

Ingrid Helene Bryn Lange

Bruk av feltutvidelse og flettefelt for å forbedre trafikkavviklingen i kryss

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Juni 2022

Ingrid Helene Bryn Lange

Bruk av feltutvidelse og flettefelt for å forbedre trafikkavviklingen i kryss

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

Sammendrag

I kryss vil det kunne oppstå flaskehalser grunnet trafikkbelastning. Dette skaper konflikter og økte reisetider i vegnettverket. En løsning til trafikkavviklingsproblemer i kryss i Norge kunne være å utvide fra ett til to gjennomgående felt før stopplinjen. Disse to feltene fortsetter gjennom krysset før de flettes sammen til ett felt igjen en gitt lengde etter krysset. Dette er en lite utprøvd løsning i Norge, men har potensiale til å bidra til reduksjon av akkumulering av kjøretøy i kryss. Kryssløsningene i fokus i oppgaven er rundkjøringer og signalregulerte kryss, og det er tatt utgangspunkt i en rundkjøring på Klett og et signalregulert kryss på Flatåsen.

Teorien er at feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryssløsninger vil bedre trafikkavviklingen i området. På bakgrunn av dette er det utformet tre forskningsspørsmål. De tre forskningsspørsmålene er som følger:

- Hvordan utformes kryss i Norge?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt modelleres i SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt påvirke trafikkavviklingen i rundkjøringer og signalregulerte kryss?

I Norge i dag velges kryssutforminger etter vegens dimensjoneringsklasse og ÅDT. Litteraturgjennomgangen viser til lite informasjon om feltutvidelse og flettefelt i tilknytning til kryss, og det er få eksempler på slike løsninger i Norge. Gjennom litteraturen kommer det frem at rundkjøringer ikke vil få en dobling av kapasitet ved å ha to sirkulerende felt i forhold til ett. Dette fordi mange vil velge å ikke legge seg i det innerste feltet i frykt for å få vanskeligheter ved utkjøring.

Det er mange emner som er aktuelle ved studie av dette temaet, og oppgaven må derfor avgrenses for å rekke å komme gjennom hovedtemaet; trafikkavvikling og kapasitet i kryssløsninger. Dette vil si at temaer som sikkerhet, utslipp, andre typer kryssløsninger, og kostnader knyttet til implementeringen av slike kryss ikke er tatt med i oppgaven. Effektene skilting og oppmerking m.m. har for trafikkavviklingen blir heller ikke tatt med i oppgaven.

Effekten av feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med rundkjøringer og signalregulerte kryss ble undersøkt ved bruk av programvarene SIDRA INTERSECTION 9.0 og Aimsun Next 22. Datainnsamling skjedde gjennom videoopptak, og relevante parametere ble funnet i manualer, veiledere og standarder. Ved å modellere de eksisterende og tiltenkte løsningene ble det mulig å identifisere noe av effekten løsningen gir på avviklingen.

Resultatene fra begge programvarene viser til en bedring i trafikkavviklingen ved å implementere feltutvidelse og flettefelt. Likevel skal det vises skepsis til resultatene, da det er mange usikkerheter knyttet til modellering. Oppgaven belyser problemstillinger som kan utbedres videre. Modellene kan brukes til en viss grad, men med begrensninger. Det er et utviklingspotensial i både løsningen og modellene.

Det kreves videre arbeid før slike løsninger kan implementeres i stor grad. Ved å undersøke mer nøyaktig hvilke fordeler en slik løsning kan gi for trafikkavvikling, er dette en plassbesparende og enkel løsning å implementere. Andre aspekter som sikkerhet, kostnader og utslipp må også undersøkes mer inngående. Det kan synes som det er et stort potensiale for å bedre trafikkavviklingen med nevnt løsning.

Abstract

Use of field expansion and a merging lane to improve traffic flow and capacity at intersections

Traffic often has points of vehicle accumulation which creates bottlenecks, where traffic flow and capacity is challenging. Intersections are often the cause of bottlenecks, and it could be beneficial to improve traffic flow by increasing the capacity at these points. To improve this traffic flow, it could be possible to implement a second lane through the intersection followed by a merging lane. A merging lane at the intersection could be advantageous compared to the traditional intersection layout. The intersections designs in focus in this thesis are roundabouts and signalised intersections, with starting point at a roundabout at Klett and a signalized intersection at Flatåsen, in Trondheim, Norway.

The theory is that field expansion and a merging lane in connection with the intersection will improve traffic flow in the area. Three research questions have been designed with this in mind:

- How are intersections designed in Norway?
- How can field expansion and a merging lane be modelled in SIDRA INTERSECTION and Aimsun Next?
- How can field expansion and a merging lane affect the flow of traffic at roundabouts and signalised intersections?

Today the intersection designs in Norway are based on the road classification and the yearly traffic in the area. The existing literature displays little information about a merging lane in connection with intersections, and there are few examples of such solutions in Norway. From this literature it seems that roundabouts will not double the capacity with two circulating fields in relation to one, because not many will choose the innermost lane.

The effects of implementing field expansion and a merging lane will be investigated with the use of modelling programs like SIDRA and AIMSUN. These are programs which take driving patterns and traffic flow into consideration. By modelling the existing and intended solution, it became possible to identify some of the changes the solution has on the traffic flow.

The results from both software shows an improvement in traffic flow by implementing a field expansion and a merging lane. Nevertheless, there are many uncertainties associated with modelling. This thesis sheds light on issues that can be remedied further. The models can be used to a certain extent, but with limitations. There is development potential in both the models and the solution. Further work is required before such solutions can be implemented on a large scale. There is great potential with the mentioned solution when all aspects are analysed.

One-liner:

Field expansion and a merging lane at intersections could be advantageous compared to the traditional intersection layout by increasing traffic flow.

Keywords:

- Traffic flow
- Merging
- Intersection
- Traffic modelling

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2022 ved institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven er skrevet innenfor studieretningen veg, jernbane, transport og geomatikk. Dette er den avsluttende oppgaven på et 5 års studie, tilsvarende 30 studiepoeng.

Oppgaven har vært tidskrevende, men samtidig ekstremt lærerikt. Det rettes stor takk til veileder amanuensis Arvid Aakre for gode tips og god veiledning gjennom semesteret, samt bidrag med registrering av trafikk med drone. Takk til medstudent Pernille Munkvold for godt samarbeid i sammenheng med trafikkregistreringer ved Flatåsen-krysset. Gode diskusjoner og samarbeid har gjort oppgaven enklere å gjennomføre, samtidig som gode innspill har ført til bedre problemløsning.

Trondheim, 07.06.2022

A handwritten signature in black ink, reading "Ingrid Helene Bryndøge". The signature is written in a cursive, flowing style.

Innhold

1.	Innledning.....	11
1.1	Introduksjon	11
1.2	Målsetting	12
1.3	Oppgavens oppbygning	12
2.	Teoretisk bakgrunn	13
2.1	Krysstyper	13
2.2	Trafikksituasjoner	18
2.3	Utfordringer	23
3.	Trafikkmodeller og programvarene.....	26
3.1	Trafikkmodeller.....	26
3.2	SIDRA INTERSECTION 9	32
3.3	Aimsun Next 22	38
4.	Forskningsspørsmål.....	43
4.1	Forskningsspørsmål.....	43
4.2	Kunnskapshull	44
4.3	Begrensninger og usikkerheter	45
5.	Områdebeskrivelse.....	46
5.1	Rundkjøring - Klett.....	46
5.2	Signalregulert kryss – Flatåsen	52
6.	Målinger og registreringer	59
6.1	Rundkjøring - Klett.....	59
6.2	Signalregulert kryss - Flatåsen	65
6.3	Trafikktellinger	67
7.	Modellering	75
7.1	SIDRA	76
7.2	Aimsun	90
8.	Resultat	101
8.1	Resultater modellering	101
8.2	Sammenlignet original og ny løsning	115
8.3	Sammenlignet resultater SIDRA og Aimsun	119
9.	Drøfting	121
9.1	Modellering	121
9.2	Problemer med utformingen	124
9.3	Utgåtte deler av oppgaven	125
9.4	Forskningsspørsmål.....	125
10.	Avslutning og videre arbeid	127
11.	Referanseliste.....	128
	Vedlegg	131

