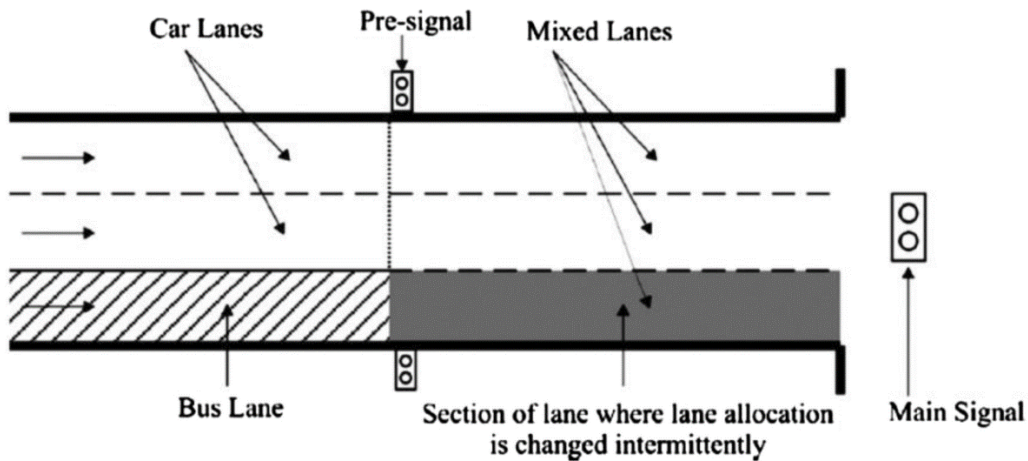
TSP er en vanlig metode for å prioritere buss i kryss (Shu, Zhao og Han, 2019). TSP deles inn i passiv og aktiv prioritering. Ved passiv prioritering vil fordelene for bussen være fast programmert i signalanlegget (Eggen *et al.*, 2011). Her vil ikke bussene detekteres, men det kan for eksempel gis prioritering i enkelte tidsperioder på døgnet. Dette gjøres ved å gi mer grøntid i en retning som er til fordel for bussen (Ellis, 2020). Ved aktiv prioritering benyttes detektering slik at bussen detekteres, og lyset kan skifte til grønt eller grøntiden kan forlenges (Ellis, 2020). Aktiv prioritering er en mer effektiv metode enn passiv prioritering da det vil tilpasse seg trafikkvariasjonene, men kan føre til ulemper for kjøretøy som ikke er prioritert (Shu, Zhao og Han, 2019).

I denne oppgaven er det valgt å se bort fra løsninger som benytter tradisjonell signalprioritering/trafikksignalprioritet. Det vil likevel presenteres løsninger hvor signalprioritering benyttes, men dette vil være på utradisjonelle måter for å få bussen til og gjennom krysset uten å måtte stå i lange bilkøer.

### 2.4.2 Tilfartskontroll

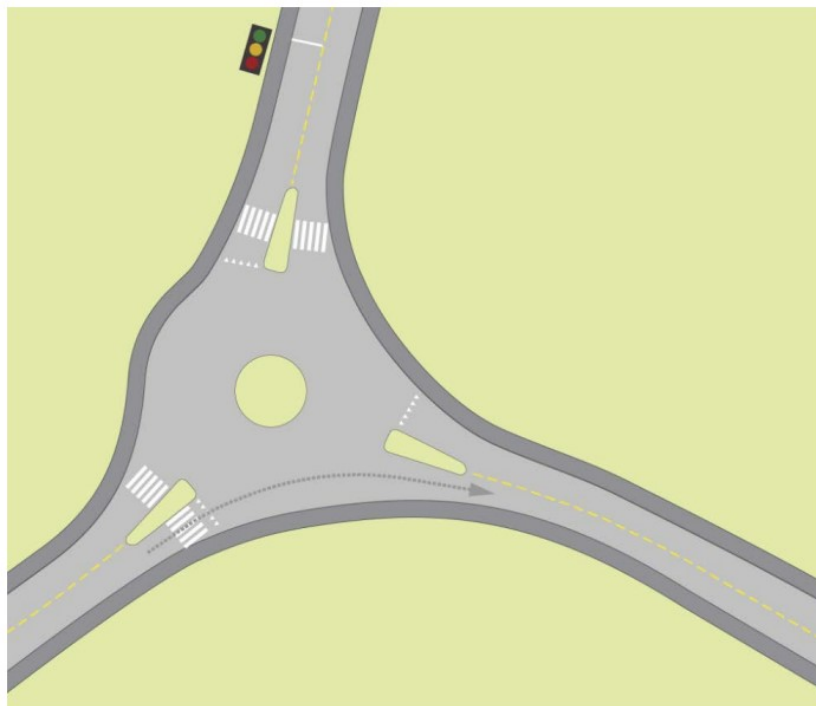
Tilfartskontroll går ut på at et trafikksignal plasseres før et kryss for å minimere de negative konfliktene mellom buss- og biltrafikken. En skisse over tilfartskontroll før et signalregulert kryss er vist i Figur 6. Ofte er disse brukt der kollektivfelt avsluttes slik at bussen ikke blir hindret ved utkjøring fra kollektivfeltet (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Tilfartskontroll vil kunne gi fri bane for bussen gjennom krysset (Naper og Aalde, 2018). Ved å kunne regulere hvor mange kjøretøy som kan passere et spesifikt punkt på vegen, vil dette kunne bidra til en bedre trafikkflyt (Statens vegvesen, 2017). Tilfartskontroll vil for eksempel ha store fordeler for bussen dersom bussen står i en busslomme og skal kjøre til venstre, da den vil slippe å komme seg over køene (Wu og Hounsell, 1998).

Hovedformålet til tilfartskontroll er at bussene kan kjøre forbi køer før krysset og dermed redusere forsinkelsene, mens bilene kan benytte seg av alle kjørefeltene etter at bussen har passert slik at kapasiteten i krysset utnyttes (Liang *et al.*, 2018). Det viser seg gjennom analytiske undersøkelser og feltimplementering at forhåndssignaler i forbindelse med lyskryss vil kunne gi betydelig reduksjon i forsinkelse for busser samtidig som det ikke fører til store forsinkelser for biler (Guler, Gayah og Menendez, 2016).



Figur 6: Skisse av tilfartskontroll før et signalregulert kryss (Dadashzadeh og Ergun, 2018).

Mange studier har sett på tilfartskontroll i forbindelse med lyskryss (Guler og Menendez, 2014b; Guler og Menendez, 2013; Guler og Menendez, 2014a; Guler og Menendez, 2015; Wu og Hounsell, 1998), men det er også mulig å benytte tilfartskontroll i andre krysstyper. En rundkjøring som ikke har ledig kapasitet, hvor det oppstår tilbakeblokkeringer og lange køer, vil gi dårlig fremkommelighet for alle trafikantene. For å unngå en slik overbelastning kan det etableres tilfartskontroll i tilfarter (Foss, Tveit og Meland, 2008). En løsning hvor bilene blir holdt igjen før en rundkjøring ved bruk av tilfartskontroll er vist i Figur 7. Dette fører til at den sirkulerende strømmen blir redusert og øker kapasiteten i aksene hvor det befinner seg busser. Denne typen løsning er blant annet etablert i en rundkjøring som befinner seg mellom Jernbaneveien og Østensjøveien i Oslo (Naper og Aalde, 2018).



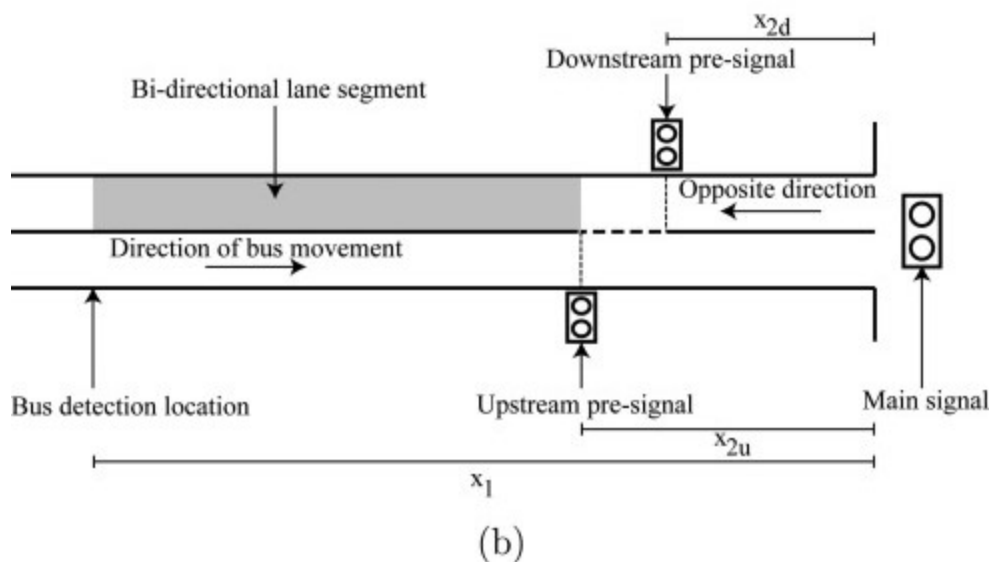
Figur 7: Tilfartskontroll i tilfart til rundkjøring (Naper og Aalde, 2018).



### 2.4.3 Elektronisk bussfelt

Det blir stadig viktigere å benytte eksisterende infrastruktur for å håndtere trafikken ettersom den tilgjengelige plassen for ny infrastruktur ofte er begrenset. Dette kan gjøres ved å for eksempel bruke trafikkstyringskonseptet elektronisk bussfelt. Elektroniske bussfelt er tiltak hvor bussen kan benytte seg av andre kjøremuligheter i et kjørefelt enn andre trafikanter ved bruk av elektronikk. Reisetiden for bussen vil da kunne reduseres uten at man må gjøre store investeringer (ARAMIS, 2015).

Dersom det er ett felt i hver kjøreretning inn og ut av en flaskehals, vil det ikke kunne etableres kollektivfelt kun beregnet for buss i det ene feltet. En måte man kan prioritere bussen på ved slike tilfeller er ved å bruke elektronisk bussfelt. Denne typen prioritering går ut på at trafikken i begge retninger stoppes ved bruk av signalregulering slik at bussen kan kjøre forbi køen i motgående kjørefelt, se Figur 8 (Guler, Gayah og Menendez, 2016). Elektronisk bussfelt kan brukes på steder hvor det er stor trafikk i en retning og lite i motsatt retning, og på steder hvor en nedstrøms flaskehals fører til lang kø og stor forsinkelse (Aakre, 2020). Det å benytte elektronisk bussfelt fremfor kollektivfelt vil føre til mindre arealbruk og lavere kostnader (Sweco, u.å.).



Figur 8: Skisse av elektronisk bussfelt før et signalregulert kryss (Guler, Gayah og Menendez, 2016).

Dersom det ikke befinner seg noen busser i kjørefeltet inn mot krysset vil det fungere som normalt og signalene vil være grønne. Når en buss når en viss avstand fra krysset, vil den detekteres. Dette fører til at lyssignalet skiftes til rødt slik at motgående kjørefeltet tømmes og bussen kan slippes forbi køen før den kommer frem til krysset. Her er det viktig at bussen kan benytte motgående felt på en trygg og effektiv måte (Guler, Gayah og Menendez, 2016).

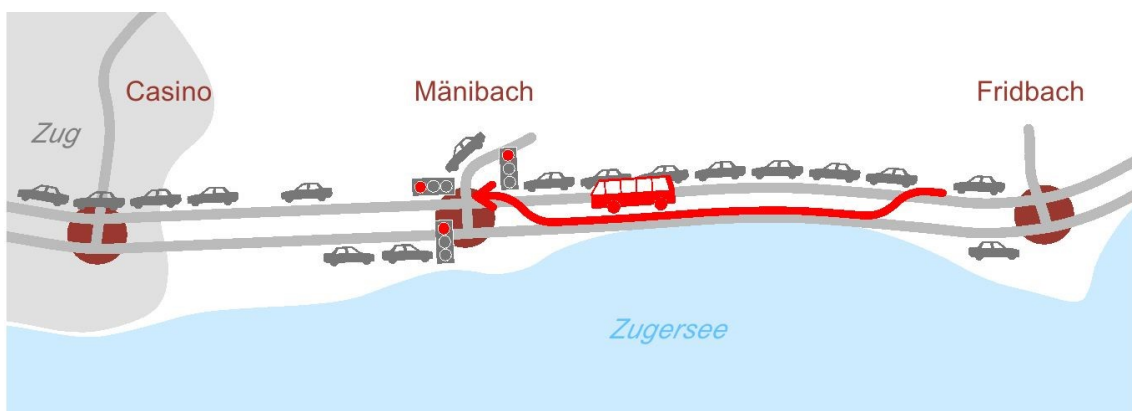
Hvor det elektroniske bussfeltet plasseres før et kryss vil ha innvirkning på forsinkelsene til bussen. Dersom det er plassert nært krysset vil det være mindre forsinkelser enn om det er plassert langt fra krysset, da bussen kan kjøre forbi lengre køer. Ulempen med dette er at biltrafikken får større forsinkelser på grunn av lengre rødtid. Ved at man plasserer det elektroniske bussfeltet for nært krysset, vil også kunne føre til at det blir køer i motgående kjøreretning som beveger seg ut i kryssområdet. Det må derfor vurderes hvor

mye prioritet bussen skal få opp mot hva konsekvensene for biltrafikken blir (Guler, Gayah og Menendez, 2016).

I studien til Guler, Gayah og Menendez (2016) har Aimsun blitt benyttet til å se på hvilke fordeler bussen vil få av løsningen med elektronisk bussfelt, samt hvilke ulemper det vil ha for biltrafikken. Her ble det funnet ut at etablering av elektronisk bussfelt på veger med ett felt i hver retning før et signalisert kryss vil kunne gi reduserte forsinkelser for bussen og redusere passasjerforsinkelser. Det viste seg derimot at den gjennomsnittlige reduksjonen i forsinkelse kunne være liten dersom krysset var underbelastet. Dersom det elektroniske bussfeltet var i drift hele tiden, ville bussen kunne spare i gjennomsnitt 5-7 sekunder. Dersom det elektroniske bussfeltet kun ble benyttet dersom bussen ville ha store reduksjoner i forsinkelse, eller hvis busser som ikke fikk noen reduksjon i forsinkelsen ble ignorert, viste det seg at bussen kunne få en gjennomsnittlig reduksjon i forsinkelse på opp mot 14 sekunder. Videre ble det beskrevet at selv om den gjennomsnittlige reduksjonen i forsinkelsen for bussen er liten, vil fortsatt den totale reduksjonen i passasjerforsinkelse være større da bussen vil kunne frakte mange personer. Det ble videre konkludert med at elektronisk bussfelt kan redusere bussforsinkelsene med 25-70%, noe som er større enn besparelsene ved tradisjonell signalprioritering som vil variere fra 20% til 25% (Guler, Gayah og Menendez, 2016).

### Elektroniske bussfelt i Sveits

I Sveits er det flere steder hvor det er etablert elektroniske bussfelt. Det første elektroniske bussfeltet i Sveits ble etablert i Rapperswil-Jona i 1999 i et signalregulert kryss. Her får trafikken i alle retninger rødt lys når en buss blir detektert. Dette gjør at motgående felt tømmes for trafikk, noe som gir bussjåføren hvitt signal og bussen kan da benytte motgående felt for å kjøre forbi køen. Fordelene med en slik løsning vil blant annet være at den kan gi økt pålitelighet og reduksjon i forsinkelse for bussen, noe som vil øke bussens attraktivitet. En av ulempene med en slik løsning er at den kan påvirke trafikksikkerheten da det vil være en unormal situasjon. Løsningen vil bare fungere dersom det er lite møtende trafikk og god sikt (Harder og Witzel, 2015). På Artherstrasse i Zug er det også etablert et elektronisk bussfelt som fungerer på denne måten. Her vil trafikkllysene i krysset Mänibach skifte til rødt lys ved detektert buss dersom det er trafikkork mellom kryssene Fridbach og Mänibach (Regierungsrat des Kantons Zug, 2013). Dette er vist i Figur 9.



Figur 9: Prinsipp tegning av elektronisk bussfelt på Artherstrasse i Zug (Regierungsrat des Kantons Zug, 2013).

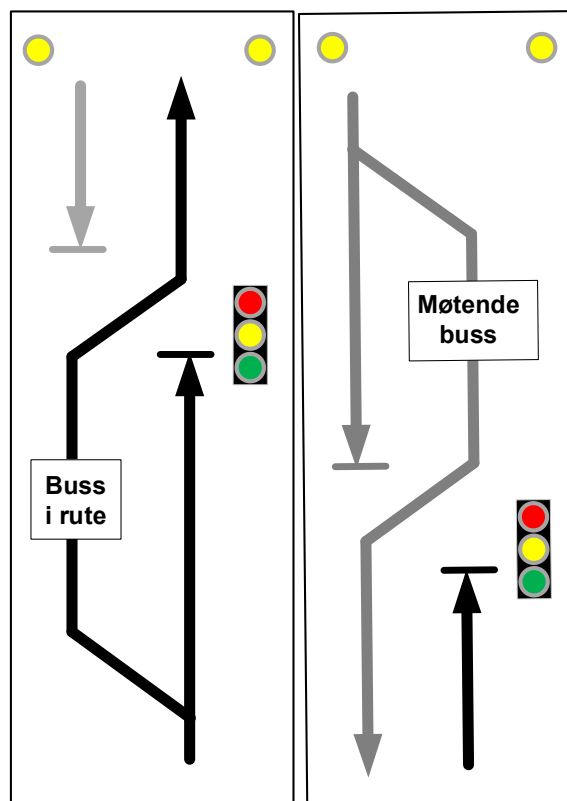


derimot få økt forsinkelse. Det elektroniske bussfeltet på fv 120 er planlagt å kun benyttes i morgenrushet, da det er her problemene med fremkommeligheten ligger (Sweco, u.å.).

Trafikken vil kunne være ustabil og dermed gi varierende kølengder. Dette vil gjøre det vanskelig å få systemet med elektronisk bussfelt til å fungere og det bør derfor legges inn fleksibilitet i systemet slik at situasjonen kan tilpasses. Det bør legges inn registrering av avviklingen på de ulike strekningene. Blant annet vil det være viktig å registrere kø i og oppstrøms det elektroniske bussfeltet, slik at ikke prioriteringen starter dersom bussen vil bli hindret i å nå frem. For at systemet skal kunne tilpasses best mulig vil det også kunne være behov for en innkjøringsperiode (Sweco, u.å.).

### Skilting av elektronisk bussfelt

Ved etablering av nye løsninger er det viktig at løsningen er enkel å forstå for trafikantene. Her vil skilting og regulering være viktig. I «Notat – forslag til skilt og regulering» er det presentert skiltforslag for løsningen med elektronisk bussfelt i Rælingen kommune. Det er foreslått å benytte et variabelt skilt som aktiveres i en periode av døgnet. Skiltet viser at det benyttes signalregulering og at bussen kan benytte seg av motgående felt for å kjøre forbi køen. Teksten «buss i rute» benyttes for å vise at dette kun gjelder buss i rute og ikke for eksempel elbiler. Det vil i tillegg til skiltet i Figur 11 være nødvendig med infotavle om tiltaket og forvarsel om signalanlegg (Aakre, 2021a).



Figur 11: Forslag til skilting av elektronisk bussfelt (Aakre, 2021a).

## 2.4.4 Kollektivfelt ved kryss

Kollektivfelt er en vanlig måte å prioritere buss på (Shu, Zhao og Han, 2019). Ifølge «Håndbok V123 Kollektivhåndboka» skal kollektivfelt etableres «dersom det er 8 eller flere busser i en retning i maksimaltiden og mer enn 1 minutt forsinkelse per kilometer. Dersom forsinkelsen er mer enn 2 minutter per kilometer, bør det brukes kollektivfelt selv om det er færre enn 8 busser i maksimaltiden» (Statens vegvesen, 2014). Et kollektivfelt kan prioritere buss hele tiden, eller i perioder av et døgn (Higginson, 1999). Det er likevel slik at det det har liten hensikt å benytte kollektivfelt for å prioritere bussen dersom fartsnivået i de andre kjørefeltene er det samme (Aakre, 2021c).

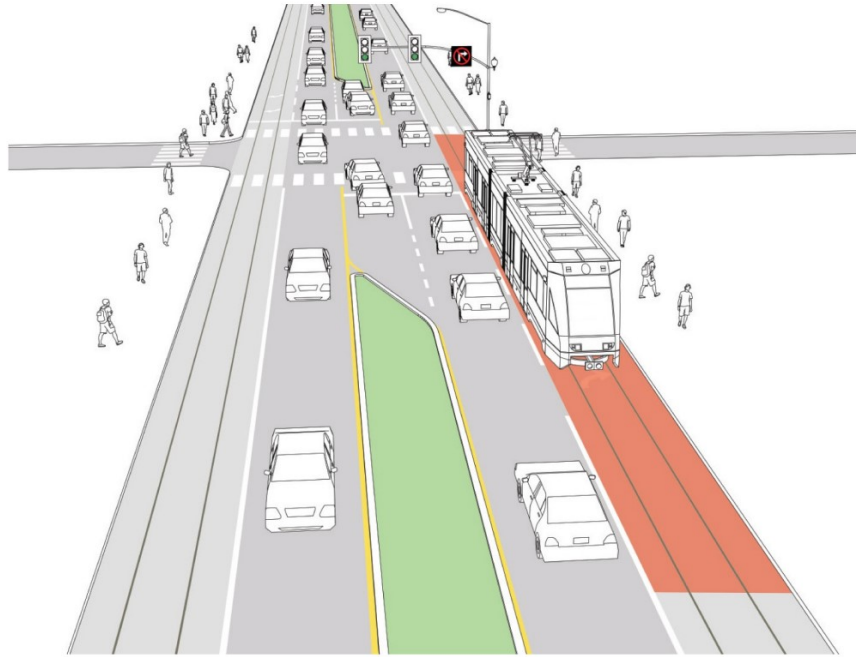
Kollektivfelt kan etableres ved å enten bygge ny infrastruktur eller ved å endre på eksisterende. Dersom man velger å endre på eksisterende infrastruktur kan man for eksempel gjøre om et kjørefelt eller parkering til kollektivfelt, eventuelt et fortau eller en gang- og sykkelveg (Statens vegvesen, 2009). Dersom man velger å gjøre om et kjørefelt til et kollektivfelt vil det kunne påvirke trafikkmønsteret i stor grad, og det bør derfor undersøkes nøye (Vejregler, 2016). Vanligvis vil kollektivfeltet legges til høyre, men i forbindelse med for eksempel kryss kan andre plasseringer være aktuelle (Statens vegvesen, 2009).

Ved å plassere kollektivfelt nært et kryss vil det føre til en reduksjon i forsinkelse for bussen, i tillegg til høyere hastighet og pålitelighet (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Det er viktig å se på hvordan kollektivfelt utformes i forbindelse med kryss, da det er her forsinkelsene ofte oppstår. Blant annet må man være forsiktig med å ikke stoppe kollektivfeltet for tidlig slik at annen trafikken kommer først til krysset (Statens vegvesen, 2014).

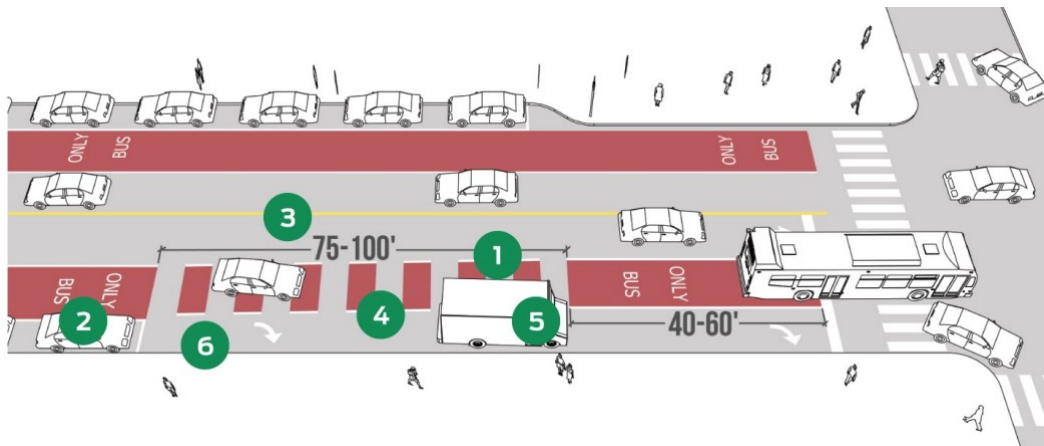
Det er flere typer kollektivfelt som kan plasseres nær kryss. Disse er:

- «Virtual transit lane», «right-turn pocket lane» og «shared transit lane»
- «Queue-jump lane»
- «Short transit lane»
- «Dropped transit lane»

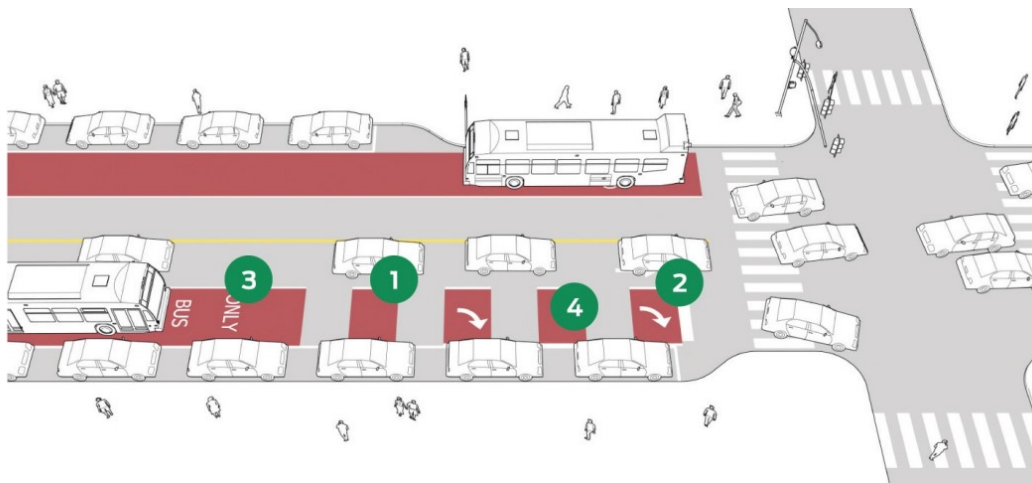
Disse er også ofte benyttet sammen med tidsbaserte prioriteringsmetoder. «Virtual transit lane», «right-turn pocket lane» og «shared transit lane» er kollektivfelt i sammenheng med høyresvingefelt. Ved «virtual transit lane» vil det kun tillates å foreta høyresving dersom buss ikke er til stede. Ved «right-turn pocket lane» vil det være et felt for høyresvingende kjøretøy til høyre for kollektivfeltet, noe som fører til at høyresvingende trafikk som ligger i feil felt må krysse kollektivfeltet (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Dette benyttes dersom det er så mange høyresvingende kjøretøy at det kan hindre bussen, men at høyresving ikke kan forbyes (NACTO, u.å.). Dette fører til at bussen som skal rett frem vil bli prioritert, samtidig som du separerer de høyresvingende i et eget felt. Ved «shared transit/right turn lane» vil det være en lomme for høyresvingende kjøretøy til høyre for kollektivfeltet. Kjøretøyene vil kunne kjøre til høyre når det ikke er en buss til stede i kollektivfeltet (Dadashzadeh og Ergun, 2018). «Virtual transit lane», «right-turn pocket lane» og «shared transit lane» er vist i Figur 12, Figur 13 og Figur 14.



Figur 12: «Virtual transit lane» (NACTO, u.å.).



Figur 13: «Right turn pocket lane» (NACTO, u.å.).

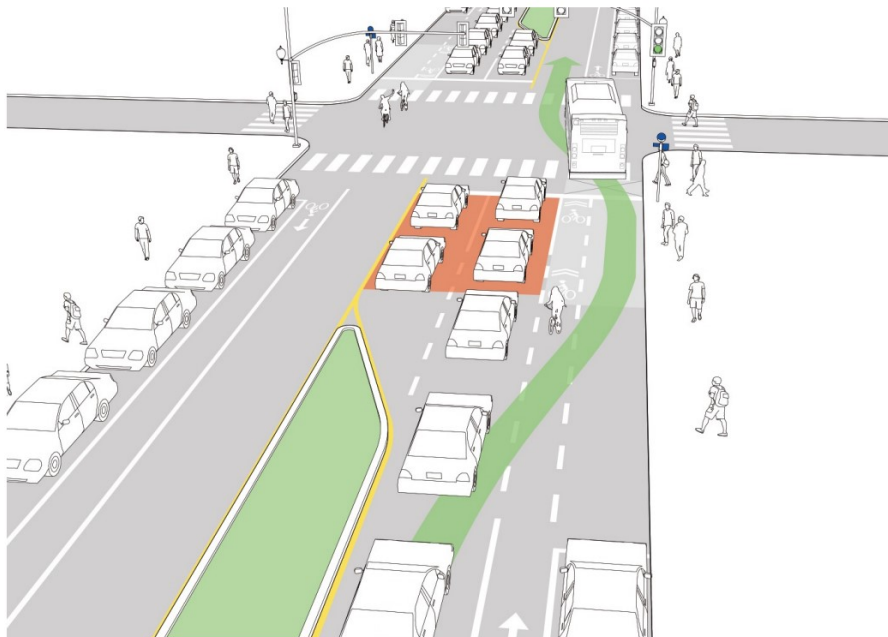


Figur 14: «Shared transit lane» (NACTO, u.å.).

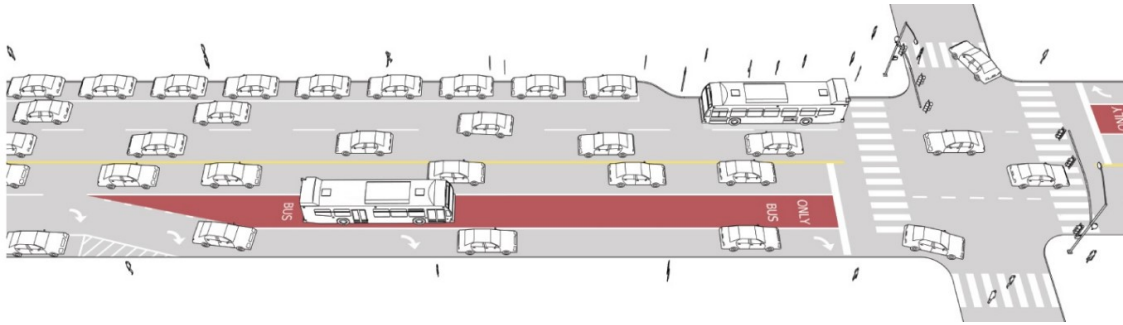
«Queue-jump lane» er et kort kjørefelt for bussen slik at den kan kjøre forbi køen, og benyttes for å prioritere buss ved kryss. I sammenheng med denne typen kollektivfelt kan det benyttes tilfartskontroll for å stoppe biltrafikken (Shu, Zhao og Han, 2019). Ved bruk av «queue-jump lane» kan man redusere forsinkelser, og dermed redusere reisetid og øke påliteligheten til buss (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Som oftest benyttes «queue-jump lane» i sammenheng med signalregulerte kryss for at bussen skal bli ført frem til stopplinjen og deretter bli prioritert ved bruk av et eget grønt signal gjennom krysset (Aakre, 2020).

En annen måte å benytte kollektivfelt på er ved å plasseres et kort kollektivfelt før krysset. Dette vil føre til at bussen kan kjøre forbi køer, som igjen vil gi reduserte forsinkelser. Bussen vil bli ført rett inn i kollektivfeltet uten å måtte skifte kjørefelt (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Ofte kan dette korte kollektivfeltet utformes ved å kombinere kollektivfelt for kjøring rett frem med høyresvingefelt for privatbiler (Eggen *et al.*, 2011).

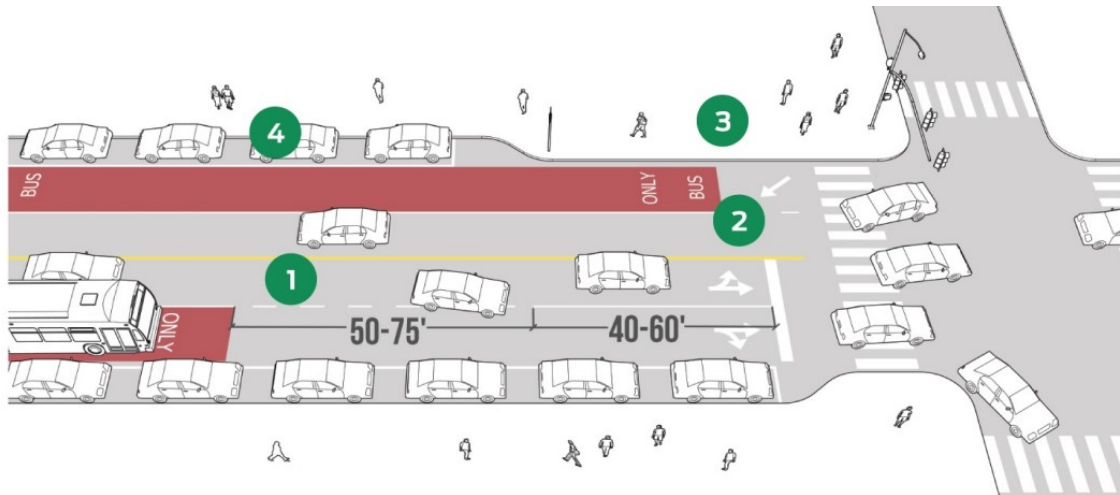
Ved «dropped transit lane» vil kollektivfeltet stoppes før krysset. Dette benyttes i smale gater, hvor det er forventet at annen trafikk benytter kollektivfeltet for å kjøre til høyre og for å kjøre rundt kjøretøy som venter på å svinge til venstre. Ved å stoppe kollektivfeltet før krysset, vil det kunne føre til at det er lettere å vite hvilke bevegelser som er tillatt. Busser vil generelt sett kunne opprettholde prioritet ved en slik løsning da kjøretøy som skal kjøre over i det avsluttede kollektivfeltet må vike for kollektivtransporten som skal rett frem (NACTO, u.å.). «Queue-jump lane», «short transit lane» og «dropped transit lane» er vist i Figur 15, Figur 16 og Figur 17.



Figur 15: «Queue-jump lane» (NACTO, u.å.).



Figur 16: «Short transit lane» (NACTO, u.å.).



Figur 17: «Dropped transit lane» (NACTO, u.å.).

## 2.4.5 Dynamiske bussfelt

Det er ikke alltid man har mulighet til å etablere et kollektivfelt. Dette vil for eksempel gjelde i sentrum av byer hvor det er lite tilgjengelig plass. Det vil heller ikke være noe poeng i å etablere et kollektivfelt dersom det er lite busser i forhold til biler, da bussen vil tjene lite på dette i forhold til hvor store tapene for biltrafikken blir (Viegas og Lu, 2007). For å kunne utnytte den eksisterende infrastrukturen til å skape fordeler for bussen samtidig som det påvirker annen trafikk mindre kan dynamiske bussfelt benyttes. Disse fungerer slik at andre kjøretøy kan benytte seg av bussfeltene dersom det ikke er busser til stede (Dadashzadeh og Ergun, 2018). Mellom det dynamiske bussfeltet og kjørefeltet plasseres det lys som vil skru seg på når en buss detekteres, og blir slått av når bussen har passert. Dette gjør at annen trafikk vet når feltet kan benyttes (Viegas og Lu, 2007). I Figur 18 fungerer «lane 11» som et dynamisk bussfelt, hvor de hvite prikkene er lys som slås på når bussen detekteres.

Ved elektronisk bussfelt som ble beskrevet i kapittel 2.4.3 vil motgående kjørefelt fungere tilnærmet som et dynamisk bussfelt, da dette feltet vil bli omgjort til bussfelt når en buss er til stede



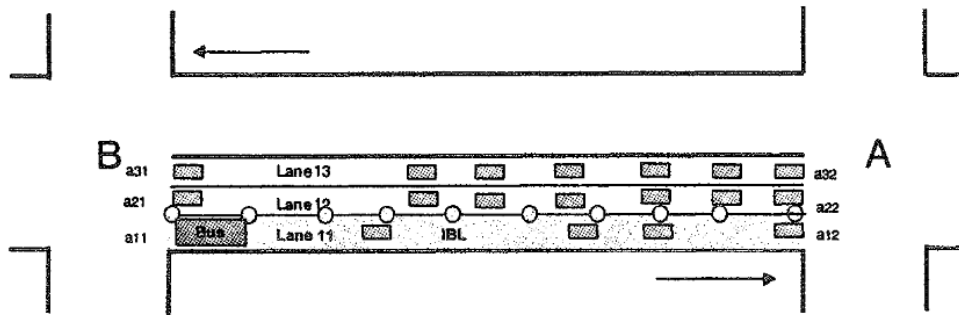


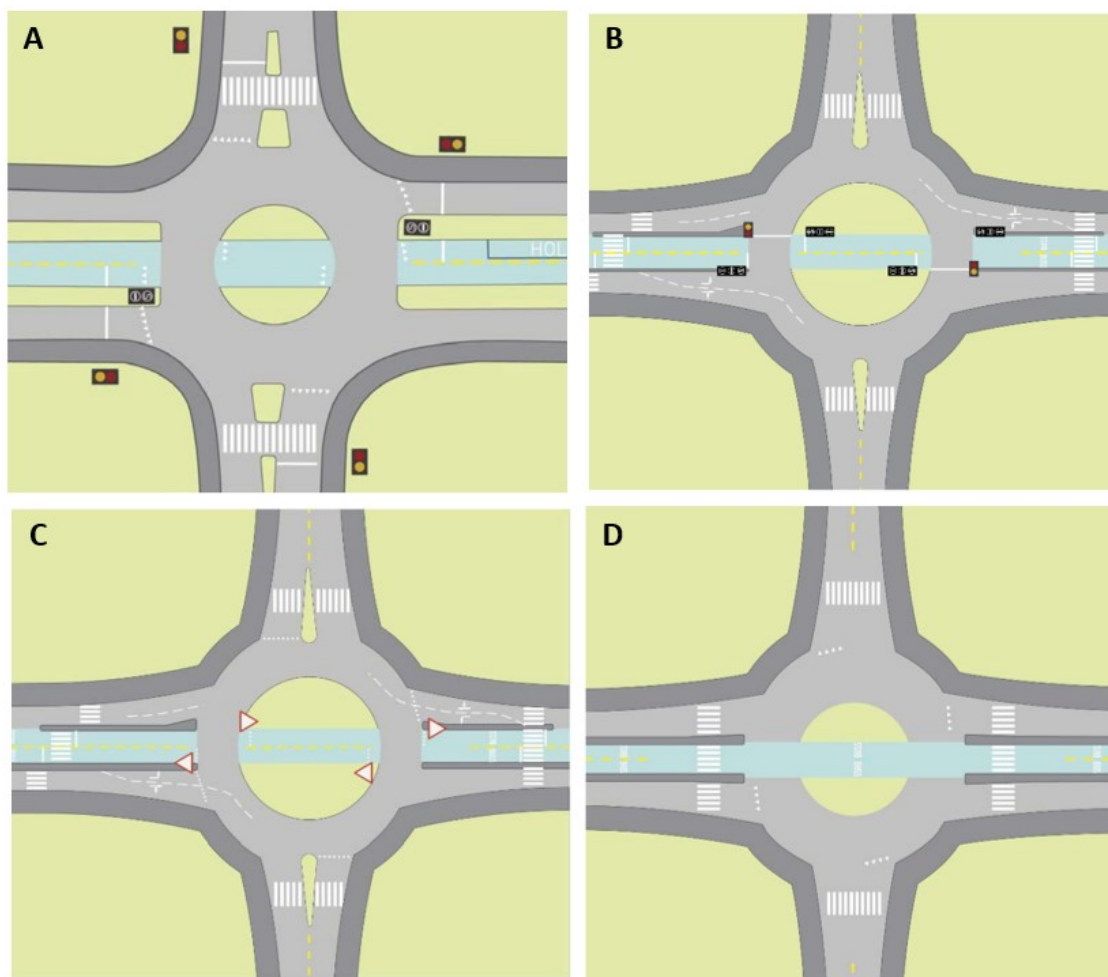
FIGURE 1 The structure of IBL.

Figur 18: Viser dynamisk bussfelt (Viegas og Lu, 2007).

#### 2.4.6 Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring

I utgangspunktet blir alle behandlet likt i en rundkjøring, og det er ikke åpnet opp for at buss skal ha prioritet over andre kjøretøy i regelverket (Siedler og Ruud, 2012). En måte man kan prioritere busser på i en rundkjøring, er å tillate at bussen kan kjøre gjennom sentraløya i rundkjøringen ved bruk av kollektivfelt. Dette vil redusere reisetiden for bussen, i tillegg til å bedre komforten for passasjerene. En rundkjøring hvor bussen føres gjennom sentraløya vil fortsatt ha færre konfliktpunkter enn vegkryss (Siedler og Ruud, 2012).