Figurliste

Figur 2.1 Ukanalisert og fullkanalisert T-kryss (Statens vegvesen, 2014d).....	13
Figur 2.2 Eksempel på rundkjøring med midtstilt kollektivfelt og signalregulering (Statens vegvesen, 2014c), og rundkjøring med filterfelt (Statens vegvesen, 2014b) ..	14
Figur 2.3 Trelyssignal (hovedsignal), pilsignal og sykkelsignal (Statens vegvesen, 2021b)	16
Figur 2.4 Mulige konfliktpunkter i et T- og K-kryss (Statens vegvesen, 2014d)	16
Figur 2.5 Skilt over ulike typer fletting i trafikken i Norge (Statens vegvesen, 2014a) ..	20
Figur 2.6 Redusering av antall felt vist med ulik prioritering og jevn sammenfletting mellom feltene (Egen illustrasjon)	20
Figur 2.7 Illustrasjon av en fler-trussel ulykke (Egen illustrasjon).....	24
Figur 2.8 Nye konfliktpunkter som oppstår grunnet økning i antall sirkulerende felt (Tollazzi, 2015).....	24
Figur 3.1 Ulike detaljnivåer i trafikmodellering (Aakre, 2021a)	26
Figur 3.2 Detaljnivå og tidsperspektiv for ulike modeller, illustrasjon (Aakre, 2021a) ...	27
Figur 3.3 Illustrasjon av statisk og dynamisk modell (Aakre, 2021a).....	28
Figur 3.4 Modellfeil vs. modellkompleksitet (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)	29
Figur 3.5 Beregning av Peak Flow Factor (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020).....	35
Figur 3.6 Redusering av antall felt med sidefelt og node.....	39
Figur 5.1 Tidligere utforming av vegnettverket på Klett (2015). Hentet fra kart.finn.no sine historiske satellittbilder	46
Figur 5.2 Utsnitt av studieområdet med rundkjøringen på Klett.....	47
Figur 5.3 Oversikt over fartsgrenser i forbindelse med rundkjøring på Klett	47
Figur 5.4 Geometri i rundkjøring på Klett i meter, hentet fra kart.finn.no	48
Figur 5.5 Bussholdeplasser i forbindelse med Klett-rundkjøringen, hentet fra atb.no	49
Figur 5.6 Planlagt løsning for Klettkrysset (illustrasjon: miljøpakken/wikipedia)	50
Figur 5.7 Kart/ prosjektskisse over planlagt arbeid i forbindelse med Klett-rundkjøringen (Miljøpakken Klettkrysset)	50
Figur 5.8 Tidligere utforming av området rundt det signalregulerte krysset på Flatåsen (2012). Hentet fra kart.finn.no sine historiske satellittbilder	52
Figur 5.9 Oversiktsbilde over plassering av det signalregulerte krysset på Flatåsen	53
Figur 5.10 Utsnitt av studieområdet med det signalregulerte krysset på Flatåsen	53
Figur 5.11 Faseinndelingen i Flatåsen-krysset	54
Figur 5.12 Geometri i det signalregulerte krysset på Flatåsen i meter, hentet fra kart.finn.no	55
Figur 5.13 Forslag til løsning (utforming og signalplan) (Illustrasjon: Arvid Aakre)	56

Figur 5.14 Signalregulert kryss på Tiller med to gjennomgående kjørefelt som flettes sammen.....	57
Figur 5.15 Illustrasjon over for liten venstresvingefelt som hindrer trafikk i venstre felt (Egen illustrasjon)	58
Figur 6.1 Trafikkstrømmer i Klett-rundkjøringen.....	59
Figur 6.2 Plassering av kamera og synsfelt ved Klett-rundkjøringen.....	60
Figur 6.3 Synsfelt for kamera 1, utsikt over rundkjøringen	60
Figur 6.4 Synsfelt for kamera 2, utsikt over midten av avkjøringen	61
Figur 6.5 Synsfelt for kamera 3, viser starten av avkjørsel mot motorveg, 11.02.2022 og 18.02.2022	61
Figur 6.6 Snø liggende i avkjøringsfeltet grunnet brøyting av motorveg	62
Figur 6.7 Oppfylt avkjøringsfelt fører til kø i motorvegen og bruk av venstre fil for trafikanter på motorvegen.....	63
Figur 6.8 Tidvis lengre køer fra Fosen	64
Figur 6.9 Gode mellomrom mellom kjøretøy i kø fra Trondheim	64
Figur 6.10 Trafikkstrømmer i Flatåsenkrysset	65
Figur 6.11 Plassering av kamera og synsfelt ved Flatåsenkrysset	65
Figur 6.12 Synsfelt for henholdsvis kamera 1 og 2	66
Figur 6.13 Trafikkregistreringer i Klett-rundkjøringen fredag 11.02.2022 og 18.02.2022	67
Figur 6.14 Trafikkregistreringer inn i hver tilfart i Klett-rundkjøringen 18.02.2022.....	67
Figur 6.15 Registrerte forsinkelser i Klett-rundkjøringen, tilfart fra Trondheim	69
Figur 6.16 Registrerte forsinkelser i Klett-rundkjøringen, tilfart fra Fosen	70
Figur 6.17 Trafikkregistreringer 03.03.2022.....	70
Figur 6.18 Trafikkregistreringer inn i hver tilfart i Flatåsenkrysset ettermiddagen 03.03.2022	71
Figur 7.1 Utformingen av rundkjøringen på Klett laget i SIDRA INTERSECTION 9.0	77
Figur 7.2 Radius og vinkel for innkjøringer i Klett-rundkjøringen	78
Figur 7.3 Ny utforming av rundkjøringen på Klett laget i SIDRA INTERSECTION 9.0	81
Figur 7.4 Utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen laget i SIDRA INTERSECTION 9.0.....	84
Figur 7.5 Kort felt for venstresvingen fra Granåsen som en forenkling av modellen i SIDRA	85
Figur 7.6 Faseinndeling for Flatåsenkrysset	86
Figur 7.7 Den nye utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen, modellert i SIDRA INTERSECTION 9.0.....	88
Figur 7.8 Faseinndelingen for Flatåsenkryssets nye utforming	89

Figur 7.9 Nærbilde av utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22	93
Figur 7.10 Helbilde av utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22	93
Figur 7.11 Nærbilde av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22	96
Figur 7.12 Helbilde av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22	96
Figur 7.13 Utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen modellert i Aimsun Next 22	97
Figur 7.14 Faseinndeling og tider for det originale signalregulerte krysset på Flatåsen	98
Figur 7.15 Utforming av ny løsning for det signalregulerte krysset på Flatåsen modellert i Aimsun Next 22	99
Figur 7.16 Faseinndeling og tider i Aimsun for det nye signalregulerte krysset på Flatåsen	100
Figur 8.1 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring i SIDRA	102
Figur 8.2 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring i SIDRA	104
Figur 8.3 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun	105
Figur 8.4 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring i Aimsun	107
Figur 8.5 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for original utforming av signalregulert kryss i SIDRA	109
Figur 8.6 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for ny utforming av signalregulert kryss i SIDRA	111
Figur 8.7 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for original utforming av signalregulert kryss i Aimsun	113
Figur 8.8 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for ny utforming av signalregulert kryss i Aimsun	114

Tabelliste

Tabell 3.1 Oppsummering av dialogboksene og deres funksjonen	33
Tabell 3.2 Anbefalte verdier for ekstra puljekjøring (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)	34
Tabell 3.3 Standard resultatparametere i SIDRA	36
Tabell 3.4 Nøkkelelementer for modellkalibrering i SIDRA INTERSECTION 9.0 (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)	37
Tabell 3.5 Kalibreringsparametere i Aimsun Next 22 (Aimsun Next 22 Help Manual)	42
Tabell 5.1 Oversikt over kollektivtrafikk i Klett-rundkjøringen, hentet fra atb.no.....	49
Tabell 6.1 Maks trafikk gjennom Klett-rundkjøringen	68
Tabell 6.2 OD-matrise for lette kjøretøy 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10	68
Tabell 6.3 OD-matrise for tunge kjøretøy 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10	68
Tabell 6.4 OD-matrise for buss 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10.....	69
Tabell 6.5 Maks trafikk gjennom Flatåsenkrysset.....	71
Tabell 6.6 OD-matrise for lette kjøretøy 03.03.2022 klokken 15:15-16:15	71
Tabell 6.7 OD-matrise for tunge kjøretøy 03.03.2022 klokken 15:15-16:15.....	72
Tabell 6.8 Kølengder ved start grøntid i antall kjøretøy i makskvarteret på ettermiddagen 03.03.2022	72
Tabell 7.1 Parameterverdier for modellering av rundkjøringen på Klett i SIDRA, rød farge er verdier endret fra standardverdier	76
Tabell 7.2 Parameterverdier for modellering av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett i SIDRA, gul farge er verdier gjenbrukt fra original løsning, rød farge er verdier endret fra standard	80
Tabell 7.3 Parameterverdier for modellering av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, rød farge er verdier endret fra standardverdier.....	83
Tabell 7.4 Parameterverdier for modellering av den nye utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen i SIDRA, gul farge er verdier gjenbrukt fra original løsning, rød farge er verdier endret fra standard	87
Tabell 7.5 Oversikt over standardverdier for mikrosimulering etter internasjonale anbefalinger, standardverdier i Aimsun Next og norske standardverdier, hentet fra Asplan Viaks brukermanual for Aimsun Next i Norge (Asplan Viak, 2019)	90
Tabell 7.6 Foreslåtte parameterverdier for ulike kjøretøytyper fra Asplan Viak sin Aimsun-veileder. Røde celler viser verdier som avviker fra standardverdiene gitt i Aimsun 8 (Asplan Viak, 2019).	91
Tabell 7.7 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av original rundkjøring på Klett i Aimsun	92