Naper og Aalde (2018) har presentert 4 ulike utforminger av en rundkjøring hvor buss føres med midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya. Disse er vist i Figur 19. I løsning A er bussen ført gjennom sentraløya med signalregulering før rundkjøring, hvor all annen trafikk får rødt lys når en buss ankommer selv om de ikke er i konflikt med bussen. Løsningen vil gi god fremkommelighet for bussene, men vil derimot gi dårlig fremkommelighet for biltrafikken. En slik løsning eksisterer blant annet i Hillevåg i Stavanger. I løsning B er det signalanlegg i sirkulasjonsarealet i rundkjøringen for bilene som skal krysse bussfeltene. Denne løsningen vil gi god fremkommelighet for bussen, samt for biler som skal rett frem eller til høyre. Løsningen vil derimot kunne gi dårlig fremkommelighet dersom det er mange venstresvingende og/eller dersom bussfrekvensen er høy. I løsning C er bussen ført gjennom sentraløya hvor bussen vil ha forkjørsrett. Bussen vil ha god fremkommelighet da bilene som skal krysse dens trasé må vike. Fremkommeligheten til biltrafikken vil også være god. I løsning D er bussen ført gjennom sentraløya uten signalanlegg. I denne løsningen vil ikke buss prioriteres da det vil være samme fremkommelighet for buss og bil. Ulempen med denne løsningen er at det er uklare vikeforhold. Løsning C og D er vurdert til å ikke være aktuell for norske forhold på grunn av trafiksikkerhetsmessige årsaker (Naper og Aalde, 2018).



Figur 19: Ulike utforminger av midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring (Naper og Aalde, 2018).

I studien til Aakre og Aakre (2017) sammenlignes løsning A og løsning C. Her ble Aimsun brukt for å studere forsinkelse og utslipp i de to løsningene. Det viste seg i denne studien at begge løsningene førte til tilnærmet ingen forsinkelse for bussen, men at det var relativt stor forskjell i forsinkelsen for annen trafikk. Det viste seg at løsningen med vikeplikt tydelig hadde mindre forsinkelser enn løsningen ved bruk av lysregulering, med en gjennomsnittlig forsinkelse på 20 sekunder for alle tilfarter sammenlignet med en gjennomsnittlig forsinkelse på 77 sekunder for løsningen med signalregulering. Det viste seg også at løsningen med vikeplikt gav 15-20% reduksjon av utslipp sammenlignet med løsningen med signalregulering, noe som skyldtes at rundkjøringen fikk en bedre trafikkflyt (Aakre og Aakre, 2017).



## 2.6 Trafikkmodeller

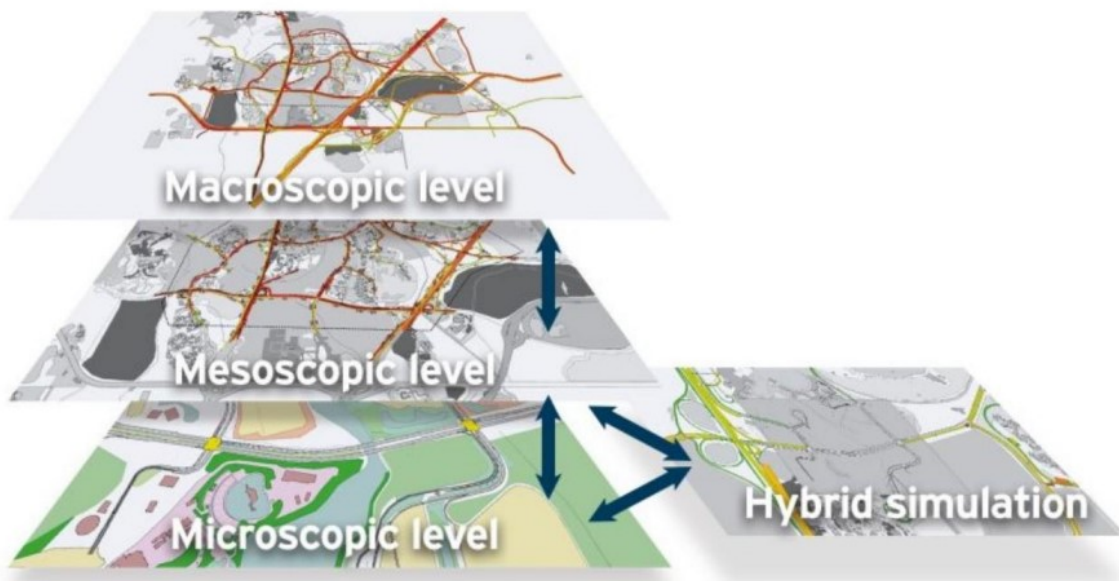
En trafikkmodell er en forenkling av virkeligheten, og vil være en matematisk beskrivelse av trafikken (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). For å kunne lage en god modell er det viktig at brukeren har gode kunnskaper både om det teoretiske grunnlaget og virkemåte, samt hvilke usikkerheter og begrensninger modellen har (Aakre, 2021b). Det vil i de neste underkapitlene beskrives ulike typer modeller.

### 2.6.1 Detaljeringsnivå

Trafikkmodeller deles inn i tre typer detaljeringsnivå; makro, meso og mikro, samt hybrid. Disse nivåene er forklart i Tabell 1 og illustrert i Figur 22 (Persson *et al.*, 2019; Aakre, 2021d; Appel, Aakre og Kronborg, 2018).

Tabell 1: Detaljeringsnivå av trafikkmodeller (Persson *et al.*, 2019; Aakre, 2021d; Appel, Aakre og Kronborg, 2018).

<b>Makro</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modellene med lavest detaljeringsgrad.</li><li>• Baserer seg på trafikkstrømmer og gjennomsnittlig atferd.</li></ul>
<b>Meso</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Detaljeringsgraden befinner seg mellom mikroskopiske og makroskopiske modeller.</li><li>• Modellene baserer seg på en gruppe av kjøretøy.</li></ul>
<b>Mikro</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modellene med høyest detaljeringsgrad.</li><li>• Hvert kjøretøy blir modellert, og samhandlingen mellom dem beskrives i detalj.</li><li>• Passer til mindre modeller med kort tidshorisont da disse modellene har høy detaljeringsgrad og behov for mindre usikkerheter i inputdataene.</li></ul>
<b>Hybrid</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kombinasjon av mikro- og mesosimulering</li><li>• Kritiske områder i modellen blir modellert på mikronivå</li></ul>



Figur 22: De ulike detaljeringsnivåene (Persson *et al.*, 2019).

## 2.6.2 Dynamiske og statiske modeller

Trafikkmodeller kan være statiske eller dynamiske. Statiske modeller er modeller hvor trafikksituasjonen er konstant, mens i dynamiske modeller vil denne endres over tid (Aakre, 2021d). De statiske modellene vil derfor gi gjennomsnittlige resultater, mens de dynamiske vil gi variable resultater (Aakre, 2021b).

## 2.6.3 Stokastiske og deterministiske modeller

Modeller kan deles inn i stokastiske og deterministiske modeller. I stokastiske modeller vil variasjonen i reaksjonstid, rutevalg etc. bli tatt hensyn til. Mikrosimuleringsmodeller er stokastiske og vil da kunne gi forskjellige resultater fra beregning til beregning. Det vil derfor være nødvendig å gjennomføre flere replikasjoner og beregne gjennomsnittet av disse (Aakre, 2021d). De deterministiske modellene vil ikke påvirkes av tilfeldigheter, og de vil derfor gi samme resultat hver gang modellen kjøres (Appel, Aakre og Kronborg, 2018).

## 2.6.4 Analytiske modeller og simuleringsmodeller

Trafikkmodeller kan også deles inn i analytiske modeller og simuleringsmodeller. Analytiske modeller er ofte statistiske og deterministiske modeller, med et detaljeringsnivå på makro- eller mesonivå. Resultatet vil som oftest være det samme hver gang modellen kjøres, og resultatene vil være gjennomsnittlige. Simuleringsmodeller vil derimot være dynamiske og stokastiske modeller, og vil ofte ha et detaljeringsnivå på mikro- eller mesonivå (Aakre, 2021b). En simuleringsmodell er basert på tilfeldige variasjoner (Appel, Aakre og Kronborg, 2018), og resultatet man får vil som oftest være ulikt hver gang modellen kjøres. Det vil derfor være nødvendig å gjennomføre flere replikasjoner for at resultatene fra simuleringene skal være statistisk holdbare (Aakre, 2021b).

## 2.7 Oppsummering

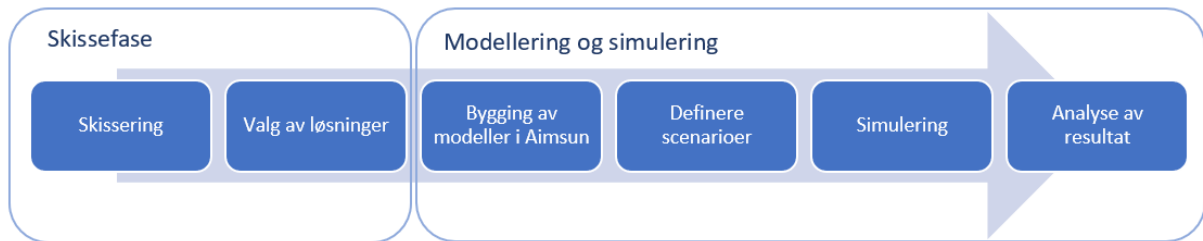
Gjennom litteraturstudie viste det seg at det finnes mange ulike måter å prioritere bussen på i forbindelse med kryss. Det finnes både løsninger hvor bussen prioriteres ved bruk av signalregulering som tilfartskontroll og elektronisk bussfelt, men også løsninger ved bruk av fysisk utforming som midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring og ulike typer av kollektivfelt i tilknytning til kryss slik som «queue-jump lane» eller «short transit lane». Mange av prioriteringstiltakene som er funnet i litteraturen brukes i forbindelse med lyskryss, og det finnes relativt lite litteratur om prioritering av buss i tilknytning til forkjørsregulerte kryss og rundkjøringer. Det vil likevel være muligheter for å benytte prioriteringstiltakene i disse krysstypene også.

Selv om det i litteraturen vises til mange alternative måter å prioritere bussen på, er dette løsninger som er lite testet ut i Norge. I Norge blir stort sett bussen prioritert ved bruk av

tradisjonell signalprioritering med forlenget grøntid eller forkortet rødtid i lyskryss og ved bruk av kollektivfelt. Noen av løsningene som er presentert brukes i andre land, for eksempel elektroniske bussfelt som er etablert flere steder i Sveits. For å kunne bedre fremkommeligheten for bussen og dermed bidra til å nå nullvekstmålet bør det testes ut slike alternative løsninger som dette i Norge også.

### 3. Metode

Figur 23 viser et flytdiagram for metoden. Først ble det skissert ulike løsninger for å prioritere bussen, hvor de løsningene som ble vurdert til å ha størst potensial ble tatt med videre. Videre ble løsningene modellert og simulert ved ulike trafikkmengder, bussfrekvenser og avstander, og til slutt ble resultatet analysert. Her ble det sett på hvilken effekt tiltakene ville ha på buss og annen trafikk.



Figur 23: Flytdiagram for metode.

#### 3.1 Bakgrunn for valg av metode

For å kunne besvare forskningsspørsmålene har metoden blitt delt inn i to deler. Den første delen består av en skissefase for å finne frem til alternative løsninger for å prioritere bussen i forbindelse med kryss uten å bruke tradisjonell signalprioritering. En skissefase er nødvendig for å kunne få ned alle ideer som dukker opp og deretter vurdere om dette er gode eller dårlige løsninger. Det er viktig å kunne vurdere og diskutere hvordan løsningene fungerer før man starter med en eventuell modellering og simulering av løsningene, da dette er tidkrevende. Skissering vil derfor være en god metode for å gjøre dette enklere og mer oversiktlig. Det er valgt å benytte programmet AutoCAD til skissering av løsningene da programmet har blitt benyttet en del gjennom studie og sommerjobb.

I den andre delen av metoden brukes en kvantitativ metode for å besvare forskningsspørsmålene. Dette er modellering og simulering, hvor simuleringsprogrammet Aimsun Next 22.0.0 benyttes. Bakgrunnen for valg av metode er at det gjennom litteraturstudiet viste seg at flere studier av kollektivprioritering benyttet seg av dette (Zakeri og Choupani, 2021; Aakre og Aakre, 2017; Guler, Gayah og Menendez, 2016), samt er det tilgjengelige lisenser gjennom NTNU. Metoden ble også valgt da faget «TBA4286 Trafikkavvikling og ITS» ga innblikk og noe kunnskap om programmet, samt at det finnes flere tilhørende manualer og opplæringsvideoer.

#### 3.2 Skissering

Det er blitt skissert flere alternative løsninger for å prioritere buss i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering. Skissefasen startet under arbeidet med prosjektoppgaven høsten 2021 og fortsatte ut i oppstartsfasen på masteroppgaven. Skissefasen startet med å skissere ned mange løsninger med penn og papir. Deretter ble de løsningene som var mest interessante skissert grundigere i AutoCAD.

Hovedfokuset under skisseringen har vært å få bussen før bilkøen frem til krysset. Blant annet har det blitt sett på løsninger hvor bussen kan benytte seg av motgående kjørefelt for å kjøre forbi køen, løsninger hvor annen trafikk blir stoppet for å hindre at de kjører forbi bussen og lager kø før krysset, løsninger hvor bussen føres helt frem til krysset ved bruk av kollektivfelt og løsninger hvor bussen føres gjennom sentraløya i en rundkjøring.

### 3.3 Aimsun Next 22.0.0

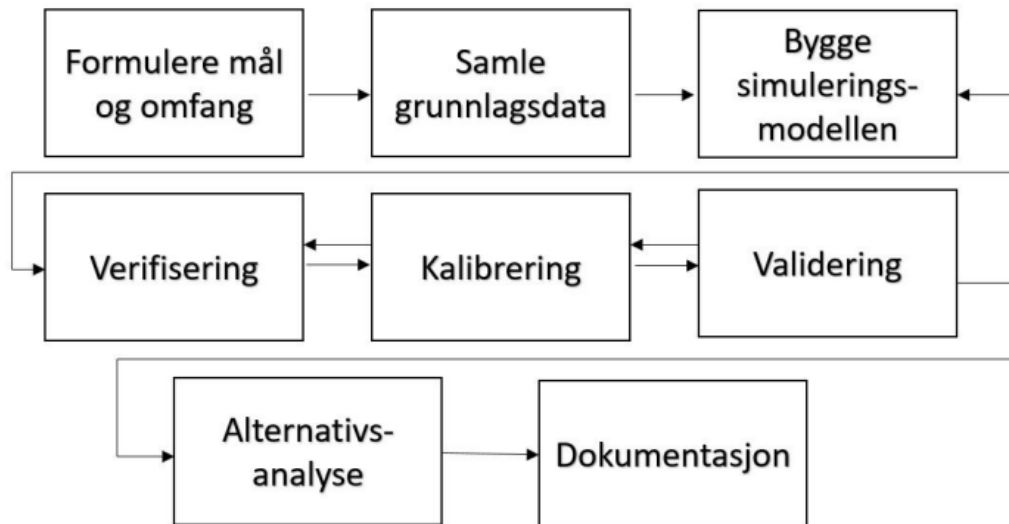
For å bygge modellene og gjennomføre simuleringene har simuleringsprogrammet Aimsun Next 22.0.0 blitt valgt. Aimsun står for "Advanced Interactive Microscopic Simulator of Urban and Non-Urban Networks" og er utviklet av Transport Simulation Systems (TSS) i Spania (Bang, Hjelkrem og Tveit, 2010). Aimsun tilbyr både makromodellering, mesomodellering og mikrosimulering, i tillegg til en hybrid som da er en kombinasjon av mesomodellering og mikrosimulering. Det er mikrosimulering som er det mest detaljerte simuleringsnivået, og er det nivået som er mest brukt i Norge (Persson *et al.*, 2019). Det er flere fordeler og ulemper med simulering, noen av disse er listet i Tabell 2 (Trafikverket, 2014; Aakre, 2021d).

Tabell 2: Fordeler og ulemper med simulering (Trafikverket, 2014; Aakre, 2021d).

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan gjøre eksperimenter i et kontrollert miljø</li> <li>• Kan få ut resultater fort</li> <li>• Påvirker ikke trafikken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inputdataene er omfattende og detaljerte, tar lang tid å få tak i</li> <li>• Kan være dyrt og tidkrevende</li> <li>• Modellene må valideres og kalibreres</li> <li>• Bruker må ha gode kunnskaper for å kunne modellere og tolke resultatene riktig</li> </ul>

Simuleringene for bussprioritering ble gjennomført på mikronivå. Grunnen til dette er at oppgaven går ut på å se på kryssløsninger, noe som er et lite avgrenset område og ikke et stort nettverk. Mikrosimulering skal også brukes dersom man analyserer prioritering av kollektivtransport og bruker trafikkstyrte signalanlegg med detektorer (Persson *et al.*, 2019). I Figur 24 vises fremgangsmåten for hvordan man gjennomfører en simulering.





Figur 24: Fremgangsmåte for gjennomføring av en simulering (Persson et al., 2019).

### 3.3.1 Formulere mål og omfang

Før man bygger en simuleringsmodell må formålet med modellen beskrives. Formålet med å benytte Aimsun i denne oppgaven har vært å modellere og simulere alternative løsninger for å prioritere bussen i forbindelse med kryss uten å bruke tradisjonell signalprioritering. Målet har vært å finne løsninger som vil kunne gi god fremkommelighet for bussen samtidig som ulempene for annen trafikk ikke blir overdrevent store.

### 3.3.2 Samle grunnlagsdata

Neste steg i prosessen var å samle inn grunnlagsdata som skulle brukes i modellene. Løsningene som studeres i denne oppgaven er prinsipp-løsninger, og det er derfor ikke samlet inn data fra et spesifikt studieområde. I modellene har det blitt lagt inn ulike avstander, bussfrekvenser og trafikkmengder, og det har blitt sett på hvilken påvirkning dette har. Tabell 3 viser hva som er testet ut i de ulike modellene.

Tabell 3: Hva som er testet under modelleringen og simuleringen av løsningene.

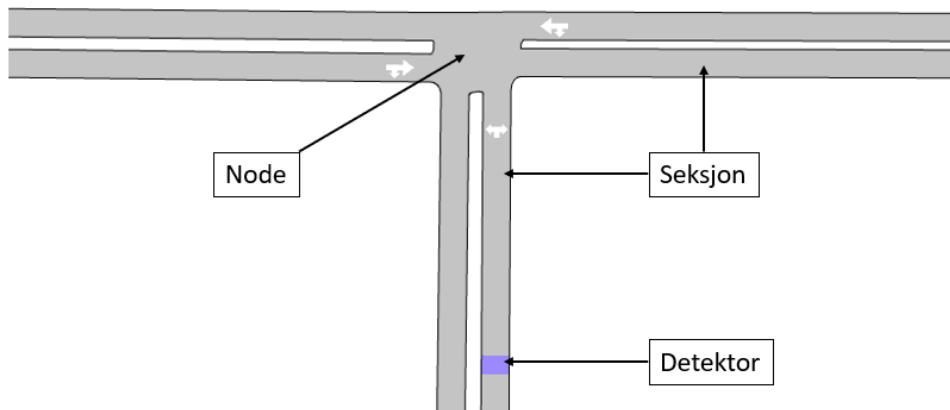
Løsning	Utførte tester
Elektronisk busslomme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bussfrekvens på 5 min, 4 min, 3 min, 2 min og 1 min</li> <li>Trafikkmengde på 188-250 kjt/t i hver svingebevegelse i bussens kjøreretning</li> <li>Avstand før rundkjøring på 50, 100, 150 og 200 meter</li> </ul>
Elektronisk bussfelt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bussfrekvens er satt til 5 min</li> <li>Trafikkmengde på 188-240 kjt/t i hver svingebevegelse i bussens kjøreretning</li> <li>Lengde av elektronisk bussfelt på 100, 200 og 300 meter</li> <li>Avstand før rundkjøring på 30, 50 og 100 meter</li> </ul>
Elektronisk bussfelt i lyskryss	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trafikkmengde er satt til konstant</li> <li>Lengde av elektronisk bussfelt på 100, 200 og 300 meter</li> <li>Bussfrekvens på 5 min, 4 min, 3 min, 2 min og 1 min</li> </ul>
Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trafikkmengde på 180-195 kjt/t for alle svingebevegelser</li> <li>Bussfrekvens på 5 min, 4 min, 3 min, 2 min og 1 min</li> <li>Ett og to sirkulerende felt</li> </ul>

### 3.3.3 Bygge simuleringsmodellen

Før man kan gjennomføre simuleringene må modellene bygges. Det har blitt lagt ned mye tid i modelleringen av løsningene for å få de til å fungere som tiltenkt. På grunn av lite kunnskap og erfaring med programmet fra før ble det også brukt mye tid på å sette seg inn i programmet før selve modelleringen kunne starte. I dette kapittelet beskrives modelleringen av løsningene i Aimsun.

#### Nettverk

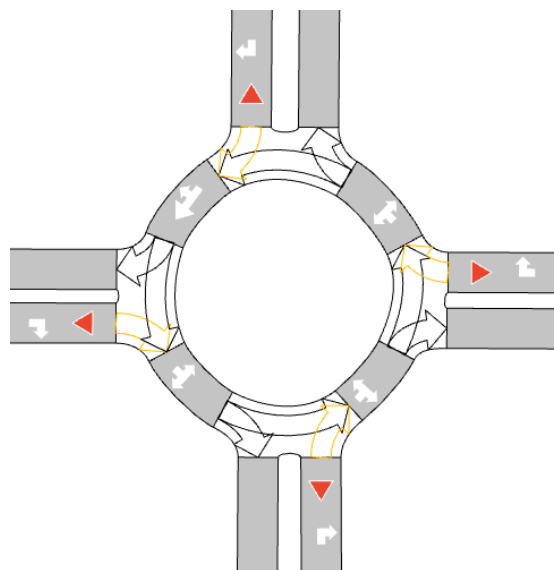
Nettverket i Aimsun Next 22.0.0 består av seksjoner, noder og teknisk utstyr for å kunne regulere trafikken. Seksjonene er en del av vegnettet i modellen, og disse gis egenskaper som lengde, hastighet og antall kjørefelt. Nodene er også en del av vegnettet og vil koble sammen seksjonene. Her vil alle tillatte svingebevegelser bestemmes sammen med kryssets reguleringsform og tilhørende parametere. Teknisk utstyr vil for eksempel være detektorer, skilt eller signalanlegg, og brukes for å regulere eller registrere atferd (Bang, Hjelkrem og Tveit, 2010). I Figur 25 vises seksjon, node og detektor i Aimsun.



Figur 25: Viser seksjon, node og detektor i Aimsun.

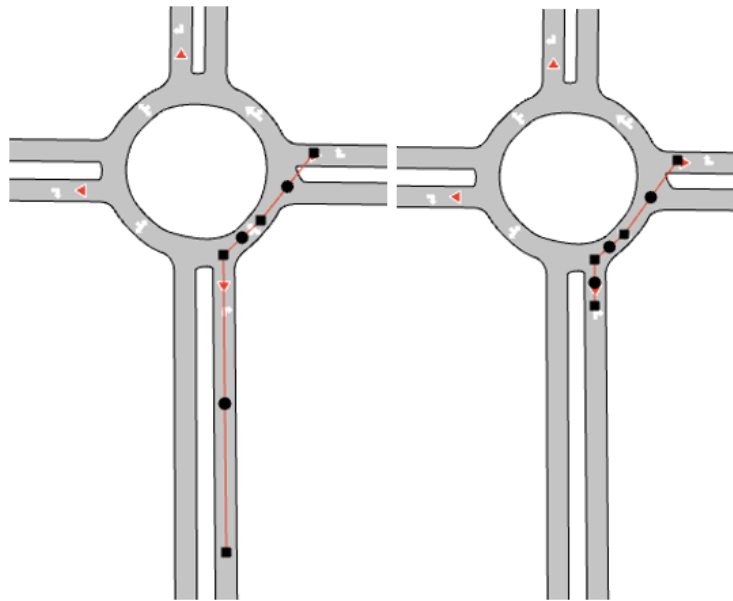
I modellene har det blitt brukt standardverdier for hastighet, bredde og vegtype. Disse standardverdiene er en hastighet på 50 km/t, bredde på 3 meter og vegtypen primærveg. I løsningen med kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøringen er hastigheten derimot satt ned til 30 km/t over en strekning på 100 meter gjennom sentraløya da bussen sannsynligvis vil bremse ned for å se at bilistene overholder vikeplikten sin.

I store deler av løsningene som er modellert er det brukt rundkjøring som krysstype. En rundkjøring vil bestå av flere noder, en node ved hver tilfart. Det vil si at dersom det er en 4-armet rundkjøring så består denne av 4 noder. Dette er vist i Figur 26.



Figur 26: Noder i rundkjøring i Aimsun.

I nodene ble verdien «Visibility along main stream» endret. Dette er hvor langt man ser inn på den kryssende vegen for å følge med på om det kommer en bil (Aimsun, 2022). Standardverdien for «Visibility along main stream» er 60 meter, men ble satt ned til 25 meter. Verdien ble endret da det ikke er nødvendig at trafikken som skal ut i rundkjøringen påvirkes av biler som befinner seg så langt unna. I Figur 27 vises det hvor langt man ser dersom denne er satt til 60 meter og 25 meter.

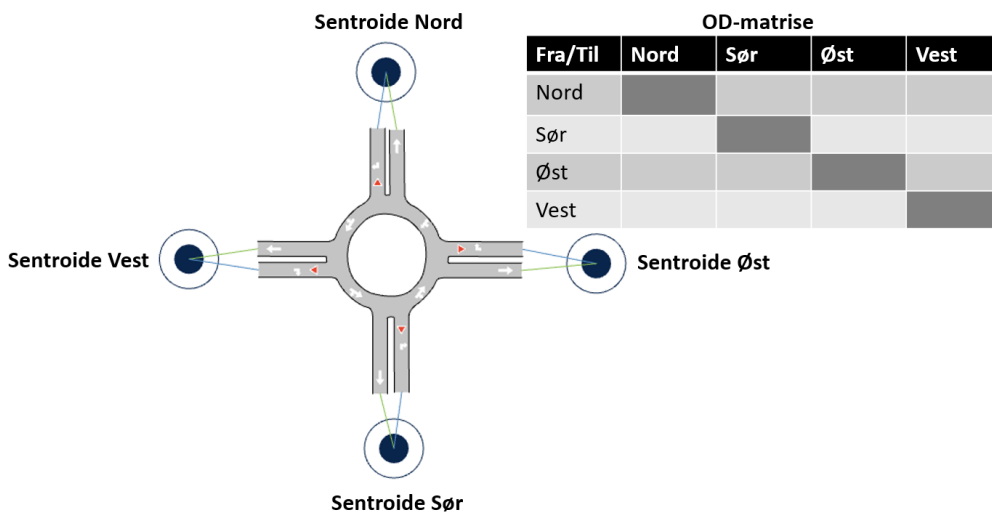


Figur 27: «Visibility along main stream» satt til 60 meter (venstre) og til 25 meter (høyre).

Detektorer kan blant annet måle trafikkvolum, hastighet og tetthet, og kan plasseres hvor som helst langs en seksjon i Aimsun. En detektor kan også brukes til å oppdage kjøretøy, for eksempel en buss, og deretter gi prioritet til dem ved bruk av signalregulering. Detektorer blir brukt i alle løsningene for å kunne prioritere bussen. De brukes blant annet for å kunne gi rødt lys for annen trafikk slik at bussen kan kjøre forbi bilkøen før ett kryss.

### Trafikketterspørsel

Trafikketterspørselen i modellen kan enten modelleres ved å bruke OD-matriser eller «Traffic States». Ved «Traffic State» legger man inn trafikkstrømmene på alle lenkene og svingeandelene i nodene. Ved bruk av OD-matriser benyttes sentroider for å definere start- og slutt punkter for reisene, og deretter lages en matrise som bestemmer antallet reiser mellom disse (Aimsun, 2022). Hver OD-matrise har en bestemt kjøretøytype og tidsperiode (Persson *et al.*, 2019). Et eksempel på en OD-matrise er illustrert i Figur 28.



Figur 28: Trafikketterspørsel ved bruk av OD-matrise.

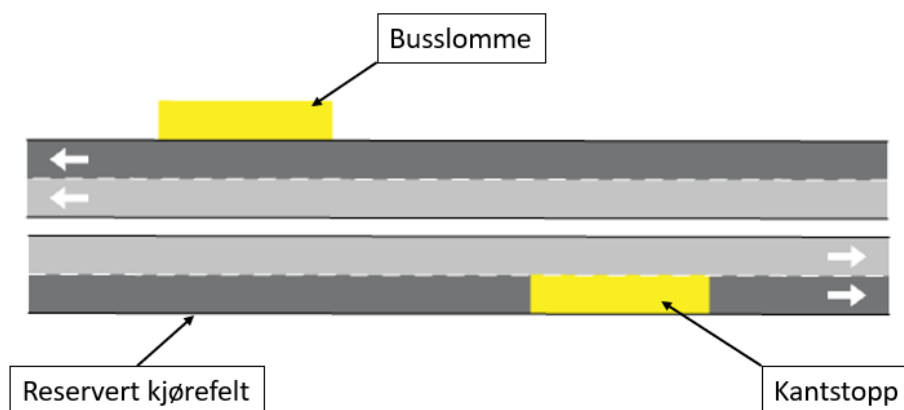
Løsningene som modelleres er prinsipløsninger, og det hentes derfor ikke ut data fra et spesifikt studieområde. For å modellere trafikketterspørselen i modellen er det valgt å benytte en OD-matrise da det ikke finnes data på trafikkstrømmer på lenker og svingeandeler. Løsningene er modellert med ulike trafikkmengder for å kunne vurdere hvordan løsningene påvirkes. Det ble laget en «total matrix» i Aimsun hvor de totale trafikkmengdene ble lagt inn. Deretter ble denne splittet i en matrix for biler og en for lastebiler, hvor biltrafikken ble satt til å utgjøre 95% av den totale trafikkmengden og lastebiler ble satt til å utgjøre 5%.

De fleste løsningene er modellert i forbindelse med rundkjøringer, men det er mulig å benytte løsningene i andre krysstyper også. Hvor godt løsningene fungerer er avhengig av belastningen, det vil si forholdet mellom kapasitet og etterspørsel. I forbindelse med et kryss vil kapasiteten være den maksimale trafikkintensiteten som sannsynligvis kan kjøre ut i krysset innen en gitt tid (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). Dersom det er lav kapasitet i rundkjøringene vil det føre til at det blir vanskeligere å komme seg inn i rundkjøringen. Dette vil igjen føre til at det blir lange køer ved lavere trafikkmengde enn om det hadde vært høy kapasitet i rundkjøringen.

Ifølge kapasitetsberegninger i SIDRA vil en trafikkmengde på 188 kjt/t i hver svingebevegelse gi en belastningsgrad på omtrent 0,85. Denne trafikkmengden har vært utgangspunktet for trafikkmengdene som har blitt brukt i løsningene kalt «elektronisk busslomme», «elektronisk bussfelt» og «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring». For løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» er trafikkmengden valgt ut ifra om det ble køer i tilfartene til lyskrysset.

## Kollektivtrafikk

I Aimsun kan man modellere kollektivtrafikk. Dette gjøres ved å definere bussruter med tilhørende tidstabeller, og deretter lage kollektivplaner hvor disse legges inn. I modellen kan man også reservere kjørefelt som kun kan brukes av kollektivtrafikk, samt legge inn busstopp (Aimsun, 2022). Det er også mulig å gi prioritet til kollektivtrafikk ved å bruke detektorer og signaler. Busslomme, kantstopp og reserverte kjørefelt i Aimsun er vist i Figur 29.



Figur 29: Illustrasjon av busslomme, kantstopp og reservert kjørefelt i Aimsun.

## Busstopp

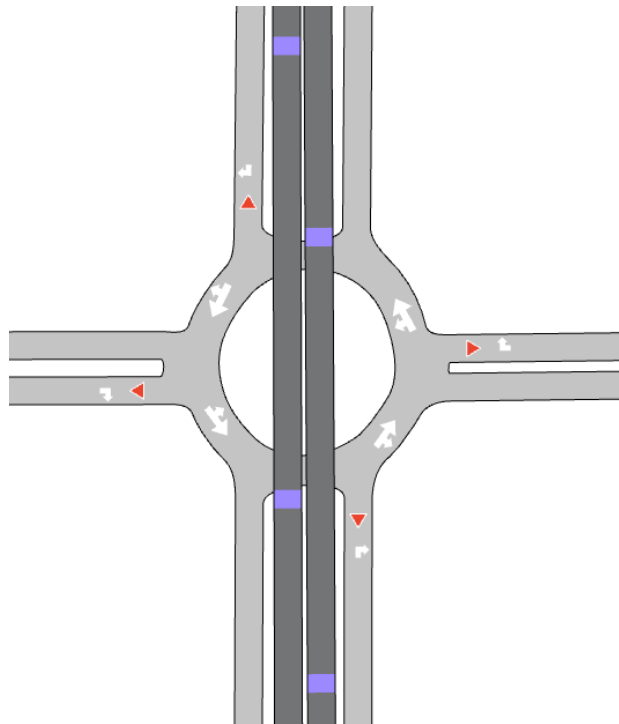
Busstopp kan enten utformes som busslomme, også kalt «bus bay stop» i Aimsun, eller som kantstopp, kalt «normal bus stop» (Aimsun, 2022). I en av løsningene vil det være en busslomme, dette er løsningen kalt «elektronisk busslomme». I modellen kan det legges inn gjennomsnittlig stopptid og et avvik. Hvor lenge bussen er på stoppet bestemmes fra en normalfordeling ved bruk av disse parameterne (Aimsun, 2022). I løsningen «elektronisk busslomme» er det lagt inn at bussen i gjennomsnitt skal være i busslommen i 20 sekunder.

## Reserverte felt

I flere av løsningene har bussen egne reserverte felt. Der hvor bussene benytter seg av motgående kjørefelt for å kjøre forbi bilkøen ble det reserverte bussfeltet lagt over det motgående kjørefeltet. For å kunne simulere at bussen kjører gjennom sentraløya i en rundkjøring er de reserverte kjørefeltene lagt rett gjennom og på toppen av rundkjøringen. De reserverte feltene er vist i Figur 30 og Figur 31.



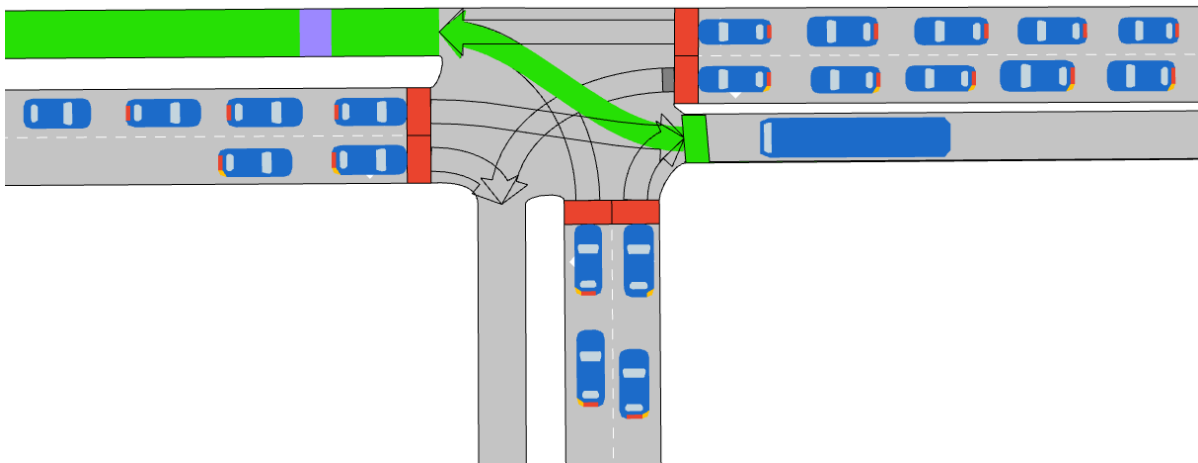
Figur 30: Reservert felt over motgående kjørefelt i Aimsun.



Figur 31: Reserverte felt gjennom sentraløya i rundkjøring i Aimsun.

## Prioritering av buss i lyskryss

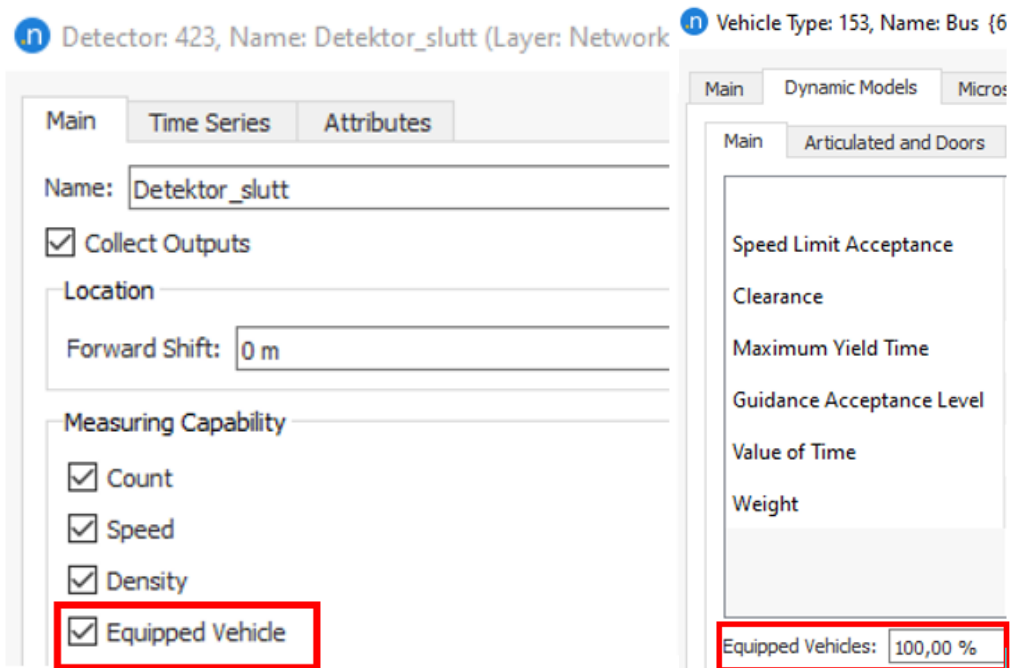
I løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» ble Aimsun brukt for å kunne prioritere bussen gjennom ett lyskryss. Dersom typen lyskryss settes til «fixed» i kontrollplanen vil hver syklus være den samme (Aimsun, 2022). Det var ønskelig at bussen skulle detekteres og anrope ønsket fase, og at den deretter ble prioritert ved at ønsket fase for bussen startet. Dette ble gjort ved å sette typen til «Actuated». Når en buss detekteres vil da tiden for de andre fasene justeres slik at de avsluttes tidligere og bussen kan da bli prioritert (Aimsun, 2022). Figur 32 viser bussen som blir prioritert i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss». Her vil den grønne svingebevegelsen tilhøre fasen hvor bussen prioriteres, det lilla rektangelet er en detektor og de grønne og røde rektanglene er lyssignaler.



Figur 32: Prioritering av buss i løsningen «elektronisk bussfelt» i Aimsun.

For å kunne prioritere bussen gjennom et lyskryss benyttes detektorer. Det må plasseres en detektor før lyskrysset som detekterer at bussen ankommer, og en etter lyskrysset som detekterer at bussen har kjørt gjennom krysset. Når en buss ankommer sender da detektoren før krysset en forespørsel til krysset om at det skal bli skiftet til ønskelig fase. Tiden for de andre fasene vil da justeres slik at de avsluttes tidligere, og ønsket fase kan deretter begynne og bussen får grønt lys. Når bussen har passert krysset registrerer detektoren dette og lyskrysset fungerer som normalt igjen.

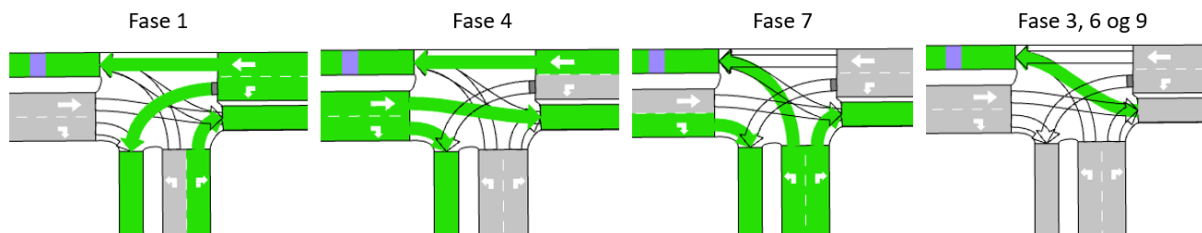
For at detektorene skal kunne gjenkjenne bussen må «equipped vehicle» som målefunksjon på detektorene være aktivert. Hvor stor prosentandel av bussene detektoren skal oppdage må også legges inn i modellen. Dette gjøres for «bus» under «vehicle type» som ligger under «Demand data». Her settes «Equipped» til 100%, noe som vil si at alle bussene vil registreres av detektoren. Figur 33 viser hvordan dette er lagt inn i Aimsun.



Figur 33: «Equipped vehicle» lagt inn på detektor og «Vehicle type».

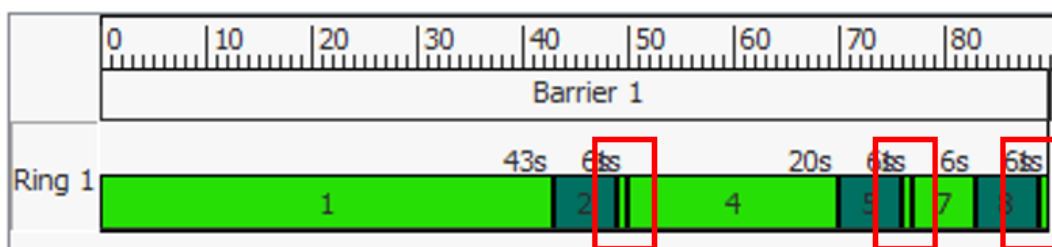
Ifølge «Håndbok N303 Trafikksignaler» skal gultid settes til 3 sekunder dersom fartsgrensen er mindre eller lik 50 km/t (Statens vegvesen, 2021b). Standardverdien for hastighet i Aimsun er 50 km/t, og gultiden er derfor satt til 3 sekunder. For syklustiden er standardverdien på 90 sekunder brukt. Mellom hver fase er det lagt inn en mellomtid på 6 sekunder, som vil bestå av gultid pluss vekslingstiden som er tiden fra en fase skifter til rødt til neste fase skrifter til grønt. Dette er lagt inn for å hindre at det oppstår konflikter mellom kjøretøyene (Statens vegvesen, 2021b).

For å prioritere bussen ble det først forsøkt å legge inn en bussfase som kun ble aktivert ved detektert buss som den siste fasen i kontrollplanen. Dette førte til at kontrollplanen alltid startet på begynnelsen av syklusen, altså fase 1, etter at bussen var detektert og prioritert gjennom krysset. Dette gjorde at det kunne gå lang tid før de andre fasene fikk grønt lys igjen, samt kunne det også bli hoppet over faser i løpet av en syklus. Det var derfor ønskelig at fasen etter gjeldene fase skulle begynne når bussen var blitt detektert og prioritert. For å få til dette ble det lagt inn bussfaser mellom alle fasene i kontrollplanen, som da var 3 steder i kontrollplanen. I Figur 34 vises fasene for lyskrysset, hvor det er fase 3, 6 og 9 som er fasene som blir forespurt når bussen blir detektert. I Figur 35 vises kontrollplanen hvor bussfasene er markert, de mørkegrønne fasene er mellomtidene.



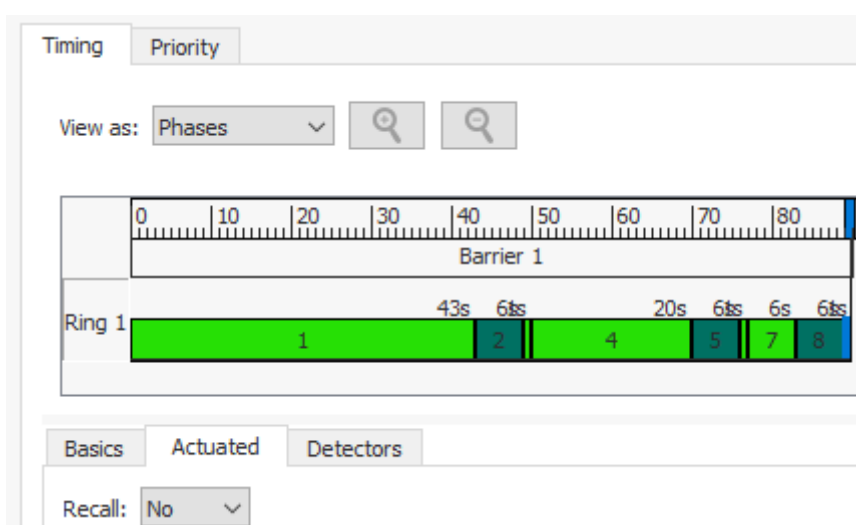
Figur 34: Svingebevegelser som tilhører de ulike fasene.





Figur 35: Viser hvor bussfasene i kontrollplanen er plassert.

For å kunne prioritere bussen må det i fanen «Actuated» legges inn «no» under «Recall» for bussfasene 3, 6 og 9. I Figur 36 er dette gjort for fase 9. Dette gjør at disse kun blir aktivert når en buss detekteres. For de andre fasene settes denne til «max», noe som vil si at fasen har sin maksimale grøntid i hver syklus. Minimum grøntid for disse fasene er satt til 2 sekunder.



Figur 36: Viser fasen hvor bussen prioriteres, «Recall» settes til «No».

Figur 37 viser hvordan prioritering av busslinjer legges inn i Aimsun. Busslinjene som skal ha prioritet velges sammen med hvilken fase som skal anropes når bussen detekteres. Det måtte lages 3 «Priority set» da det var 3 bussfaser i kontrollplanen. Disse ble da tildelt hver sin bussfase. Detektoren som skulle melde fra om ankommende buss før krysset ble valgt som «Priority Request Detectors» og detektoren som registrerte at bussen hadde passert krysset ble valgt som «Priority End Detectors». «Dwell» fasen er den forespurte bussfasen som gir grønt lys til bussen, og «maximum Dwell time» vil derfor være den maksimale tiden av denne fasen. Fasen vil enten avsluttes med at denne maksimale tiden går ut, eller ved at det prioriterte kjøretøyet blir registrert av «Priority End» detektoren (Aimsun, 2022). For å hindre at prioriteringsfasen avsluttes før bussen har passert, har «maximum dwell time» blitt satt til et høyt tall. Typen prioritering er satt til «Alternative». Dette vil si at «Dwell» fasen starter etter minimum grøntid for nåværende fase pluss mellomtiden. Dersom denne hadde blitt satt til «Serve all» måtte alle fasene som er mellom nåværende fase og «Dwell» fasen fått sin minimum grøntid før «Dwell» fasen fikk starte (Aimsun, 2022).

Timing Priority

Priority Set: Priority bussfase 1 Add Delete

Transit Lines		Phases	
ID	Name	Ring	Name
407	Transit Line 407	1	3

Priority Request Detectors		Priority End Detectors	
ID	Name	ID	Name
416	Detektor_Start	423	Detektor_slutt

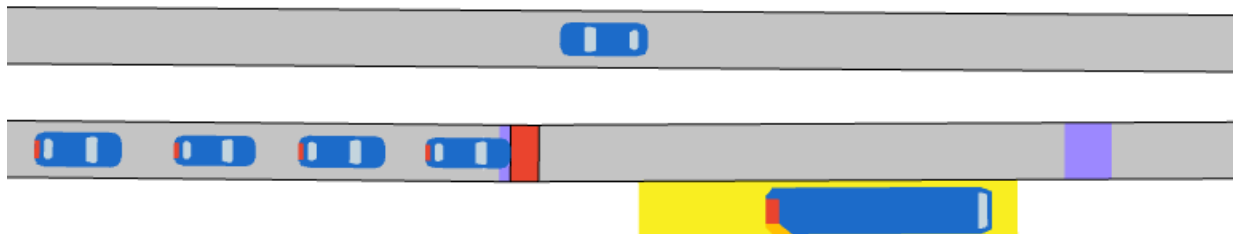
Parameters

Delay:	<input type="text" value="0"/>	Inhibit:	<input type="text" value="0"/>
Minimum Dwell:	<input type="text" value="0"/>	Maximum Dwell:	<input type="text" value="1000"/>
Reserve:	<input type="text" value="0"/>	Type:	<input type="text" value="Alternative"/>

Figur 37: Viser hvordan prioritering av busslinjer legges inn i Aimsun.

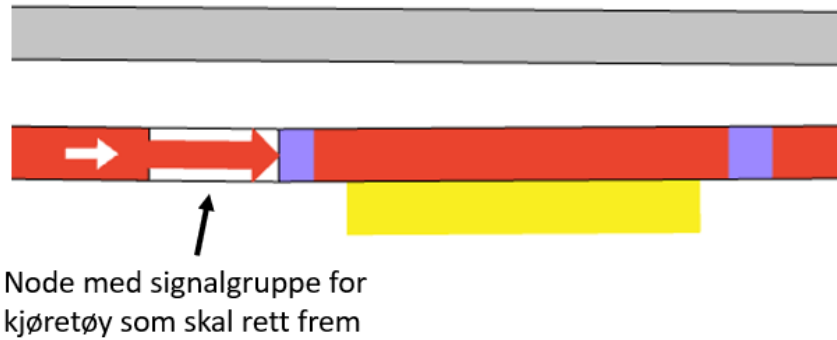
### Prioritering av buss før kryss

Det vil ikke bare være i selve krysset man kan benytte lysregulering for å prioritere. I løsningene «elektronisk busslomme» og «elektronisk bussfelt» brukes det signalregulering for å stoppe annen trafikk før krysset, slik at bussen kan kjøre forbi køen eller for å hindre at trafikken kjører forbi bussen. I Figur 38 vises bruk av signalregulering for å stoppe annen trafikk når bussen står i en busslomme.



Figur 38: Prioritering av buss ved bruk av signalregulering når bussen er i en busslomme i Aimsun.

For å kunne modellere at annen trafikk får rødt lys på en strekning når bussen blir detektert ble det brukt en node. Det ble satt opp to seksjoner etter hverandre der hvor det var ønskelig å stoppe annen trafikk, og disse ble koblet sammen ved bruk av funksjonen «create connection between objects». Det ble da laget en node mellom disse seksjonene. På denne noden ble det videre lagt inn en signalgruppe som tilhørte den retningen hvor det var ønskelig at trafikken fikk rødt lys. Dette er vist i Figur 39.



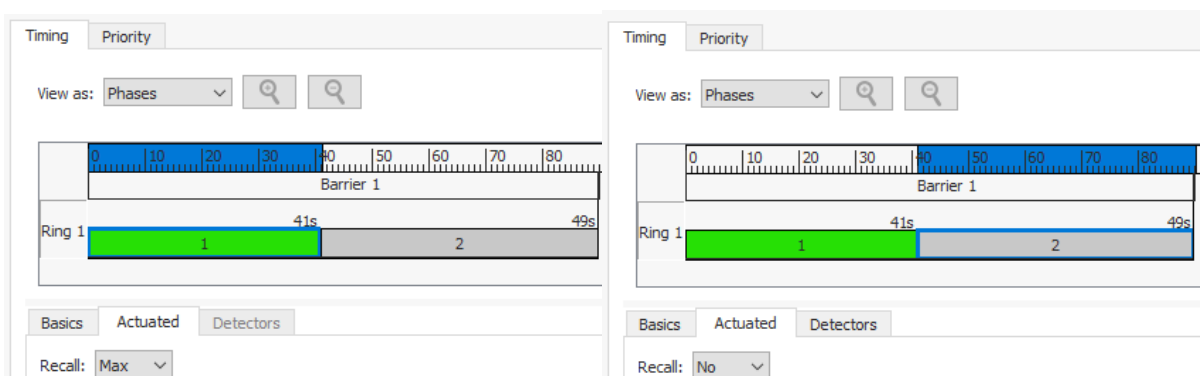
Figur 39: Viser node mellom to seksjoner i Aimsun.

For å kunne benytte signalregulering i noden var det først nødvendig å lage en kontrollplan. I kontrollplanen bestemmes det hvilke kryss som skal være med i planen, hvilken type kontroll de skal ha og hvilket tidspunkt kontrollplanen skal starte (Aimsun, 2022). Type prioritering ble satt til «Actuated», da det var ønskelig at den foretrukne fasen for bussen skulle starte når den ble detektert. Det ble lagt inn 2 faser i kontrollplanen, en fase som hørte til signalgruppen og en som ikke tilhørte noen signalgruppe. Dette er vist i Figur 40.



Figur 40: Viser faser med og uten signalgruppe.

Under fanen «Actuated» for fase 1 ble «Recall» satt til «max», noe som vil si at fasen har sin maksimale grøntid i hver syklus. Under fase 2 ble «Recall» satt til «no», noe som vil si at fasen kun blir aktivert når en buss detekteres. Hvordan dette er lagt inn i Aimsun er vist i Figur 41.



Figur 41: Viser «recall» for begge fasene i Aimsun.

For at bussen skal bli prioritert må dette legges inn under fanen «priority», se Figur 42. Her legges alle busslinjene som skal ha prioritet inn, sammen med fasen som bussen prioriteres i. Fasen som skal gi prioritet settes til fase 2, da det er ønskelig at det skal bli rødt lys for annen trafikk når en buss blir detektert. Videre legges det inn en detektor før noden og en etter. Detektoren før noden velges som «priority request detector» og detektoren etter noden velges som «priority end detector». For at detektorene skal kunne registrere en buss er det nødvendig å huke av «Equipped vehicle» som målefunksjon på detektoren, samt sette «equipped vehicles» til 100% under fanen «dynamic Models» i kjøretøytype buss under «Demand data». Til slutt må det lages en «master control plan». Denne består av alle kontrollplanene, og legges inn i scenarioet slik at disse kontrollplanene blir med i simuleringen.

The screenshot shows the configuration for a priority control plan in Aimsun. The main settings include:

- Type: Actuated
- Cycle: 90 secs
- Green to Red Transition: Yellow Time: 3,00 sec, Red Percentage: 50
- Red to Green Transition: Yellow Time: 0,00 sec
- Offset: 0,00 sec
- Rings: 1
- Rest in Red:

The Priority section is expanded, showing:

- Priority Set: Priority 0
- Transit Lines:
 

ID	Name
478	Transit Line 478
- Phases:
 

Ring	Name
1	2
- Priority Request Detectors:
 

ID	Name
770	Detektor_start
- Priority End Detectors:
 

ID	Name
391	Detektor_slutt

The Parameters section includes:

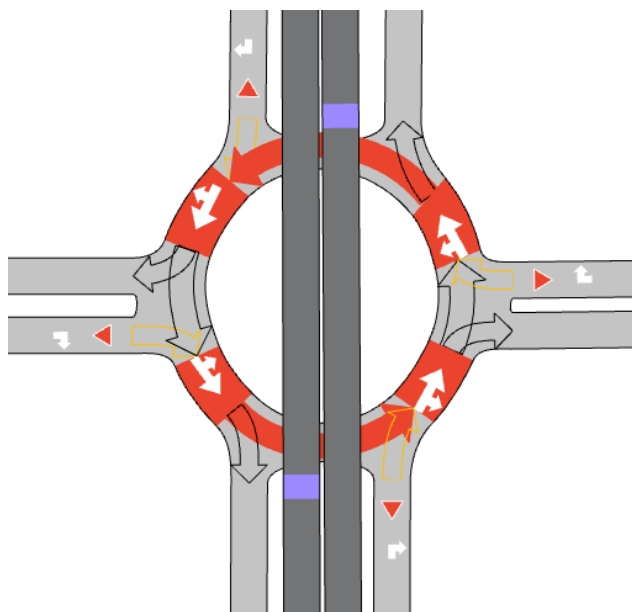
- Delay: 0
- Inhibit: 0
- Minimum Dwell: 0
- Maximum Dwell: 10000
- Reserve: 0
- Type: Alternative

Figur 42: Viser hvordan prioritet for busslinjer legges inn i Aimsun.

### Prioritering av buss gjennom sentraløya i rundkjøring

I løsningen hvor bussen prioriteres ved at den har reserverte felt gjennom sentraløya på rundkjøringen brukes i stor grad samme fremgangsmåte som for prioritering av buss før kryss. I utgangspunktet er det tenkt at bussen skal prioriteres ved at annen trafikk har vikeplikt for kryssende busser, og ikke at det benyttes signalregulering. Signalregulering er allikevel benyttet i simuleringen da det er enklere å bygge opp modellen på denne måten.

En rundkjøring består av 4 noder, hvor to av disse vil være i konflikt med de reserverte feltene. Dette er nodene som befinner seg nord og sør i rundkjøringen. Slik som tidligere har det her blitt laget en signalgruppe for de retningene det er ønskelig at skal få rødt lys når en buss detekteres, dette er vist i Figur 43. Dette gjør at det kun er trafikken som krysser de reserverte feltene som blir stoppet, ikke de som ikke er i konflikt med bussen.



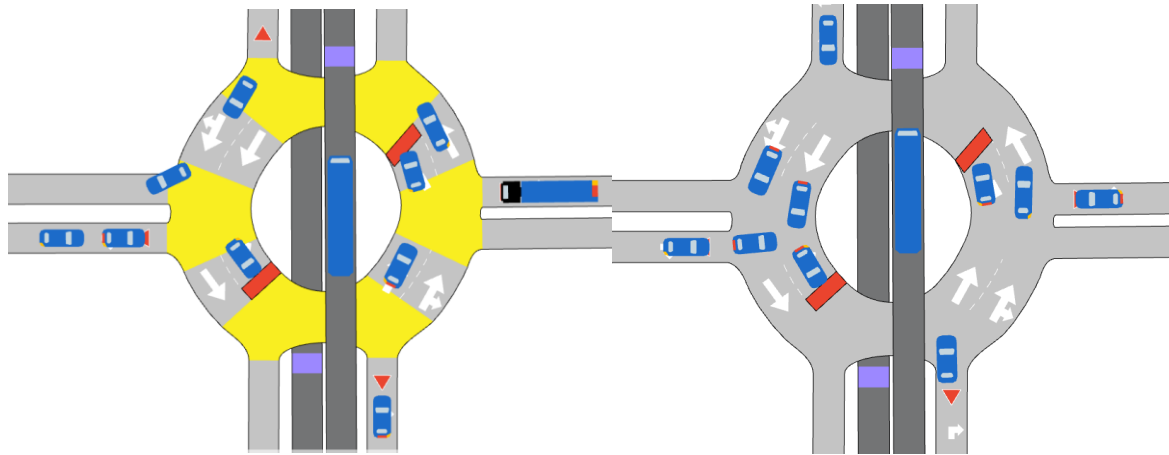
Figur 43: Viser signalgrupper for løsning med midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring i Aimsun.

Deretter ble det laget en kontrollplan, hvor det som er lagt inn her er det samme som ble beskrevet i kapittelet om prioritering av buss før kryss. Detektorene som skal forespørre prioriteringene er plassert relativt nært krysset, i tillegg er gultiden satt til null. Dette for å modellert situasjon med signalregulering skal bli mest mulig lik en situasjon med vikepliktsskilt og merking.

### «Yellow box»

I nodene kan man velge om krysset skal ha en funksjon som heter «yellow box». Denne funksjonen gjør at en bil ikke kjører inn i et kryss dersom det ikke er plass til å kjøre ut av krysset på andre siden eller dersom det er et saktekjørende kjøretøy i krysset. Dette vil gjøre at det ikke oppstår kø i krysset (Aimsun, 2022).

I løsningen med midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring ble det sett på hvordan forsinkelsene for annen trafikk ble både med ett og to sirkulerende felt. I løsningen med to felt var det ønskelig at bilene ikke kjørte ut i rundkjøringen dersom det ikke var plass på grunn av kø. Funksjonen «yellow box» ble derfor benyttet. Dette gjorde at bilene stoppet ved stopplinjen slik som de vanligvis gjør i en rundkjøring. Noder i rundkjøring med og uten «yellow box» er vist i Figur 44. Dette gjør da at det ikke oppstår kø i det ytterste feltet i rundkjøringen, noe som igjen gjør at trafikken som skal rett frem og til høyre i rundkjøringen får fri bane.



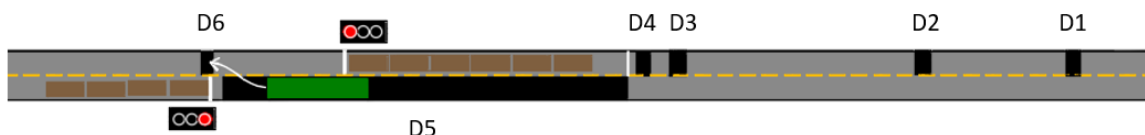
Figur 44: Rundkjøring med «yellow box» (venstre) og rundkjøring uten «yellow box» (høyre).

### Trafikkstyring i Aimsun

I løsningen med «elektronisk bussfelt» stopper bussen opp dersom det er kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Det var derfor nødvendig å legge inn i modellen at prioriteringen skal avbrytes dersom dette er tilfelle.

I Aimsun kan man benytte seg av ulike trafikkstyringsoperasjoner. I løsningen med «elektronisk bussfelt» ble det benyttet en trafikkstyringsstrategi for å løse problemet med at køen beveget seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet og blokkerte for bussen. En strategi består av flere typer «policies», og disse brukes for å løse ett problem eller oppnå et mål (Aimsun, 2022). I løsningen er «transit route change» og «control plan change» brukt for å kunne løse problemet med kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Det er benyttet to triggere. Den ene triggeren (D1) starter prioriteringen av bussen, og ruten til bussen endres da til å være i motgående felt. Denne triggeren (D1) er plassert 100 meter før detektoren som starter rødt lys (D2). Den andre triggeren benyttes for å kunne avbryte prioriteringen av bussen dersom køen strekker seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet og det ikke befinner seg busser i det elektroniske bussfeltet. Dersom denne slår ut, vil ruten til bussen endres til å fortsette i kjørefeltet den befinner seg i og signalreguleringen vil gi grønt lys. I punkt 1 til 6 er det kort oppsummert hvordan løsningen vil fungere, og i Figur 45 vises plasseringen av detektorer.

1. Detektor 1 (D1): Start prioritering
2. Detektor 2 (D2): Start rødt lys (hvis ikke kø oppstrøms)
3. Detektor 3 (D3): Stillestående buss?
  - a. Hvis ja – Avbryt prioritering
  - b. Hvis nei – Fortsett prioritering
4. Detektor 4 (D4): Kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet?
  - a. Hvis ja – Avbryt prioritering
  - b. Hvis nei – Fortsett prioritering
5. Detektor 5 (D5): Er det buss i det elektroniske bussfeltet samtidig som det er kø oppstrøms det elektronisk bussfelt?
  - a. Hvis ja – Fortsett prioritering
  - b. Hvis nei – Avbryt prioritering
6. Detektor 6 (D6): Slutt rødt lys (Hvis ikke kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet og bussen er blitt prioritert)



Figur 45: Plassering av detektorer i løsningen «elektronisk bussfelt».

Triggeren som vil starte «Policy» og avslutte prioriteringen av bussen fungerer slik at dersom køen strekker seg oppstrøms bussfeltet og det ikke befinner seg buss i det elektroniske bussfeltet skal prioriteringen avsluttes. For å få til dette har «occupancy» blitt satt til 100% for bil og lastebil for detektor D4. For detektor D3 ble «occupancy» satt til 100% for buss, slik at prioriteringen avbrytes dersom bussen står stille før det elektroniske bussfeltet. I tillegg var det nødvendig å plassere en detektor i det elektroniske bussfeltet for å sjekke om bussen er til stede i det elektroniske bussfeltet. Dette er for å hindre at prioriteringen avbrytes dersom køen strekker seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet mens bussen er der. For detektor D5 ble derfor «occupancy» satt til 0. Triggeren som skal avslutte «policy» og starte prioritering av bussen igjen består av detektor D1, hvor prioriteringen starter dersom detektoren registrerer tilstedeværelse av buss. I Figur 46 og Figur 47 vises hva som er lagt inn for triggerne i Aimsun og i Figur 48 vises triggerne lagt inn i «policy».

Trigger: 781, Name: Trigger - avslutt prioritering {30692e22-71f8-45a5-88b2-c5f5c6e7e39d}

Name:  External ID:

Evaluate Every  
 Step  Detection Interval  Statistics Interval

Condition (Click on View to Set Objects)

Object	Attribute				Value	
Detector 820: Detektor 4	Occupancy	Last Generated	Car	=	100,00	Or
Detector 820: Detektor 4	Occupancy	Last Generated	Truck	=	100,00	Or
Detector 841: Detektor 3	Occupancy	Last Generated	Bus	=	100,00	And
Detector 842: Detektor 5	Occupancy	Last Generated	Bus	=	0,00	And

Figur 46: Trigger for å avslutte prioritering av bussen i Aimsun.

Trigger: 836, Name: Trigger start prioritering {bbe19089-d0c4-4796-b6ac-a56ba2015cb4}

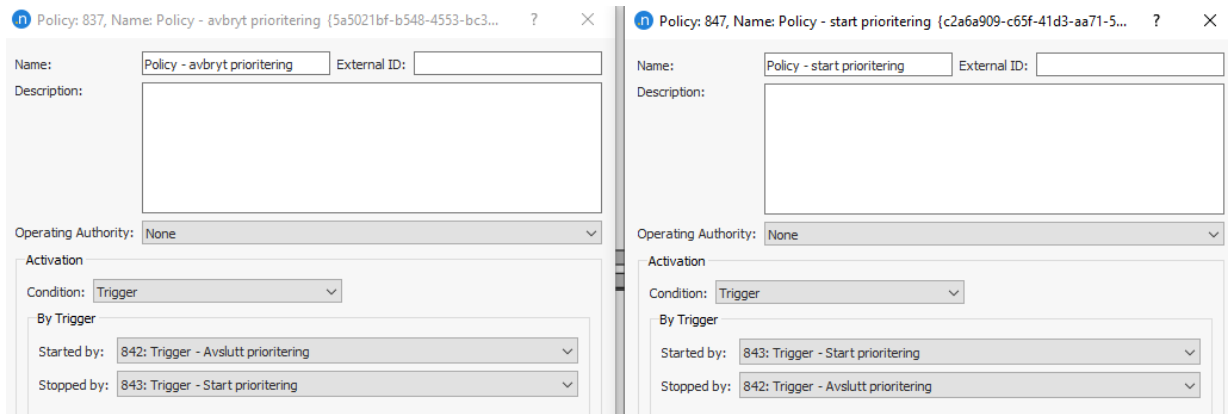
Name:  External ID:

Evaluate Every  
 Step  Detection Interval  Statistics Interval

Condition (Click on View to Set Objects)

Object	Attribute				Value	
Detector 821: Detektor 1	Presence	Replication 806	Bus	=	True	And

Figur 47: Trigger for å starte prioritering av bussen i Aimsun.

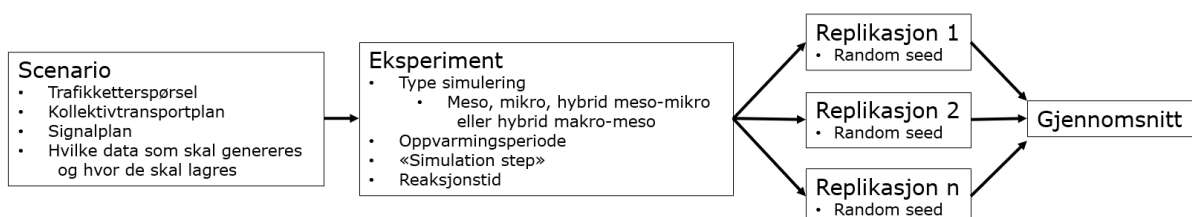


Figur 48: Triggere som er lagt inn i «Policy» i Aimsun.

For at detektorene skulle kunne registrere biler og lastebiler, måtte det hukes av for at «equipped vehicle» kunne måles på detektorene. I tillegg måtte «equipped vehicle» settes til 100% for kjøretøypene bil og lastebil. For at registreringen av kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet skulle fungere ble det lagt inn at detektoren skulle samle inn data ved korte intervall. Intervallet ble derfor endret fra 10 minutter til 2 sekunder. Dette ble brukt for triggeren som avsluttet prioriteringen. Triggeren som startet prioriteringen, ble satt til å samle data hvert sekund da bussen vil kunne kjøre fort over detektoren.

## Scenarier, eksperimenter og replikasjoner

En simulering består av et scenario, et eksperiment og replikasjoner. Det lages ulike scenarier for de ulike løsningene, med tilhørende eksperiment og replikasjoner. I scenarioet legges blant annet trafikketterspørsel, planer for kollektivtransport og signalplaner inn, samt hvilke data som skal genereres og hvor disse skal lagres (Aimsun, 2022). I eksperimentet velges det hvilken type simulering som skal gjennomføres, lengde på oppvarmingsperiode, «simulation step» og reaksjonstid. En replikasjon vil kjøre det dynamiske eksperimentet en gang. Hver replikasjon har et tilfeldig nummer som blir kalt «random seed», noe som vil gi ulike simuleringsresultater for hver replikasjon. For å kunne få et representativt resultat vil derfor hvert eksperiment ha et antall replikasjoner, og resultatet vil være gjennomsnittet av disse (Aimsun, 2022). I Figur 49 vises fremgangsmåten i en simulering. Det ble gjennomført 10 replikasjoner for hvert scenario, og hver simulering varte en time. Oppvarmingsperioden ble satt til 10 minutter. Dette ble både gjort for løsningen med prioriteringstiltak og løsning uten tiltak. Deretter ble gjennomsnittet av forsinkelsen for de 10 replikasjonene beregnet.



Figur 49: Fremgangsmåte i en simulering.



### 3.3.4 Kalibrering av modeller

Kalibrering går ut på å justere parametere slik at modellen stemmer overens med virkeligheten (Aakre, 2021b). Løsningene som modelleres er prinsipløsninger, og kalibreringen av modellen vil derfor være begrenset da det ikke er innhentet data fra et studieområde. Store deler av standardverdiene i programmet er derfor benyttet, men det er valgt å kalibrere modellen opp mot noen verdier som er oppgitt i «Veileder for Aimsun» av Asplan viak for å få den mer tilpasset norske forhold. Ifølge denne veilederen er reaksjonstid en av de viktigste parametere, og vil ha stor innvirkning på atferd og kapasitet. Reaksjonstiden skal settes slik at kapasiteten i modellen stemmer med virkeligheten, og ikke lik den observerte reaksjonstiden. Ofte gir standardverdiene i programmet en trafikkavvikling som er for god sammenlignet med det som er observert for norske forhold, noe som kan føre til at kapasitetsproblemer i modellen ikke oppdages. Det har derfor i veilederen blitt anbefalt verdier for reaksjonstider slik at det oppnås en mer realistisk trafikkavvikling (Persson *et al.*, 2019). I Tabell 4 vises anbefalte verdier fra veilederen, standardverdier i Aimsun og hvilke verdier som er brukt i modellene.

Tabell 4: Anbefalte verdier, standardverdier og brukte verdier for reaksjonstider (Persson *et al.*, 2019).

Reaksjonstider	Anbefalte verdier	Standardverdier	Brukt verdi
Reaksjonstid	0,9 s	0,8 s	0,9 s
Reaksjonstid ved stopp	1.35 s	1,2 s	1,35 s
Reaksjonstid ved trafikklys	1,6 s	1,6 s	1,6 s

Kjøretøyparametere som kjøretøylengde og minsteavstand mellom kjøretøy som står i kø, samt strekningsparametere som hastighet, vil også spille inn på kapasiteten. Standardverdiene i modellen er satt til 4 meter for kjøretøylengde og 1 meter for minsteavstand mellom kjøretøy i kø, noe som gir en høyere tetthet enn det som er vanlig i Norge og dermed sannsynligvis for korte kølengder i modellen. Veilederen anbefaler derfor å justere kjøretøylengden til 4,5 meter og minsteavstand mellom kjøretøy i kø til 2 meter (Persson *et al.*, 2019). I Tabell 5 vises anbefalte verdier fra veilederen, standardverdier i Aimsun og brukte verdier.

Tabell 5: Anbefalte verdier, standardverdier og brukte verdier for kjøretøylengde og gjennomsnittlig minsteavstand mellom kjøretøy i kø (Persson *et al.*, 2019).

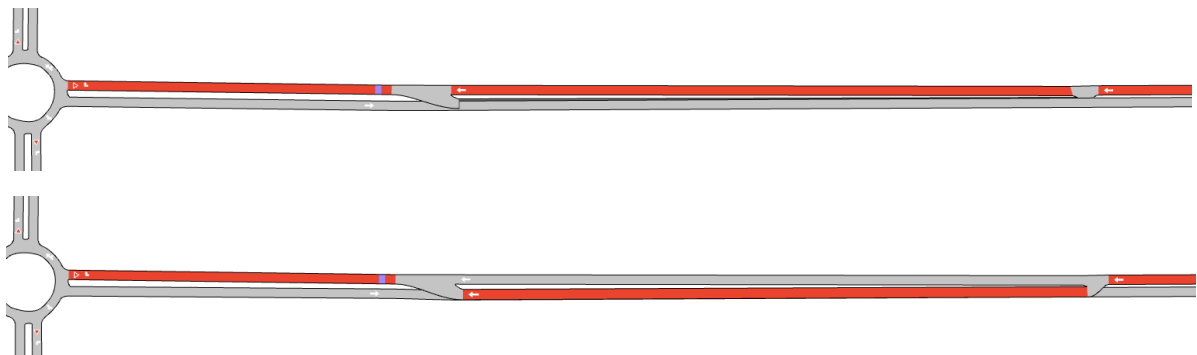
Parameter	Anbefalte verdier	Standardverdier	Brukt verdi
Kjøretøylengde	4,5 m	4,0 m	4,5 m
Gjennomsnittlig minsteavstand mellom kjøretøy i kø	2,0 m	1,0 m	2,0 m

Ved verifisering sjekkes det etter feil i modellen, datagrunnlaget og kodingen (Aakre, 2021b). Da det ikke hentes inn data fra et studieområde vil ikke modellen kunne verifiseres opp mot registrerte trafikkmengder, nettverk og trafikkregulering. Ved validering vil simulerte resultater sammenlignes med observerte verdier (Aakre, 2021b). Da løsningene kun vil være prinsipløsninger, og det ikke hentes inn data fra et studieområde, vil ikke modellen kunne valideres.

### 3.3.5 Analyse av resultat

Etter at simuleringene er gjennomført er det nødvendig å se på hvilken effekt tiltaket har. Ut ifra resultatene må det vurderes hva bussen tjener på tiltaket og hva annen trafikk taper. I Aimsun er funksjonen «Average» benyttet, som er en funksjon som beregner gjennomsnitt av et antall replikasjoner. Det er valgt å benytte 10 replikasjoner, og resultatet vil derfor være gjennomsnittet av disse 10 replikasjoner. Det er beregnet et slikt gjennomsnitt for alle løsningene, både med og uten prioriteringstiltak.

Forsinkelse er den parameteren som har blitt brukt for å vurdere løsningene, og er definert som hvor mye tillegg det er i reisetiden sammenlignet med når det er fri flyt (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). Etter hver simulering får man ut et sammendrag av resultatet fra simuleringene. Her er forsinkelsen oppgitt som gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy per kilometer, og vil gjelde for alle kjøretøyene i krysset. Det var ønskelig å se på forsinkelsen på strekningen/strekningene hvor tiltaket skulle være, og det var ønskelig å få ut gjennomsnittlig forsinkelse for kjøretøyene i sekunder. For å få til dette ble «subpaths» benyttet. Ved bruk av «subpaths» kan man velge ut en strekning med seksjoner og noder som man ønsker å få ut statistikk fra. Etter simuleringene får man da ut statistikk som antall kjøretøy, forsinkelse, reisetid, hastighet, stopptid etc. for kjøretøyene som har kjørt denne strekningen. Det er bare kjøretøyene som har fulgt hele «subpathen» som vil bli inkludert i resultatene (Aimsun, 2022). Forsinkelsen man får ut er gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy for de kjøretøyene som har kjørt strekningen (Aimsun, 2022). Figur 50 viser eksempler på to «subpaths» som er lagt inn i Aimsun, dette er fra løsningen «elektronisk bussfelt».

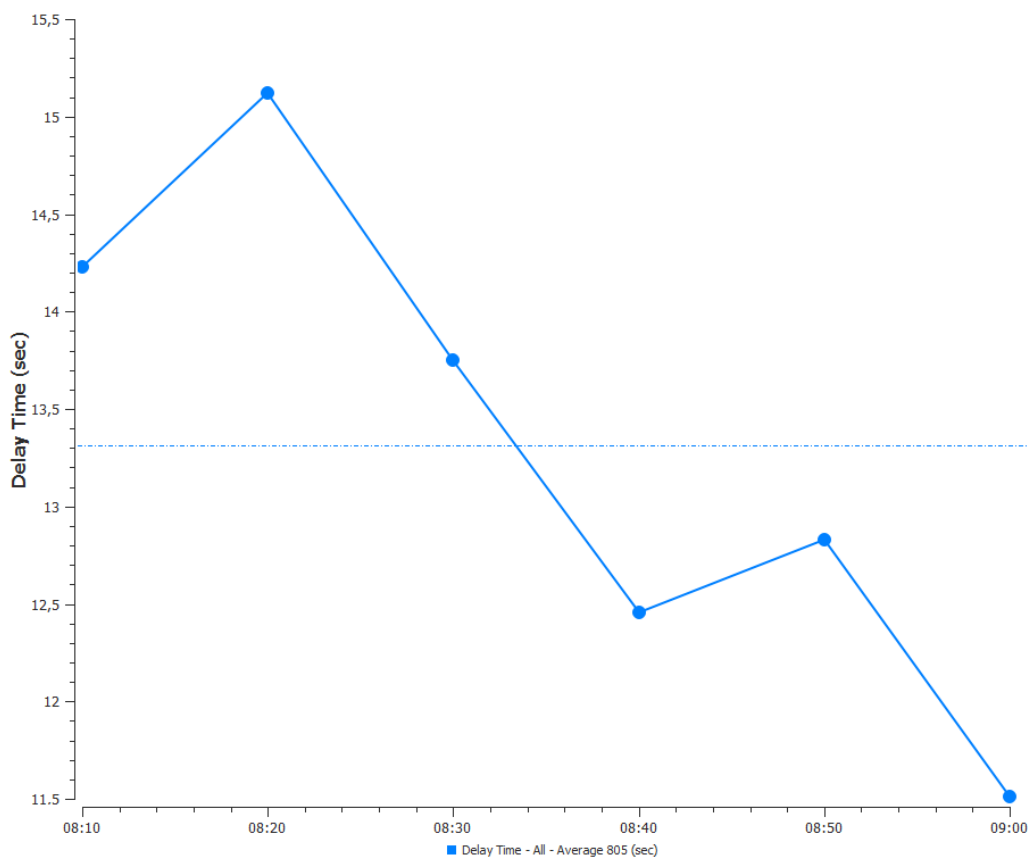


Figur 50: Strekninger hvor det er benyttet «subpaths» i Aimsun (røde områder).

I løsningen «elektronisk busslomme» er det sett på forsinkelse før krysset for buss og annen trafikk når bussen prioriteres og når den ikke prioriteres. Det samme er gjort for løsningen «elektronisk bussfelt». For løsningen «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring» er det sett på forsinkelse for alle svingebevegelser i rundkjøringen når bussen bruker kollektivfeltet og når den ikke gjør det, samt er det sett på forsinkelse for bussen når den benytter seg av dette feltet og når den kjører med annen trafikk gjennom rundkjøringen. For løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» er det sett på hvordan forsinkelsene for annen trafikk i alle armene til krysset påvirkes, og hvordan bussen sin forsinkelse er når den bruker det elektroniske bussfeltet og når den ikke bruker det.

For at man skal kunne få ut statistikk fra «subpaths» må det legges inn at man ønsker resultater for disse. Dette gjøres ved å huke av på «subpaths» under fanen «outputs to generate» og deretter fanen «statistics» i scenarioet. Figur 51 viser et eksempel på et

resultat man får ut når man benytter «subpaths». For å kunne vurdere hvilken effekt de ulike tiltakene har må en situasjon uten tiltak sammenlignes med situasjonen med tiltak. Det ble derfor sett på forsinkelse både med og uten tiltak, og disse ble videre sammenlignet med hverandre for å vurdere effekten av tiltaket.



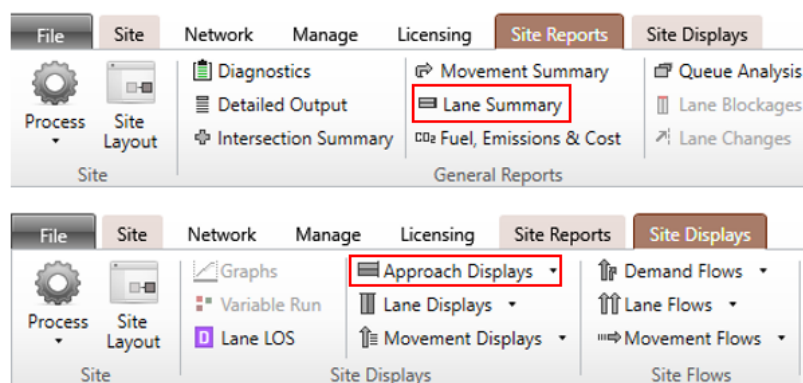
Figur 51: Eksempel på resultat for forsinkelse ved bruk av «subpaths».

### 3.4 SIDRA Intersection 9.0

SIDRA står for «Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid», og er utviklet av Rahmi Akçelik (Statens vegvesen, 2007). SIDRA Intersection er et program som brukes til å utforme kryss og nettverk av kryss, samt analysere og evaluere disse (Akçelik & Associates, 2020). Programmet kan blant annet brukes til å analysere lyskryss, fotgjengeroverganger, rundkjøringer og vikepliktsregulerte kryss (Statens vegvesen, 2007).

I oppgaven er SIDRA Intersection benyttet for å se på belastningsgrad i kryssene. Dette er gjort for å kunne vurdere hvilke trafikkmengder som skulle legges inn i modellene i Aimsun. Da brukermanualen til SIDRA Intersection er svært omfattende og det har vært begrenset med tid, har standardverdiene i programmet stort sett blitt benyttet. Det er likevel noen parametere i modellen som har blitt endret for å få modellen mer lik modellen i Aimsun. Blant annet har det blitt lagt inn at 5% av trafikkmengden skal være tunge kjøretøy. I tillegg ble kjørefeltbredden i SIDRA endret til 3 meter da dette er standardverdien i Aimsun. «Approach cruise speed» og «Exit cruise speed» ble satt til 50 km/t, slik som standardverdien i Aimsun. Forsinkelser i SIDRA ble også sammenlignet med forsinkelser fra Aimsun ved samme trafikkvolum for å se at disse befant seg i samme område.