Tabell 7.8 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av ny rundkjøring på Klett i Aimsun	95
Tabell 7.9 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av originalt signalregulert kryss i Aimsun	97
Tabell 7.10 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av nytt signalregulert kryss i Aimsun	99
Tabell 8.1 Oppsummerte resultater for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA	101
Tabell 8.2 Registrerte og simulerte forsinkelser for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA	101
Tabell 8.3 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund.....	102
Tabell 8.4 Oppsummerte resultater for ny utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA	103
Tabell 8.5 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund.....	103
Tabell 8.6 Oppsummert noen av resultatene for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun	104
Tabell 8.7 Registrerte og simulerte forsinkelser for original utforming av rundkjøring på Klett, Aimsun.....	105
Tabell 8.8 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund	105
Tabell 8.9 Oppsummert noen av resultatene for ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun	106
Tabell 8.10 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund	106
Tabell 8.11 Oppsummerte resultater for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA	108
Tabell 8.12 Registrerte og simulerte kølengder ved start grønn i antall kjøretøy for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA	108
Tabell 8.13 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund	109
Tabell 8.14 Oppsummerte resultater for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA.....	110
Tabell 8.15 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund	110
Tabell 8.16 Oppsummert noen av resultatene for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun	111

Tabell 8.17 Registrerte kølengder ved start grønttid og simulerte gjennomsnittlige og maksimale kølengder i antall kjøretøy for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun	112
Tabell 8.18 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund	112
Tabell 8.19 Oppsummert noen av resultatene for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun	113
Tabell 8.20 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund	114
Tabell 8.21 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av rundkjøringen på Klett i SIDRA	115
Tabell 8.22 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av rundkjøringen på Klett i Aimsun	115
Tabell 8.23 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA	116
Tabell 8.24 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun	116
Tabell 8.25 Sammenligning av kapasitet for original og ny utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA	117
Tabell 8.26 Sammenligning av volum for original og ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun	117
Tabell 8.27 Sammenligning av kapasitet for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA	118
Tabell 8.28 Sammenligning av trafikkvolum for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun	118
Tabell 8.29 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for original rundkjøring på Klett	119
Tabell 8.30 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for ny rundkjøring på Klett	119
Tabell 8.31 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for originalt signalregulert kryss på Flatåsen	120
Tabell 8.32 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for nytt signalregulert kryss på Flatåsen	120

1. Innledning

1.1 Introduksjon

Dårlig avvikling i trafikken er et utbredt problem, og de fleste har vært ute i trafikken og opplevd å bli stående i kø. Dette er ofte grunnet i for liten kapasitet i vegnettet, og det oppstår flaskehals. I slike flaskehals er det en oppsamling av kjøretøy som skaper dårlig trafikkavvikling. Kryss er ofte et akkumuleringspunkt for kjøretøy, og en flaskehals i vegnettverket. Derfor kan det være fordelaktig å bedre trafikkavviklingen i slike områder, for å skape bedre flyt gjennom hele vegnettet.

En løsning til trafikkavviklingsproblemene i kryss i Norge kunne være å utvide fra ett til to gjennomgående felt før stopplinjen. Disse to feltene fortsetter gjennom krysset før de flettes sammen til ett felt igjen en viss lengde etter krysset. Tanken er at dette bedrer kapasiteten og trafikkavviklingen sammenlignet med en løsning uten utvidelse av antall felt. En slik løsning vil endre kjøremønster og atferd til trafikantene, noe som kan påvirke effektiviteten til slike løsninger.

Kryssløsninger med feltutvidelse og flettefelt eksisterer ikke i stor skala i Norge i dag, og det må gjøres undersøkelser for å se effekten av slike løsninger. Likevel vil en slik løsning kunne bidra til forbedringer uten å kreve for mye arealbruk. Denne løsningen kan implementeres der plassen er begrenset, noe som vil være fordelaktig for mange områder som er i stadig vekst og i allerede etablerte byområder. Fokuset i denne oppgaven vil være på rundkjøringer og signalregulerte kryss, fordi disse krysstypene kan føre til kapasitetsproblemer og vil være aktuelle for innføring av feltutvidelse og flettefelt. Utgangspunktet er en rundkjøring på Klett og et signalregulert kryss på Flatåsen.

Ved å bruke modelleringsprogrammer er det mulig å sammenligne ulike situasjoner og se på effektene av den nye utformingen og endringen i trafikkavviklingen. I denne oppgaven vil det være en sammenligning av en kryssløsning med og uten feltutvidelse og flettefelt ved bruk av programvarene SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next. Dette er programvarer som tar hensyn til kjøremønster og trafikkvolum. Det tas utgangspunkt i allerede eksisterende løsninger for å ha et datagrunnlag til modelleringen.

Ingen av programvarene som benyttes har imidlertid en modell for glidelåsfletting med jevn sammenslåing fra to til ett felt. Dette skaper noen utfordringer og gjør at det kreves noen tilnærminger for å få modellen til å utføre ønskete simuleringer.

1.2 Målsetting

Ettersom krysspunkter i vegnettet ofte er årsaken til akkumulering av kjøretøy og forlenget reisetid er det ønsket å finne en løsning på dette. En løsning som ikke er omtalt mye i litteraturen er feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryss, slik at kapasiteten økes akkurat i krysset. En teori er at dette vil kunne bidra til å bedre trafikkflyten. Hypotesen som er grunnlaget for oppgaven og videre forskningsområde er dermed: Feltutvidelse og flettefelt i tilknytning til rundkjøringer og signalregulerte kryss vil forbedre trafikkavviklingen.

Det er tre forskningsspørsmål som vil være hovedgrunnlaget for rapporten for å søke svar på hypotesen. For å undersøke hypotesen er det viktig å vite noe om hvordan kryss utformes i Norge i dag. I tillegg er det viktig å undersøke hvordan tiltenkt løsning kan modelleres i programvarene. Dette gir et utgangspunkt for å undersøke i hvilken grad feltutvidelse og flettefelt vil kunne påvirke trafikkavviklingen i et kryss.

De tre forskningsspørsmålene er som følger:

- Hvordan utformes kryss i Norge?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt modelleres i SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt påvirke trafikkavviklingen i rundkjøringer og signalregulerte kryss?

1.3 Oppgavens oppbygning

Oppgaven er delt inn i 10 kapitler, inkludert innledningen. Kapittel 2 tar opp det teoretiske grunnlaget for oppgaven, med fokus på krysstyper og avvikling i trafikken. Deretter gis en generell forklaring av trafikkmodeller og programvarene som brukes i oppgaven i kapittel 3.

Kapittel 4 tar opp igjen forskningsspørsmålene, før det blir en områdebeskrivelse av kryssene som er utgangspunkt for oppgaven i kapittel 5. Kapittel 6 viser hvordan trafikken blir målt og registrert ved hjelp av videokamera i felt. Det gir også en oppsummering av observert trafikkavvikling og viser registreringene fra trafikken.

Kapittel 7 viser modelleringen av løsningene i SIDRA og Aimsun. Kapitlene tar opp hvilke parametere som benyttes for å forsøke å tilpasse modellen med den observerte trafikken. For begge programvarene går det gjennom modelleringen for både eksisterende og ny utforming av rundkjøringen på Klett og det signalregulerte krysset på Flatåsen.

Resultatkapittelet, som er kapittel 8, viser resultatene fra modelleringen i programvarene. Modelleringsresultatene presenteres for hvert kryss og utforming i SIDRA og Aimsun, før verdiene blir sammenlignet mellom original og ny løsning. Til slutt vil resultatene mellom programvarene sammenlignes, for å se hvor ulike resultater de ulike programvarene gir.

Diskusjonen av resultater kommer i kapittel 9. Det blir diskutert ulikhetene mellom den originale og nye løsningen, samt ulikhetene som kommer fra de ulike programvarene. Det tar også opp usikkerhetene i resultatene. Til slutt er det en kort avslutning i kapittel 10 etterfulgt av referanselisten.

2. Teoretisk bakgrunn

2.1 Krysstyper

Det vil kun være en generell gjennomgang av dagens kryssutforminger i denne oppgaven. Grundigere forklaringer over valg av krysstype og utforminger finnes i Håndbok V121 og Håndbok N100, og det refereres derfor til disse håndbøkene for mer utfyllende informasjon om kryss. Videre vil det gås grundigere gjennom rundkjøringer og signalregulerte kryss, da dette er krysstypene som undersøkes i oppgaven.

Det er tre generelle kryssutforminger som brukes i Norge, som skilles mellom plankryss og planskilte kryss. Dette består av T- og X-kryss, rundkjøringer og planskilte kryss (Statens vegvesen, 2014d). Videre informasjon er gitt fra Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss fra Statens vegvesen (2014d).

T- og X-kryss deles videre inn i tre kategorier. Disse består av ukanaliserte kryss, kanaliserte kryss og signalregulerte kryss. Et ukanalisert og et fullkanalisert T-kryss vises i Figur 2.1. Ukanaliserte T-kryss er den enkleste typen, som kan være forkjøringsregulert eller vikepliktregulert. Slike krysstyper gir få konflikter, og anbefales derfor fremfor X-kryss av hensyn til trafiksikkerhet. X-kryss er mest aktuelt på steder med tett bebyggelse, og vil med signalregulering ha bedre sikkerhet. Med signalregulering kan også regulering og prioritering av trafikkstrømmene gjøres.



Figur 2.1 Ukanalisert og fullkanalisert T-kryss (Statens vegvesen, 2014d)

Rundkjøringer bør primært brukes der trafikkstrømmene i tilfartene og vegenes funksjon er forholdsvis like. For denne krysstypen er ulykkesfrekvensen og skadegraden vanligvis lavere enn i andre plankryss, grunnet lav fart fra utformingen. Rundkjøringer skal kun etableres på nasjonale hovedveger i knutepunkter eller ved innkjøring til tettsteder.