I de fleste løsningene er det benyttet rundkjøringer hvor det er ett felt i alle armene inn til rundkjøringen. For å kunne se belastningsgrader og forsinkelser i rundkjøringene ble fanene «Site reports» og «Site displays» benyttet. Figur 52 viser hva disse fanene inneholder. Her ble «lane summary» brukt for å kunne se på forsinkelser for de ulike tilfartene og «Approach Displays» ble brukt for å kunne se på belastningsgraden til tilfartene. Belastningsgraden er forholdet mellom trafikkvolum og kapasitet. Dersom belastningsgraden er større enn 0,85 vil det oppstå forsinkelser og køer. Når den går over 1 vil det være flere kjøretøy som kommer inn på lenken enn det som blir avviklet (Hognestad, 2010).



Figur 52: Site reports og Site displays i SIDRA Intersection 9.0.

For å kunne vurdere når rundkjøringen er ved sin kapasitetsgrense ble en «flow scale» analyse benyttet. Denne analysen ligger under inndatavinduet «Site Demand and Sensitivity», se Figur 53. Denne analysen brukes for å se på hvordan ulike trafikkmengder påvirker hvordan krysset fungerer. Det ble her lagt inn en «flow scale» som startet på 100% og gikk opp til 200% for å kunne se hvordan krysset ble påvirket ettersom trafikkvolumet økte opp til 200% av trafikkmengden som ble lagt inn.

Quick Input

## Analysis Option

- None  
 Design Life  
 Flow Scale  
 Sensitivity

Select an option for demand and sensitivity analysis. The analysis results will be included in output reports and displays. You can inspect Intersection (Vehicles or Persons), Approach, Lane or Vehicle Movement results using the Site Graphs display and Site Variable Run report. You can also use a Constant Factor for Flow Scale or Sensitivity Analysis, or a Constant Number of Years for Design Life Analysis.

## Flow Scale Analysis (Site)

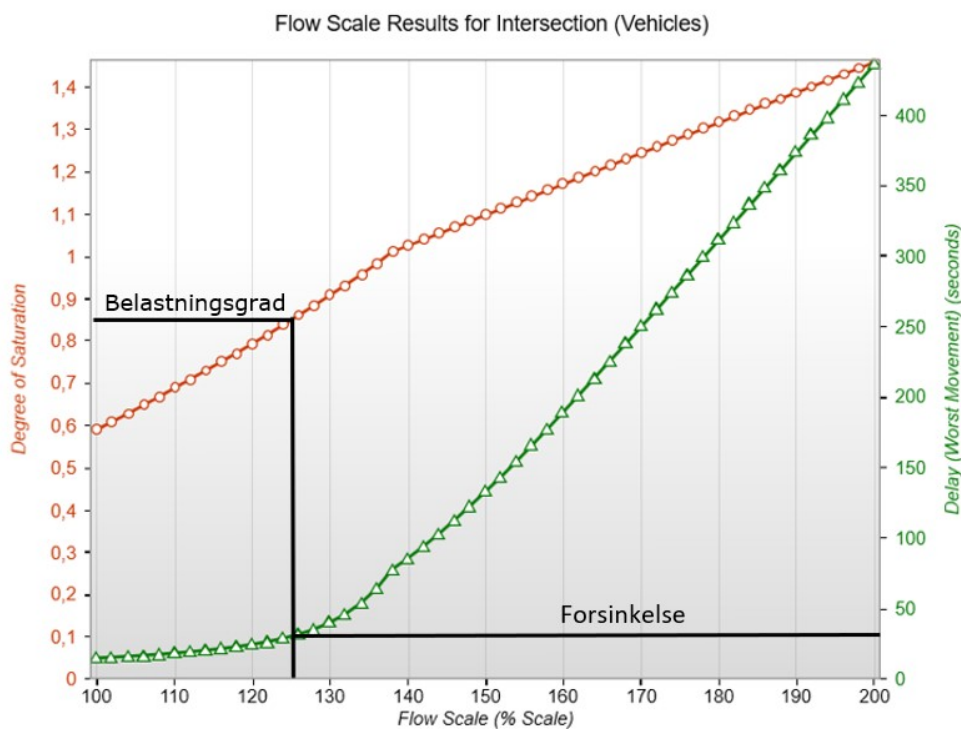
Flow Scale Analysis Objective	Upper Limit
Scale Factor - Lower Limit	100,0 %
Scale Factor - Upper Limit	200,0 %
<input type="checkbox"/> Use Constant Scale Factor	NA

## Results For

Results For	Intersection (Vehicles)
-------------	-------------------------

Figur 53: Inndatavinduet «Site Demand and Sensitivity» i SIDRA Intersection 9.0.

I SIDRA ble det først lagt inn en trafikkmengde på 150 kjt/t for hver svingebevegelse. Figur 54 viser hvordan belastningsgraden og forsinkelsen blir ved økende trafikkmengde. Fra grafen kan man se at dersom trafikkmengden økes med rundt 25%, vil rundkjøringen nå sin kapasitetsgrense som er ved en belastningsgrad på rundt 0,85. Dette vil da være ved en trafikkmengde på omtrent 188 kjt/t i hver svingebevegelse, det vil si 564 kjt/t i hver arm. Forsinkelsen ved denne belastningsgraden er på rundt 30 sekunder for den verste bevegelsen. Trafikkmengden på 188 kjt/t i hver svingebevegelse har vært utgangspunktet for de valgte trafikkmengdene i simuleringene.



Figur 54: Belastningsgrad og forsinkelse ved økende trafikkmengde.

## 4. Resultat

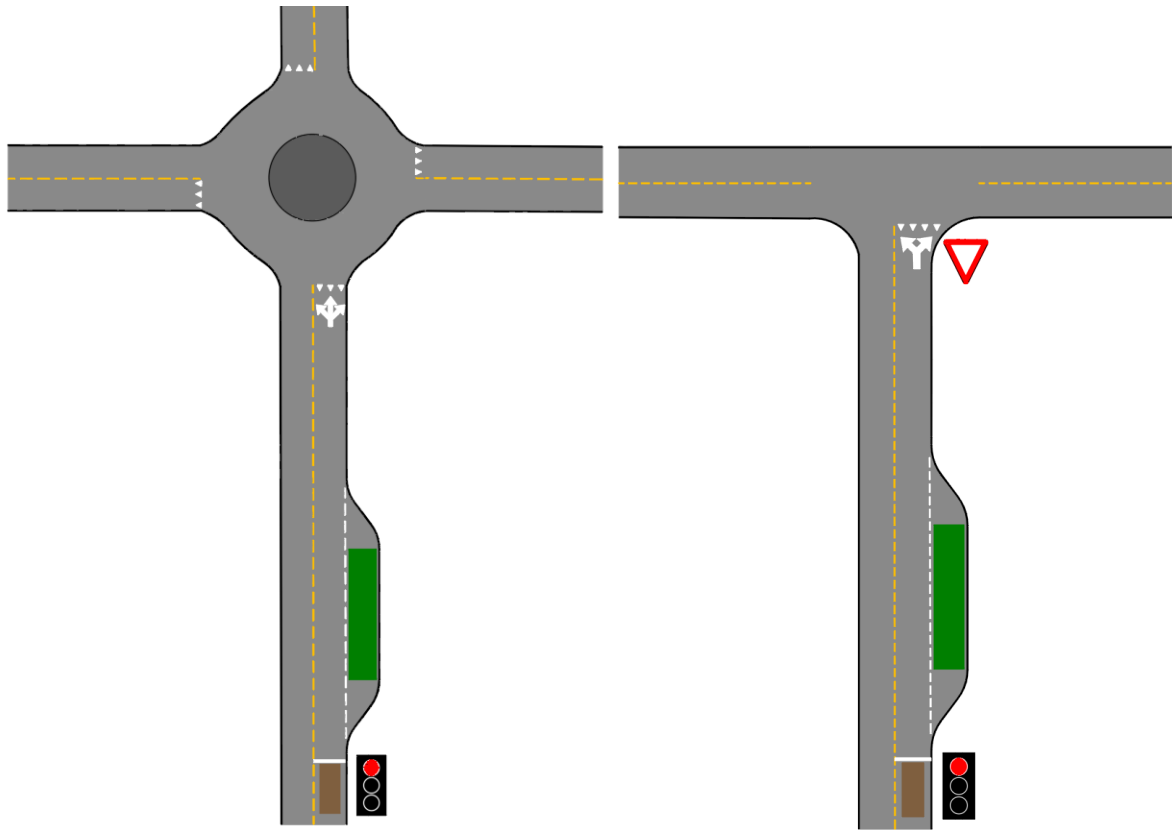
### 4.1 Skissefase

I dette kapitlet presenteres løsningene som ble sett på som mest interessante fra skissefasen. Selv om det ikke ses på tradisjonell signalprioritering ved bruk av forlenget grøntid og forkortet rødtid, vil allikevel signalregulering benyttes på utradisjonelle måter for å få bussen helt frem til krysset eller gjennom krysset. I den ene løsningen blir bussen prioritert i forbindelse med et lyskryss, men den vil prioriteres på en utradisjonell måte ved at den benytter seg av motgående kjørefelt. Løsningen ses derfor på som relevant for oppgaven. Av løsningene som er presentert her var det løsningene «elektronisk busslomme», «elektronisk bussfelt», «elektronisk bussfelt i lyskryss» og «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring» som ble tatt med videre til modellering og simulering i Aimsun.

#### 4.1.1 Elektronisk busslomme

I Figur 55 er løsningen «elektronisk busslomme» illustrert. «Elektronisk busslomme» er en løsning som kun vil gjelde de timene av døgnet hvor det er høyest trafikk, som vil si i morgen- og ettermiddagsrushet. Denne løsningen går ut på at annen trafikk stoppes ved bruk av rødt lys når bussen befinner seg i en busslomme. Dette gjør at bussen slipper å havne bak disse bilene i kø ved innkjøringen til rundkjøringen. Bakgrunnen for denne løsningen er at det ikke er noe poeng å prioritere bussen dersom den senere må kjøre inn i en busslomme og trafikken kan kjøre forbi igjen.

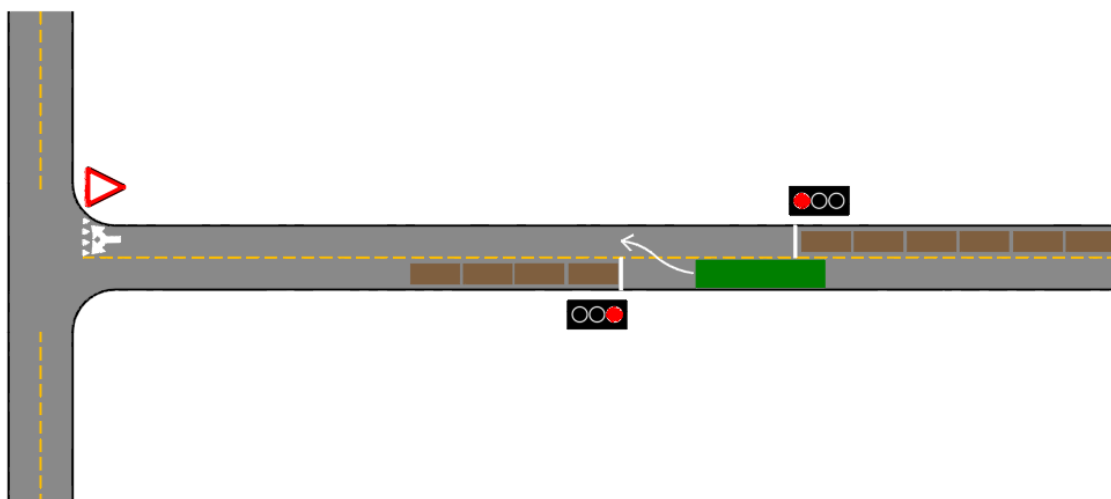
Dette vil i prinsipp fungere ganske likt som et kantstopp, men forskjellen er at løsningen kun vil gjelde noen perioder av døgnet. Ved et kantstopp vil alltid biltrafikken bli påvirket når det er en buss til stede, mens med denne løsningen vil de ikke bli påvirket på de tidene av døgnet hvor det er lite trafikk. Løsningen vil fungere både i forbindelse med rundkjøringer og forkjørregulerte kryss, samt ved lyskryss.



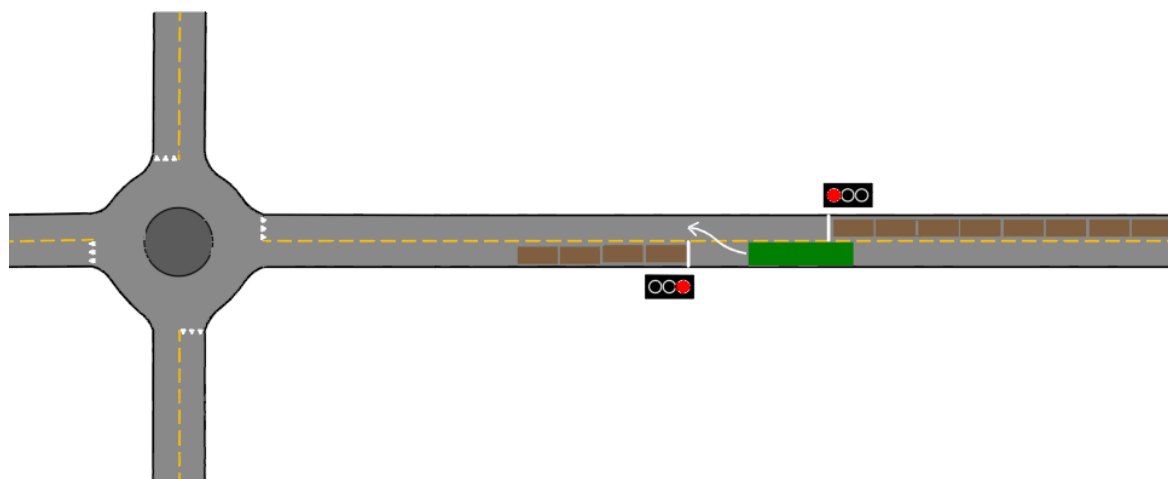
Figur 55: Prinsipp-tegning av elektronisk busslomme før rundkjøring og forkjørsregulert kryss (tegnet i AutoCAD).

#### 4.1.2 Elektronisk bussfelt

Løsningen illustrert i Figur 56 og Figur 57 baserer seg på løsningen som ble testet ut på fv120, Nedre Rælingsveg, i Rælingen kommune i sammenheng med en rundkjøring, samt det elektroniske bussfeltet på Ehrendergerstrasse i Ennetbaden i Sveits. Elektronisk bussfelt er en løsning som kun vil gjelde i de timene av døgnet hvor det er høyest trafikk, som vil si i morgen- og ettermiddagsrushet. Løsningen går ut på at trafikken blir stoppet med rødt lys i begge retninger når en buss detekteres. Når motgående felt er tømt for trafikk, vil bussen kunne bruke dette feltet til å kjøre forbi køen i samme retning. Dette vil kunne gi reduserte forsinkelser for bussen. Løsningen kan benyttes både i forbindelse med forkjørsregulerte kryss og rundkjøringer, samt før lyskryss.



Figur 56: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt før et forkjøringsregulert kryss (tegnet i AutoCAD).

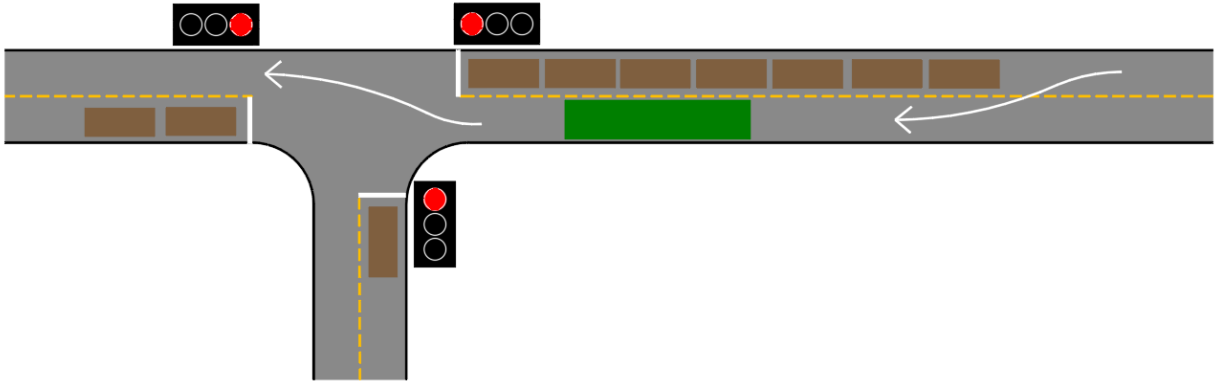


Figur 57: Prinsipptegning av elektronisk bussfelt før en rundkjøring (tegnet i AutoCAD).

#### 4.1.3 Elektronisk bussfelt i lyskryss

Løsningen i Figur 58 baserer seg på de elektroniske bussfeltene som er etablert i Rapperswil-Jona og på Artherstrasse i Zug i Sveits. Løsningen går ut på at trafikken i alle retninger i et lysregulert kryss får rødt lys og at bussen da kan kjøre forbi køen i motgående kjørefelt. I denne løsningen vil bussen prioriteres i et lyskryss, men det vil være en utradisjonell måte å prioritere på ved at bussen bruker motgående felt for å komme seg forbi bilkøen og løsningen vil derfor være relevant for denne oppgaven.

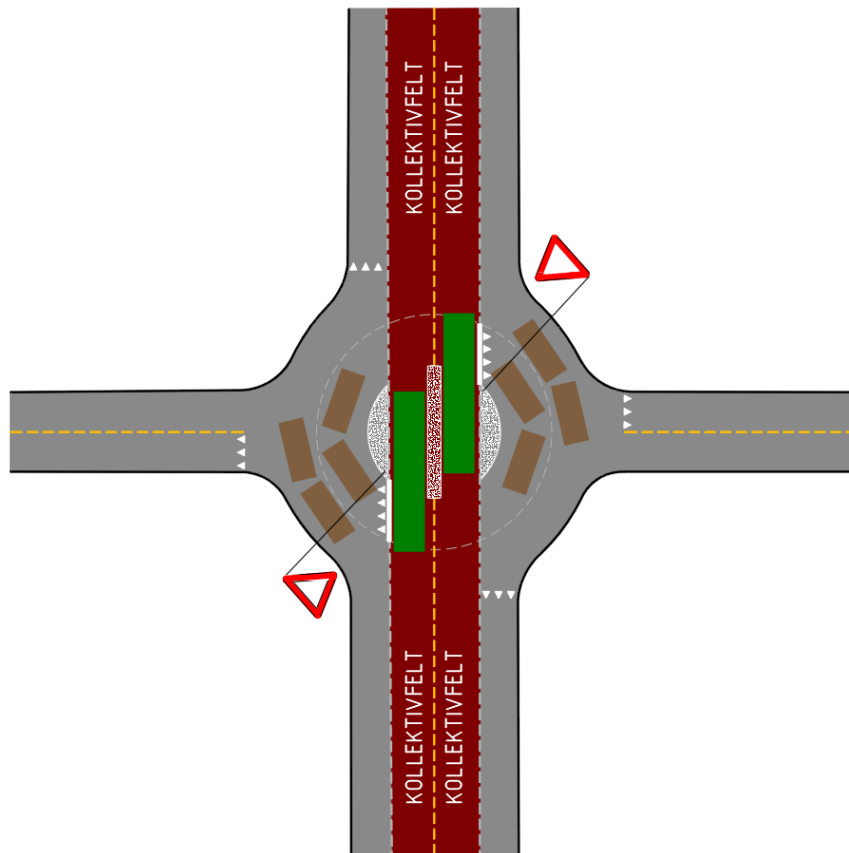




Figur 58: Prinsipp tegning av elektronisk bussfelt i lyskryss (tegnet i AutoCAD).

#### 4.1.4 Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring

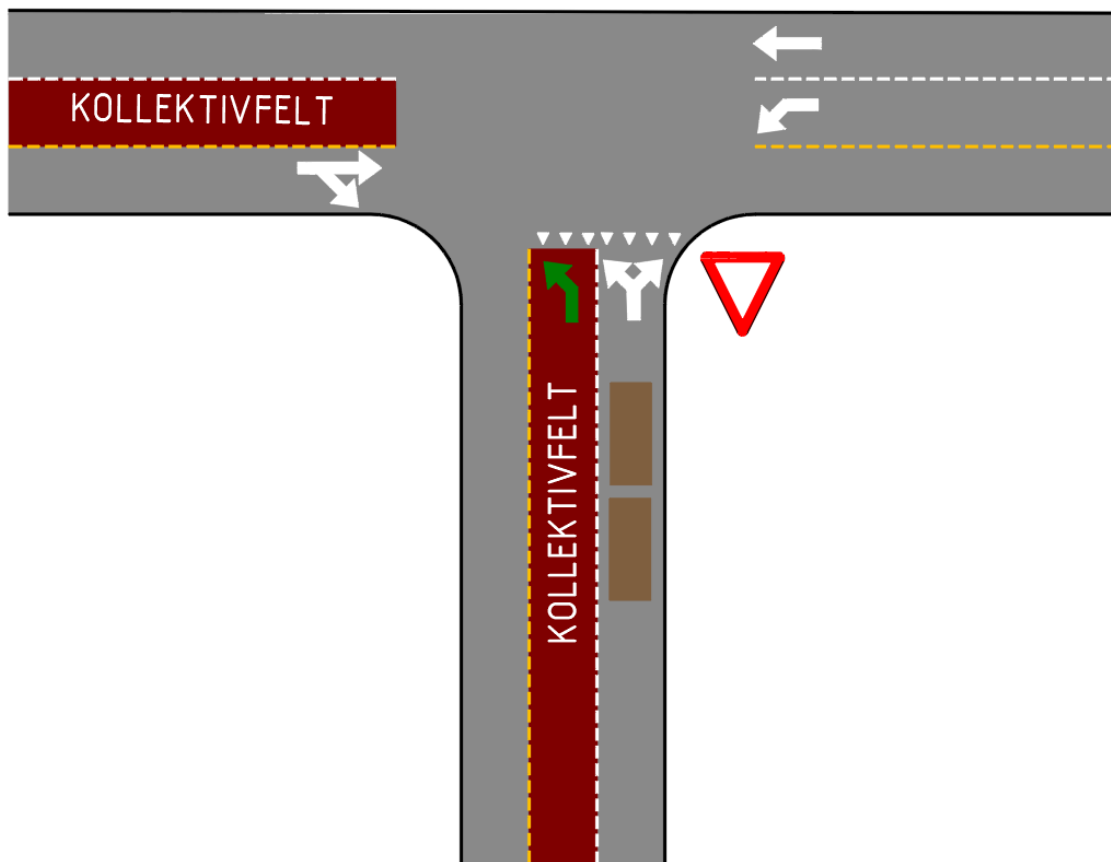
I løsningen i Figur 59 er det midtstilte kollektivfelt i armene på begge sider av rundkjøringen, og disse føres videre gjennom sentraløya. Her vil bussene ha forkjørsrett, og den sirkulerende trafikken i rundkjøringen vil da få vikeplikt for de kryssende bussene. Her vil det bare være trafikken som skal krysse kollektivfeltene som må vike for bussen, mens trafikken som skal rett frem i samme retning som bussen og til høyre vil kunne kjøre uten å måtte stoppe opp.



Figur 59: Prinsipp tegning av buss gjennom sentraløya i rundkjøring, trafikk som krysser kollektivfeltene har vikeplikt for bussen (tegnet i AutoCAD).

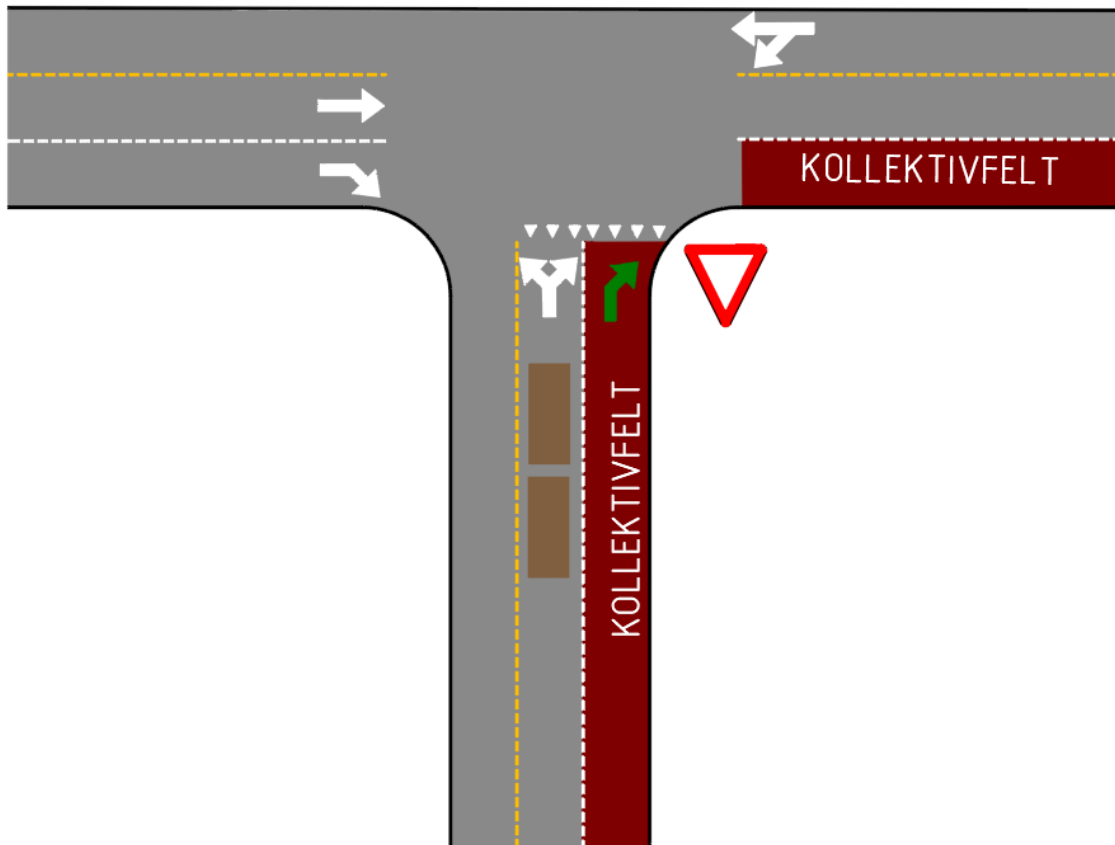
#### 4.1.5 Buss føres helt frem i forkjøringsregulert kryss

Venstresving inn på forkjøringsveg vil ofte kunne skape mye kø og forsinkelse. I løsningen i Figur 60 er det derfor valgt å prioritere bussen som skal svinge til venstre helt frem til krysset ved bruk av kollektivfelt slik at den unngår å stå i bilkøen. Vanligvis er det slik at kollektivfeltet avsluttes en stund før krysset, og at det deretter blir blandet trafikk. Dette fører til at bussen havner i kø sammen med biltrafikken. Målet med denne løsningen er derfor å unngå forsinkelsene i forbindelse med køen før krysset. I denne løsningen vil også bussen slippe konflikten med trafikken som skal rett frem på forkjøringsvegen, noe som vil kunne føre til at det blir lettere for bussen å komme seg ut i krysset, som igjen vil føre til reduserte forsinkelser. Det vil kunne føles unaturlig for bussen å kjøre ut i krysset og inn i kollektivfeltet når det kommer trafikk fra høyre, og det er derfor mulig at dette bør merkes tydeligere.



Figur 60: Prinsipp tegning av forkjøringsregulert kryss hvor buss føres helt frem i venstresvingefelt (tegnet i AutoCAD).

I løsningen i Figur 61 vil bussen kjøre til høyre i krysset, og kollektivfeltet føres da helt frem for å unngå at bussen må stå i bilkøen. Det er likevel ikke sikkert at det er nødvendig at bussen har et eget felt, da høyresvingen er relativt rask. Det kan være det er like greit å blande bussen og biltrafikken. De som kjører bil, kan også synes at det er unaturlig å ikke legge seg over i høyre felt når de skal til høyre. I denne løsningen vil bussen få null forsinkelse da den vil bevege seg utenom selve krysset.

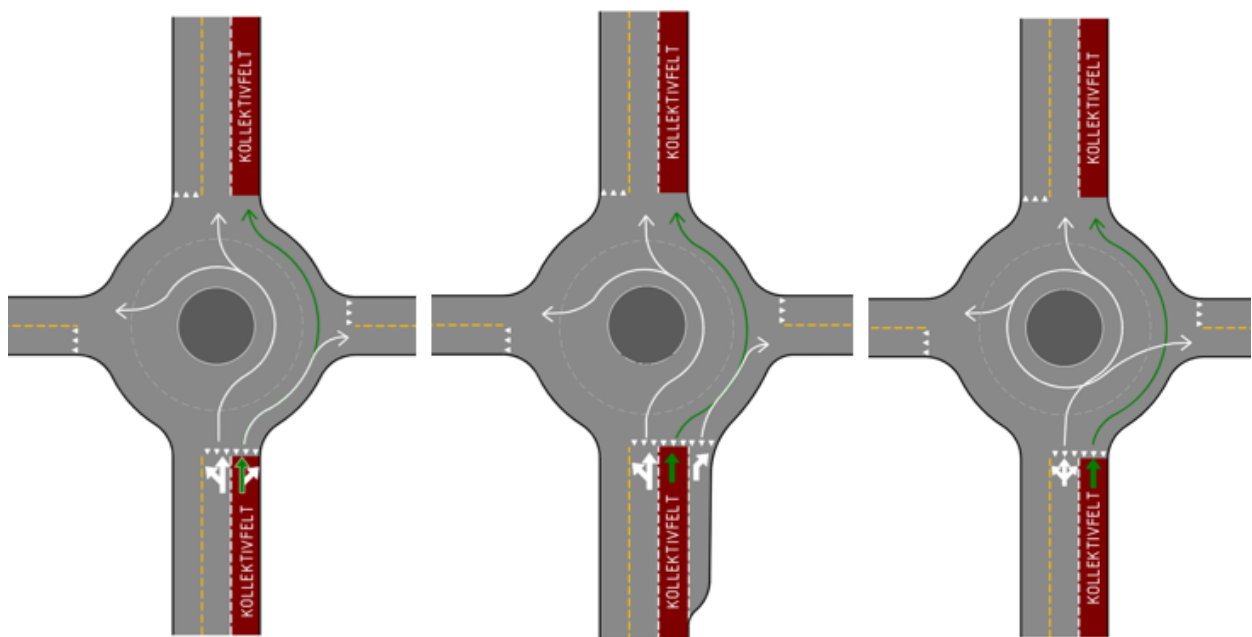


Figur 61: Prinsipp-tegning av forkjørsregulert kryss hvor buss føres helt frem i høyresvingefelt (tegnet i AutoCAD).

#### 4.1.6 Buss føres helt frem i rundkjøring

Vanligvis er det slik at kollektivfeltet avsluttes før rundkjøringen, og at det fra det punktet blir blandet trafikk. Dette gjør at bussen kan havne i kø bak bilene før rundkjøringen, og dermed få økt forsinkelse. I løsningen i Figur 62 vil bussen få et eget kollektivfelt helt frem til rundkjøringen og kan da kjøre forbi bilkøen.

Et sidestilt kollektivfelt som føres helt frem til rundkjøringen vil kunne føre til konflikter med biler, da spesielt de som skal svinge av til høyre. Det er derfor sett på tre ulike løsninger for de høyresvingende. Dette er enten at de må ta en runde i rundkjøringen, at de får et eget felt på høyre side av kollektivfeltet og da må krysse kollektivfeltet eller at de benytter seg av kollektivfeltet. At høyresvingende må ta en ekstra runde i rundkjøringen fører til noe økt forsinkelse. Det kan godt hende at det ikke er noe problem om de tar til høyre med en gang i stedet for å kjøre en runde, og dette bør derfor vurderes. Dersom det etableres et høyresvingefelt ved siden av kollektivfeltet, må bilene vike for bussen før de kan bytte felt, og bussen vil da ha fri bane frem til rundkjøringen. Det kan også være en mulighet at høyresvingende trafikk benytter seg av kollektivfeltet uten at dette fører til store forsinkelser for bussen, men det kan være vanskelig å få gjennomslag for en slik løsning. De ulike løsningene for høyresvingende trafikk er vist i Figur 62.

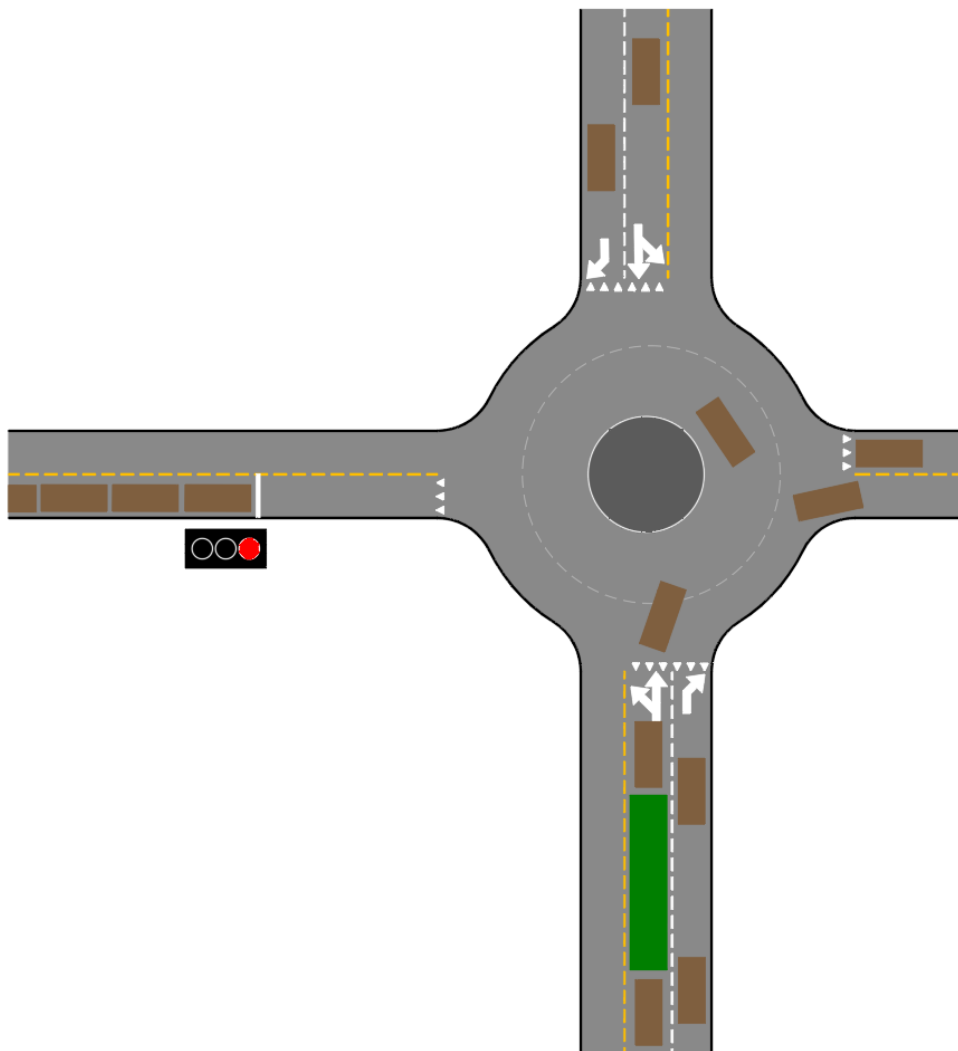


Figur 62: Prinsipp tegning av rundkjøring hvor buss føres helt frem med kollektivfelt (tegnet i AutoCAD).

#### 4.1.7 Tilfartskontroll i rundkjøring

Løsningen i Figur 63 går ut på å stoppe trafikken i den retningen som vil skape flest konflikter med bussen ved bruk av tilfartskontroll. Dette fører til at det blir lettere for bussen og annen trafikk å komme seg ut i rundkjøringen, som igjen vil gi mindre kø og forsinkelse. Løsningen bør bare bli brukt når det er nødvendig, for eksempel i rushtiden. Denne løsningen kan benyttes både i rundkjøringer og forkjørsregulerte kryss. For at løsningen skal ha noen effekt må det være relativt stor trafikk i tilfarten hvor tilfartskontrollen plasseres.

Tilfartskontrollen plasseres før rundkjøringen, da det vil kunne være forvirrende dersom signalregulering og vikepliktsskilt blir plassert samme sted. Dette er fordi bilistene kan tro at grønt lys betyr at de kan kjøre ut i rundkjøringen uten at de har vikeplikt for sirkulerende trafikk, noe som kan skape farlige situasjoner.



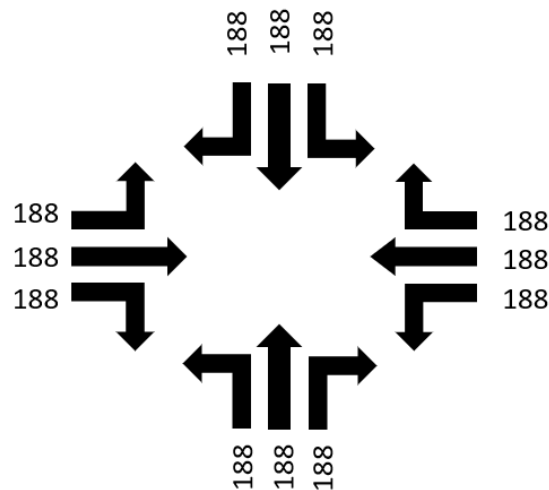
Figur 63: Prinsipp tegning av tilfartskontroll i rundkjøring (tegnet i AutoCAD).

## 4.2 Trafikksimulering

Som tidligere nevnt ble det valgt å gå videre med løsningene «elektronisk busslomme», «elektronisk bussfelt», «elektronisk bussfelt i lyskryss» og «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring». Disse løsningene har blitt modellert i Aimsun, og det har blitt gjennomført simuleringer ved ulike trafikkmengder, bussfrekvenser og avstander for å vurdere hvordan dette påvirker løsningene. Hva som er blitt testet i de ulike løsningene er vist i kapittel 3.3.2. Resultatet fra simuleringene er presentert i kapittel 4.2.1 til kapittel 4.2.4, og er gjennomsnittet av 10 replikasjoner. Videre er resultatene diskutert i kapittel 5. Modeller for de ulike løsningene er lagt ved i komprimert mappe.

### 4.2.1 Elektronisk busslomme

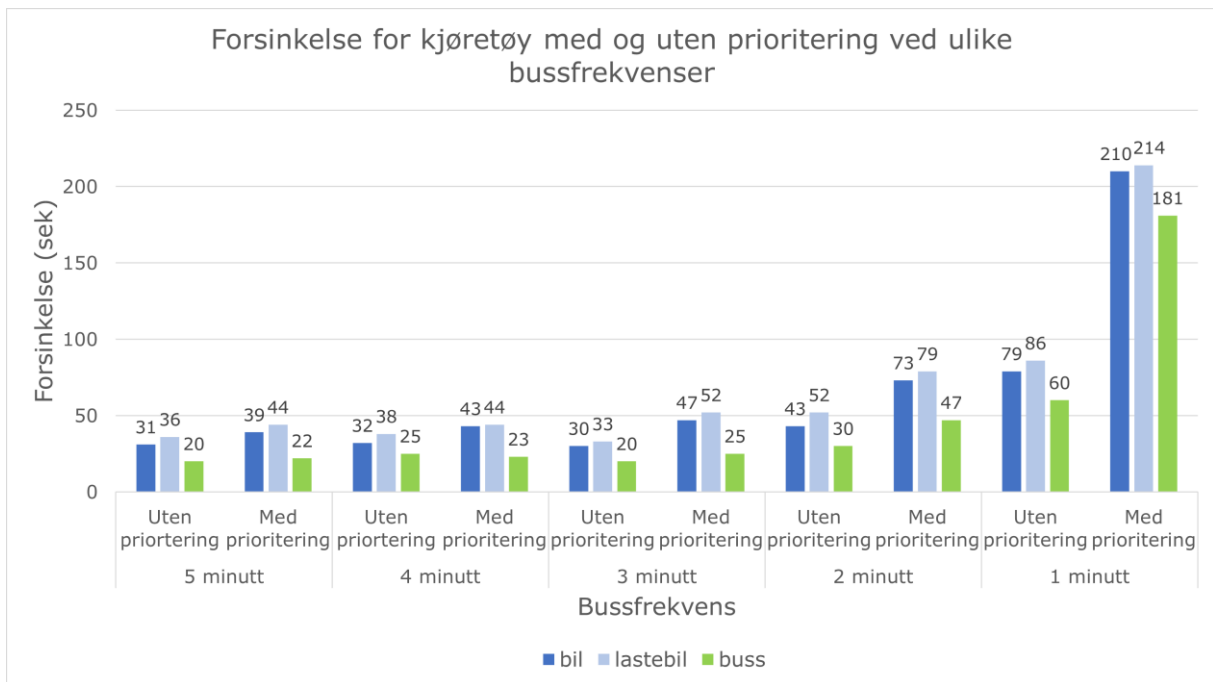
I Figur 65-Figur 68 vises forsinkelse for bil, lastebil og buss både med og uten prioritering av bussen ved ulike avstander før rundkjøringen og ved ulike bussfrekvenser. Det er brukt en trafikkmengde på 188 kjt/t for alle svingebevegelser, se Figur 64.