Planskilte kryss brukes på motorveger og motortrafikkveger, eller andre veger med stor trafikk. Slike kryss gir god avvikling for trafikkstrømmene både på primær- og sekundærveger.

Krysstype burde velges etter en samlet plan over lengre strekninger eller i større områder. Momenter som vurderes før det velges krysstype er blant annet kryssets funksjon, nåværende og fremtidig trafikkmengde, ulykkesituasjon, trafikkavvikling og fartsgrense. Det er ulike krysstyper som er standardkrav for ulike dimensjoneringsklasser (Statens vegvesen, 2021a). Dimensjoneringsklasser skiller veger etter bruk og årsgjennsnitt (ÅDT), og N100 Veg- og gateutforming gir informasjon om hvilke kryss som skal brukes for hvilke vegklasser. Det anbefales å legge kapasitetsberegninger til grunn for valg av utforming.

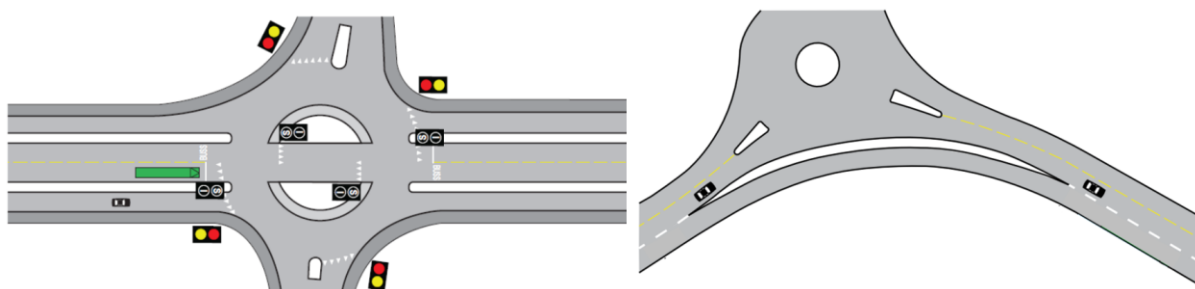
Utforming av kryss varierer avhengig av eksempelvis ekstra felt, antall armer, feltbruk og signalstyring i de signalregulerte kryssene. Kombinasjoner av elementer kan settes sammen på ulike måter for å skape hvert enkelt kryss, og det er dermed ikke et fasitsvar på hvordan utformingen til disse kryssløsningene er.

2.1.1 Rundkjøringer

Rundkjøringer er en krysstype der forbindelsen mellom de kryssende vegene skjer ved envegskjøring mot urviseren rundt en sentral trafikkøye (Elvik, 2020). En slik utforming er med på å øke trafikkkapasiteten og redusere antall alvorlige ulykker, ettersom farten senkes sammenlignet med andre krysstyper (Engstrøm, 2021). Det er oftest vikeplikt inn i en rundkjøring, og trafikanter som allerede er i rundkjøringen har da forkjøringsrett. Ved filskifte inne i rundkjøringer, i tilfeller der det er flere felt, har den som endrer kjørefelt vikeplikt for andre trafikanter (Statens vegvesen).

Det finnes rundkjøringer med ulike antall sirkulerende felt, og diameteren på rundkjøringen avhenger av dette, og hva slags type veg det er. Utgangspunktet for oppgaven er å se på muligheten for å bedre kapasiteten for en 2-feltsveg med 4-armet rundkjøring. For 2-feltsveger skal det ifølge krav 4.27 i N100 Veg- og gateutforming kun være ett kjørefelt i tilfarten, i sirkulasjonsarealet og i utfarten, med mindre det er kapasitetsproblemer (Statens vegvesen, 2021a). I slike tilfeller kan det vurderes å ha to sirkulerende felt.

Det finnes ulike utforminger av rundkjøringer. En rundkjøring kan ha ulikt antall armer, og også inkludere signalregulering, filterfelt eller midtstilt kollektivfelt, som vist i Figur 2.2. I dette prosjektet fokuseres det på enkle rundkjøringer uten kollektivfelt. Et filterfelt vil kunne brukes for å bedre trafikkavviklingen når mye av trafikken i en arm skal til høyre (Statens vegvesen, 2021a). Da slipper denne trafikken å være innom rundkjøringen og hindre annen trafikk eller ta hensyn til andre trafikanter som benytter seg av rundkjøringen. Et filterfelt kan også prioritere kollektivtrafikken. Et filterfelt vil i teorien fungere på samme måte som et flettefelt, ettersom filterfeltet flettes sammen med det eksisterende vegnettverket etter rundkjøringen.



Figur 2.2 Eksempel på rundkjøring med midtstilt kollektivfelt og signalregulering (Statens vegvesen, 2014c), og rundkjøring med filterfelt (Statens vegvesen, 2014b)

Det finnes flere krav til rundkjøringer, slik som regler for sirkulasjonsarealet og sentraløyen. Rundkjøringer må ha plass til tunge kjøretøy, og rundkjøringen skal kun ha ett felt i tilfarten dersom det er gående og syklende som skal krysse tilfarten i plan (Statens

vegvesen, 2021a). Dersom det eksisterer overganger for gående og syklende i aktuelle kryss, må disse altså flyttes i lenger avstand fra rundkjøringen ved implementering av feltutvidelse og flettefelt. Dette er en ulempe fordi det skaper flere steder hvor trafikanter må senke farten, og det kreves større endringer i infrastrukturen. Selv om rundkjøringer er en praktisk kryssløsning med tanke på fartsreduisering, stopp og ulykker, er det en løsning som allerede krever store områder ved implementering.

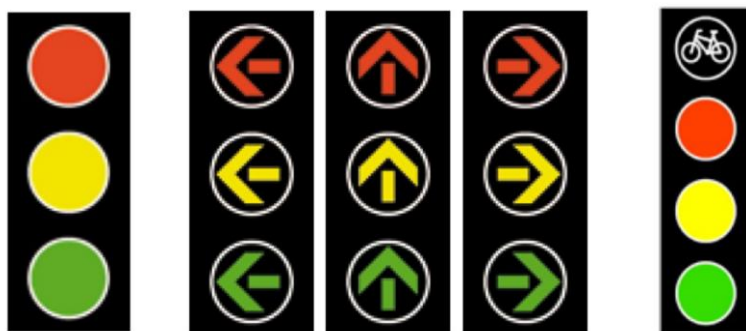
Utformingen av rundkjøringer skal kunne bidra til bedre flyt i trafikken ettersom det ikke kreves fullstendig stopp, slik som i signalregulerte kryss. Likevel kan høye ansamlinger av trafikk føre til nødvendigheten av full stopp. Dermed kan økning i antall felt ut av rundkjøringen bidra til å øke kapasiteten og trafikkflyten. Likevel vil ikke to felt alltid bedre situasjonen i en rundkjøring (Tollazzi, 2015). Selv om målet med økning i antall sirkulerende felt er en økning i kapasiteten, er det ikke en dobling i kapasiteten som er en realitet. En økning fra et til to felt i rundkjøringen gir kun en kapasitetsøkning på 30%, sammenlignet med forventede 100% (Tollazzi, 2015). I tillegg vil trafikksikkerheten synke ved økningen av felt, spesielt om rundkjøringen ikke er laget stor nok. Ifølge Tollazzi (2015) vil yngre og eldre trafikanter unngå det innerste feltet i rundkjøringen ettersom de føler seg usikre ved feltbytter. Det finnes også kompakte to-felts rundkjøringer, der det ikke er oppmerket mellom feltene i sirkulasjonsarealet. Her må større kjøretøy benytte seg av hele bredden av rundkjøringen, men ved behov kan to passasjerbiler kjøre parallelt.

For rundkjøringer er det en sammenheng mellom den sirkulerende strømmen og innkjøringskapasiteten til rundkjøringen (Brilon og Vandehey, 1998). Det kreves en viss avstand mellom to kjøretøy før et annet legger seg inn i rundkjøringen. Når det er stort trafikkvolum fra en arm medfører det stopp i de andre, dersom kjøretøyene kommer tett og det ikke vil bli mulig å legge seg inn fra de andre trafikkstrømmene. I tidsskriftet til Brilon og Vandehey (1998) demonstreres det at geometriske parametere, annet enn antall armer på rundkjøringen, ikke påvirker kapasiteten i stor grad i Tyskland. Dette viser til at et annet eller tredje felt i rundkjøringen ikke øker kapasiteten betraktelig. Dette er sannsynligvis fordi trafikanter ikke vil legge seg i venstre felt i fare for å få vanskeligheter ved utkjøring, slik som også Tollazzi (2015) viser til. Selv om dette gjelder for Tyskland er det sannsynlig å tenke seg at Norge har samme tendenser.

Variasjonen i kjøremønster og kapasitet er mye større for samme type rundkjøring enn for signalregulerte kryss. Brilon og Vandehey (1998) viser frem at faktorer som menneskelig atferd, personlige holdninger, erfaringer og lokale regler påvirker kapasiteten. Kapasiteten påvirkes også av området, avhengig av om det er landlige eller urbane områder rundkjøringen er i. Over tid lager hvert land en egen kultur i forbindelse med bruk av rundkjøringer, og kapasiteten kan dermed øke etter hvert som trafikanter blir vant med løsningen. Kapasitet påvirkes også av andre faktorer som antall fotgjengere og overgangsfelt i tilknytning til rundkjøringen, og den geometriske utformingen med tanke på akselerasjon, retardasjon og økning i reisetiden. Disse faktorene gjør at kapasiteten i en rundkjøring må sjekkes opp igjen en tid etter implementeringen av rundkjøringen.

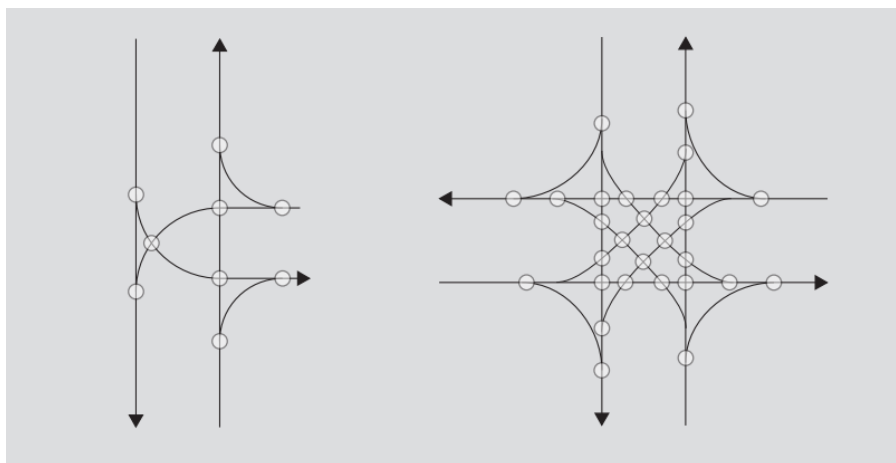
2.1.2 Signalregulerte kryss

I signalregulerte kryss reguleres trafikken gjennom krysset ved bruk av elektriske lyssignaler (Helde, 2021). Trafikksignaler er med på å lede trafikantene, sammen med skilting og vegoppmerking. Det finnes ulike typer signalanlegg, eksempelvis trelyssignal, pilsignal og sykkelsignal, som vist i Figur 2.3. Det vil fokuseres på trelyssignal, også kalt hovedsignal, tilpasset motorisert kjøretøy i denne oppgaven. Her indikerer rødt at trafikanten ikke må passere stopplinja, mens grønt lys indikerer at trafikanten kan krysse stopplinja om vegen er fri for hindre.



Figur 2.3 Trelyssignal (hovedsignal), pilsignal og sykkelsignal (Statens vegvesen, 2021b)

Løsninger med signalregulerte kryss vil kunne bidra til å unngå konflikter der det er mange trafikanter i ulike kjøreretninger (Høye, 2015). Signalregulerte kryss vil skille trafikstrømmene fra de ulike kjøreretningene og bidra til å forhindre ulykker i forbindelse med konfliktpunkter, ved at de ulike strømmene beveger seg i ulike faser. Faser er hvilke kjøreretninger som har grønt ved ulike tidspunkt. I sum vil alle fasene i et kryss dekke alle signalgruppene (Statens vegvesen, 2007). Det er ønskelig å ha så få faser som mulig i et omløp, da dette bedrer kapasiteten ved å gi minst tapt tid grunnet vekslinger mellom fasene. Likevel avhenger antall faser av hvilke konflikter som skal tillattes i krysset. Dette igjen avhenger av antallet kjøretøy i de ulike kjøreretningene og antall fotgjengere i området. Noen av de mulige konfliktpunktene i et T- og X-kryss er vist i Figur 2.4. Konfliktpunkter er områder der sannsynligheten for at ulykker eller usikkerheter oppstår er høyere enn ellers. Et T-kryss vil ha 9 mulige konfliktpunkter. For et X-kryss vil det være 28 mulige konfliktpunkter mellom alle trafikstrømmene (Statens vegvesen, 2014d).



Figur 2.4 Mulige konfliktpunkter i et T- og X-kryss (Statens vegvesen, 2014d)

Signalregulerte kryss kan styres på ulike måter. Dette kan være tidsstyring, trafikkstyring, samkjøring, områdeoptimalisering og manuell styring (Statens vegvesen, 2007). Signalregulerte kryss som er tidsstyrte har en fast faseplan og faste grøntider uavhengig av trafikken. De ulike fasene vil ha tilpasset grøntid på forskjellige tider av døgnet, slik som rush og lavtrafikk. Trafikkstyrte signalanlegg har variabel omløpstid avhengig av trafikken i de ulike trafikkstrømmene. Her detekteres trafikken, og grøntiden kan forlenges eller reduseres ettersom hvor det er trafikk.

Samkjørende signalanlegg er når to eller flere kryss etter hverandre samkjøres for å gi en grønn bølge for trafikantene. En grønn bølge vil si at de grønne fasene i signalanlegg plassert etter hverandre passer sammen, slik at trafikken kan kjøre rett gjennom alle kryssene uten stopp. Områdeoptimaliserte signalregulering gjelder når fasene optimaliseres ut fra kontinuerlige trafikktegn. Manuell styring av signalanlegg skjer bare i spesielle situasjoner hvor det er behov for særegne fasefordelinger. I denne oppgaven vil tidsstyring og trafikkstyring bli diskutert videre, men de andre signaltypene kan være aktuelle i noen tilfeller.

I tillegg kan signalanlegg prioritere enkelte trafikkstrømmer foran andre. Dette gjelder spesielt kollektivtrafikk, som både kan prioriteres passivt og aktivt. Passiv prioritering skjer gjennom fast programmering i anlegget, som eksempelvis gir lenger grøntid for trafikkstrømmene med kollektivtrafikk eller grønn bølge for kollektivtrafikk.

Aktiv prioritering skjer gjennom detektering av kollektivtransporten slik at kollektiv-enheten påvirker signalfasene. Dette kan forlenge grøntiden, eller veksle tilbake fra oransje til grønt lys for å slippe bussen gjennom. Denne detekteringen kan komme gjennom induktiv kommunikasjon, sløyfer eller radiodetektering (Statens vegvesen, 2007). Dette utdypes ikke da det ikke omhandles av oppgaven.

Annen trafikk som er tilkoblet infrastrukturen kan også påvirke fasetidene i signalregulerte kryss. Her vil også annen trafikk som ikke er koblet til infrastrukturen dra nytte av sanntidsregulerte kryss og de kjøretøyene som er tilkoblet (Astarita *et al.*, 2019). Dette blir en form for detektering av trafikken. Ulempen med slike kryss som avhenger av tilkoblede kjøretøy, er at ikke-tilkoblede kjøretøy i noen tilfeller kan få forlenget reisetid dersom det ikke er noen tilkoblede kjøretøy i samme trafikkstrøm.

Enkelte kjøretøygrupper kan også prioriteres via egne felt. I et kollektivfelt prioriteres en gruppe kjøretøy, og trafikkavviklingen blir bedre for denne gruppen. Samtidig kan dette skape dårligere eller bedre avvikling for andre kjøretøy, enten ved at det fjerner et felt for bruk fra andre, eller at andre grupper tidvis kan benytte seg av dette feltet. Et eksempel på dette er el-biler som kan benytte seg av dette feltet under gitte betingelser.

Det er noen regler angående omløpstid og gultid i norske signalanlegg. Håndbok N303 Trafikksignaler oppgir slike regler (Statens vegvesen, 2021b). Dette inkluderer at maksimal omløpstid ikke skal overstige 120 sekunder. Gultid avhenger av fartsgrensen. Ved fartsgrenser lik eller under 50 km/t er fast gultid 3,0 sekunder. For 60 km/t er gultiden 4,0 sekunder. For mer informasjon om regler henvises til Håndbok N303.

2.2 Trafikksituasjoner

2.2.1 Forsinkelse og kø

Forsinkelse defineres av The Highway Capacity Manual som tillegget i reisetid som en sjåfør, passasjer eller fotgjenger opplever (U.S Department of Transportation). Dette vil være forskjellen mellom en «ideell» reisetid og den faktiske reisetiden over en strekning. Hva som er den ideelle reisetiden er en hypotetisk verdi, og forsinkelse er derfor ikke alltid direkte målbart i felt. Den ideelle reisetiden kan defineres som reisetiden utenfor rushtiden. Da vil forsinkelsen være differansen mellom den målte reisetiden i og utenfor rushtiden. Den ideelle reisetiden kan også defineres som å reise ved den oppgitte fartsgrensen, men dette kan ikke direkte måles i felt. Det er vanligst å bruke reisetid utenfor rushtiden som en nullforsinket og ideell reisetid. Det er denne definisjonen som brukes i oppgaven.

Reisetiden ved en nullforsinkelsestilstand kan variere avhengig av førere og kjøretøy. Dette er fordi ønsket hastighet er en funksjon av individuell føreratferd, og kjørebaneegenskaper (Transportation Research Board, 2016). Slike ulikheter blir ikke tatt hensyn til i denne oppgaven, men kan være aktuelle for andre problemstillinger.

Etter definisjonen i The Highway Capacity Manual er et kjøretøy i kø dersom det er innenfor en billengde fra et stoppet kjøretøy og selv er i ferd med å stoppe. Likevel kan kø oppfattes ulikt for enkeltindividet (Ministry of Transport New Zealand, 2020). Etter hvert som belastningen på vegnettet øker, vil vegnettet bli preget av lavere hastigheter og lenger og ustabile reisetider. Dermed kan kø også regnes som områder på vegnettverket som holder lavere hastigheter og lenger reisetider enn uforstyrret trafikktilstand. Det skilles også mellom saktegående og stillestående køer.