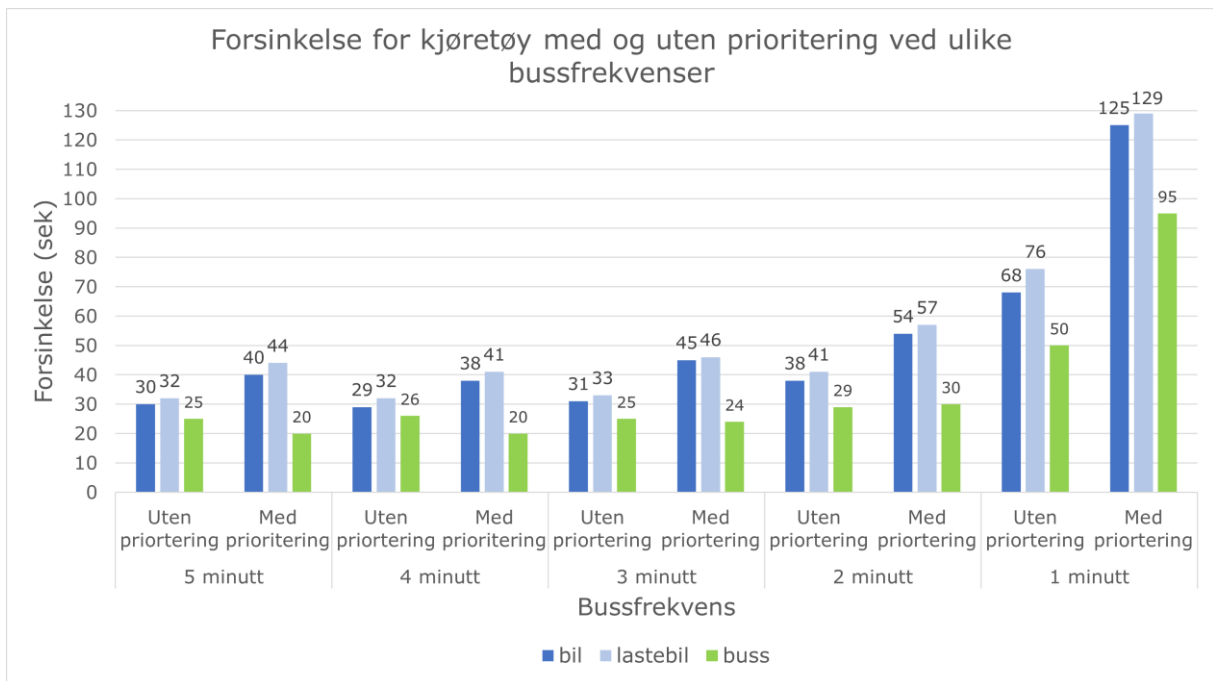
Figur 64: Brukt trafikkmengde i løsningen «elektronisk busslomme».

Fra resultatene ser det ut til at bussen ikke tjener noe på tiltaket dersom busslommen plasseres 50 meter før rundkjøringen. Det ser også ut til at bussen får størst besparelser dersom busslommen plasseres 150 meter eller 200 meter før rundkjøringen, hvor bussen maksimalt tjener 8 sekunder på tiltaket. Fra resultatene kommer det frem at løsningen vil gi besparelser for bussen ved en høyere bussfrekvens når busslommen plasseres 150 meter eller 200 meter før rundkjøringen fremfor 100 meter. Ved en avstand på 150 meter og 200 meter vil bussen tjene på tiltaket ved en bussfrekvens på 5 minutter, 4 minutter, 3 minutter og 2 minutter, men dersom bussfrekvensen blir så hyppig som et minutt vil bussen tape på tiltaket. Dersom busslommen er plassert 100 meter før rundkjøringen vil bussen få besparelser dersom bussfrekvensen er 5 minutter og 4 minutter.

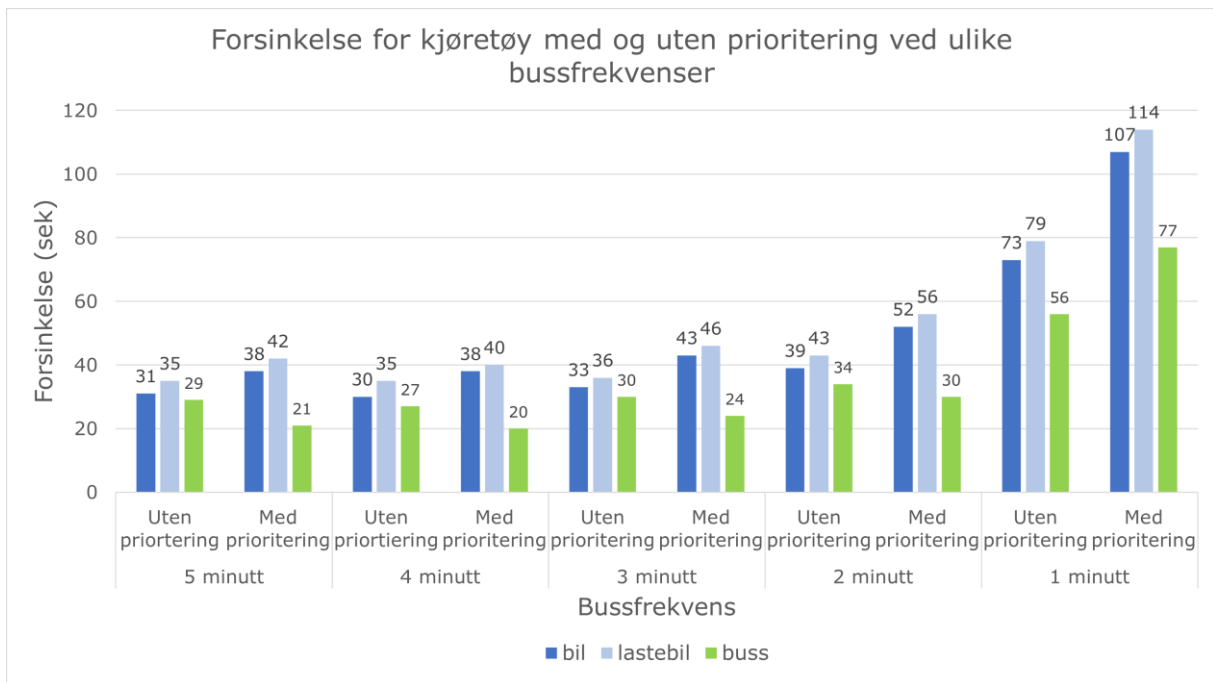
Dersom man ser på forsinkelsen til annen trafikk for de bussfrekvensene hvor bussen tjener på tiltaket, er forskjellen i forsinkelse med og uten prioriteringstiltak for annen trafikk relativt liten.



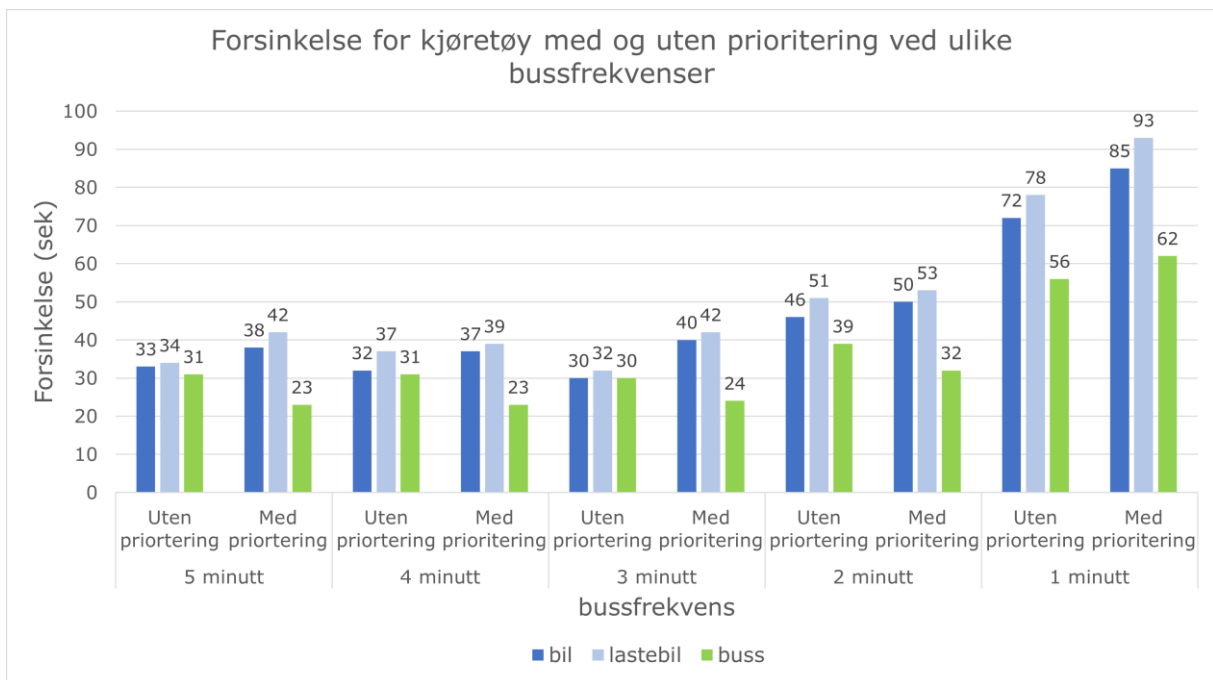
Figur 65: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand for rundkjøringen på 50 meter.



Figur 66: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand for rundkjøringen på 100 meter.



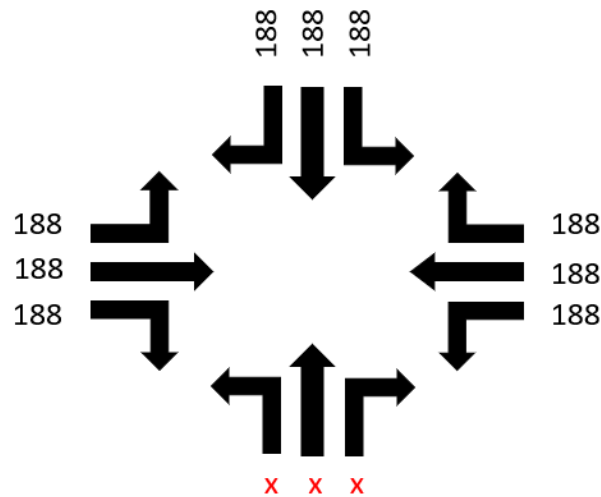
Figur 67: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 150 meter.



Figur 68: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser for en avstand før rundkjøringen på 200 meter.

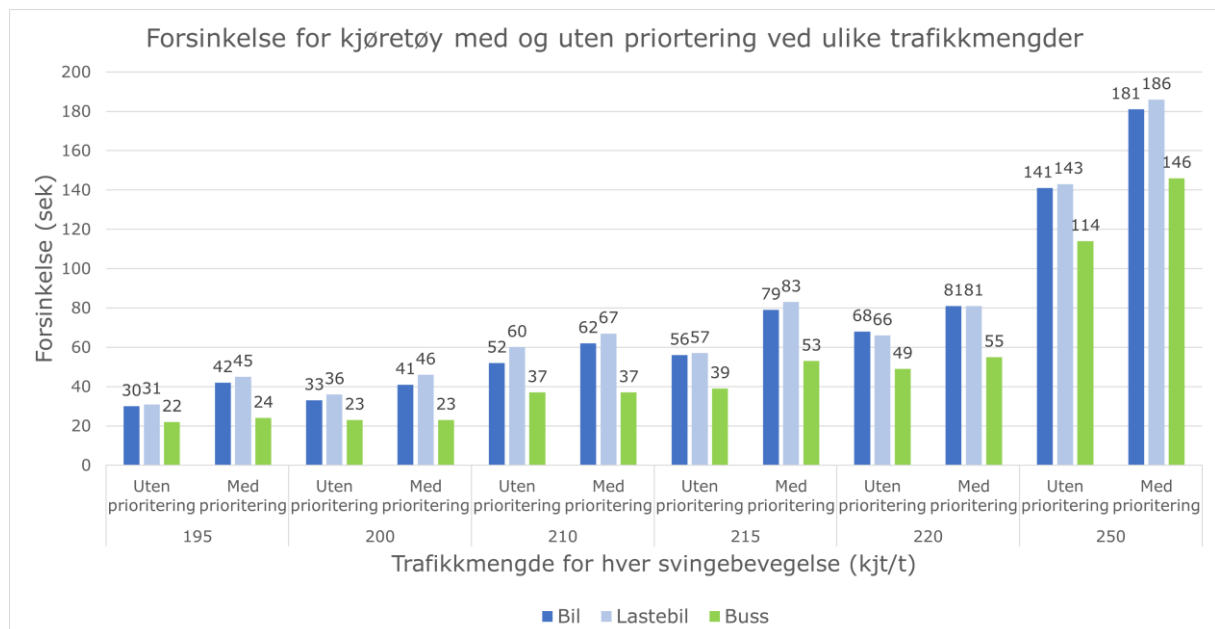


I Figur 70-Figur 73 vises forsinkelse for bil, lastebil og buss etter hvert som trafikkmengden øker. Trafikkmengden er satt til 188 kjt/t for alle svingebevegelser utenom svingebevegelesene som kommer fra samme retning som bussen (rød x i Figur 69). Her er trafikkmengden økt fra 195 kjt/t til 250 kjt/t for alle svingebevegelser, og det er sett på hvordan dette påvirker forsinkelsene. Her er bussfrekvensen satt til 5 minutter.

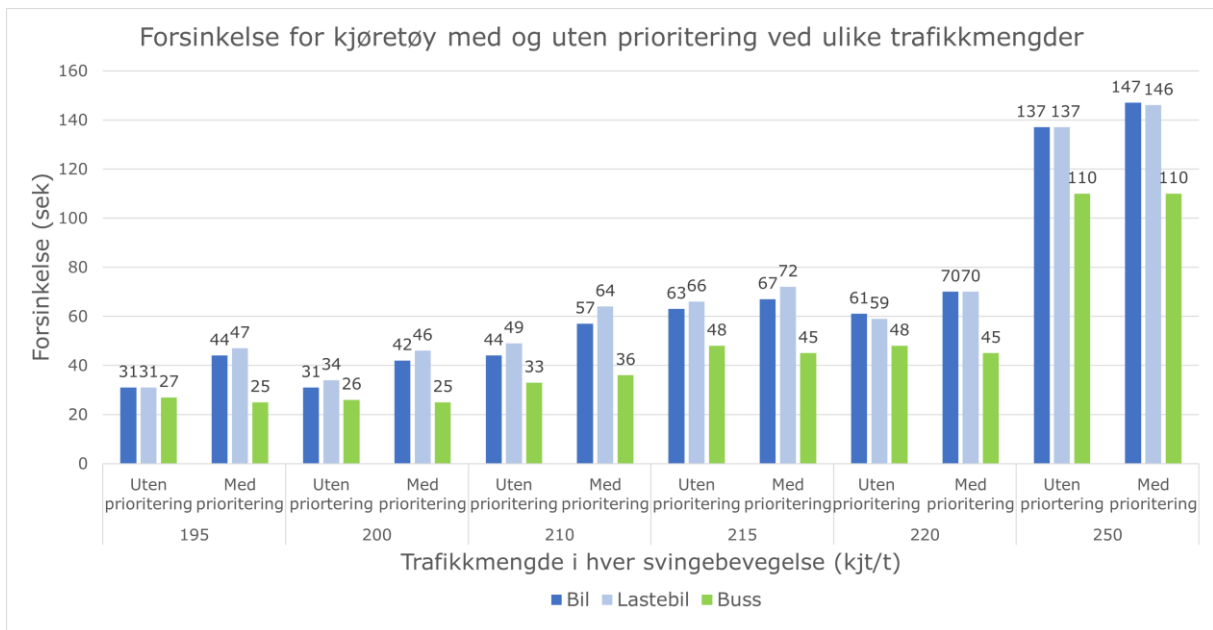


Figur 69: Trafikkmengder i løsningen «elektronisk busslomme».

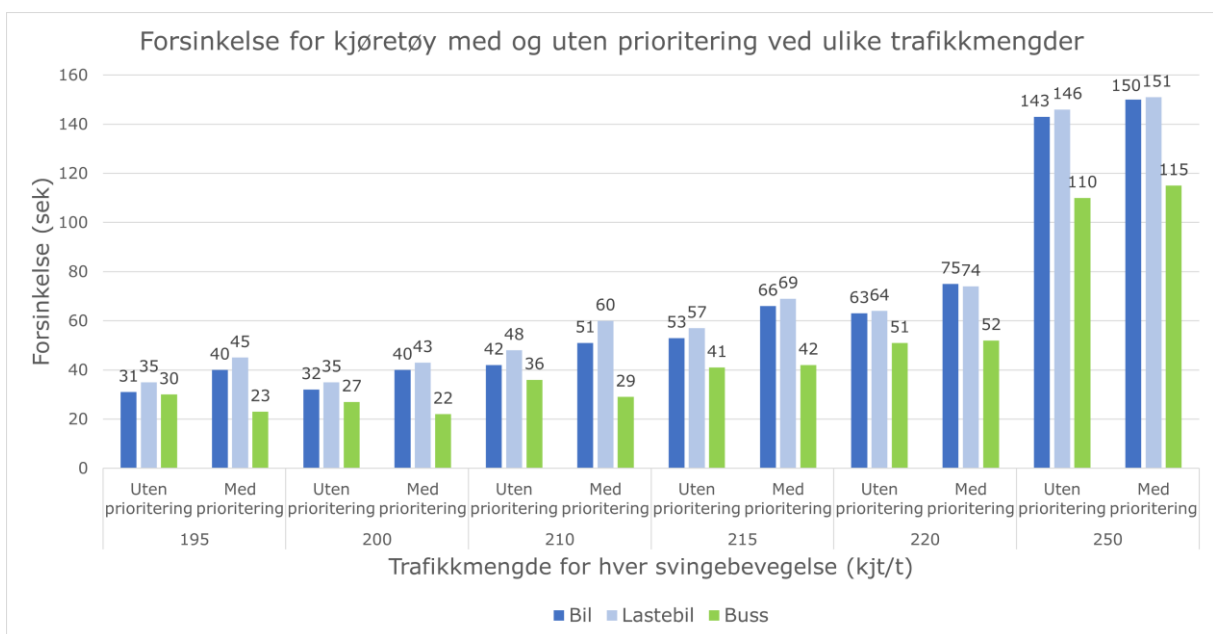
Resultatene viser at dersom busslommen plasseres 50 meter før rundkjøringen vil ikke bussen tjene på tiltaket ved noen av trafikkmengdene. Det samme gjelder dersom busslommen plasseres 100 meter før rundkjøringen. Dersom busslommen plasseres 150 meter eller 200 meter før rundkjøringen kan bussen tjene på tiltaket, men etter hvert som trafikkmengden øker vil bussen gå over til å ikke tjene på tiltaket lengre.



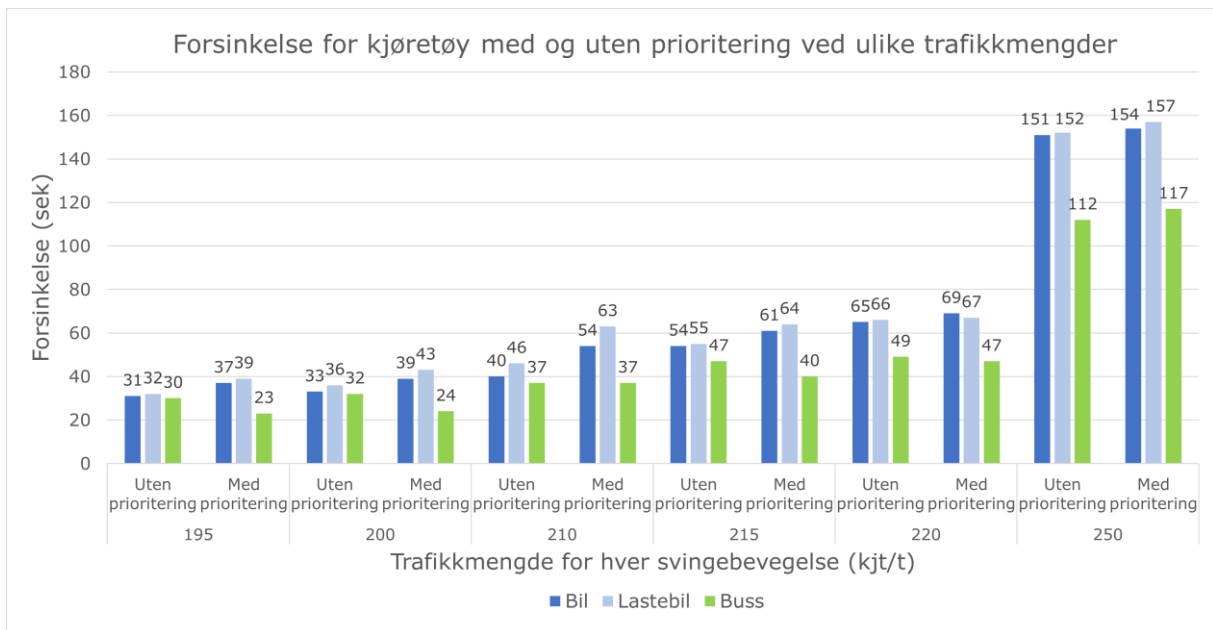
Figur 70: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 50 meter (5 min bussfrekvens).



Figur 71: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 100 meter (5 min bussfrekvens).



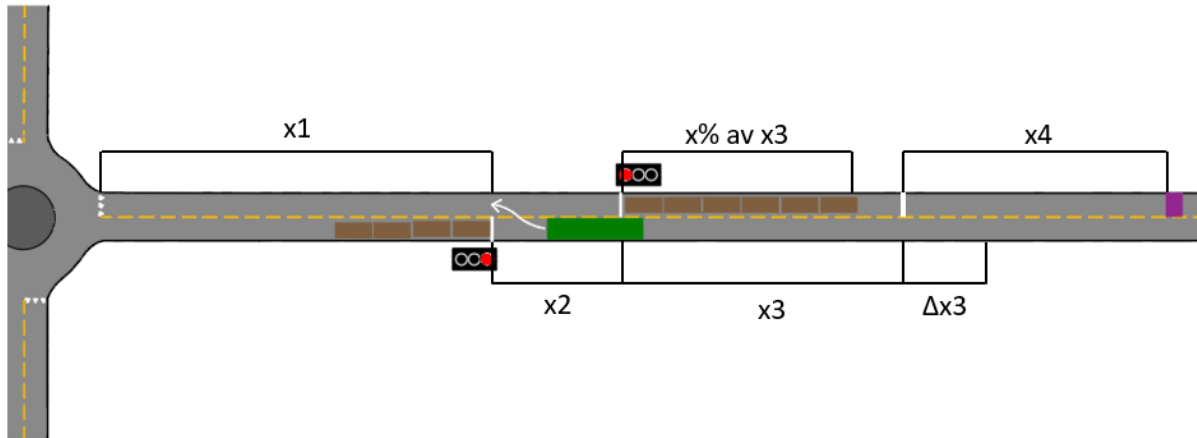
Figur 72: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 150 meter (5 min bussfrekvens).



*Figur 73: Forsinkelse med og uten prioritering for ulike trafikkmengder med avstand fra rundkjøringen på 200 meter (5 min bussfrekvens).*

## 4.2.2 Elektronisk bussfelt

Figur 74 og Tabell 6 viser de ulike avstandene som påvirker hvordan løsningen «elektronisk bussfelt» fungerer. Avstanden fra lysregulering i motgående felt til slutten på det elektroniske bussfeltet,  $x_2$ , er satt til 24 meter. Dette er fordi det vil være omtrentlig lengde på en dobbelleddbuss.



Figur 74: Avstander for elektronisk bussfelt.

Tabell 6: Beskrivelse av avstander for elektronisk bussfelt.

<b>X1</b>	Avstand fra kryss til lysregulering i motgående felt
<b>X2</b>	Avstand fra lysregulering i motgående felt til elektronisk bussfelt slutt (satt til 24 meter som er omtrentlig lengde på en dobbelleddbuss)
<b>X3</b>	Lengde på elektronisk bussfelt
<b>X4</b>	Avstand fra detektor til start på elektronisk bussfelt
<b>Δx3</b>	Område før elektronisk bussfelt hvor bussen kan kjøre over i motgående felt

### Formler for oppbygging av kø ved signalregulering

I Tabell 7 vises formler for beregning av rødtid, avstand til detektor og antall biler i kø, og i Tabell 8 er formlene beskrevet. Her ser man at antallet biler bussen kan kjøre forbi vil avhenge av lengden på det elektroniske bussfeltet ( $x_3$ ). Et lengre elektronisk bussfelt, vil gi flere biler. Ser også at rødtiden ( $T_R$ ) påvirkes av lengden på det elektroniske bussfeltet. Et lengre elektronisk bussfelt vil gi lengre rødtid.

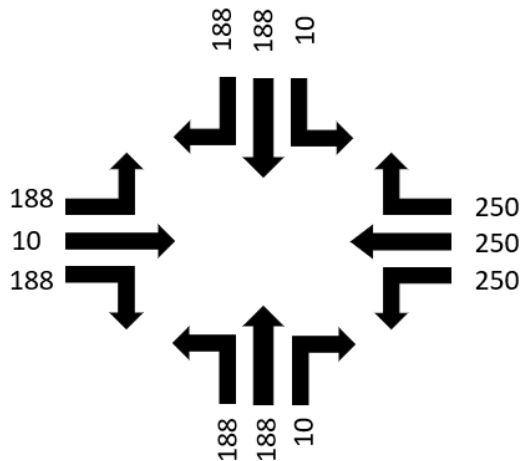
Tabell 7: Formler for køoppbygging ved signalregulering.

Beskrivelse	Formel
Tiden det tar å fylle opp x% av det elektroniske bussfeltet	$T_1 = \frac{x\% * x3}{\omega} = \frac{x\% * x3}{\frac{q}{k}}$
Tiden det tar for bussen å kjøre gjennom det elektroniske bussfeltet	$T_2 = \frac{x2 + x3}{v_{buss}}$
Røddtid	$T_R = T_1 + T_2$
Avstand fra start på elektronisk bussfelt til detektor	$x4 = T_1 * \frac{v_{buss}}{3,6}$
Maksimalt antall biler i kø	$N_{maks} = \frac{x3}{L_b}$
Antall biler i kø ved x% fullt bussfelt	$N_{x\%} = \frac{x\% * x3}{L_b}$

Tabell 8: Beskrivelse av formler.

<b>T<sub>1</sub></b>	Tiden det tar å fylle x% av det elektroniske bussfeltet
<b>T<sub>2</sub></b>	Tiden det tar for bussen å kjøre gjennom det elektroniske bussfeltet
<b>T<sub>R</sub></b>	Røddtid
<b>V<sub>buss</sub></b>	Hastighet til bussen (50 km/t er standardverdien i Aimsun)
<b>ω</b>	Hastighet til køen
<b>N<sub>maks</sub></b>	Maksimalt antall biler i elektronisk bussfelt
<b>N<sub>x%</sub></b>	Antall biler ved x% fullt elektronisk bussfelt
<b>L<sub>b</sub></b>	Avstand mellom biler, fra front til front
<b>q</b>	Trafikkintensitet
<b>k</b>	Tetthet

Under simuleringene viste det seg at bussen stoppet opp før det elektroniske bussfeltet dersom køen beveget seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Det ble derfor valgt å teste løsningen ved å sette detektoren helt ved starten på det elektroniske bussfeltet slik at bussen alltid ble prioritert uavhengig av hvor lang køen var oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Det ble lagt inn mye trafikk, slik at bussen kunne kjøre forbi en god del biler. I motgående kjørefelt er trafikken satt til et lavt tall slik at det ikke blir blokkeringer i krysset. I Figur 75 vises hvilke trafikkmengder som er benyttet.



Figur 75: Brukte trafikkmengder i løsningen «elektronisk bussfelt»

Fra Tabell 9, Tabell 10 og Tabell 11 ser det ut til at bussen vil kunne tjene mye på å bli prioritert ved bruk av elektronisk bussfelt. Ser også at bussen vil tjene mer på tiltaket jo lengre bussfeltet er.

100 meter bussfelt (x3):

Tabell 9: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 100 meter langt bussfelt.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	61	98	37

200 meter bussfelt (x3):

Tabell 10: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 200 meter langt bussfelt.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	56	103	47

300 meter bussfelt (x3):

Tabell 11: Forsinkelse for buss med og uten prioritering ved 300 meter langt bussfelt.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	40	107	67

I Tabell 12, Tabell 13 og Tabell 14 vises forsinkelse for buss, bil og lastebil ved økende avstand før rundkjøring. Ser her at annen trafikk vil få mindre forsinkelser dersom det elektroniske bussfeltet plasseres lengre før rundkjøringen.

### 30 meter før rundkjøring (x1):

Tabell 12: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 30 meter.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	56	103	47
Bil	132	116	16
Lastebil	130	111	19

### 50 meter før rundkjøring (x1):

Tabell 13: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 50 meter.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	55	104	49
bil	124	115	9
lastebil	121	112	9

### 100 meter før rundkjøring (x1):

Tabell 14: Forsinkelse med og uten prioritering for en avstand før rundkjøringen på 100 meter.

Kjøretøy	Forsinkelse (sekund)		
	Med prioritering	Uten prioritering	Differanse
Buss	61	103	42
bil	120	115	5
lastebil	117	112	5

### **Avbrutt prioritering ved kø oppstrøms elektronisk bussfelt**

Løsningen ble også testet ved at prioriteringen ble avbrutt dersom køen beveget seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Formlene for beregning av rødtid og avstand til detektor ble benyttet, hvor det ble beregnet for ett 100% fullt bussfelt for ulike trafikkmengder og ulike lengder på bussfeltet. Tettheten ( $k_1$ ) ble satt til 60 kjt/km.

Det ble først sett på hvordan forsinkelsene for buss er når den blir prioritert og når prioriteringen blir avbrutt. I Tabell 15 vises forsinkelse for bussen i eller langs det elektroniske bussfeltet når bussen prioriteres og når prioriteringen blir avbrutt (se Figur 76). Her er det brukt en trafikkmengde på 220 kjt/t i hver svingebevegelse i bussens kjøreretning. Resultatene viser at når bussen prioriteres vil bussen ikke bli forsinket, da det kun er bussen som benytter seg av det elektroniske bussfeltet. Når prioriteringen derimot avbrytes vil bussen kunne få relativt store forsinkelser, da det er en saktekjørende kø som beveger seg oppstrøms bussfeltet. Det elektroniske bussfeltet vil da være helt fullt. Ser her at forsinkelsene vil øke med lengre elektronisk bussfelt.

## Prioritering



## Avbrutt prioritering

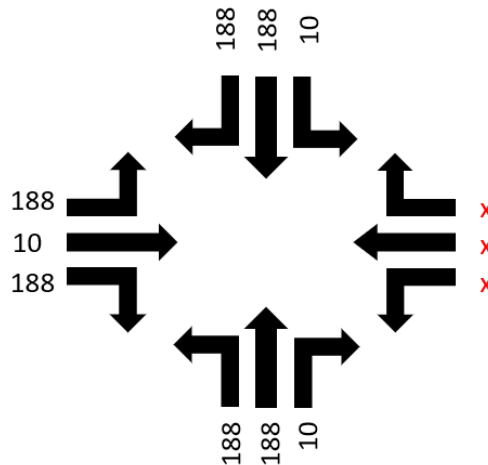


Figur 76: Strekning hvor det er sett på forsinkelse ved prioritering og avbrutt prioritering (rødt område).

Tabell 15: Forsinkelse i eller langs elektronisk bussfelt ved prioritering og avbrutt prioritering.

Lengde bussfelt (meter)	Forsinkelse buss - avbrutt prioritering (sekund)	Forsinkelse buss - prioritering (sekund)
100	43	0
200	82	0
300	132	0

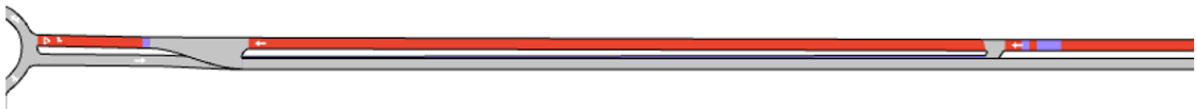
Løsningen ble videre testet med ulike trafikkmengder i bussens kjøreretning (rød x i Figur 77), ulike lengder på det elektroniske bussfeltet og ulike avstander før rundkjøringen. De ulike lengdene på det elektroniske bussfeltet (x3) ble testet ved en avstand før rundkjøringen på 30 meter (x1). De ulike avstandene fra rundkjøringen (x1) ble testet ved et elektronisk bussfelt på 200 meter (x3). Her ble det sett på forsinkelser på hele strekningen før rundkjøringen, det vil si før det elektroniske bussfeltet, i eller langs det elektroniske bussfeltet og etter det elektroniske bussfeltet frem til bussen kjører ut i rundkjøringen. Hvor det er sett på forsinkelse er vist i Figur 78.



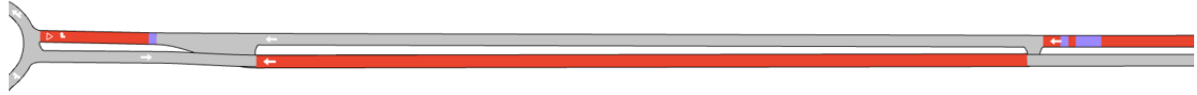
Figur 77: Trafikkmengder som er brukt i løsningen «elektronisk bussfelt».



Forsinkelse – bil, lastebil og ikke prioritert buss

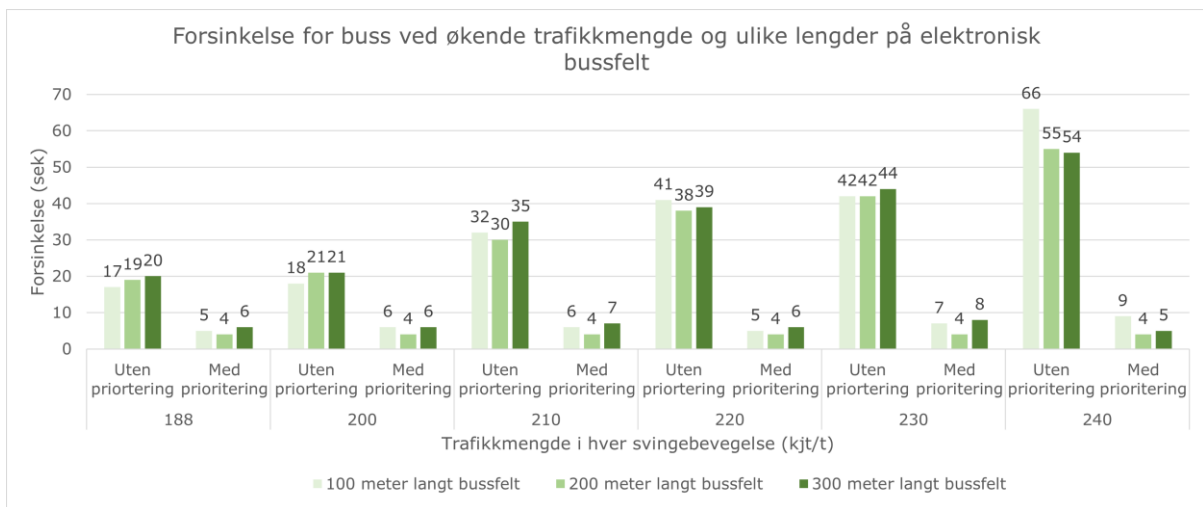


Forsinkelse – prioritert buss

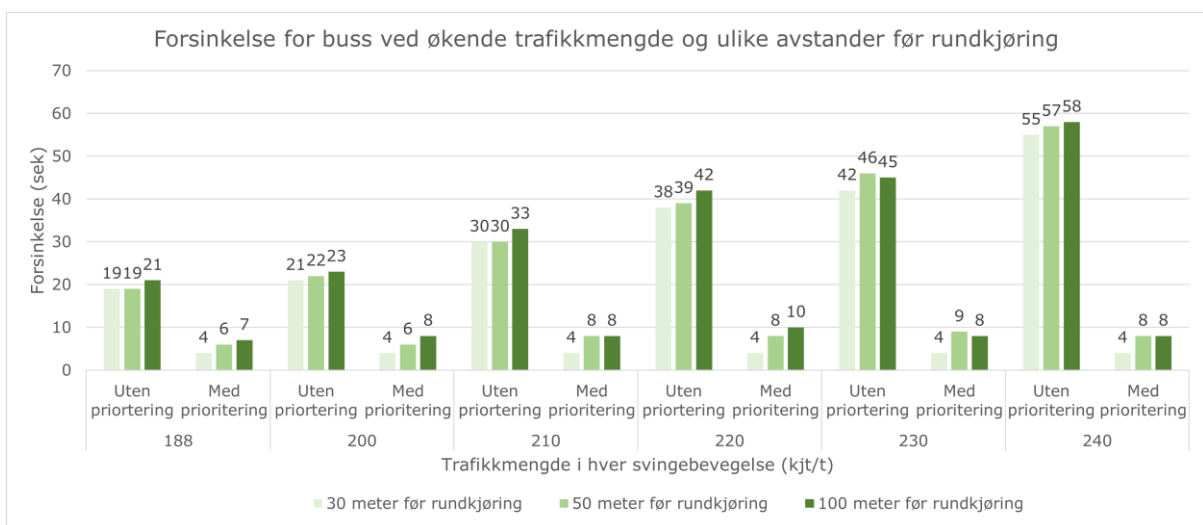


Figur 78: Strekninger det er hentet ut forsinkelse fra (røde områder).

Ut ifra resultatene ser det ut til at bussen vil kunne redusere forsinkelsene sine. Fra simuleringene ser det ut til at bussen får forsinkelser på maksimalt 10 sekunder dersom den blir prioritert, se Figur 79 og Figur 80. Dette gjaldt for alle trafikkmengder, lengder på elektronisk bussfelt og avstander før rundkjøring som er testet ut.

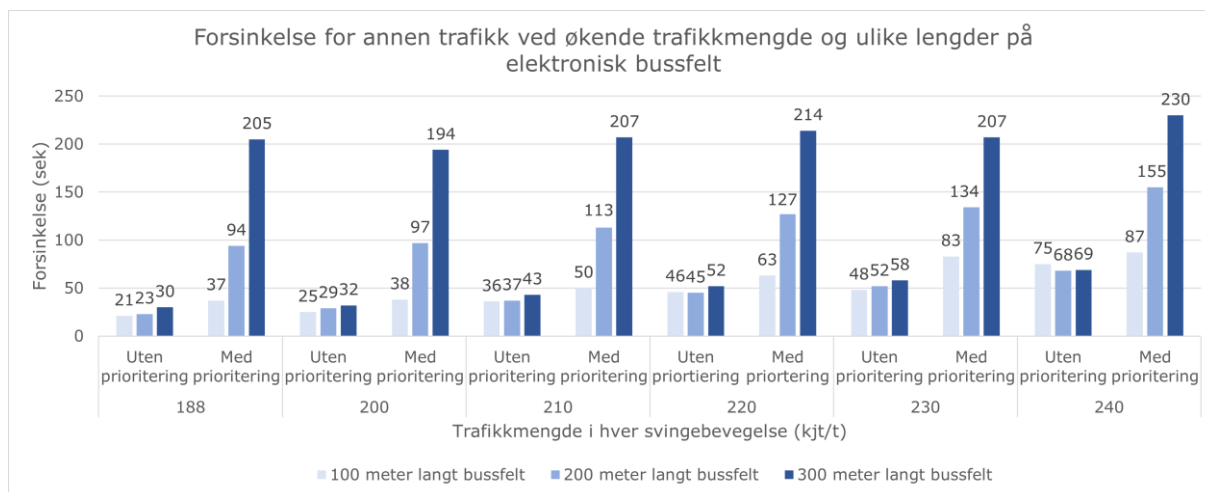


Figur 79: Forsinkelse for buss ved økende trafikkmengde og ulike lengder på elektronisk bussfelt.

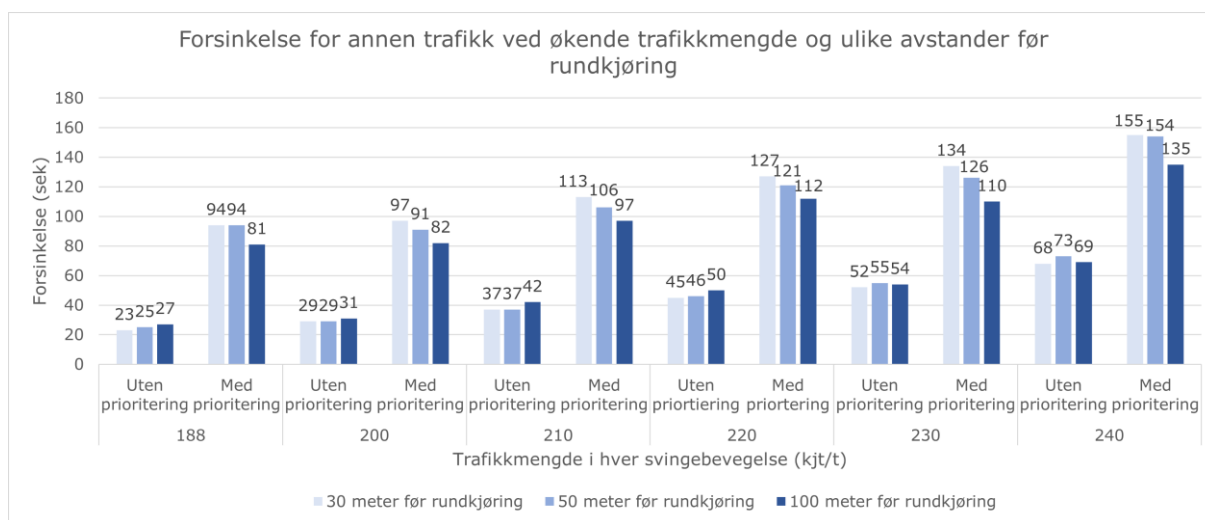


Figur 80: Forsinkelse for buss ved økende trafikkmengde og ulike avstander før rundkjøring.

Ut ifra resultatene vil annen trafikk kunne få en relativt stor økning i forsinkelse når bussen prioriteres. Fra resultatene ser det ut til at et lengre bussfelt fører til større forsinkelser for annen trafikk i bussens kjøreretning, se Figur 81. I Figur 82 er det også blitt testet for ulike avstander før rundkjøringen, hvor det ser ut til at annen trafikk får mindre forsinkelser dersom det elektroniske bussfeltet plasseres i større avstand fra rundkjøringen.



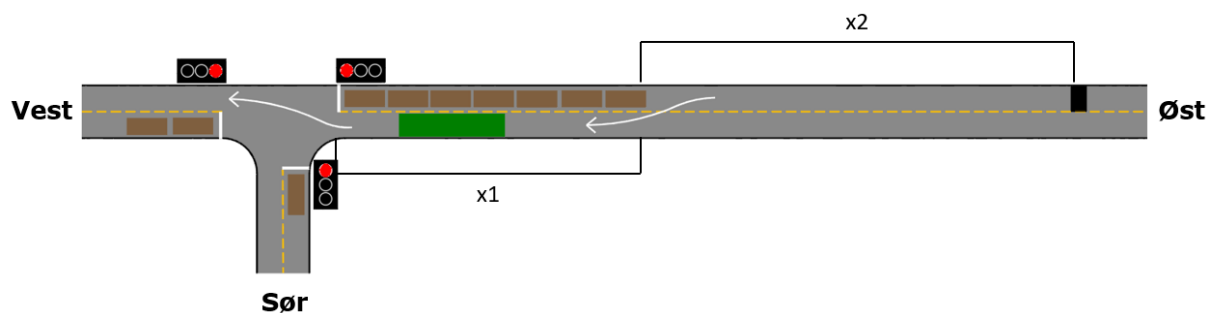
Figur 81: Forsinkelse for annen trafikk ved økende trafikkmengde og ulike lengder på elektronisk bussfelt.



Figur 82: Forsinkelse for annen trafikk ved økende trafikkmengde og ulike avstander før rundkjøring.

### 4.2.3 Elektronisk bussfelt i lyskryss

Under simuleringene av «elektronisk bussfelt i lyskryss» er det avstandene i Figur 83 som har blitt endret på, hvor  $x_1$  er lengden på det elektroniske bussfeltet og  $x_2$  er avstanden til detektoren fra starten på det elektroniske bussfeltet. Avstanden til detektoren fra det elektroniske bussfeltet er satt til å være 100 meter lengre enn lengden på det elektroniske bussfeltet.



Figur 83: Avstander og retninger i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss».

#### Brukt trafikkmengde

Trafikkmengden er satt til å være konstant, og det vil oppstå køer ved rødt lys. I Tabell 16 vises trafikkmengden som er lagt inn i Aimsun.

Tabell 16: Trafikkmengder som er benyttet i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss»

Fra/til	Vest	Sør	Øst	Total
Vest		150	250	<b>400</b>
Sør	150		100	<b>250</b>
Øst	700	150		<b>850</b>
Total	<b>850</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>1500</b>

#### Elektronisk bussfelt på 100 meter ( $x_1$ ) og detektor 200 meter fra bussfelt ( $x_2$ )

Det viste seg at et elektronisk bussfelt på 100 meter ikke fungerte ved noen bussfrekvenser dersom denne avstanden til detektoren ( $x_2$ ) og trafikkmengden ble brukt.

#### Elektronisk bussfelt på 200 meter ( $x_1$ ) og detektor 300 meter fra bussfelt ( $x_2$ )

Løsningen ble testet med en lengde på det elektroniske bussfeltet på 200 meter,  $x_1$ , og avstand til detektoren fra bussfeltet på 300 meter,  $x_2$ . I Tabell 17, Tabell 18 og Tabell 19 kan man se at bussen vil få ingen forsinkelse når den blir prioritert. De gjennomsnittlige forsinkelse for annen trafikk øker etter hvert som bussfrekvensen blir høyere. Ved en bussfrekvens på 5 minutter vil annen trafikk ha en gjennomsnittlig økning i forsinkelse på 8 sekunder. Ved 4 minutter vil den gjennomsnittlige økningen være 15 sekunder og ved en bussfrekvens på 3 minutter vil den være 21 sekunder. Ved et intervall på 2 minutter stoppet systemet opp, da det ble så lange køer at bussen ikke kom frem til det elektroniske bussfeltet.

### Bussfrekvens på 5 minutter

Tabell 17: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 5 minutter.

<b>Subpath</b>	<b>Forsinkelse med prioritering (sek)</b>	<b>Forsinkelse uten prioritering (sek)</b>	<b>Differanse</b>
Annen trafikk øst	31	20	11
Annen trafikk vest	42	36	6
Annen trafikk sør	39	32	7
Buss	0	14	14

### Bussfrekvens på 4 minutter

Tabell 18: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 4 minutter.

<b>Subpath</b>	<b>Forsinkelse med prioritering (sek)</b>	<b>Forsinkelse uten prioritering (sek)</b>	<b>Differanse</b>
Annen trafikk øst	35	20	15
Annen trafikk vest	58	36	22
Annen trafikk sør	41	32	9
Buss	0	14	14

### Bussfrekvens på 3 minutter

Tabell 19: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 3 minutter.

<b>Subpath</b>	<b>Forsinkelse med prioritering (sek)</b>	<b>Forsinkelse uten prioritering (sek)</b>	<b>Differanse</b>
Annen trafikk øst	43	20	23
Annen trafikk vest	61	36	25
Annen trafikk sør	46	32	14
Buss	1	16	15

### **Elektronisk bussfelt på 300 meter (x1) og detektor 400 meter fra bussfelt (x2)**

Løsningen ble også testet for et elektronisk bussfelt på 300 meter, x1, og en avstand til detektoren på 400 meter, x2. Fra Tabell 20 og Tabell 21 vil de samlede gjennomsnittlige forsinkelsene for annen trafikk øke etter hvert som bussfrekvensen øker. Ved en bussfrekvens på 5 minutter vil forsinkelsen i gjennomsnitt øke med 16 sekunder. Ved en frekvens på 4 minutter vil forsinkelsen øke med 20 sekunder. Ved et intervall på 3 minutter stoppet systemet opp, da det ble så lange køer at bussen ikke kom frem til det elektroniske bussfeltet. Bussen vil få ingen forsinkelse når den blir prioritert.

### Bussfrekvens på 5 minutter

Tabell 20: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 5 minutter.

<b>Subpath</b>	<b>Forsinkelse med prioritering (sek)</b>	<b>Forsinkelse uten prioritering (sek)</b>	<b>Differanse</b>
Annen trafikk øst	40	21	19
Annen trafikk vest	53	36	17
Annen trafikk sør	45	32	13
Buss	0	13	13

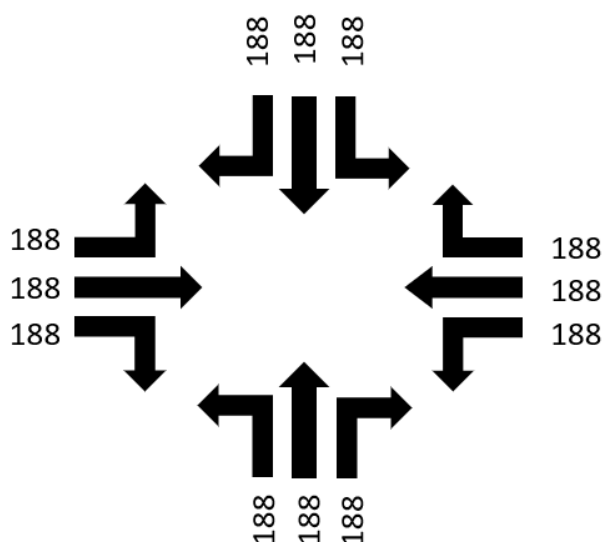
## Bussfrekvens på 4 minutter

Tabell 21: Forsinkelse med og uten prioritering for bussfrekvens på 4 minutter.

Subpath	Forsinkelse med prioritering (sek)	Forsinkelse uten prioritering (sek)	Differanse
Annen trafikk øst	47	21	26
Annen trafikk vest	52	36	16
Annen trafikk sør	49	32	17
Buss	0	14	14

### 4.2.4 Midstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring

Trafikkmengden er satt til å være 188 kjt/t for hver svingebevegelse, se Figur 84. Hastigheten til bussen er satt ned til 30 km/t over en strekning på 100 meter gjennom sentraløya på rundkjøringen. Detektorene som starter prioriteringen, er satt med en avstand på 30 meter før rundkjøringen.



Figur 84: Brukte trafikkmengder i løsningen «Midstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring».

## 1-felts rundkjøring

### Forsinkelse for buss

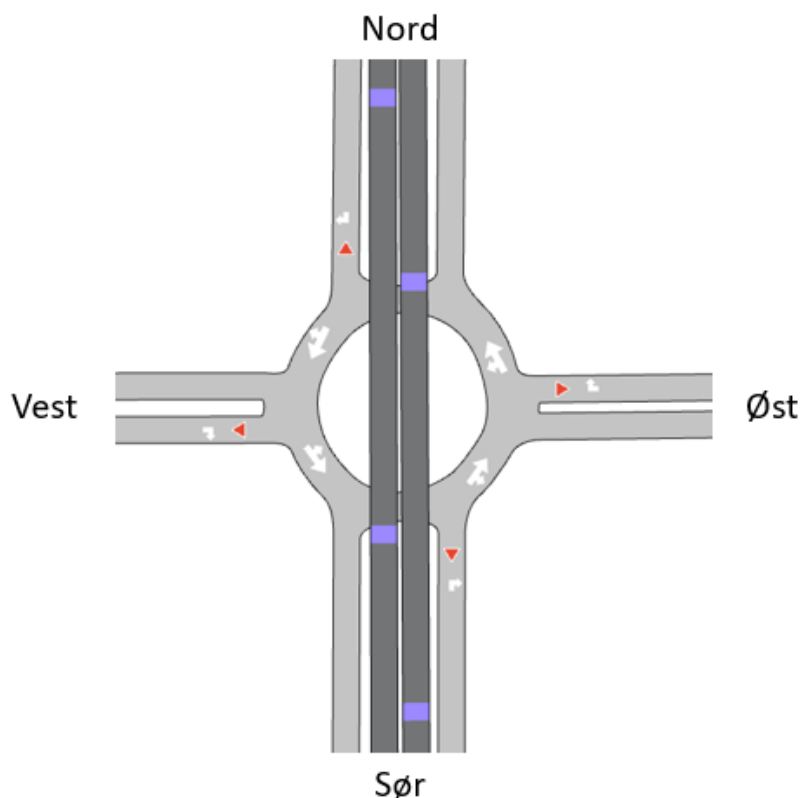
I Tabell 22 vises forsinkelse for bussen med prioritering og uten prioritering ved ulike bussfrekvenser. Bussen vil ha tilnærmet ingen forsinkelse når den blir prioritert gjennom sentraløya på rundkjøringen. Når bussen prioriteres vil forsinkelsene kunne reduseres mye, for eksempel vil bussen få redusert forsinkelsen sin med rundt 40 sekunder dersom den har en bussfrekvens på 5 minutter. Hvor store besparelsene er vil øke med høyere bussfrekvens.

Tabell 22: Forsinkelse for buss med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser.

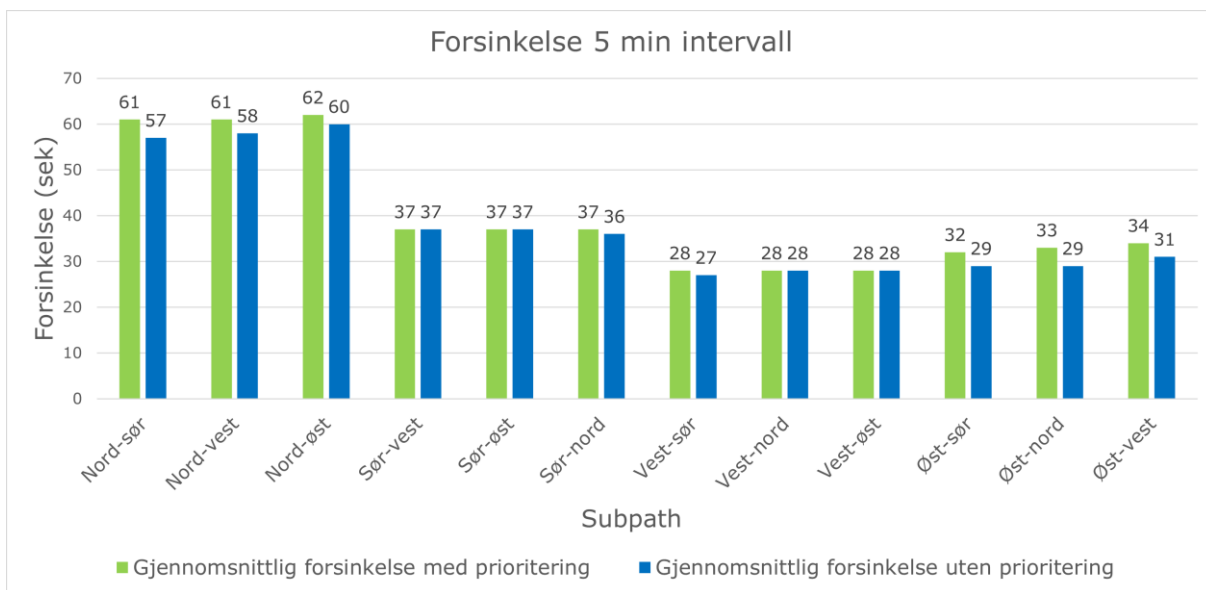
Bussfrekvens	Forsinkelse for buss (sekund)	
	Med prioritering	Uten prioritering
5 min	2	41
4 min	2	46
3 min	2	54
2 min	2	66
1 min	2	117

### Forsinkelse for annen trafikk

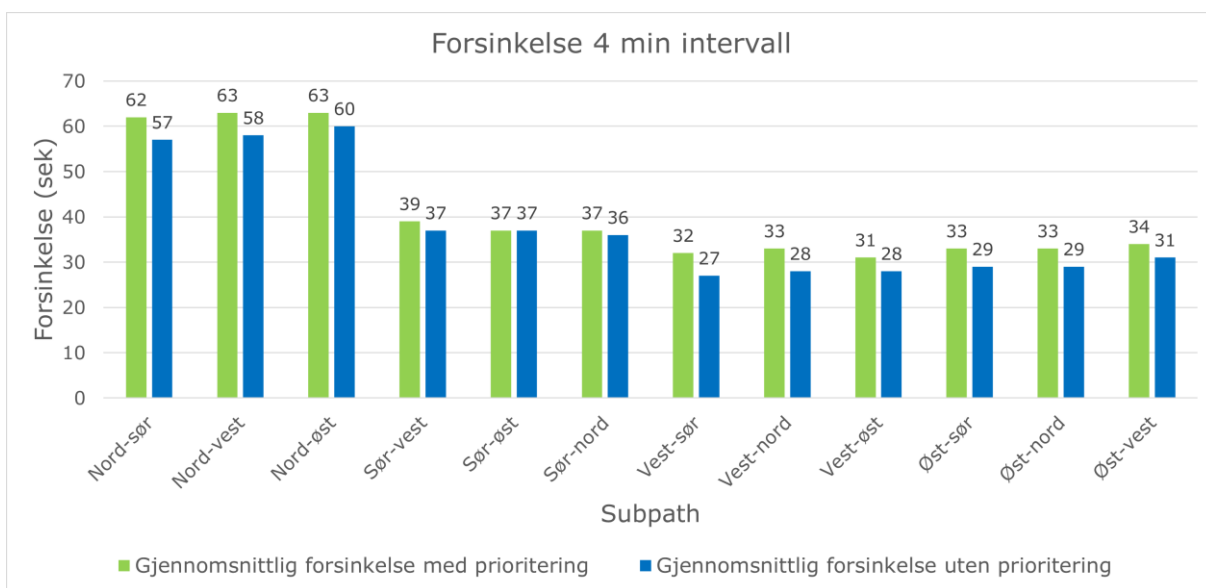
For å få ut resultater for forsinkelse i denne løsningen er det laget en «subpath» for hver svingebevegelse i rundkjøringen, bortsett fra u-sving. Navn på retningene i Aimsun er vist i Figur 85. I Figur 86-Figur 90 vises forsinkelse for annen trafikk i rundkjøringen både med og uten prioritering ved ulike bussfrekvenser, og den gjennomsnittlige forsinkelsen for alle svingebevegelsene ved de ulike bussfrekvensene er vist i Tabell 23. Fra Tabell 23 ser man at frem til en bussfrekvens på 1 minutt vil de gjennomsnittlige forsinkelsene for alle svingebevegelsene øke lite etter hvert som bussfrekvensen øker. Resultatene viser at annen trafikk får en økning på under 5 sekunder mellom hver økning i bussfrekvens. Ved overgangen fra en bussfrekvens på 2 minutter til 1 minutt vil forsinkelsen derimot øke med 21 sekunder.



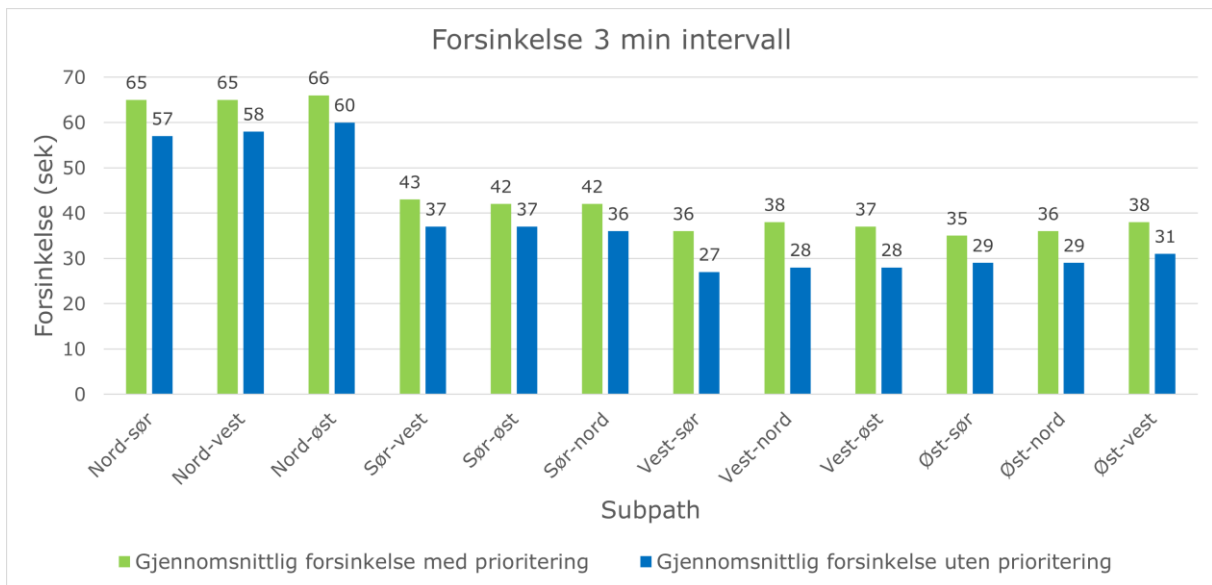
Figur 85 Illustrerer navn på retninger i Aimsun.



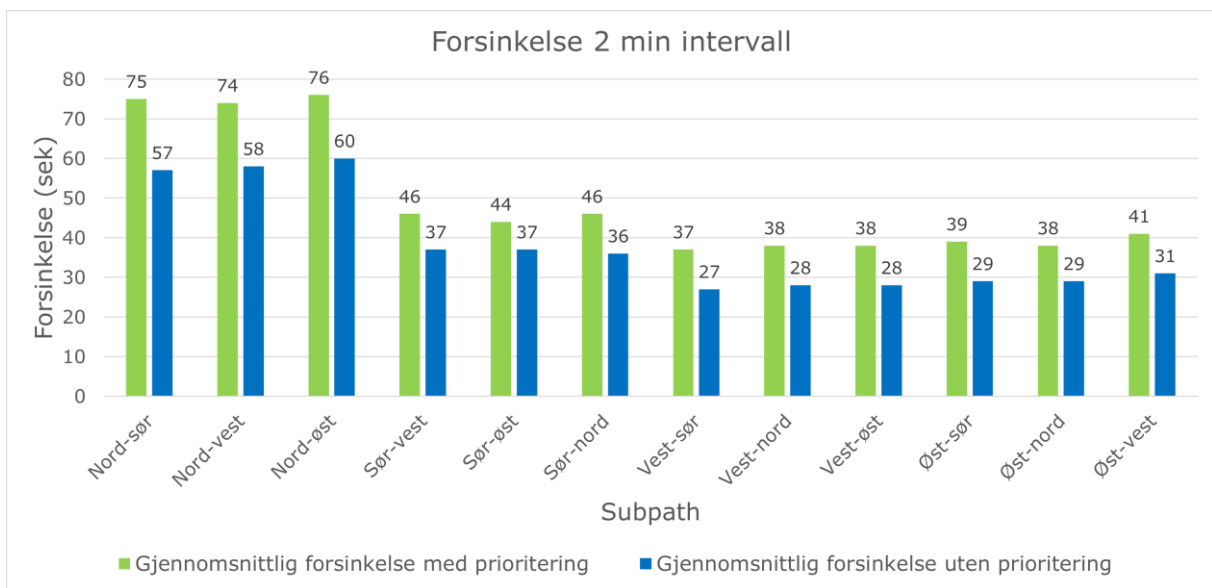
Figur 86: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 5 minutter.



Figur 87: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 4 minutter.

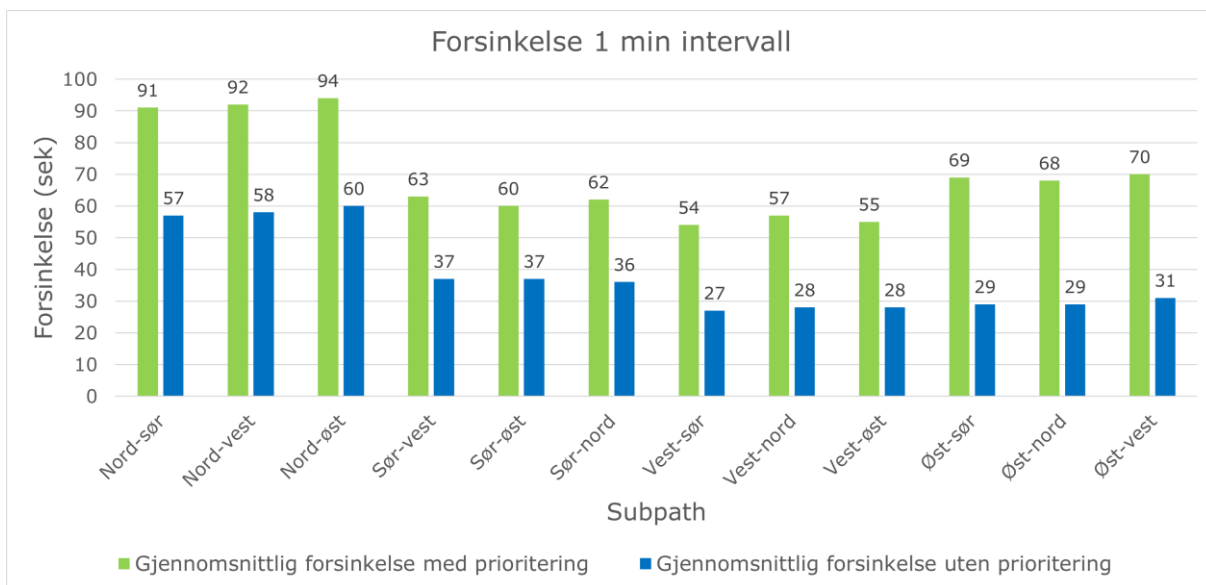


Figur 88: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 3 minutter.



Figur 89: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 2 minutter.





Figur 90: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 1 minutt.

Tabell 23: Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser ved ulike bussfrekvenser.

Forklaring	Forsinkelse ved ulike bussfrekvenser (sekund)					
	5 min	4 min	3 min	2 min	1 min	Uten prioritering
Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser	40	41	45	49	70	38

## 2-felts rundkjøring

### Forsinkelse for buss

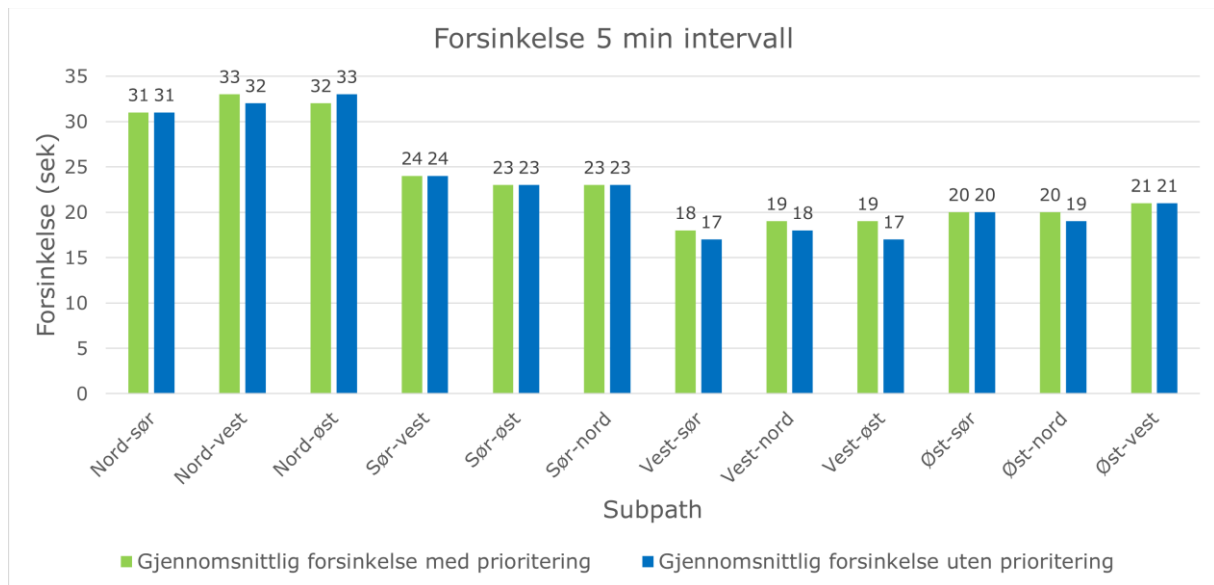
I Tabell 24 vises forsinkelse for buss med og uten prioritering ved ulike bussfrekvenser for en trafikkmengde på 188 kjt/t i hver svingebevegelse. Når bussen prioriteres, vil den ha tilnærmet ingen forsinkelse. Besparelsene for bussen ser ut til å være relativt like for en bussfrekvens på 5 minutter til 2 minutter, mens når bussfrekvensen blir så høy som hvert minutt vil besparelsene øke.

Tabell 24: Forsinkelse for buss med og uten prioritering for ulike bussfrekvenser.

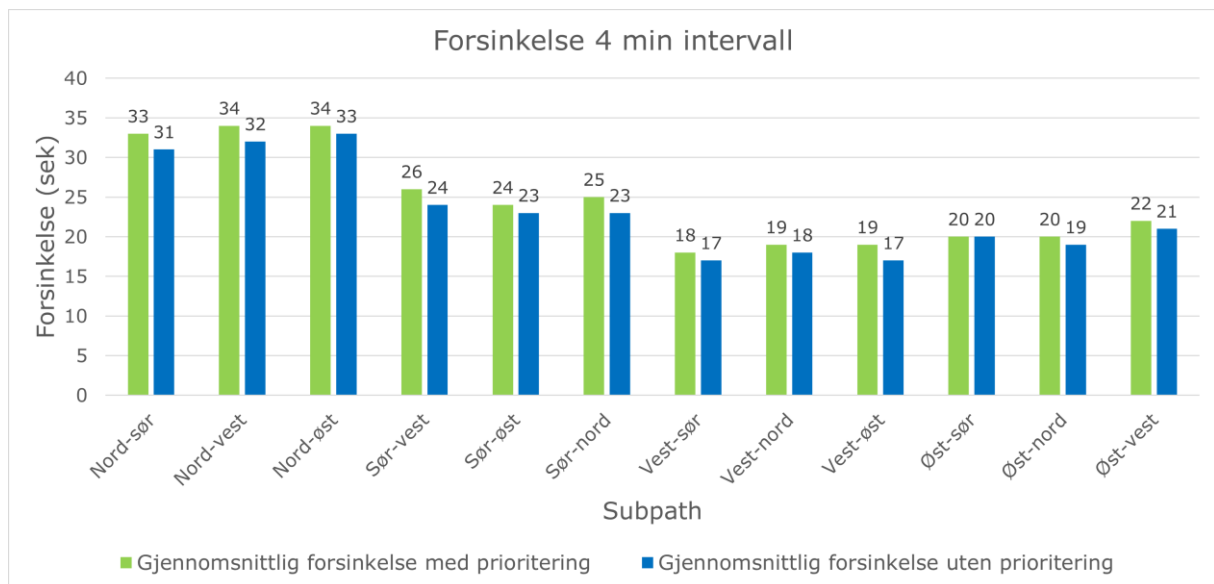
Bussfrekvens	Forsinkelse for buss (sekund)	
	Med prioritering	Uten prioritering
5 min	2	28
4 min	2	26
3 min	2	29
2 min	2	30
1 min	2	55

## Forsinkelse for annen trafikk

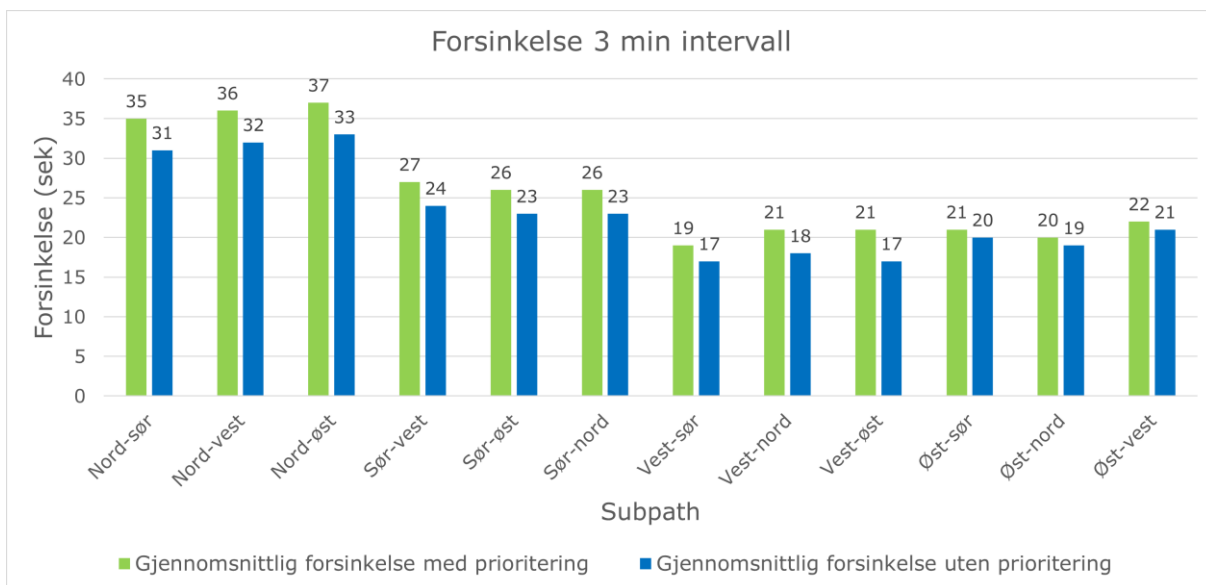
Det var ønskelig å undersøke om det var noen særlig forskjell i forsinkelsen for annen trafikk dersom rundkjøringen hadde to sirkulerende felt istedenfor ett. Figur 91-Figur 95 viser at annen trafikk påvirkes lite av at bussen prioriteres gjennom sentraløya i en 2-felts rundkjøring. Dette var også tilfellet ved 1-felts rundkjøring, men her var det et hopp i forsinkelsen når bussfrekvensen ble så høy som hvert minutt. Dette er ikke tilfellet ved 2 sirkulerende felt, da forsinkelsene vil øke lite ved alle bussfrekvenser. I Tabell 25 er gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser ved de ulike bussfrekvensene vist.



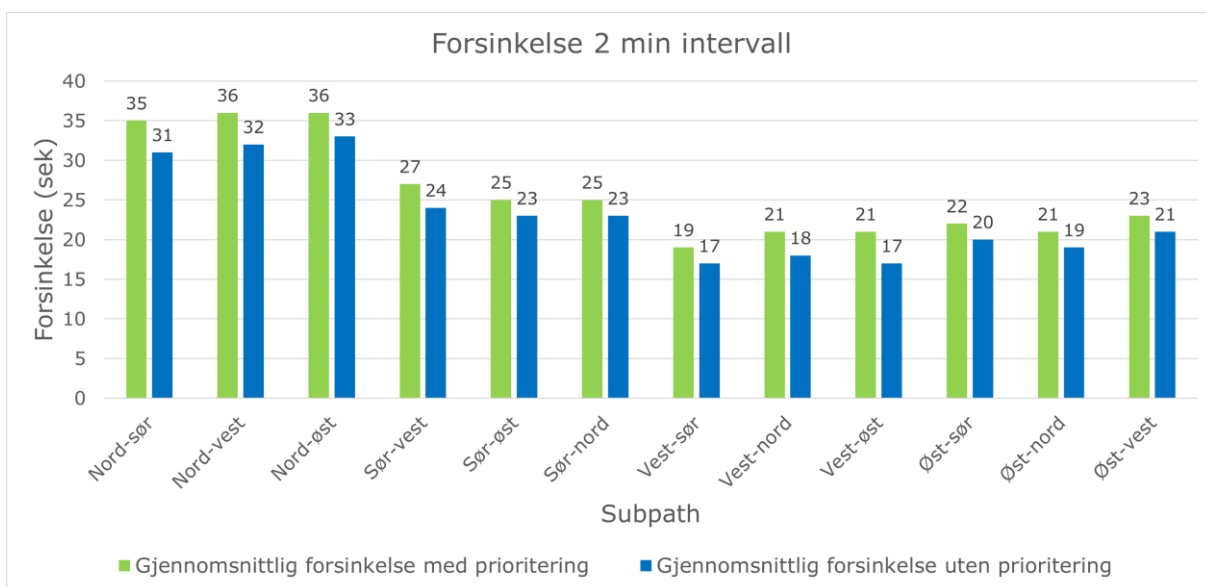
Figur 91: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 5 minutter.



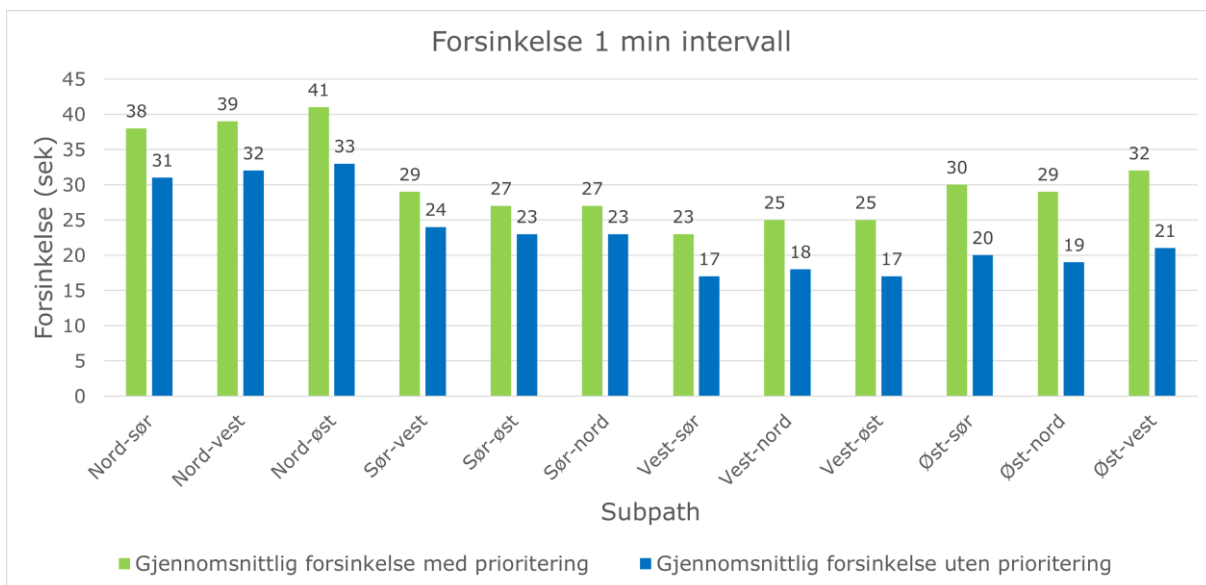
Figur 92: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 4 minutter.



Figur 93: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 3 minutter.



Figur 94: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 2 minutter.



Figur 95: Forsinkelse med og uten prioritering for alle svingebevegelser ved bussfrekvens på 1 minutt.

Tabell 25: Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser ved ulike bussfrekvenser.

Forklaring	Forsinkelse ved ulike bussfrekvenser (sekund)					
	5 min	4 min	3 min	2 min	1 min	Uten prioritering
Gjennomsnittlig forsinkelse for alle svingebevegelser	24	25	26	26	30	23

### 1-felts rundkjøring:

Endring i forsinkelse med og uten prioritering ble testet for flere trafikkmengder. I Tabell 26 vises endring i forsinkelse for annen trafikk med og uten tiltak i en 1-felts rundkjøring. Resultatene viser at det er når bussfrekvensen blir så høy som ett minutt at forsinkelsene øker mest for annen trafikk. For annen trafikk vil endringen i forsinkelse med og uten prioritering også øke med økende trafikkmengde. For gjennomsnittlig forsinkelse for buss ser man at ved høyere trafikk vil bussen tjene mer på tiltaket, se Tabell 27. Ser også at når bussen prioriteres vil den ha tilnærmet ingen forsinkelse.

Tabell 26: Endring i forsinkelse med og uten prioritering for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser og trafikkmengder i en 1-felts rundkjøring.

Trafikkmengde i hver svingebevegelse (kjt/t)	Endring i forsinkelse for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser (sekund)				
	5 min	4 min	3 min	2 min	1 min
195	12	15	13	20	49
190	7	5	12	14	36
188	2	3	7	11	32
185	1	3	4	7	23
180	2	2	5	7	16

Tabell 27: Gjennomsnittlig forsinkelse for buss ved ulike trafikkmengder i en 1-felts rundkjøring (5 min bussfrekvens).

Trafikkmengde i svingebevegelser (kjt/t)	Gjennomsnittlig forsinkelse for buss i sekunder	
	Med prioritering	Uten prioritering
195	2	68
190	2	57
188	2	41
185	2	38
180	2	38

## 2-felts rundkjøring

Endring i forsinkelse med og uten prioritering ble testet for flere trafikkmengder. I Tabell 28 vises endring i forsinkelse for annen trafikk med og uten tiltak i en 2-felts rundkjøring. Ved 1-felts rundkjøring kom det frem at forsinkelsene øker mest for annen trafikk når bussfrekvensen kom opp i 1 minutt. Ved 2-felts rundkjøring endrer forsinkelsen seg lite ved alle bussfrekvenser. Det er også mindre endring i forsinkelse for annen trafikk ettersom trafikkmengden øker i forhold til når rundkjøringen utformes med ett sirkulerende felt.

I Tabell 29 vises forsinkelse for buss med og uten prioritering ved økende trafikkmengde. Her kan man se at bussen vil ha tilnærmet ingen forsinkelse når den blir prioritert. Ser også at bussen vil få større besparelse dersom trafikkmengden er større.

Tabell 28: Endring i forsinkelse med og uten prioritering for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser og trafikkmengder i en 2-felts rundkjøring.

Trafikkmengde i hver svingebevegelse (kjt/t)	Endring i forsinkelse for annen trafikk ved ulike bussfrekvenser (sekunder)				
	5 min	4 min	3 min	2 min	1 min
195	2	4	3	7	10
190	0	3	2	3	6
188	0	1	3	3	7
185	1	1	1	1	4
180	1	1	1	1	4

Tabell 29: Gjennomsnittlig forsinkelse med og uten prioritering for buss ved ulike trafikkmengder i en 2-felts rundkjøring (5 minutt bussfrekvens).

Trafikkmengde i svingebevegelser (kjt/t)	Gjennomsnittlig forsinkelse for buss i sekunder	
	Med prioritering	Uten prioritering
195	2	36
190	2	31
188	2	28
185	2	26
180	2	24

## 5. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra simuleringene i Aimsun. I kapittel 4.1 er de skisserte løsningene beskrevet og i kapittel 4.2 er resultatene fra simuleringene presentert. Diskusjonskapitlet er delt inn i de ulike løsningene som er modellert og simulert i Aimsun. For hver løsning ses det på hvilke besparelser bussen får, hvordan annen trafikk påvirkes og hvilke usikkerheter det er i modelleringen og simuleringen av løsningen. Annen trafikk vil i denne sammenhengen være biler og lastebiler. Til slutt presenteres usikkerheter og feilkilder med metoden som er valgt.