2.2.2 Flaskehals

Flaskehals er en delstrekning eller krysstillert hvor trafikktilstrømningen periodevis overskrider kapasiteten (Vejdirektoratet, 2019). Kapasitet defineres i Highway Capacity Manual som det maksimale timevolumet av personer eller kjøretøy som kan forventes å krysse et punkt eller en seksjon av en veg i løpet av en gitt tid under gitte forhold (Transportation Research Board, 2016). Trafikkapasitet, som er den aktuelle kapasiteten for oppgaven, handler om det maksimale antallet kjøretøy som kan passere et punkt under visse forhold, uten påvirkning fra nedstrøms trafikkoperasjoner slik som ryggende køer.

Dersom det er høyere innstrømning av kjøretøy enn det er ut av flaskehalsen, vil køen fortsette å vokse bakover. Dette vil fortsette å skje frem til strømningshastigheten oppstrøms ikke er større enn nedstrøms, og slutten av køen oppløses.

Det finnes både aktive og skjulte flaskehals (Transportation Research Board, 2016). Aktive flaskehals defineres som et område der forholdet mellom etterspørsel og kapasitet er større enn 1, et forhold mellom strømning og kapasitet lik 1, og en oppstrøms kø fra flaskehalsen. Aktive flaskehals er overbelastningspunkter som er lettest å kjenne igjen.

Skjulte flaskehals har i likhet med aktive flaskehals et forhold mellom etterspørsel og kapasitet større enn 1, men har i de fleste tilfeller et strømnings- og kapasitetsforhold

mindre enn 1. Her er det heller ingen kø oppstrøms i seksjonen. I skjulte flaskehalses måles etterspørselen av en mer alvorlig aktiv flaskehals oppstrøms. Ettersom en del av etterspørselen blir lagret i den oppstrøms køen dannet av den aktive flaskehalsen, vil det ikke dannes køer i den skjulte flaskehalsen. Dette er grunnen til at forholdet mellom den faktiske strømmingen av kjøretøy og kapasiteten i punktet er mindre enn 1.

Kjennskap til skjulte flaskehalses er viktig når utbedringer for et overbelastet område skal evalueres. Dersom det kun er den aktive flaskehalsen som utbedres kan det resultere i at en eller flere skjulte flaskehalses skaper overbelastninger i en annen lokasjon nedstrøms for den tidligere flaskehalsen. For å fjerne all overbelastning på et område, må det skje en utbedring av alle de aktive og skjulte flaskehalsene.

Den seksjonen som bryter sammen tidligst kalles det kritiske segmentet, gitt at forholdene ikke endres (Transportation Research Board, 2016). Det kritiske segmentet avhenger av de relative etterspørselsegenskapene og kan endre seg over tid. Når et sammenbrudd først finner sted vil strømningshastigheten ut av køen generelt være lavere enn den var før sammenbruddet, og gjør at kapasiteten reduseres på seksjonen etter flaskehalsen. Når køen er tømt vil seksjonens originale kapasitet gjenopprettes.

Årsakene til en flaskehals kan være permanente forhold i vegnettet, vegarbeid, eller en hendelse som eksempelvis trafikkulykker eller saktegående kjøretøy (Vejdirektoratet, 2019). Hvor effektivt trafikantene kjører under omstendighetene vil også kunne påvirke trafikkflyten og skape flaskehalses. Kryss på en vegstrekning kan ofte være grunnen til en flaskehals på vegnettet over lenger periode, da dette er et permanent forhold. I perioder med stor trafikktilstrømning vil avviklingskapasiteten til kryssløsningen bli overskredet, og det er da flaskehalses dannes. Grunnet overskridelsen av kapasiteten vil det dannes en kø foran kryssets stopplinje. Det er derfor ønskelig å øke kapasiteten i området som skaper en flaskehals, for å unngå kødannelse og bedre trafikkflyten på vegnettet.

Rundkjøringer og signalregulerte kryss kan skape flaskehalses i trafikken. Rundkjøringer kan virke som en flaskehals i vegnettet både ved tilfarten og utfarten. Ettersom avstanden mellom to mulige flaskehalspunkt er så kort, forplanter overbelastningen av vegnettet seg videre til de andre rundkjøringsarmene (Ke-Zhao *et al.*, 2010). Signalregulerte kryss kan skape flaskehalses ved at kapasiteten er overmettet. Dette kan skje ved at enkelte bevegelser, gjerne venstresving, sperrer for resten av trafikkstrømmen, eller at så få trafikanter kommer gjennom krysset i den grønne fasen at det forblir en voksende kø igjen foran stopplinjen (Sun *et al.*, 2015). Selv ved optimalisering av signalreguleringen er den teoretiske kapasitetsgrensen nådd for trafikkstrømmene, og vegnettet blir overbelastet.

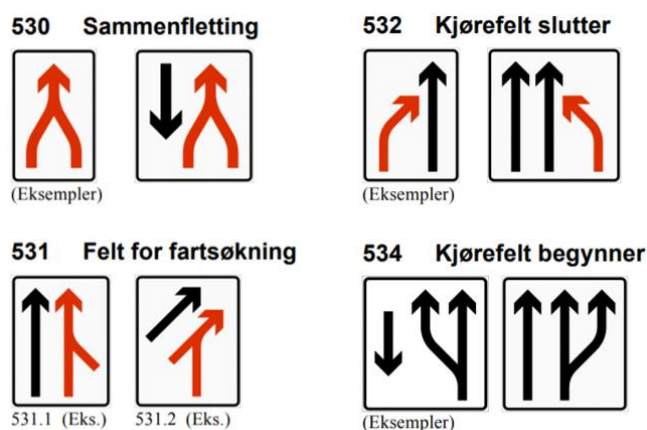
2.2.3 Fletting i trafikken

Fletting i trafikksammenheng er når kjøretøy har gjensidig vikeplikt til hverandre, og gjensidig må tilpasse farten i forhold til hverandre slik at de kan fortsette kjøringen uten å være til hinder for hverandre. I slike tilfeller har ingen av kjøretøyene forkjørsrett. Dette kan også kalles glidelåsregelen, og disse reglene ble innført i Norge i 1986 (Helde, 2020). Fletting finnes både når antallet kjørefelt i samme retning reduseres, eller når det kommer en annen trafikkstrøm som skal legges inn med den eksisterende, for eksempel ved påkjøring på motorveg.

Skiltene Figur 2.5 er hentet fra Håndbok N300 Trafikkskilt (Statens vegvesen, 2014a). Her vises eksempler på ulike typer fletting som finnes. Skilt nummer 530 viser sammenfletting

ved reduksjon i antall kjørefelt, der kjøretøyene må tilpasse hverandre for å flettes sammen til et mindre antall kjørefelt. Skilt nummer 531 viser felt for fartsøkning, og det er slike skilt som vises ved påkjøringsfelt for motorveger.

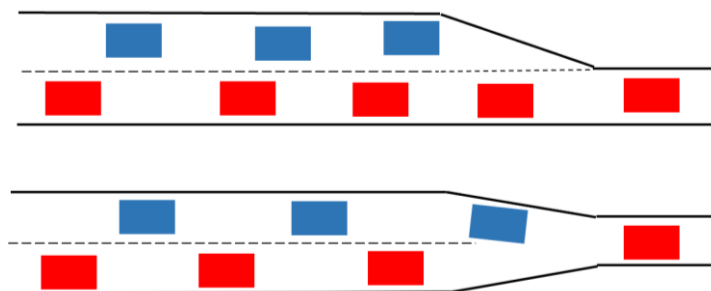
Det finnes også tilfeller der antall kjørefelt reduseres uten sammenfletting. Dette illustreres ved skilt 532, vist i Figur 2.5. Da vil det kjørefeltet som slutter ha vikeplikt for kjørefeltene som fortsetter videre, og trafikantene må tilpasse seg kjøretøyene i dette feltet ved endring av felt. Sammenfletting og avslutning av felt kan være i forbindelse med forbikjøringsfelt, der antallet kjørefelt økes og et nytt kjørefelt begynner, vist med skilt 534.



Figur 2.5 Skilt over ulike typer fletting i trafikken i Norge (Statens vegvesen, 2014a)

Utforming ved redusering av felt

For at fletting skal fungere optimalt må utformingen være slik at sammenflettingen fremmer samarbeid. Reduksjonen av felt burde skje jevnt mellom de to kjørefeltene som samles. Om det er slik at et felt fortsetter, mens det andre skal kjøre inn i dette, blir det automatisk at det feltet som fortsetter rett frem får en forkjørsrett, selv om feltene har lik prioritet og vikeplikt for hverandre. De ulike sammenflettingene av felt er illustrert i Figur 2.6, med en løsning der det ene feltet avsluttes mens det andre fortsetter rett frem, og en løsning med jevn overgang fra to felt til ett. For førstnevnte løsning blir fort venstrefeltet vikende for det høyre. I teorien skal kjøretøyene legge seg alternerende mellom feltene, men grunnet utformingen av løsningen kan flere fra høyre felt legge seg etter hverandre. En jevn innsnevring mellom feltene fremmer alternerende fletting, såkalt glidelåsfletting. Da vil trafikantene tilpasse hastigheten til hverandre, og hver trafikant forholder seg kun til kjøretøyet de skal legge seg bak.