### 5.1 Elektronisk busslomme

#### **Besparelse for buss**

I denne løsningen stoppes bilene ved bruk av rødt lys når bussen er i en busslomme, slik at de ikke kan kjøre forbi bussen. Dette gjør at bussen slipper å stå bak disse bilene i kø ved innkjøring til rundkjøringen. Fra resultatene ser det ut til at løsningen vil kunne gi besparelser for bussen. Hvor mye bussen tjener på tiltaket vil avhenge av kapasiteten ved innkjøringen til rundkjøringen, bussfrekvenser, trafikkmengder og avstander.

Bussen vil sannsynligvis tjene mer på tiltaket dersom kapasiteten er lav. For eksempel dersom kapasiteten er så lav som ett kjøretøy i minuttet, vil bussen bli forsinket med 1 minutt dersom ett kjøretøy kjører forbi mens den er i busslommen i forhold til om bilen hadde blitt stoppet med rødt lys. Dersom kapasiteten til rundkjøringen derimot er høy, vil bussen tjene mindre på tiltaket. Dette fordi bussen og annen trafikk raskere blir avviklet gjennom rundkjøringen.

Besparelsene for bussen i resultatene er relativt små. I resultatene tjener bussen mest på tiltaket dersom busslommen plasseres 150 meter eller 200 meter før rundkjøringen, og her vil besparelsene være maksimalt 8 sekunder. Dette er vist i Figur 67, Figur 68, Figur 72 og Figur 73. Dette er lite dersom man kun ser på selve bussforsinkelsen, men dersom man ser på forsinkelse for passasjerene vil besparelsene kunne bli større da en buss har plass til mange passasjerer. Samtidig vil små reduksjoner i forsinkelsen også kunne ha stor innvirkning på påliteligheten da bussystemene er ustabile (Guler, Gayah og Menendez, 2016). Grunnen for at besparelsene er små i resultatet er sannsynligvis at rundkjøringen som er brukt i simuleringen har relativt høy kapasitet. Det antas derfor at besparelsene for bussen vil kunne bli større dersom kapasiteten til rundkjøringen er lavere.

Det viste seg også i resultatene at bussen ikke tjente på tiltaket dersom busslommen ble plassert 50 meter fra rundkjøringen, se Figur 65 og Figur 70. Dette skyldes sannsynligvis at rundkjøringen som er brukt i simuleringene har en kapasitet som gjør at både trafikken før busslommen og trafikken som står på rødt lys vil kunne bli avviklet i løpet av tiden bussen er i busslommen. Bussen vil da ikke ha noen fordel av at annen trafikk stoppes, da den ville blitt avviklet i rundkjøringen på omtrent samme tid uten prioritering. Dette resultatet gjelder for de trafikkmengdene og den kapasiteten som er testet ut, men dersom kapasiteten i rundkjøringen hadde vært lavere er det sannsynlig at bussen ville tjent på tiltaket dersom busslommen ble plassert nært rundkjøringen også.

Når bussfrekvensen blir høy, vil ikke bussen tjene på tiltaket lengre. Dette er antakeligvis på grunn av at det er vanskeligere for systemet å hente seg inn igjen dersom bussene kommer hyppig. Dersom det er kø ved rundkjøringen når prioriteringen er over, vil køen bli tilnærmet lik som uten prioriteringen. Dersom køen ved rundkjøringen avvikles i løpet av prioritering vil derimot prioriteringen føre til at det bygges opp køer på rødt lys som i utgangspunktet ikke ville vært der. Når bussen kommer sjelden, klarer systemet å hente seg inn igjen før neste buss kommer. Dersom bussfrekvensen derimot er høy, vil det bli vanskeligere for systemet å hente seg inn igjen. Etter hvert som det da kommer flere busser, vil køene bygge seg opp, og dette vil igjen slå tilbake på bussen. Det samme ser ut til å gjelde dersom trafikkmengden blir for høy, da en høyere trafikkmengde vil gi lengre køer på rødt lys, og dermed gjør det vanskeligere for systemet å hente seg inn igjen. For å studere nærmere hvordan besparelsene for bussen blir, bør løsningen modelleres og simuleres ved bruk av virkelige data for hver enkelt situasjon, samt bør det gjennomføres praktisk utprøving av systemet.

### **Påvirkning på annen trafikk**

Fra resultatene er endringen i forsinkelsen med og uten prioriteringstiltak for annen trafikk relativt liten. De gangene det fortsatt er kø ved rundkjøringen når bussen prioriteres, vil annen trafikk få bedre fremkommelighet mot rundkjøringen når signalet blir grønt og vil kun ha beveget seg en plass bak i køen i forhold til når bussen ikke prioriteres. I noen tilfeller var trafikken avviklet i rundkjøringen før signalet slo over til grønt, noe som gir økte forsinkelser for annen trafikk da de kunne blitt avviklet i rundkjøringen i løpet av rødtiden. Denne økningen vil derimot være relativt liten. Dette skyldes antakeligvis at det er lagt inn at bussen i gjennomsnitt er i busslommen i 20 sekunder, og det da ikke vil gå lang tid fra trafikken er avviklet i rundkjøringen til signalet blir grønt. Hvor lenge bussen er i busslommen vil derfor påvirke forsinkelsene for annen trafikk. Dersom det fortsatt er kø ved rundkjøringen når bussen kjører ut fra busslommen, vil ikke tiden i busslommen påvirke. Dersom køen derimot avvikles i rundkjøringen før bussen kjører ut fra busslommen, vil tiden i busslommen ha noe å si for hvordan forsinkelsene for annen trafikk blir. En lengre tid i busslommen vil gi lengre rødtid for bilene, som igjen gir lengre tid fra køen er avviklet til det blir grønt lys igjen.

Dersom bussen i utgangspunktet slipper å stå i kø før rundkjøringen, vil det ikke være noe poeng i å prioritere. Løsningen skal derfor brukes i de periodene av døgnet det er mye trafikk, hvor bussen ville stått i kø inn til rundkjøringen. I de andre periodene bør signalreguleringen være slått av, og busslommen fungere som vanlig. Det bør derfor legges inn i modellen at dersom det ikke er kø ved rundkjøringen, så skal ikke prioriteringen starte. Dette vil kunne være en bedre løsning enn kantstopp, da biltrafikken slipper å bli stoppet uansett om det er mye eller lite trafikk.

### **Usikkerheter med modell og simulering**

Hvordan løsningen fungerer påvirkes blant annet av kapasitet og trafikkmengder. Løsningen har kun blitt testet for en kapasitet i innkjøringen til rundkjøringen, og denne kapasiteten er antakeligvis relativt høy da besparelsene for bussen i resultatet er små. For å finne ut hvor store besparelser bussen kan få av tiltaket, bør løsningen testes ut ved flere ulike kapasiteter og trafikkmengder.

Det har ikke blitt tatt høyde for at det kan komme flere busser samtidig i modellen. Slik modellen er nå vil første buss kjøre over detektoren og gi rødt lys slik at bussen som kommer etterpå blir stoppet. Modellen bør derfor optimaliseres slik at det blir tatt høyde for at to busser kan komme samtidig. I modellen stopper også alltid bussen i busslommen, mens i virkeligheten vil det kunne være slik at bussen ikke kjører inn i busslommen. Dette burde også legges inn i modellen.

## 5.2 Elektronisk bussfelt

Det elektroniske bussfeltet vil fungere som et dynamisk bussfelt. Når bussen ikke er til stede fungerer det som et vanlig kjørefelt. Anlegget vil kun brukes i rushtiden når buss detekteres. Ved å benytte en slik løsning som dette, fremfor å lage egne kollektivfelt for bussen, vil det ikke være behov for etablering av ny infrastruktur. Dette er fordelaktig i sentrumsområder hvor det er begrenset med plass.

### **Besparelse for buss**

Resultatene fra simuleringene tyder på at løsningen vil kunne gi reduserte forsinkelser for bussen, slik som også ble funnet i studien til Guler, Gayah og Menendez (2016). De gangene det ikke var kø oppstrøms det elektroniske bussfeltet og bussen dermed ble prioritert, hadde bussen en forsinkelse på under 10 sekunder for alle trafikkmengder, lengder på elektronisk bussfelt og avstander før rundkjøring som er testet. Dette er vist i Figur 79 og Figur 80. Denne forsinkelsen vil derimot avhenge av hvordan køen er ved rundkjøringen. Under simuleringene var kapasiteten såpass høy at når bussen var blitt prioritert så var det lite eller ingen kø igjen ved rundkjøringen. Dette gir da små forsinkelser for bussen. Dersom rundkjøringen derimot har lav kapasitet og lange køer vil forsinkelsene for bussen bli større da det tar lengre tid for den å bli avviklet i rundkjøringen etter prioriteringen. Hvor lange køene før rundkjøringen er, og hvordan kapasiteten er, påvirker derfor forsinkelsene til bussen på strekningen. En lav kapasitet og lange køer vil derimot kunne gi mer besparelser for bussen for hver bil den kjører forbi i det elektroniske bussfeltet.

Hvor mange biler bussen kjører forbi vil ha påvirkning på hvor mye bussen tjener på tiltaket, jo flere biler bussen kjører forbi desto større vil besparelsene være. For å sjekke hvordan lengden på det elektroniske bussfeltet påvirker besparelsene til bussen ble det satt en detektor rett ved det elektroniske bussfeltet, slik at bussen alltid kom frem til det elektroniske bussfeltet. Det ble videre satt på en høy trafikkmengde slik at bussen fikk kjørt forbi mange biler i det elektroniske bussfeltet. Det viste seg at bussen vil kunne tjene mye på å bli prioritert, og besparelsene økte med lengden på bussfeltet. Dette er vist i Tabell 9, Tabell 10 og Tabell 11. Dette skyldes at et lengre elektronisk bussfelt vil gi plass til flere biler som bussen kan kjøre forbi, som igjen gir økte besparelser for bussen. Hvordan bilene står i kø påvirker også hvor mange biler bussen kan kjøre forbi, jo tettere bilene står i kø desto flere biler kan bussen kjøre forbi. Hvor nært det elektroniske bussfeltet plasseres rundkjøringen vil også kunne påvirke hvor mange biler bussen kjører forbi. Dersom det er plassert nært rundkjøringen skal det mindre til for at køene strekker seg inn i det elektroniske bussfeltet enn om det er plassert langt fra rundkjøringen. Hvor nært det bør plasseres vil derfor avhenge av hvordan køene er oppstrøms rundkjøringen.



Videre vil plasseringen av det elektroniske bussfeltet bestemmes av trafikkmengden i motgående kjøreretning. Det er viktig at bussfeltet plasseres langt nok fra kryssområdet slik at det ikke oppstår køer som beveger seg ut i krysset.

I de tilfellene hvor køene strekker seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet vil prioriteringen måtte avbrytes, og bussen må da kjøre i en saktekjørende kø frem til rundkjøringen. Ett lengre bussfelt vil føre til lengre køer som bussen må kjøre i, som igjen gir større forsinkelser for bussen når prioriteringen avbrytes. Dette er vist i Tabell 15. For at bussen skal kunne tjene på tiltaket bør prioriteringen stort sett kunne gjennomføres, og det bør derfor studeres nærmere hvor fullt bussfelt man bør gjøre beregninger på rødtid for slik at prioriteringen gjennomføres i størst mulig grad.

### **Påvirkning på annen trafikk**

Et lengre bussfelt vil som tidligere beskrevet kunne føre til økte besparelse for bussen, men det vil også føre til økte rødtider. Dette vil gi økte forsinkelser for annen trafikk, da spesielt trafikken i motgående felt. Dersom en bil i motgående felt kommer akkurat i det en buss blir detektert, vil denne få en forsinkelse lik rødtiden.

I «Søknad om prøveprosjekt – beskrivelse av tiltak» ble det beskrevet at annen trafikk i samme retning som bussen påvirkes lite av tiltaket da de får bedre fremkommelighet mot rundkjøringen når bussen har passert (Sweco, u.å.). Fra resultatene i Figur 81 og Figur 82 ser det ut til at trafikken i samme retning som bussen vil få en relativt stor økning i forsinkelsen når bussen prioriteres. Denne forsinkelsen blir noe mindre dersom bussfeltet plasseres lengre fra rundkjøringen. Forskjellen i resultatene her kan skyldes at under den manuelle dirigeringen på Nedre Rælingsveg ble det elektroniske bussfeltet plassert 650 meter før rundkjøringen, mens i simuleringene ble det testet for avstander helt ned i 30 meter, 50 meter og 100 meter før rundkjøringen (x1). Hvilken kapasitet det er ved innkjøringen til rundkjøringen påvirker også resultatene. At forsinkelsene til bussen reduseres når bussfeltet plasseres lengre før rundkjøringen i resultatene skyldes sannsynligvis at ved kort avstand til rundkjøringen, vil bilene som står i kø foran det elektroniske bussfeltet avvikles en god stund før det røde lyset blir grønt igjen. Dette betyr at trafikken som står ved det røde lyset kunne blitt avviklet i perioden hvor bussen kjører forbi i det elektroniske bussfeltet. Dersom bussfeltet plasseres lengre fra rundkjøringen er det større sannsynlighet for at det fortsatt står biler som venter på å kjøre ut i rundkjøringen eller at de akkurat har blitt avviklet når prioriteringen avsluttes. Bilene som da har blitt stoppet med rødt lys vil få bedre fremkommelighet frem til rundkjøringen da køen har beveget seg fremover, og vil kunne ha beveget seg kun en plass bakover. For at løsningen skal gi minst mulig forsinkelser for annen trafikk bør det være en kontinuerlig kø ved rundkjøringen. Under simuleringene har sannsynligvis kapasiteten i rundkjøringen vært relativt høy, slik at det ikke har vært en kontinuerlig kø ved rundkjøringen. Dette gjør da at annen trafikk får relativt store forsinkelser ved de avstandene før rundkjøringen som er testet ut. Dersom kapasiteten til rundkjøringen hadde vært lavere, er det sannsynlig at annen trafikk kan påvirkes lite ved disse avstandene også.

Fra resultatene vil en økende lengde på det elektroniske bussfeltet gi økte forsinkelser for annen trafikk, se Figur 81. Dette samsvarer ikke med det som ble beskrevet i «Søknad om prøveprosjekt – beskrivelse av tiltak», hvor annen trafikk i bussens kjøreretning påvirkes lite av tiltaket (Sweco, u.å.). Dette skyldes sannsynligvis at de ulike lengdene på det elektroniske bussfeltet (x3) ble testet ved en avstand fra rundkjøringen på 30 meter (x1),

i tillegg til at kapasiteten i rundkjøringen har vært relativt høy. Dette betyr at trafikken sannsynligvis er avviklet før bussen har kjørt gjennom det elektroniske bussfeltet, noe som gir økte forsinkelser for annen trafikk. Ved et lengre bussfelt vil denne forsinkelsen bli større, da rødtidene er lengre. Tiden fra all trafikken har blitt avviklet i rundkjøringen til det røde lyset blir grønt igjen vil være lengre når bussfeltet er lengre, og dermed gi større forsinkelser. Ved et kortere bussfelt er det mindre sannsynlig at trafikken er avviklet eller kortere tid siden den ble det når prioriteringen er over, og annen trafikk får da mindre forsinkelser.

Det er ikke noe poeng å stoppe annen trafikk for å prioritere bussen dersom det ikke er noen kø i utgangspunktet, da dette bare vil føre til unødvendige forsinkelser for annen trafikk. I simuleringen var det til tider kun noen få biler som ble stoppet i det elektroniske bussfeltet, og bussen vil i disse tilfellene ikke ha noen fordel av prioriteringen. Anlegget skal derfor bare fungere i de periodene av døgnet hvor det er mye trafikk, og ellers være avskrudd. I løsningen burde det bli lagt inn en registrering av hvordan køen er ved rundkjøringen, slik at ikke bussen prioriteres dersom det ikke er behov for det.

Det kan tenkes at denne løsningen er en bedre løsning for annen trafikk enn løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss». Dette skyldes at løsningen med «elektronisk bussfelt i lyskryss» vil stoppe trafikken i tre retninger, mens denne løsningen vil stoppe trafikken i to retninger. Løsningen i lyskrysset vil derfor kunne føre til forsinkelse for flere, men dette vil avhenge av trafikkmengden i armene til krysset og bussfrekvensen. Dersom det er lite busser som kjører gjennom det elektroniske bussfeltet i lyskrysset, vil krysset stort sett fungere som normalt og det vil ikke bli påvirket i stor grad.

### **Usikkerheter med modell og simulering**

Løsningen har kun blitt testet for en kapasitet i innkjøringen til rundkjøringen. Kapasiteten som ble brukt ga ikke en kontinuerlig kø ved rundkjøringen under simuleringene, noe som ga en relativt stor økning i forsinkelse for annen trafikk når bussen ble prioritert. Hvordan kapasiteten er ved innkjøringen til rundkjøringen påvirker også hvordan besparelsene for bussen blir. En lavere kapasitet vil gi større besparelser for hver bil bussen kjører forbi i det elektroniske bussfeltet. Løsningen burde derfor testes ved ulike kapasiteter, for å bedre se hvilke besparelser bussen kan få når den blir prioritert. Videre bør løsningen tilpasses enhver situasjon slik at forsinkelsene for annen trafikk blir minst mulig.

Under arbeidet med løsningen har det oppstått en del utfordringer. En av utfordringene har vært punktet hvor bussen kjører over i motgående felt. For at bussen skal tjene mest på tiltaket er det ønskelig at flest mulig biler er i det elektroniske bussfeltet når bussen kjører forbi. Dersom man ønsker at bussen skal bli prioritert omtrent hver gang den blir detektert vil det ikke kunne gjøres beregninger for et 100% fullt bussfelt da trafikken vil variere. Noen ganger blir køen så lang at den beveger seg forbi starten på det elektroniske bussfeltet, mens andre ganger er køen kortere enn det elektroniske bussfeltet. Hvordan bilene stiller seg i kø vil blant annet kunne påvirke dette. Dersom bilene velger å stå langt fra hverandre, vil køen bli lengre og kunne bevege seg forbi starten på det elektroniske bussfeltet. Dersom dette er tilfellet, hindres bussen i å komme frem til punktet hvor den skal kjøre over i motgående felt, og bussen kan dermed ikke prioriteres. Det må studeres nærmere for hvor fullt bussfelt man kan gjøre beregninger, slik at prioriteringen som oftest gjennomføres, samtidig som bussen kjører forbi flest mulig biler i det elektroniske bussfeltet.

Under simuleringene stoppet prioriteringen opp dersom køen bevegde seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet og blokkerte for bussen. Det var derfor nødvendig å legge inn i modellen at prioriteringen skulle avbrytes dersom dette var tilfellet. Etter en rekke forsøk på å legge dette inn i modellen ble det funnet en løsning for å registrere køen oppstrøms det elektroniske bussfeltet, slik at prioriteringen kunne avbrytes dersom bussen ikke kom frem til bussfeltet. Det viste seg at registreringen av køen oppstrøms det elektroniske bussfeltet ikke fungerte optimalt i alle tilfeller. Ett av problemene som oppstod var i sammenheng med avbrutt prioritering, hvor bussen kjørte i en saktegående kø mot rundkjøringen og en ny buss kom før den forrige bussen var avviklet gjennom rundkjøringen. Problemet var da at bussen som kom langt bak startet prioriteringen og det ble rødt lys, men at bussen som var lengre fremme kunne kjøre over detektoren og avslutte prioriteringen. Dette gjorde at signalet ble slått over til grønt lys igjen, og bussen kjørte da over i det motgående kjørefeltet når motgående trafikk hadde grønt lys. I virkeligheten hadde dette kunne ført til en front mot front ulykke, og det er derfor viktig at dette fikses før løsningen eventuelt testes ut i virkeligheten. Det kunne også hende at bussen i den saktekjørende køen ikke hadde kommet seg forbi det elektroniske bussfeltet når signalet slo over til rødt, og bussen ble da stoppet med rødt lys og måtte vente til bussen bak hadde kjørt forbi i motgående felt.

Prioriteringen avbrytes i det køen strekker seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet. I noen tilfeller vil dette kunne være lenge etter at bussen har blitt detektert og signalet har blitt rødt. Dette fører til at annen trafikk blir stoppet på rødt lys selv om prioriteringen til slutt avbrytes på grunn av køer oppstrøms bussfeltet som blokkerer for bussen. Dette gir da lange rødtider uten hensikt, og skaper unødvendige forsinkelser for annen trafikk. Løsningen bør derfor optimaliseres slik at disse forsinkelsene kan unngås.

Trafikken er ustabil, og kølengdene kan dermed variere. Dette gjør det vanskelig å få løsningen til å fungere (Sweco, u.å.). I modellen er det lagt inn at bussen kun kan kjøre over i motgående felt fra et punkt på strekningen. Dette gjør at prioriteringen avsluttes dersom køen strekker seg oppstrøms dette punktet. På grunn av ustabiliteten i trafikken, vil det være viktig å legge inn fleksibilitet i systemet (Sweco, u.å.). Selv om løsningen er dimensjonert for at bussen skal kjøre ut ved ett punkt, vil det fortsatt være muligheter for at bussen kan kjøre ut en viss lengde før dette dersom køen strekker seg oppstrøms dette punktet,  $\Delta x3$ . Dersom dette tillates stilles det krav til sjåføren om å forsikre seg om at motgående felt er tømt når bussen kjører ut. Hvor god sikten er vil bestemme om det er mulig å sette av et slikt område eller ikke, og eventuelt hvor langt dette området kan være. Dersom bussen havner utenfor punktet hvor det elektroniske bussfeltet starter og området som er satt av til mulig utkjøring ( $\Delta x3$ ) vil prioriteringen måtte avbrytes og all trafikk får da grønt lys igjen.

I løsningen er det lagt inn at signalet i samme felt som bussen og i motgående felt slår over til rødt samtidig. Det er mulig å legge inn i modellen at disse blir røde på ulike tidspunkt. For å få til dette bør det antakeligvis brukes detektorer for å registrere hvordan tettheten er i det elektroniske bussfeltet. Dette vil kunne føre til mindre bilkøer og reduserte forsinkelser for annen trafikk, og er derfor noe som bør studeres nærmere.

I løsningen er det kun sett på at en buss kjører gjennom det elektroniske bussfeltet om gangen, men i virkeligheten vil bussene kunne komme samtidig. Dersom bussene kommer samtidig i modellen, vil den første bussen avbryte prioriteringen før den andre bussen har kommet gjennom det elektroniske bussfeltet. Trafikken i motgående felt vil da starte å kjøre før bussen har kommet seg over i rett kjørefelt igjen, noe som i virkeligheten kunne

ført til en front mot front kollisjon. Modellen må derfor optimaliseres slik at den tar høyde for at to busser kan komme samtidig.

Det er kun sett på forsinkelse for buss og annen trafikk i samme kjøreretning som bussen da det er her det vil oppstå køer og forsinkelser. Det kan også komme trafikk i motgående felt i løpet av prioriteringen. Denne trafikken vil påvirkes negativt av tiltaket, da de vil få økte forsinkelser. Dersom en bil kommer akkurat i det bussen detekteres, vil den få forsinkelser lik rødtiden. I motgående felt vil det også kunne være busser som opplever å bli stoppet med rødt lys. Det er valgt å se bort ifra hvordan bussen i motgående felt påvirkes i løsningen, men dette er sannsynligvis noe som burde studeres nærmere for hver enkelt trafikksituasjon.

Det er mange faktorer som påvirker hvordan løsningen fungerer. Det har vært vanskelig å finne ut for hvilke tilfeller løsningen vil fungere godt, og for hvilke tilfeller den ikke bør benyttes. Løsningen bør testes ved bruk av virkelige data og eventuelt praktisk utprøving på strekningen hvor det er tenkt etablert. Dette for å kunne tilpasse løsningen til situasjonen på stedet, slik at den fungerer på best mulig måte.

## 5.3 Elektronisk bussfelt i lyskryss

### **Besparelse for buss**

Løsningen ser ut til å kunne gi besparelser for bussen. Bussen vil i denne løsningen slippe forsinkelsene i forbindelse med å vente på grønt lys i lyskrysset. Når bussen blir prioritert ved bruk av det elektroniske bussfeltet vil den få tilnærmet ingen forsinkelse. Dette er vist i Tabell 17-Tabell 21. Fra resultatene vil bussen tjene omtrent like mye uavhengig av hvor langt bussfeltet er. Dette er sannsynligvis fordi all trafikk som står på rødt lys vil bli avviklet i løpet av grønttiden når det ikke legges inn prioritering av buss i modellen.

Fra resultatene ser det ut til at dersom bussfrekvensen blir for høy vil det føre til at systemet ikke klarer å hente seg inn igjen mellom hver gang en buss detekteres. Dette fører til at det blir lengre køer, noe som videre hindrer bussen i å komme frem til det elektroniske bussfeltet. Dette gjør da at prioriteringen av bussen må avbrytes. Det elektroniske bussfeltet på 200 meter fungerte ved en høyere bussfrekvens enn det elektroniske bussfeltet på 300 meter, se Tabell 17-Tabell 21. Dette skyldes antakeligvis at det er vanskeligere for systemet å hente seg inn igjen når bussfeltet er så langt som 300 meter, på grunn av lengre rødtider og dermed lengre køer. Et bussfelt på 100 meter fungerte ikke ved noen bussfrekvenser. Dette skyldes sannsynligvis at køen ved rødt lys i lyskrysset uten prioritering til tider er opp mot 100 meter lang, og dersom det legges på litt ekstra rødtid vil denne køen fort strekke seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet og blokkerer for bussen.

## **Påvirkning på annen trafikk**

Tabell 17-Tabell 21 viser at for annen trafikk vil forsinkelsene øke når bussen prioriteres, og denne økningen vil være større etter hvert som bussfrekvensen blir høyere. Ved lav bussfrekvens ser det ut til at annen trafikk påvirkes relativt lite. Dette skyldes at lyskrysset stort sett vil fungere som normalt. Etter hvert som frekvensen øker vil krysset bli mer påvirket, og annen trafikk vil da få økte forsinkelser. Det viste seg også at økningen i forsinkelsene for annen trafikk ble større ettersom det elektroniske bussfeltet ble lengre, se Tabell 17-Tabell 21. Dette skyldes at det blir lengre rødtider ved lengre bussfelt.

## **Usikkerheter med modell og simulering**

Løsningen «Elektronisk bussfelt i lyskryss» hadde mange av de samme utfordringene som løsningen «elektronisk bussfelt». Blant annet var punktet hvor bussen beveger seg over i motgående felt en utfordring. Dersom køen beveget seg oppstrøms dette punktet stoppet prioriteringen opp da bussen ble blokkert. I modellen bør det derfor legges inn en registrering av trafikken oppstrøms det elektroniske bussfeltet slik som i løsningen «elektronisk bussfelt». Det vil også kunne legges inn et område før punktet hvor det elektroniske bussfeltet starter som bussen kan kjøre ut fra dersom køen strekker seg oppstrøms det elektroniske bussfeltet. Dette vil som tidligere nevnt stille krav til sjåføren og sikt på strekningen.

Avstanden fra det elektroniske bussfeltet til detektoren som starter prioriteringen er satt til å være 100 meter lengre enn lengden på det elektroniske bussfeltet. Det vil si at dersom det elektroniske bussfeltet er 200 meter langt, vil avstanden fra det elektroniske bussfeltet til detektoren være 300 meter. Denne avstanden er valgt slik at det motgående feltet er tømt når bussen prioriteres. Dette vil sannsynligvis ikke være den mest optimale avstanden, og den bør derfor studeres nærmere.

Det har ikke blitt sett på hvordan løsningen fungerer dersom det kommer to busser samtidig. Slik løsningen er modellert nå vil den første bussen avslutte prioriteringen når den har kjørt gjennom krysset, slik at bussen som befinner seg i det elektroniske bussfeltet vil få rødt lys og trafikken i det motgående feltet vil få grønt lys. Dette ville i virkeligheten ført til en front mot front kollisjon, og er derfor noe som er nødvendig å rette opp i modellen. Modellen bør derfor optimaliseres slik at den tar høyde for at det kan komme to busser samtidig.

Det har ikke blitt studert nærmere hvordan grøntidene i lyskrysset skal fordeles for at det skal bli best mulig avvikling. Lyskrysset bør derfor optimaliseres dersom det velges å studere løsningen nærmere. Det bør også gjennomføres praktisk utprøving i virkeligheten for å få et bedre inntrykk av hvordan løsningen fungerer.

## 5.4 Midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring

I følge Naper og Aalde (2018) er løsningen vurdert til å ikke være aktuell for norske forhold på grunn av trafiksikkerheten. Nye løsninger er unormale situasjoner for trafikantene, og det er derfor ofte usikkerhet knyttet til innføring av nye løsninger. Hvordan løsningen påvirker trafiksikkerheten vil ikke diskuteres nærmere i denne oppgaven, men det kan likevel nevnes at det er viktig at det merkes tydelig og enkelt hva som gjelder. Det bør settes opp godt synlige vikepliktsskilt med tilhørende vikepliktstrekanter, eventuelt også ekstra oppmerking. I tillegg kan den røde markeringen for kollektivfelt bli ført sammenhengende gjennom hele rundkjøringen, slik at det vises tydelig at det er kryssende busser. Det er også mulig å benytte gult blinkende lys for å varsle.

### **Besparelse for buss**

Det viste seg gjennom simuleringen at løsningen er til stor fordel for bussen. Resultatene viser at bussen vil få tilnærmet ingen forsinkelse ved bruk av reserverte felt gjennom sentraløya ved alle testede trafikkmengder og bussfrekvenser. Dette er vist i Tabell 22, Tabell 24, Tabell 27 og Tabell 29, og samsvarer med det som ble funnet i studien til Aakre og Aakre (2017). Ved en trafikkmengde på 188 kjt/t i alle svingebevegelser og en bussfrekvens på 5 minutter vil bussen kunne tjene rundt 41 sekunder på tiltaket ved ett sirkulerende felt og rundt 28 sekunder ved to sirkulerende felt. Hvor store besparelsene er øker med økende bussfrekvens og økende trafikkmengde.

Resultatene viser at det vil være tilnærmet ingen forsinkelse for bussen dersom den kjører gjennom sentraløya i en rundkjøring. I virkeligheten vil det sannsynligvis være noen forsinkelser når bussen kjører gjennom sentraløya da den ikke vil holde en konstant fart hele veien. Allikevel vil disse forsinkelsene sannsynligvis være mindre enn om bussen heller hadde kjørt uhindret gjennom rundkjøringen.

### **Påvirkning på annen trafikk**

Det ble testet ut hvordan forsinkelsene for annen trafikk er når rundkjøringen utformes med ett sirkulerende felt og to sirkulerende felt. Fra resultatene for ett sirkulerende felt i Figur 86 til Figur 90 ser det ut til at løsningen vil påvirke forsinkelsene for annen trafikk i liten grad dersom bussfrekvensen er lav. Dette er fordi rundkjøringen stort sett vil fungere som normalt, og bussen kjører gjennom rundkjøringen relativt raskt, slik at den sirkulerende trafikken påvirkes lite. Dersom rundkjøringen utformes med ett sirkulerende felt viste det seg at de gjennomsnittlige forsinkelsene for alle svingebevegelser økte lite frem til en bussfrekvens på 1 minutt. Når bussfrekvensen var så høy som ett minutt viste resultatene at det ble ett hopp i forsinkelsen for annen trafikk. Dette er vist i Tabell 23. Videre viste det seg også at økningen i forsinkelse for annen trafikk ble større ved en større trafikkmengde, se Tabell 26.

Dersom rundkjøringen utformes med to sirkulerende felt, vil trafikken som skal rett frem i retning bussen eller til høyre i rundkjøringen slippe å stoppe opp for bussen, og vil dermed ha god fremkommelighet. Forsinkelsene for annen trafikk vil derfor påvirkes mindre dersom rundkjøringen utformes med to sirkulerende felt, dette er vist i Figur 91 til Figur 95. Rundkjøringen med to sirkulerende felt ble utformet med ett felt i innfartene for å

lettere kunne sammenligne med rundkjøringen med ett sirkulerende felt. Det var også ønskelig at trafikken som skulle rett frem fra øst til vest ikke skulle blokkere for trafikken som skulle sør til nord. Løsningen ble derfor modellert slik at det bare var ett felt som krysset kollektivfeltene, og dermed bare en kø. Dette vil gi bedre sikkerhet, bedre oversikt og en enklere konfliktløsning. For at dette skal fungere må det settes opp skilt fra vest og øst som informerer om at man skal benytte venstre felt istedenfor høyre når man skal rett frem. Funksjonen «yellow box» ble også benyttet slik at trafikken stoppet ved stopplinjen til rundkjøringen dersom det ble kø i rundkjøringen. Dette var for å unngå blokkeringer for trafikk som skulle rett frem eller til høyre. Fra resultatene så det ut til at dersom rundkjøringen ble utformet med to sirkulerende felt ble annen trafikk påvirket i liten grad ved alle bussfrekvenser og alle trafikkmengdene som ble testet ut, se Tabell 25 og Tabell 28.

### **Usikkerheter med modell og simulering**

At bussen vil få lite forsinkelser dersom den blir prioritert er åpenbart da bussen har separate bussfelt som kun benyttes av bussen. Det vil derimot være mindre sikkerhet i resultatene for forsinkelse for annen trafikk. Man vil ikke kunne fastsette en konkret økning i forsinkelse, men fra resultatene ser det ut til at økningen er relativt liten. Dette gjelder spesielt dersom rundkjøringen utformes med to sirkulerende felt. Det ser derfor ut til at løsningen vil kunne gi store besparelser for bussen samtidig som annen trafikk påvirkes lite, og løsningen bør derfor undersøkes nærmere og vurderes for norske forhold.

Bussen har forkjøringsrett ved bruk av de midtstilte kollektivfeltene gjennom sentraløya. Trafikken som krysser disse feltene, vil få vikeplikt for bussen. I modellen er det benyttet signalregulering istedenfor vikeplikts regulering, da dette var en enklere måte å modellere løsningen på. Det er ikke benyttet gultid i signalreguleringen, og detektorene som starter og slutter prioriteringen er plassert nært rundkjøringen for å kunne tilsvare vikeplikts regulering. Hvor stor påvirkning dette vil ha på resultatene er usikkert, men den vil sannsynligvis være liten. Det bør allikevel forsøkes å modellere løsningen ved bruk av vikeplikts regulering.

I simuleringen har det kun blitt sett på at det kommer en buss i en retning gjennom sentraløya i rundkjøringen. I virkeligheten vil det gå busser i begge retninger, og disse vil kunne komme med små mellomrom. Dette kan påvirke forsinkelsene for annen trafikk i rundkjøringen. Det bør derfor studeres nærmere hvordan løsningen skal modelleres og hvordan forsinkelsene påvirkes dersom det kommer busser i begge retninger.

## 5.5 Usikkerheter og feilkilder med metoden

Modeller er forenklinger av virkeligheten, og det er derfor mange usikkerheter knyttet til resultatene. Hvordan løsningene er modellert, kalibrert og validert vil påvirke resultatene. En av de store usikkerhetene med modellene er at de ikke har data som de kan kalibreres og valideres opp mot, da løsningene er prinsippløsninger. Modellene er kalibrert opp mot anbefalte verdier i veilederen for reaksjonstider, kjøretøylengde og lengde mellom kjøretøy i kø, men disse verdiene vil kunne variere i virkeligheten. For alle andre parametere er standardverdiene i programmet blitt benyttet, men disse vil også kunne være annerledes i virkeligheten. Når det gjelder validering vil dette ikke være mulig da det ikke finnes data. Da valideringen og kalibreringen er såpass begrenset kan det derfor diskuteres hvor realistiske resultatene er. For å vite mer sikkert hvordan løsningene fungerer vil det derfor være nødvendig å gjøre flere simuleringer ved bruk av virkelige data, og det vil også være nødvendig å gjennomføre praktisk utprøving av løsningene, slik som blant annet ble gjort på Nedre Rælingsveg for elektronisk bussfelt.

Det er flere usikkerheter knyttet til modellene. Dette vil blant annet være at det er lite erfaring med programmet fra før, noe som vil påvirke hvordan løsningene har blitt modellert og kalibrert. Det vil kunne være feil i kodingen av modellene, da spesielt i forbindelse med trafikkstyring ved bruk av detektorer. Det vil kunne være situasjoner hvor trafikkstyringen ikke fungerer som tiltenkt da løsningen ikke har blitt testet for alle mulige utfall.

Resultatene som er funnet er kun basert på simuleringer og ikke praktisk utprøving av løsningene. Dette gjør at resultatene er usikre. Det er gjort en del forutsetninger i modellene som kan diskuteres. Videre er det ikke sikkert at inngangsdataene som benyttes er realistiske, og det er derfor knyttet usikkerhet til hvordan løsningene fungerer i praksis. Resultatene som er hentet ut fra simuleringene bør derfor tolkes med forsiktighet. Ut fra resultatene kan man ikke si noe konkret om hvor store besparelsene for bussen er, eller hvor mye forsinkelsene for annen trafikk øker. Resultatene vil allikevel gi en pekepinn på om løsningene kan gi besparelser for bussen, og i hvor stor grad annen trafikk vil påvirkes av tiltaket. Modelleringen og simuleringen av løsningene har også bidratt med kunnskap om hva som bør bedres og tas hensyn til ved videre arbeid med løsningene.



## 6. Konklusjon

Tema for oppgaven er «Alternative løsninger for prioritering av buss i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering». Gjennom en litteraturstudie, skissefase og modellering og simulering i Aimsun ble følgende funnet ut:

- Hvordan kan buss prioriteres over annen trafikk i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering?
- Hvilken effekt vil prioriteringstiltakene ha på buss og annen trafikk?

### **Hvordan kan buss prioriteres over annen trafikk i forbindelse med kryss uten bruk av tradisjonell signalprioritering?**

Fra litteraturstudiet kom det frem at det finnes mange alternative måter å prioritere bussen på i forbindelse med kryss, men disse løsningene er lite testet ut i Norge. Gjennom en skissefase ble det funnet 8 alternative løsninger for å prioritere bussen i forbindelse med kryss. Her ble bussen prioritert ved bruk av signalregulering, blant annet for å føre bussen foran bilkøen før et kryss, og ved bruk av kollektivfelt som ble ført helt frem til krysset. Fire av disse ble tatt med videre til modellering og simulering i Aimsun. Dette var løsningene «elektronisk busslomme», «elektronisk bussfelt», «elektronisk bussfelt i lyskryss» og «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring».

Løsningen «elektronisk busslomme» går ut på å prioritere bussen ved at annen trafikk stoppes med rødt lys når bussen befinner seg i en busslomme. Dette gjør at bussen slipper å havne bak disse bilene i kø ved innkjøringen til rundkjøringen. Løsningen «elektronisk bussfelt» prioriterer bussen ved at trafikken stoppes i begge retninger før et kryss, og bussen kan benytte motgående felt for å kjøre forbi køen. I løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» stoppes trafikken i alle retninger i lyskrysset når bussen detekteres, og bussen kan da benytte seg av motgående felt for å kjøre forbi køen og gjennom lyskrysset. I løsningen «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring» vil bussen ha forkjørsrett gjennom sentraløya i rundkjøringen, og trafikk som skal krysse kollektivfeltene får da vikeplikt for bussen. Alle disse løsningene er alternative løsninger for å prioritere bussen over annen trafikk uten at det brukes tradisjonell signalprioritering.

### **Hvilken effekt vil prioriteringstiltakene ha på buss og annen trafikk?**

Fra resultatene ser det ut til at alle løsningene vil kunne gi besparelser for bussen. Hvor store besparelsene er varierer blant annet med avstand, bussfrekvens, trafikkmengde og kapasitet ved innkjøring til rundkjøring. Løsningene hvor det benyttes elektronisk bussfelt og løsningen «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøring» viste seg å kunne gi de største besparelsene. For løsningen «elektronisk busslomme» var besparelsene for bussen i resultatene relativt små, men disse besparelsene vil kunne være større ved andre trafikkmengder og avviklingsforhold. Små reduksjoner i forsinkelsen vil også kunne være større dersom man ser på passasjerforsinkelser, i tillegg vil det kunne ha stor innvirkning på påliteligheten til bussen.

Hvordan annen trafikk påvirkes varierer også med avstander, bussfrekvenser, trafikkmengder og kapasitet ved innkjøring til rundkjøring. For løsningen «elektronisk busslomme» ser det ut til at annen trafikk påvirkes i liten grad i resultatene. For løsningen «elektronisk bussfelt» ga en lengre avstand fra rundkjøringen mindre forsinkelser for annen trafikk i bussens kjøreretning. Dersom denne avstanden tilpasses situasjonen på

stedet og det er en kontinuerlig kø ved rundkjøringen, vil trafikken i bussens kjøreretning kunne ha lite økning i forsinkelse. Trafikken i motgående kjøreretning vil få større forsinkelse, og denne vil kunne være lik rødtiden dersom en bil kommer akkurat i det bussen detekteres. For løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» vil forsinkelsene for annen trafikk øke med høyere bussfrekvens og lengde på det elektroniske bussfeltet. For løsningen «midtstilte kollektivfelt gjennom sentraløya i rundkjøringen» vil også annen trafikk påvirkes av bussfrekvens og trafikkmengde. Dersom rundkjøringen utformes med ett sirkulerende felt, er det lite økning i forsinkelsen frem til en bussfrekvens på 1 minutt hvor det blir ett hopp i forsinkelsen. Forsinkelsene vil også øke noe etter hvert som trafikkmengden øker. Dersom rundkjøringen utformes med to sirkulerende felt vil annen trafikk påvirkes lite ved alle bussfrekvenser og trafikkmengder som er testet.

Resultatet er basert på simulering og det har ikke blitt gjennomført praktisk utprøving av løsningene. Modelleringen og simuleringen er gjennomført på et prinsipielt nivå uten særlig kalibrering og ingen validering av modellene. Det vil derfor være usikkerheter knyttet til hvor realistiske resultatene er, og gitt andre forutsetninger vil resultatene kunne være annerledes. Resultatene må derfor tolkes med forsiktighet. Resultatene vil allikevel kunne gi en pekepinn på om løsningene kan gi besparelser for bussen, og i hvor stor grad annen trafikk påvirkes av tiltaket. Modelleringen og simuleringen av løsningene har også bidratt med kunnskap om hva som bør bedres og tas hensyn til ved videre arbeid med løsningene. Det anbefales at løsningene modelleres og simuleres ved bruk av virkelige data, og at det gjennomføres praktisk utprøving av løsningene. Dette for å kunne tilpasse løsningene bedre til hver enkelt situasjon.

## 7. Videre arbeid

Løsningene som er skissert, modellert og simulert i denne studien er prinsipløsninger. Modellene er derfor ikke kalibrert og validert opp mot virkelige data. Dette gjør at det er stor usikkerhet i de resultatene modellen gir ut. Det vil derfor være nødvendig å modellere løsningene ved bruk av virkelige data. Det vil også kunne være nødvendig å gjennomføre forsøk av løsningene i virkeligheten for å få et bedre inntrykk av hvordan de vil fungere, slik som ble gjort for det elektroniske bussfeltet på Nedre Rælingsveg. I oppgaven har det heller ikke blitt studert hvordan løsningene skal gjennomføres i praksis, for eksempel hvordan den geometriske utformingen skal være og hvordan informasjon om prioriteringen skal gis til trafikantene.

Det er behov for forskning på hvordan trafiksikkerheten påvirkes i løsningene. Løsningene skiller seg ut fra det som er normalt. Dette kan føre til forvirring blant trafikantene som benytter seg av løsningene, som igjen vil kunne påvirke trafiksikkerheten. Det vil derfor være nødvendig å se nærmere på hvordan løsningene påvirker trafiksikkerheten. Det bør også studeres hvordan de myke trafikantene skal håndteres i løsningene. Trafikkavviklingen og forsinkelsene i løsningene vil kunne påvirkes av de myke trafikantene, og det vil derfor være nødvendig å gjøre undersøkelser av dette.

Det vil kunne være flere mangler med modellene i Aimsun, og disse bør derfor optimaliseres. Blant annet bør det legges inn en registrering av trafikken oppstrøms rundkjøringen i løsningene «elektronisk busslomme» og «elektronisk bussfelt» slik at prioriteringen ikke starter dersom bussen ikke har noen fordel av prioriteringen. Videre viste det seg at registreringen av køen oppstrøms det «elektroniske bussfeltet» ikke fungerte optimalt i alle tilfeller. Det bør derfor studeres nærmere hvordan denne registreringen bør gjøres. En slik registrering bør også legges inn i løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss». Videre bør det også vurderes å legge inn et område før det elektroniske bussfeltet i modellene «elektronisk bussfelt» og «elektronisk bussfelt i lyskryss» som bussen kan kjøre ut fra dersom køen strekker seg noe oppstrøms det elektroniske bussfeltet. I løsningen «elektronisk bussfelt i lyskryss» bør plasseringen av detektoren som starter prioriteringen studeres nærmere, og det bør også ses nærmere på hvordan grønttidene i lyskrysset skal fordeles for å få best mulig avvikling.

## 8. Referanser

- Aimsun (2022) Aimsun Next 22 User Manual.
- Akcelik & Associates (2020) *User guide SIDRA INTERSECTION 9*. (Hentet: 27.april 2022).
- Appel, K., Aakre, A. og Kronborg, P. (2018) ITS terminology - Terms & Definitions. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/trafikk/its-portalen/its-terminology-2018-web-version.pdf> (Hentet: 16.desember 2021).
- ARAMIS (2015) *Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren*. Tilgjengelig fra: <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=23260> (Hentet: 2.mars 2022).
- Bang, B., Hjelkrem, O. A. og Tveit, Ø. (2010) *PRINT - Prioritering av næringstransport ved feltbruk*. Tilgjengelig fra: [https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi\\_samfunn/6060/rapporter-2010/a16794\\_ap6-simulering.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_samfunn/6060/rapporter-2010/a16794_ap6-simulering.pdf) (Hentet: 3.mars 2022).
- Beirão, G. og Cabral, J. A. S. (2007) Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X07000522> (Hentet: 14.desember 2021).
- Dadashzadeh, N. og Ergun, M. (2018) Spatial bus priority schemes, implementation challenges and needs: an overview and directions for future studies. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-018-0191-5> (Hentet: 3.november 2021).
- Davies, J. (2014) *Traffic Signal Bus Priority: Is it time for a health check?* . Tilgjengelig fra: <http://www.jctconsultancy.co.uk/Symposium/Symposium2014/PapersForDownload/Traffic%20Signal%20Bus%20Priority%20is%20it%20time%20for%20a%20health%20check.pdf> (Hentet: 10.mai 2022).
- Engen, R. et al. (2011) *Gatekryss i bysentrum: Tilrettelegging for og prioritering av gående, syklende og/eller kollektivtrafikk*. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2582799> (Hentet: 16.desember 2021).
- Elektronische Busspur Ehrenderingerstrasse (2019), i Departement bau verkehr und umwelt (red.). (Hentet: 2.juni 2022).
- Ellis, I. (2020) *Fremkommelighet for kollektivtrafikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.tiltak.no/b-endre-transportmiddelfordeling/b-2-tilrettelegging-kollektivtransport/b-2-1/> (Hentet: 10.desember 2021).
- Foss, T., Tveit, Ø. M. og Meland, S. (2008) *Vurdering av trafikkstyringstiltak i vegnettet på Nord-Jæren*. Sintef. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/11550570-Vurdering-av-trafikkstyringstiltak-i-vegnettet-pa-nord-jaeren-sintef-teknologi-og-samfunn-sintef-a8083-afen-rapport.html> (Hentet: 2.mars 2022).
- Gu, W. et al. (2021) An integrated intersection design for promotin bus and car traffic Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X21002266?via%3Dihub> (Hentet: 10.desember 2021).
- Guler, S. I. og Menendez, M. (2013) Empirical Evaluation of Bus and Car Delays at Pre-signals. Tilgjengelig fra: [http://www.strc.ch/2013/Guler\\_Menendez.pdf](http://www.strc.ch/2013/Guler_Menendez.pdf) (Hentet: 16.mars 2022).

- Guler, S. I. og Menendez, M. (2014a) Evaluation of Presignals at Oversaturated Signalized Intersections. Tilgjengelig fra: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2418-02> (Hentet: 16.mars 2022).
- Guler, S. I. og Menendez, M. (2014b) Analytical formulation and empirical evaluation of pre-signals for bus priority. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261514000460> (Hentet: 16.mars 2022).
- Guler, S. I. og Menendez, M. (2015) Pre-signals for bus priority: basic guidelines for implementation. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-015-0104-9> (Hentet: 16.mars 2022).
- Guler, S. I., Gayah, V. V. og Menendez, M. (2016) Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15004210?via%3Dihub#!> (Hentet: 10.desember 2021).
- Gylt, S. og Norgård, H. (2021) *Test av konseptet med bruk av manuell dirigering*. (Hentet: 14.desember 2021).
- Harder, F. og Witzel, M. (2015) *Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren*. Tilgjengelig fra: [https://www.svi.ch/media/upload/publications\\_de/cc72b4c8\\_SVI\\_Merkblatt\\_2013-01\\_150901\\_d.pdf](https://www.svi.ch/media/upload/publications_de/cc72b4c8_SVI_Merkblatt_2013-01_150901_d.pdf) (Hentet: 2.mars 2022).
- Higginson, M. (1999) *Bus priority*. Tilgjengelig fra: [https://www.ciht.org.uk/media/4351/bus\\_priority.pdf](https://www.ciht.org.uk/media/4351/bus_priority.pdf) (Hentet: 3.november 2021).
- Hognestad, S. (2010) *Fremkommelighets tiltak for linje 5*. Rambøll. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2011/03/Rapport-framkommelighetstiltak-Linje5.pdf> (Hentet: 27.april 2022).
- Kjørstad, K. N. og Ellis, I. O. (2018) *Effektivisering av kollektivtransporten*. Urbanet analyse. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/127097681-Rapport-effektivisering-av-kollektivtransporten-en-kartlegging-av-byomrader-som-er-aktuelle-for-byvekstavtaler.html> (Hentet: 3.mars 2022).
- Lerudsmoen, M. B. (2017) Kollektivtransport - utfordringer, muligheter og løsninger for byområder. Tilgjengelig fra: <https://kollektivforum.toi.no/getfile.php/1345380-1497270836/Kollektivforum/Malin%20Bismo%20Lerudsmoen%2C%20SVV.pdf> (Hentet: 16.desember 2021).
- Liang, Y. et al. (2018) Shockwave-Based Queue Length Estimation Method for Presignals for Bus Priority. Tilgjengelig fra: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.0000175> (Hentet: 2.mars 2022).
- Miljødirektoratet (u.å.) *Nullvekstmål for personbiltransporten*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimatiltak/klimatiltak-for-ikke-kvotepliktige-utslipp-mot-2030/transport/nullvekstmal-for-personbiltransporten/> (Hentet: 19.oktober 2021).
- NACTO (u.å.) *Transit street design guide*. (Hentet: 14.desember 2021).
- Naper, H. G. og Aalde, K. (2018) *Prioritering av buss i kryss - eksempelsamling fra Norge og internasjonalt*. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2683301/Kryssl%c3%b8sninger%20buss.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 27.oktober 2021).
- Norheim, B. et al. (2011) *Kollektivtrafikk, veiutbygging eller kaos?* . Urbanet Analyse. Tilgjengelig fra: [96](https://d33by0imu011lz.cloudfront.net/1628684177/uarapport-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

- [23-2011-kollektivtrafikk-veiutbygging-eller-kaos-med-engelsk-sammendrag.pdf](#)  
(Hentet: 28.mai 2022).
- Norheim, B. og Siedler, C. (2012) *Effekter av kollektivtransporttiltak, endret transportomfang og reisemiddelfordeling - kunnskapsoversikt og kunnskapshull*. Urbanet Analyse. Tilgjengelig fra: <https://d33by0imu011lz.cloudfront.net/1628690451/uannotat-45-2012-effekter-av-kollektivtransporttiltak-endret-transportomfang-og-reisemiddelfordeling.pdf> (Hentet: 16.mai 2022).
- Norheim, B. et al. (2015) *Effekter av målrettede tiltak. Klimaeffektiv kollektivsatsing*. (72/2015): Urbanet Analyse. Tilgjengelig fra: [https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/rr-urbanet/Filer-Dokumenter/UArapport\\_72\\_2015\\_Klimaeffektiv-kollektivsatsing\\_effekter-av-tiltak.pdf](https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/rr-urbanet/Filer-Dokumenter/UArapport_72_2015_Klimaeffektiv-kollektivsatsing_effekter-av-tiltak.pdf) (Hentet: 28.mai 2022).
- Norheim, B. (u.å.) *Kollektivtransport. Utfordringer, muligheter og løsninger for byområder*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/miljoennlig-transport/kollektivtransport/kollektivtransport-til-web-23-05-17.pdf> (Hentet: 3.mars 2022).
- Nøklebye, N. (2018) *Enabling Lean Design with Management of Model Maturity*, NTNU. Tilgjengelig fra: [https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2563269?fbclid=IwAR2tsxN5FgBCi7P9hixUA6iTsP-xQ5xSmXkAJ4r8WsQKQW\\_yaQzixqSVeN4](https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2563269?fbclid=IwAR2tsxN5FgBCi7P9hixUA6iTsP-xQ5xSmXkAJ4r8WsQKQW_yaQzixqSVeN4) (Hentet: 27.oktober 2021).
- Persson, J. et al. (2019) *Veileder for Aimsun - delkapitler til veilederen*. Asplan Viak. (Hentet: 3.mars 2022).
- Regierungsrat des Kantons Zug (2013) *Kantonsratsbeschluss betreffend Kredit für eine elektronische Busspur auf der Artherstrasse in Zug und für die Strassensanierung*. Tilgjengelig fra: [https://kr-geschaefte.zug.ch/dokumente/1715/14293\\_2234\\_1\\_Artherstrasse.pdf](https://kr-geschaefte.zug.ch/dokumente/1715/14293_2234_1_Artherstrasse.pdf) (Hentet: 2.juni 2022).
- Rupf, M. (2019) Überholen noch nicht gestattet: Die neue Bus-Spur hat einige Monate Verspätung, *Badener Tagblatt*. Tilgjengelig fra: <https://www.badenertagblatt.ch/aargau/baden/uberholen-noch-nicht-gestattet-die-neue-bus-spur-hat-einige-monate-verspatung-ld.1358913> (Hentet: 2.juni 2022).
- Shu, S., Zhao, J. og Han, Y. (2019) Novel design method for bus approach lanes with bus guidance and priority controls for prioritizing through and left-turn buses. Tilgjengelig fra: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2019/2327876/> (Hentet: 12.desember 2021).
- Siedler, C. og Ruud, A. (2012) *Erfaringer med Bus Rapid Transit og bussprioritering gjennom rundkjøring*. Urbanet Analyse. Tilgjengelig fra: [https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/rr-urbanet/Filer-Dokumenter/UAnotat\\_43\\_2012\\_Bus-Rapid-Transport.pdf](https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/rr-urbanet/Filer-Dokumenter/UAnotat_43_2012_Bus-Rapid-Transport.pdf) (Hentet: 2.mars 2022).
- Statens vegvesen (2007) *Håndbok V322 Trafikksignalanlegg*: Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v322.pdf> (Hentet: 27.april 2022).
- Statens vegvesen (2009) *Håndbok 232 Tilrettelegging for kollektivtransport på veg*. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/196092/HB-232-2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 17.mars 2022).

- Statens vegvesen (2013) Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss: Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf> (Hentet: 11.desember 2021).
- Statens vegvesen (2014) Håndbok V123 Kollektivhåndboka: Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/226193> (Hentet: 3.november 2021).
- Statens vegvesen (2017) *Fremkommelighet for buss*. Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2670398/SVV%20rapport%20434%20Fremkommelighet%20for%20buss.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 3.november 2021).
- Statens vegvesen (2021a) Håndbok N100 Veg- og gateutforming: Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859922/nb> (Hentet: 11.desember 2021).
- Statens vegvesen (2021b) Håndbok N303 Trafikksignaler: Vegdirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859927/nb#id-64c15732-8f74-4a2e-dc50-e9c5b694b0ef> (Hentet: 27.april 2022).
- Sweco (u.å.) *Søknad om prøveprosjekt - beskrivelse av tiltak*. (Hentet: 14.desember 2021).
- TPB (2011) *Bus Priority Treatment Guidelines*. Tilgjengelig fra: [https://nacto.org/docs/usdg/bus\\_priority\\_treatment\\_guidelines\\_national\\_capital\\_region\\_trans\\_planning\\_board.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/bus_priority_treatment_guidelines_national_capital_region_trans_planning_board.pdf) (Hentet: 28.mai 2022).
- Trafikverket (2014) Handbok för kapacitetsanalys med hjälp av simulering. Tilgjengelig fra: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:928885/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 26.oktober 2021).
- Urbanet analyse (2020) *Reisevaner og utviklingstrekk i de fire største byområdene basert på RVU-data for 2013/14, 2018 og 2019*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/nasjonal-transportplan-ntp/reisevaner/28.08.2020-rvu-2019-byomrader-urbanet.pdf> (Hentet: 2.november 2021).
- Vejregler (2012) Håndbog i Trafikplanlægning i byer. Høringsudgave. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.dk/38809723-Haandbog-haandbog-i-trafikplanlaegning-i-byer-anlaeg-og-planlaegning-august-2012-hoeringsudgave.html> (Hentet: 17.mars 2022).
- Vejregler (2016) Håndbog 302 Kollektiv bustrafik og BRT. Tilgjengelig fra: <http://www.ythat.dk/wp-content/uploads/Kollektiv-bustrafik-og-BRT-Juni-2016-1.pdf> (Hentet: 17.mars 2022).
- Viegas, J. og Lu, B. (2007) Widening the scope for bus priority with intermittent bus lanes. Tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03081060108717662> (Hentet: 3. mars 2022).
- Waterson, B. J., Rajbhandari, B. og Hounsell, N. B. (2003) Simulating the impacts of Strong Bus Priority Measures. Tilgjengelig fra: [https://www.researchgate.net/publication/242409847\\_Simulating\\_the\\_Impacts\\_of\\_Strong\\_Bus\\_Priority\\_Measures](https://www.researchgate.net/publication/242409847_Simulating_the_Impacts_of_Strong_Bus_Priority_Measures) (Hentet: 10.mai 2022).
- Wu, J. og Hounsell, N. (1998) Bus priority using pre-signals. Tilgjengelig fra: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856498000081?casa\\_token=7KmMkEfZvroAAAAA:BoJ8Y0WZvKx6JAcPgwLPx2iZ-JGmzE05VgXJu0t4-sDcPg3Z\\_3QuKxQah7LkbrK3Wg2Q\\_vyvHmca](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856498000081?casa_token=7KmMkEfZvroAAAAA:BoJ8Y0WZvKx6JAcPgwLPx2iZ-JGmzE05VgXJu0t4-sDcPg3Z_3QuKxQah7LkbrK3Wg2Q_vyvHmca) (Hentet: 10.desember 2021).

- Zakeri, S. og Choupani, A. (2021) Operational Evaluation of a Throughabout to Give priority to Public Transport at Standard Roundabouts. Tilgjengelig fra: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2021/1840040/> (Hentet: 2.mars 2022).
- Aakre, A. (2020) Bussprioritering ved hjelp av "Queue Jump" - en illustrasjon av hva som skjer og et enkelt beregningseksempel: NTNU. (Hentet: 15.mars 2022).
- Aakre, A. (2021a) *Notat: Forslag til skilting og regulering i forbindelse med elektronisk kollektivfelt*. (Hentet: 2.mars 2022).
- Aakre, A. (2021b) Modellering, simulering og programmering. *TBA4541 Veg, fordypningsprosjekt*: NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 1.april 2022).
- Aakre, A. (2021c) Bus priority - how far should we go? *TBA4345 Sustainability issues in transport*: NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 5.oktober 2021 ).
- Aakre, A. (2021d) Traffic simulation and AIMSUN. *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*: NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 26.oktober 2021).
- Aakre, E. og Aakre, A. (2017) Simulating transit priority: Continuous median lane roundabouts. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091731075X/pdf?md5=1b98d4b7e79185ba3dc19d144f3f4087&pid=1-s2.0-S187705091731075X-main.pdf> (Hentet: 1.april 2022).



## 9. Vedlegg

Vedlegg 1: Litteratursøk

Vedlegg 2: Modeller i Aimsun (komprimert mappe)

Vedlegg 3: Resultater i Excel (komprimert mappe)

Vedlegg 4: Prosjektoppgave høsten 2021 (komprimert mappe)

# Vedlegg 1 - Litteratursøk

Forklaring av fargekoder som er brukt i litteratursøk

Fargekoder for litteratursøk i databaser

<b>For mange treff</b>	<b>Ny relevant litteratur</b>	<b>Ingen treff/relevante eller funnet før</b>	<b>Relevant</b>

Fargekoder for innsnevring av litteratur

<b>Ikke relevant</b>	<b>Relevant</b>

Fargekoder for snowballing

<b>Ingen nye relevante</b>	<b>Ny relevant litteratur</b>	<b>Relevant</b>

# Litteratursøk i databaser

Database	Søkestreng/ord (hvor som helst i artikkelen)	Søkestreng/ord (tittel)	Filter	Totalt antall treff	Relevante treff	Sortert med	Forfatter/forfattere	Tittel	År	Forlag	Konklusjon
Compendex	Bus priority		English, Journal article, book chapter, book	1 078		Relevance					For mange treff
Compendex		Bus priority	English, journal article, book chapter	125		Relevance					For mange treff
Compendex	Bus priority NOT signal*		English, Journal article, book chapter, book	787		Relevance					For mange treff
Compendex		Bus priority NOT signal*	English, Journal article	64	12	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Shu, S.; Zhao, J.; Han, Y.	Novel design method for bus approach lanes with bus guidance and priority controls for prioritizing through and left-turn buses	2019	Hindawi Limited	Relevant
							Liang, Y.; Wu, Z.; Li, J.; Li, F.; Wang, Y.	Shockwave-based queue length estimation method for presignals for bus priority	2018	American Society of Civil Engineers	Relevant
							Wu, W.; Head, L.; Yang, S.; Ma, W.	Development and evaluation of bus lanes with intermittent and dynamic priority in connected vehicle environment	2018	Bellwether publishing, Ltd.	Relevant
							Dadashzadeh, N.; Egun, M.	Spatial bus priority schemes, implementation challenges and needs: an overview and directions for future studies	2018	Springer Verlag	Relevant
							Truong, L.T.; Currie, G.; Wallace, M.; De Gruyter, C.	Analytical approach to estimate delay reduction associated with bus priority measures	2017	Institute of electrical and electronics engineers inc.	Relevant
							Bradshaw, A.	Amicrosimulation approach to modelling bus priority	2010	Hemming Group Ltd	Relevant
							Pye, R.; Bodé, C.	Demonstrating intensive bus priority	2005	Hemming group Ltd	Relevant
							Waterson, B.J.; Rajbhandari, B.	Simulating the impacts of strong bus priority measure	2003	American Society of Civil Engineers	Relevant
							Tyler, N.A.	Contribution of expert opinion to the design of high capacity bus priority systems	1991		Relevant
							Gardner, K.; Cobain, P. A.	Bus priorities: A solution to urban congestion?	1997	Thomas Telford Services Ltd	Relevant
							Rouphail, N. M.	Operational evaluation of bus priority strategies	1984		Relevant

							Constantine, T.; Yough, A.P.	Existing and proposed bus priority schemes	1969		Relevant
Compendex	Bus priority without signal		English, journal article, book chapter	44	4	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Alomari, A.H.; Al-Deek, H; Sandt, A.; Rogers, J.H.; Hussain, O.	Regional evaluation of bus rapid transit with and without transit signal priority	2016	National Research Council	Relevant
							Bhattacharyya, K.; Maitra B.; Boltze, M.	Implementation of bus priority with queue jump lane and pre-signal at urban intersections with mixed traffic operations: lessons learned?	2019	SAGE Publications Ltd	Relevant
							Gu, W.; Mei, Y; Chen, H.; Xuan, Y.; Luo, X.	An integrated intersection design for promoting bus and car traffic	2021	Elsevier Ltd	Relevant
							Wu, J.; Hounsell, N.	Bus priority using pre-signals	1998	Elsevier Sci Ltd	Relevant
Compendex		Bus priority without signal	English, Journal article	1	0	Relevance					Funnet før
Compendex	Spatial AND bus priority		English, journal article, book chapter	15	0	Relevance					Ikke relevant/funnet før
Compendex		Spatial AND bus priority	English, journal article	1	0	Relevance					Funnet før
Compendex	bus priority AND intersection		English, journal article, book chapter	164		Relevance					For mange treff
Compendex		Bus priority AND intersection*	English, journal article	17	2	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Truong, L.T.; Currie, G.; Wallace, M.; De Gruyter, C.	Does combining transit signal priority with dedicated bus lanes or queue jump lanes at multiple intersections create Multiplier effects?	2017	SAGE Publications Ltd	Relevant
							Guler, S.; Gayah, V.; Menendez, M.	Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy	2016	Elsevier Ltd	Relevant
Compendex		Bus priority AND roundabout	Journal article, English	0	0	Relevance					Ingen treff
Compendex	Bus priority AND roundabout		Journal article, English	3	1	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Zakeri, S.; Choupani, A.	Operational evaluation of a throughabout to give priority to public transport at standard	2021	Hindawi Limited	Relevant

Compendex	Public transport OR bus AND priority AND intersection NOT signal*		English, Journal article, book chapter	28	2	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Truong, L.T.; Sarvi, M.; Currie, G.	Exploring multiplier effects generated by bus lane combinations	2015	National Research Council	Relevant
							Bhattacharyya, K.; Maitra, B.; Boltze, M.	Guidance for design and implementation of Queue Jump Lane with presignal for a heterogeneous traffic environment	2020	American Society of Civil Engineers	Relevant
Compendex	Public transport OR Bus AND Priority AND intersection NOT signal*		English, Journal article	1	1	Relevance	Ny relevant litteratur				
							De Keyser, O.; Hillewaere, M.; Audenaert	Optimising the public transport priority at road intersections	2018	Institution of engineering and Technology	Relevant
Compendex	Public transport OR Bus AND Priority AND roundabout NOT signal*		English, journal article, book chapter	6	0	Relevance					Ingen relevante
Compendex	Public transport OR Bus AND Priority AND roundabout NOT signal*		English, journal article, book chapter	1	0	Relevance					Funnet før
Compendex	Innovative AND bus priority AND intersection*		English, journal article, book chapter	7	0	Relevance					Ingen relevante
Compendex	Innovative AND bus priority AND intersection*		English, journal article, book chapter	0	0	Relevance					Ingen treff
Compendex	innovative AND (bus OR public transport) AND intersection AND priority NOT signal*		English, journal article, book chapter	24	0	Relevance					Ingen relevante/funnet før
Compendex	innovative AND (bus OR public transport) AND intersection AND priority NOT signal*		English, journal article	1	0	Relevance					Funnet før
Scopus	Bus priority		English, article, book, book chapter, journal	25 686		Relevance					For mange treff
Scopus	Bus priority		English, article, book chapter, journal	131		Relevance					For mange treff
Scopus	Bus priority NOT signal*		English, article, book, book chapter, journal	22 470		Relevance					For mange treff
Scopus	Bus priority NOT signal*		English, article, book chapter, journal	71	3	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Basbas S	Sustainable urban mobility: the role of bus priority measures	2007	WITPress	Relevant
							Cairns M.R.	Bus priority measures in Avon	1996		Relevant





Web of science	Public transport OR Bus AND Priority AND roundabout NOT signal*		English, article, book chapters	34 460		Relevance				For mange treff	
Web of science	Public transport OR Bus AND Priority AND roundabout NOT signal*		English, article	2124		Relevance				For mange treff	
Web of science	Innovative AND bus priority AND intersection*		English, article	6	0	Relevance				Ingen relevante	
Web of science	Innovative AND bus priority AND intersection*		English, article	0	0	Relevance				Ingen treff	
Web of science	innovative AND (bus OR public transport) AND intersection AND priority NOT signal*		English, article	13	2	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Oguchi, T.; Mitsuyasu, A.; Oshima, D.; Imagawa, T.	An evaluation study on advanced public transport priority system using traffic simulation	2017		Relevant
							Bagloee, SA.; Sarvi, M.; Ceder, A.	Transit priority lanes in the congested road networks			Relevant
Web of science	innovative AND (bus OR public transport) AND intersection AND priority NOT signal*		English, article, book chapter	1	0	Relevance				Funnet før	
Google scholar	Kollektivprioritering i kryss			55	8	Relevance	Ny relevant litteratur				
							Kjørstad, K.N.	Effektivisering av kollektivtransporten	2018	Urbanet analyse	Relevant
							Sandvik, L.J.	Nye ideer for prioritering av kollektivtransport	2017	Master NTNU	Relevant
							Naper, H.G.; Aalde, K.	Prioritering av buss i kryss - eksempelsamling fra Norge og internasjonalt	2018	Vegdirektoratet	Relevant
							Foss, T., Tveit, Ø., Meland, S.	Vurdering av trafikkstyringstiltak i vegnettet på Nord-Jæren	2008	SINTEF	Relevant
							Siedler, C., Ruud, A.	Erfaringer med Bus Rapid Transit og bussprioritering gjennom rundkjøring	2012	Urbanet analyse	Relevant
							Glæver, T.; Tveit, Ø.M.	Rundkjøringer og kollektivtrafikkens fremkommelighet	2006	SINTEF	Relevant
							Heisholt, H.C.	Tilfartskontroll i rundkjøring	2015	NTNU	Relevant





Google scholar	Alternative losungen busbevorzugung			2	0	Relevance					Ingen relevante
Google scholar	Busbevorzugung kreisverkehr			1	0	Relevance					Ingen relevante
Google scholar	Busbevorzugung kreuzung			3	0	Relevance					Ingen relevante
Web of science	Elektronische AND busspur			0	0	Relevance					ingen treff
Scopus	Elektronische AND busspur			0	0	Relevance					ingen treff
Compendex	Elektronische AND busspur			0	0	Relevance					ingen treff
							Hidber, C., Oblozinska, Z., Brunner, P., de Rahm, C. mfl.	Anwendungsbeispiele zur Optimierung in Verkehrsplanung, Transporttechnik und Logistik	1994		Relevant
							Harder, F., Mohr, M., Koy, T., Gasser, Y., Christen, C.	Moeglichkeiten und Grenzen von elektronischen busspuren	2012		Relevant
google scholar	"elektronische busspur"			3	2	Relevance	Ny relevant litteratur				
Web of science	Alternative AND intersection* AND bus priority		English, Article	12	0	Relevance					Ingen relevante

## Innsnevring av litteratur

Funnet med	Forfatter/forfattere	Tittel	År	Forlag	Inkludering/ekskludering basert på tittel/sammendrag/oppsumming
Compendex	Shu, S.; Zhao, J.; Han, Y.	Novel design method for bus approach lanes with bus guidance and priority controls for prioritizing through and left-turn buses	2019	Hindawi Limited	Relevant
Compendex	Liang, Y.; Wu, Z.; Li, J.; Li, F.; Wang, Y.	Shockwave-based queue length estimation method for presignals for bus priority	2018	American Society of Civil Engineers	Relevant
Compendex	Wu, W.; Head, L.; Yang, S.; Ma, W.	Development and evaluation of bus lanes with intermittent and dynamic priority in connected vehicle environment	2018	Bellwether publishing, Ltd.	Relevant
Compendex	Dadashzadeh, N.; Egun, M.	Spatial bus priority schemes, implementation challenges and needs: an overview and directions for future studies	2018	Springer Verlag	Relevant
compendex	Truong, L.T.; Currie, G.; Wallace, M.; De Gruyter, C.	Analytical approach to estimate delay reduction associated with bus priority measures	2017	Institute of electrical and electronics engineers inc.	Ikke relevant
Compendex	Bradshaw, A.	Amicrosimulation approach to modelling bus priority	2010	Hemming Group Ltd	Ikke relevant
Compendex	Pye, R.; Bodê, C.	Demonstrating intensive bus priority	2005	Hemming group Ltd	Ikke relevant
Compendex	Waterson, B.J.; Rajbhandari, B.	Simulating the impacts of strong bus priority measure	2003	American Society of Civil Engineers	Relevant

Compendex	Tyler, N.A.	Contribution of expert opinion to the design of high capacity bus priority systems	1991		Ikke relevant
Compendex	Gardner, K.; Cobain, P. A.	Bus priorities: A solution to urban congestion?	1997	Thomas Telford Services Ltd	Ikke relevant
Compendex	Rouphail, N. M.	Operational evaluation of bus priority strategies	1984		Ikke relevant
Compendex	Constantine, T.; Yough, A.P.	Existing and proposed bus priority schemes	1969		Ikke relevant
Compendex	Alomari, A.H.; Al-Deek, H; Sandt, A.; Rogers, J.H.; Hussain, O.	Regional evaluation of bus rapid transit with and without transit signal priority	2016	National Research Council	Ikke relevant
Compendex	Bhattacharyya, K.; Maitra B.; Boltze, M.	Implementation of bus priority with queue jump lane and pre-signal at urban intersections with mixed traffic operations: lessons learned?	2019	SAGE Publications Ltd	Relevant
Compendex	Gu, W.; Mei, Y; Chen, H.; Xuan, Y.; Luo, X.	An integrated intersection design for promoting bus and car traffic	2021	Elsevier Ltd	Relevant
Compendex	Wu, J.; Hounsell, N.	Bus priority using pre-signals	1998	Elsevier Sci Ltd	Relevant
Compendex	Truong, L.T.; Currie, G.; Wallace, M.; De Gruyter, C.	Does combining transit signal priority with dedicated bus lanes or queue jump lanes at multiple intersections create Multiplier effects?	2017	SAGE Publications Ltd	Ikke relevant

Compendex	Guler, S.; Gayah, V.; Menendez, M.	Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy	2016	Elsevier Ltd	Relevant
Compendex	Zakeri, S.; Choupani, A.	Operational evaluation of a throughabout to give priority to public transport at standard roundabouts	2021	Hindawi Limited	Relevant
Compendex	Truong, L.T.; Sarvi, M.; Currie, G.	Exploring multiplier effects generated by bus lane combinations	2015	National Reasearch Council	Ikke relevant
Compendex	Bhattacharyya, K.; Maitra, B.; Boltze, M.	Guidance for design and implementation of Queue Jump Lane with presignal for a heterogeneous traffic environment	2020	American Society of Civil Engineers	Relevant
Compendex	De Keyser, O.; Hillewaere, M.; Audenaert, P.; Maenhout, B	Optimising the public transport priority at road intersections	2018	Institution of engineering and Technology	Ikke relevant
Scopus	Basbas S	Sustainable urban mobility: the role of bus priority measures	2007	WITPress	Ikke relevant
Scopus	Cairns M.R.	Bus priority measures in Avon	1996		Ikke relevant
Scopus	Polus, A., Schofer, J.L.	Contraflow bus priority lane performance: a case study (Israel)	1979		Ikke relevant
Scopus	Vikovych, I. Wubachyk, R.	"bus lane within the area of intersection" method for buses priority on the intersections	2015	Transport and telecommunication institute	Ikke relevant
Web of science	Viegas, J.; Lu, B.	Widening the scope for bus priority with intermittent bus lanes			Relevant

Web of science	Oguchi, T.; Mitsuyasu, A.; Oshima, D.; Imagawa, T.	An evaluation study on advanced public transport priority system using traffic simulation	2017		Ikke relevant
Web of science	Bagloee, SA.; Sarvi, M.; Ceder, A.	Transit priority lanes in the congested road networks			Ikke relevant
Google scholar	Kjørstad, K.N.	Effektivisering av kollektivtransporten	2018	Urbanet analyse	Relevant
Google scholar	Sandvik, L.J.	Nye ideer for prioritering av kollektivtransport	2017	Master NTNU	Relevant
Google scholar	Naper, H.G.; Aalde, K.	Prioritering av buss i kryss - eksempelsamling fra Norge og internasjonalt	2018	Vegdirektoratet	Relevant
Google scholar	Foss, T., Tveit, Ø., Meland, S.	Vurdering av trafikkstyringstiltak i vegnettet på Nord-Jæren	2008	SINTEF	Relevant
Google scholar	Siedler, C., Ruud, A.	Erfaringer med Bus Rapid Transit og bussprioritering gjennom rundkjøring	2012	Urbanet analyse	Relevant
Google scholar	Sørensen, M.W.J. og Loftsgarden, T.	Tiltak for fotgjengere og kollektivtrafikk i bykryss	2010	TOI	Relevant
Google scholar	Heisholt, H.C.	Tilfartskontroll i rundkjøring	2015	NTNU	Relevant

Google scholar	Glæver, T.; Tveit, Ø.M.	Rundkjøringer og kollektivtrafikkens fremkommelighet	2006	SINTEF	Relevant
Google scholar	Harder, F., Mohr, M., Koy, T., Gasser, Y., Christen, C.	Moeglichkeiten und Grenzen von elektronischen busspuren	2012		Relevant
Google scholar	Hidber, C., Oblozinska, Z., Brunner, P., de Rahm, C. mfl.	Anwendungsbeispiele zur Optimierung in Verkehrsplanung, Transporttechnik und Logistik	1994		Ikke relevant

# Snowballing

Database	Forfatter/forfattere	Tittel	År	Forlag	Forfatter/forfattere	Tittel	År	Konklusjon
Compendex	Dadashzadeh, N.; Egun, M.	Spatial bus priority schemes, implementation challenges and needs: an overview and directions for future studies	2018	Springer Verlag	Ny relevant litteratur			
					Beirão, G.; Cabral, J.A.S.	Understanding attitudes towards public transport and private car: a wualitative study.	2007	Relevant
					Guler, S.I.; Menendez, M.	Empirical evaluation of bus and car delays at pre-signals.	2013	Relevant
					Guler, S.I.; Menendez, M.	Pre-signals for bus priority: basic guidelines for implementation	2015	Relevant
					Guler, S.I.; Menendez, M.	Analytical formulation and empirical evaluation of pre-signals for bus priority	2014	Relevant
					NACTO	Transit street design guide	2016	Relevant
Google scholar	Sandvik, L.J.	Nye ideer for prioritering av kollektivtransport	2017		Ny relevant litteratur			
					Higginson, M.	Bus priority	1999	Relevant
					APTA	Designing Bus Rapid Transit Running Ways	2010	Relevant
					Statens Vegvesen	Rapport nr. 312 superbusskonsept og midtstilt kollektivfelt	2014	Relevant
					Norheim, B.; Ruud, A.	Kollektivtransport - utfordringer, muligheter og løsninger for byområder	2007	Relevant
					Statens Vegvesen	Rapport nr. 39 Gatekryss i bysentrum	2011	Relevant
					Trafikverket	Handbok for kapasitetsanalys med hjelp av simulering	2014	Relevant
					World Resources institute	Traffic safety on bus priority systems		Relevant



						Thru-turn intersections		Relevant
					Det kongelige samferdselsdepartement	Nasjonal transportplan 2014-2023	2013	Relevant
					Statens vegvesen	Håndbok V123 kollektivhåndboka	2014	Relevant
Compendex	Guler, S.; Gayah, V.; Menendez, M.	Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy			Ny relevant litteratur			
					Guler, S.I., Cassidy, M.J.	Strategies for sharing bottleneck capacity among buses and cars	2012	Relevant
					Guler, S. I., Menendez, M.	Evaluation of presignals at oversaturated signalized intersections	2014	Relevant
Google scholar	Kjørstad, K.N.	Effektivisering av kollektivtransporten						Ingen nye relevante
Google scholar	Naper, H.G.; Aalde, K.	Prioritering av buss i kryss - eksempelsamling fra Norge og internasjonalt			Ny relevant litteratur			
					Statens vegvesen	Rapport Nr. 434 Fremkommelighet for buss	2017	Relevant
					Vejdirektoratet	Håndbog kollektiv bustrafik og BRT	2016	Relevant
					Vejdirektoratet/Vejregler	Håndbog i trafikplanlægning i byer. Høringsutgave	2012	Relevant
					Davies, J.	Traffic signal bus priority: Is it time for a health check?		Relevant
Google scholar	Foss, T., Tveit, Ø., Meland, S.	Vurdering av trafikkstyringstiltak i vegnettet på Nord-Jæren	2008					Ingen nye relevante
Google scholar	Siedler, C., Ruud, A.	Erfaringer med Bus Rapid Transit og bussprioritering gjennom rundkjøring	2012		Ny relevant litteratur			
						Vorrang für Busse und Strassenbahnen an Kreisverkehren		Relevant

Google scholar	Sørensen, M.W.J. og Loftsgarden, T.	Tiltak for fotgjenger og kollektivtrafikk i bykryss	2010		Ny relevant litteratur			
					Sørensen, M.	Kryssløsninger i by: Internasjonale anbefalinger for å sikre miljøvennlig bytransport	2009	Relevant
Google scholar	Heisholt, H.C.	Tilfartskontroll i rundkjøring	2015					Ingen nye relevante
Google scholar	Glæver, T.; Tveit, Ø.M.	Rundkjøringer og kollektivtrafikkens fremkommelighet	2006					Ingen nye relevante
Compendex	Shu, S.; Zhao, J.; Han, Y.	Novel design method for bus approach lanes with bus guidance and priority controls for prioritizing through and left-turn buses	2019					Ingen nye relevante
Compendex	Wu, W.; Head, L.; Yang, S.; Ma, W.	Development and evaluation of bus lanes with intermittent and dynamic priority in connected vehicle environment	2018	Bellwether publishing, Ltd.				Ingen nye relevante
Compendex	Bhattacharyya, K.; Maitra B.; Boltze, M.	Implementation of bus priority with queue jump lane and pre-signal at urban intersections with mixed traffic operations: lessons learned?	2019	SAGE Publications Ltd				Ingen nye relevante
Web of science	Viegas, J.; Lu, B.	Widening the scope for bus priority with intermittent bus lanes			Ny relevant litteratur			
					Menendez, M. og Ambuhl, L.	Implementing Design and Operational Measures for Sustainable Mobility: Lessons from Zurich	2022	Relevant
					Guler, S. I., Menendez, M. og Gayah, V.	Providing Bus priority at Signalized intersections with single-lane approaches	2015	Relevant
Compendex	Zakeri, S.; Choupani, A.	Operational evaluation of a throughabout to give priority to public transport at standard roundabouts	2021	Hindawi Limited	Ny relevant litteratur			
					Høsser, Ø.	Prioritizing bicyclist and public transport at intersections	2017	Relevant

Compendex	Bhattacharyya, K.; Maitra, B.; Boltze, M.	Guidance for design and implementation of Queue Jump Lane with presignal for a heterogeneous traffic environment	2020	American Society of Civil Engineers				Ingen nye relevante
Compendex	Wu, J.; Hounsell, N.	Bus priority using pre-signals	1998	Elsevier Sci Ltd				Ingen nye relevante
Compendex	Gu, W.; Mei, Y; Chen, H.; Xuan, Y.; Luo, X.	An integrated intersection design for promoting bus and car traffic	2021	Elsevier Ltd				Ingen nye relevante
Google scholar	Harder, F., Mohr, M., Koy, T., Gasser, Y., Christen, C.	Moeglichkeiten und Grenzen von elektronischen busspuren	2012					Ingen nye relevante