Figur 2.6 Redusering av antall felt vist med ulik prioritering og jevn sammenfletting mellom feltene (Egen illustrasjon)

Når det er tosidig innsnevring, der begge innkjøringsfelt reduseres samtidig til et felt og prioriteringen til et kjørefelt elimineres, forbedres også forsiktigheten i flettemanøveren (Idewu og Wolshon, 2010). Resultatene fra Idewu og Wolshon (2010) viser til at jevn sammenslåing av kjørefeltene vil kunne forbedre trafikken ved å redusere kølengdene oppstrøms ved at begge feltene blir jevnt brukt. I tillegg økes kapasiteten ved at det blir jevnere hastigheter mellom feltene som skal flettes sammen, og færre bytter felt før sammenflettingen starter. Det er heller ingen fordel for trafikantene å bytte felt tidligere. Dermed blir det ikke skapt forvirring over hvilket kjørefelt som opphører.

Videre viser resultatene fra Idewu og Wolshon (2010) at hastigheten senkes ved jevn sammenfletting sammenlignet med tilfeller der det ene feltet avslutter og det andre fortsetter. Dette vil være fordelaktig der det er ønsket med høyere forsiktighet og en ryddigere feltreduksjon. Det kan være aktuelt med slike løsninger etter kryss hvor et felt avsluttes. Det kommenteres at reduksjonshastigheten kan være forårsaket av sammenfletting som et nytt konsept der forsøkene ble gjennomført. Dermed vil hastighetsreduksjonen med sannsynlighet være mindre en tid etter implementering. Resultatene fra Idewu og Wolshon (2010) har tatt utgangspunkt i feltreduksjon grunnet vegarbeid, men det kan være mulig å benytte resultatene herfra i andre situasjoner. I tillegg vises det til at lengden av flettefeltet ikke gir en signifikant forskjell på trafikkflyten (Idewu, Chanpiwat og Naghawi, 2019).

Andre tilfeller av fletting og samarbeid i trafikken

Det er mulig å observere fletting i trafikken i situasjoner der det ikke er antall kjørefelt som reduseres. Dette kan observeres i kryssløsninger, der det er samarbeid mellom trafikanter for å holde trafikken i gang. Det vil ikke bli gått i dybden på fletting og samarbeid i trafikken som ikke gjelder redusering av felt, da dette vil være utenfor oppgavens omfang, men noen eksempler nevnes.

For ikke-signaliserte kryssløsninger er det vanligere med samarbeid enn for signal-regulerte kryss. Aakre (2019) skriver om to typer samarbeid som er sentrale for overmettede kryss i trafikken. Det ene samarbeidet gjelder mellom trafikanter for å oppnå en trygg og effektiv trafikkflyt. Det andre gjelder trafikanter som fordeler prioritet mellom motstridende bevegelser i situasjoner hvor kryssutformingen eller trafikkreguleringen feiler å gjøre det på en hensiktsmessig måte.

Trafikanter i den prioriterte strømmen kan gi muligheter til fletting for de ikke-prioriterte kjøretøyene. Ved å ofre noen sekunder selv vil den økte kollektive effektiviteten resultere i høyere kapasitet, og mindre køer og forsinkelser. Dette skjer i kryssløsninger uten nedstrøms strømningsbegrensninger.

For tilfeller med nedstrøms strømningsbegrensninger er kapasiteten begrenset av strømmen nedstrøms flaskehalsen. Det vil altså ikke bli noen høyere gjennomstrømning grunnet økt effektivitet mellom trafikantene. Derimot kan samarbeid minimalisere forsinkelse og kø for trafikanter som ikke skal mot den nedstrøms flaskehalsen, ved å fordele prioritet mellom motstridende bevegelser. Her vil det ikke være noen fordeler for den prioriterte strømmen å samarbeide med resterende strømmer. Eksempelvis er dette aktuelt i rundkjøringer, der en utfart har avviklingsproblemer.

Bruk av feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryss

For å få en oversikt over bruken av feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med signalregulerte kryss og rundkjøringer ble aktuelle aktører som arbeider innen feltet kontaktet. Dette bestod blant annet av aktuelle personer som arbeider i vegvesenet. Ut fra dette kom det fram at ingen er kjent med slike løsninger i signalregulerte kryss, og kun et fåtall i rundkjøringer. De få rundkjøringene som eksisterer i dag har ikke hatt registreringer for å se på fordelingen av trafikk mellom kjørefeltene, og det er derfor ikke lett å kommentere på resultatene av en slik løsning.

Selv om kontaktede aktører ikke hadde kjennskap til slike løsninger i signalregulerte kryss, ble det gjort kjent med et fåtall av områder som har lignende løsninger i Trondheimsområdet. Det ene området er ved Solsiden, der en rundkjøring er i nær tilknytning til et signalregulert kryss. Her går det to utfarer fra rundkjøringen inn i det signalregulerte krysset, som flettes med lik prioritet sammen til et felt før neste rundkjøring. Siden det er så mange kryss i tett forbindelse med hverandre kan det være vanskelig å skille flaskehalsene fra hverandre og eventuelt se en effekt av en slik løsning.

Et annet område der det er bruk av to gjennomgående felt som reduseres til et i forbindelse med et signalregulert kryss er på Tiller. Her er det derimot ikke lik prioritering mellom feltene ved reduksjon av antall felt, noe som kan påvirke bruksgraden og fordelingen mellom feltene. Dette signalregulerte krysset vil kommenteres senere i oppgaven.

Feltutvidelse og flettefelt som kømagasin

Feltutvidelse og flettefelt kan benyttes som kømagasin for å unngå tilbakeblokkeringer som dannes grunnet kø i forbindelse med flaksehals. Ved å ha to felt fremfor ett, doubles plassen til kjøretøy over en viss avstand, og reduserer sannsynligheten for blokkering nedstrøms flaskehals. Dermed kan feltutvidelse og flettefelt ha flere funksjoner enn å bare få trafikkavviklingen på strekningen til å gå raskere, men også bidra til å unngå flere flaskehals på en strekning.

Fletting som flaskehals

Flettefelt kan også skape flaskehals i områder dersom det ikke er tenkt på utformingen. Eksempelvis kan flettefeltene være for korte, som kan skape kø som beveger seg bakover og inn i krysset, og hindrer trafikken fra de andre tilfartene. Spesielt vil dette gjelde for signalregulerte kryss. Her kommer det mange kjøretøy gjennom krysset på kort tid når det er grønt lys. Dersom det ikke er plass til like mange kjøretøy på andre siden av krysset vil de kunne bli stående inne i krysset når andre trafikkstrømmer får grønt lys. I tillegg vil kjøretøyene komme tett på hverandre etter krysset. For at trafikantene skal ha mulighet til å tilpasse seg hverandre, kreves det en viss lengde på feltene før fletting. For rundkjøringer vil ikke problemstillingen være like stor, da kjøretøyene kommer mer ujevnt og med generelt lave hastigheter.

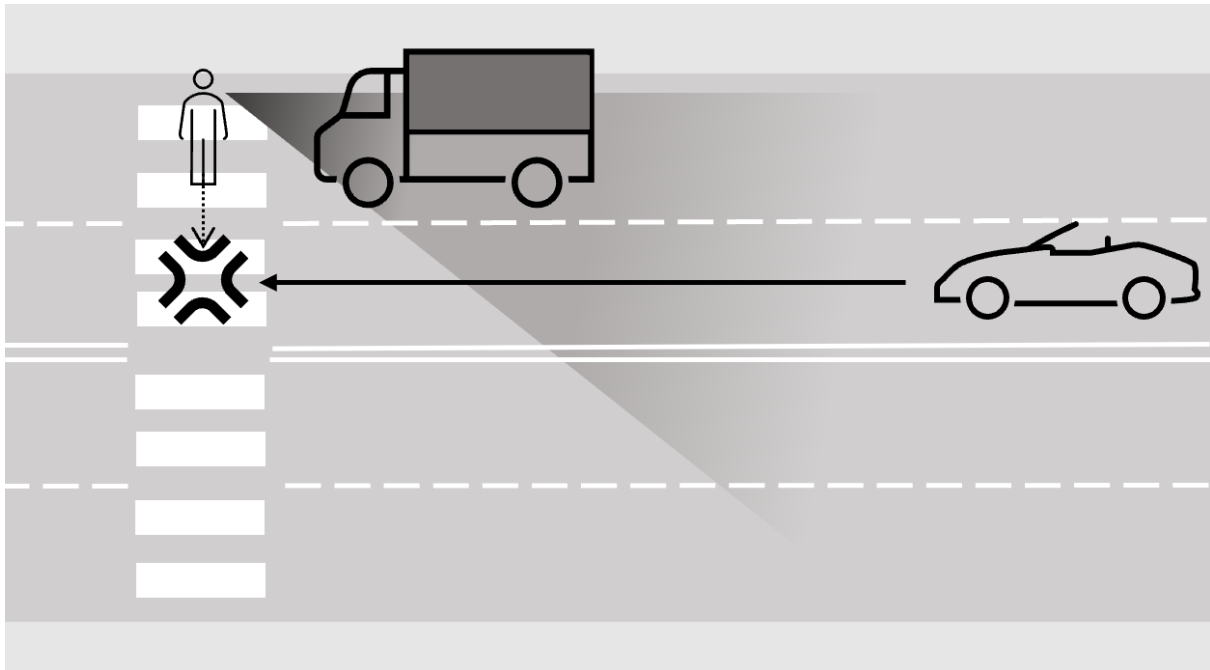
2.3 utfordringer

Sikkerhetsproblemene som kan oppstå i forbindelse med implementeringen av den nye løsningen er ikke hovedfokuset i oppgaven. Det er likevel viktig å være klar over konsekvensene en slik løsning kan ha på sikkerheten. Generelt vil det ikke være store sikkerhetsproblemer knyttet til signalregulerte kryss, men rundkjøringer kan få problemer med sikkerheten. Dette er ikke fokuset for oppgaven, da det hovedsakelig skal settes søkelys på trafikkavviklingen. Andre konsekvenser knyttet til løsningene vil i liten grad bli vurdert. For denne oppgaven er det funnet fram til to eksempler på kryss der det ikke er særlig fotgjengerproblematikk, og sikkerheten for myke trafikanter vil derfor ikke påvirkes av endring i kryssløsningen for valgte områder. Et utvalg av sikkerhetsproblemene og utfordringene som kan oppstå vil likevel bli nevnt her.

Ved omgjøring av standard kjøremønster i trafikken er det viktig å ta hensyn til brukere av løsningen. I trafikken er det viktig å ha like regler i ulike områder for å ha helhetlig forståelse for hvordan trafikanter skal oppføre seg. Det er derfor viktig at det ved implementering av nye løsninger gis god oppmerking og skilting på hvordan trafikantene skal handle. For mulighetene med feltutvidelse og sammenflettingsområde i tilknytning til rundkjøringer og signalregulerte kryss er det flere kjente trafikkfenomener som settes sammen.

Dersom det skal dannes fotgjengerfelt i forbindelse med kryssløsningen vil det oppstå nye trusler for fotgjengersikkerheten. Som nevnt er det ikke lov med mer en ett felt i tilfarten av rundkjøringer dersom gående og syklende skal krysse i plan (Statens vegvesen, 2021a). Om utvidelsen og sammenflettingen av feltene er lange, vil det kunne være muligheter for at fotgjengere må passere over to felt lenger fra tilfarten. Fotgjengere får da en lenger strekning å gå over, som kan skape utrygge situasjoner. Dette kan også gjelde ved signalregulerte kryss. En måte å unngå utrygge situasjoner på er å lage et signalanlegg for fotgjengere. Dette kan gjøres både i forbindelse med rundkjøringer og signalregulerte kryss. Dette vil da føre til flere stopp og mer kødannelse for trafikantene og bidra til økt utslipp av klimagasser. Utslipp av klimagasser er utenfor dette prosjektets omfang.

Hendelsen som kan oppstå ved utvidelse til to felt i en retning kalles for en såkalt flertrussel ulykke [*«multiple-threat crash»*] (Morris, Craig og Houten, 2020). Dette beskriver en ulykke der en fotgjenger passerer et stoppet kjøretøy, men blir påkjørt av et annet kjøretøy i samme kjøreretning. Dette er illustrert i Figur 2.7. Grunnen til at slike ulykker oppstår er at det stoppete kjøretøyet hindrer sikten for fotgjengeren og for kjøretøyet i fart. Dette vil skape et usikkert miljø for fotgjengere, og må tas i betraktning.



Figur 2.7 Illustrasjon av en fler-trussel ulykke (Egen illustrasjon)

En rundkjøring med to felt vil øke antall konfliktpunkter, ved at det blir mulighet for konflikt ved bytte av felt i sirkulasjonsområdet (Tollazzi, 2015), som vises i Figur 2.8. Grunnen til å velge en rundkjøring fremfor et vanlig kryss er i utgangspunktet for å redusere antall konfliktpunkter. Dersom det velges å utvide antallet sirkulerende felt i rundkjøringen vil denne fordelene reduseres. I tillegg er det muligheter for trafikanten å kutte svingen og kjøre rett frem selv om det er to felt i rundkjøringen. Dette vil samtidig kunne resultere i høyere hastigheter gjennom rundkjøringen.



Figur 2.8 Nye konfliktpunkter som oppstår grunnet økning i antall sirkulerende felt (Tollazzi, 2015)

Det vil også kunne oppstå ulykker mellom trafikantene i flettingen fra to til et felt. Endring av felt krever stor oppmerksomhet, og det kan oppstå ulykker av ulike typer, slik som påkjøring bakfra, enkeltulykker, sidepåkørsel og vinkelkollisjoner (Jula, Kosmatopoulos og Ioannou, 2000). I følge Jula, Kosmatopoulos og Ioannou (2000) er sammenfletting årsaken til en tiendedel av alle kollisjonsgrunnede trafikkforsinkelser. Dette fører ofte til forsinkelser og en ny flaskehals. Det kreves en minimumsavstand mellom to kjøretøy for å forhindre noen av disse kollisjonsulykkene. Dette vil være viktig å ta hensyn til ved innføring av slike løsninger, og kan påvirke valget av flettefeltlengden.

Det er en lov kalt Downs' lov som omhandler kapasitet og trafikkaos i forbindelse med økt kapasitet (Downs, 1962). Downs' lov tilsier at økt kapasitet på motorveger vil kunne føre til dårligere trafikkflyt og mer kø, selv om det er like mange reisende før og etter kapasitetsøkningen. Dette er fordi reisende fra andre transportmidler vil flytte over til personbil for å spare reisetid eller kostnader. Det finnes flere grunnleggende antagelser for denne loven, som ikke blir diskutert videre her. Det er usikkert om Downs' lov er overførbar til kryssløsninger, men det kan være viktig å tenke på ved eventuell økning av kapasitet i kryss. Dersom en økning i kapasitet fører til dårligere trafikkflyt er det ikke en like ønsket situasjon lenger.

Bedring av vegkapasiteten kan føre til økt press på vegnettet generelt, og flere personbiler på vegen. I forhold til Norges nullvekstmål er det ikke ønskelig å øke belastningen på vegnettet, og heller ikke øke andelen private kjøretøy (Samferdselsdepartementet, 2021). For å hindre økt forurensning skal all vekst i persontransport i byer skje ved hjelp av gange, sykling og kollektivtrafikk. Denne løsningen kan dermed være i strid med Norges nullvekstmål. Dette vil kunne være en utfordring for implementering, men vil ikke bli tatt hensyn til videre i oppgaven.

I tillegg vil feltutvidelse og flettefelt kreve tilleggsarealer rundt kryssløsningen. Kryssløsninger som er plassert i urbane områder har ikke alltid muligheten til denne utvidelsen uten store inngrep i omliggende områder. Samtidig vil det være en tilleggs kostnad ved legging av et ekstra felt over en strekning, men dette antas å være minimalt sammenlignet med resten av krysset og vil bli oversett for resterende del av oppgaven.

Alle de nevnte utfordringene er viktig å ta med i betraktning ved valget av en kryssløsning med feltutvidelse og flettefelt. Dersom de negative effektene av feltutvidelse og flettefelt overgår de positive, vil det ikke være gunstig å innføre dette i forbindelse med kryss. Som nevnt vil problematikken utenom trafikkavvikling ikke være i hovedfokus i oppgaven, og bli tatt minimalt i betraktning.

3. Trafikkmodeller og programvarene

3.1 Trafikkmodeller

Modellering gir en forenklet fremstilling av virkeligheten, og kan være et godt alternativ til testing i felt. Ved modellering er det lett å endre parametere og se effekten av ulike implementeringer i forhold til hverandre. Modelleringer kan gi en god forståelse for hvilke effekter en implementering har, selv om verdiene ikke er helt realistiske. Realismen i modellene avhenger av hvilke input som brukes.

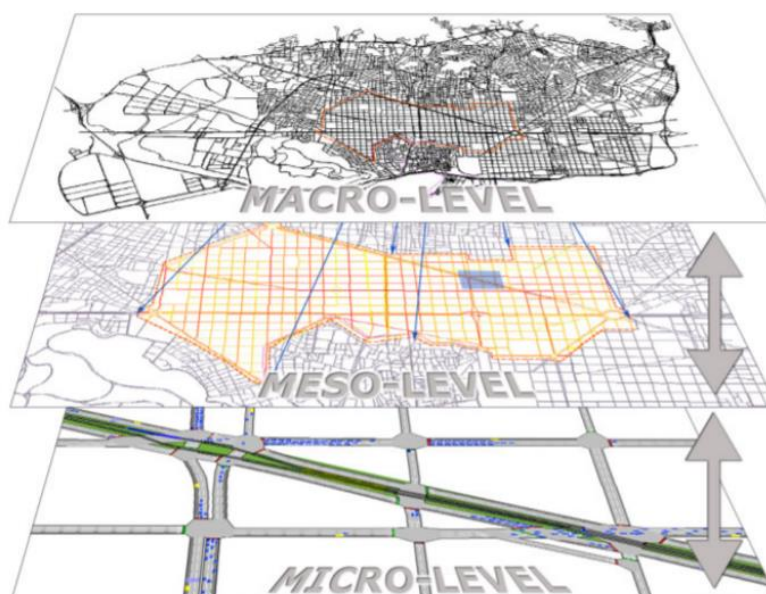
Grunnen til å bruke simuleringer er for å eksperimentere i et kontrollert miljø (Aakre, 2021a). Fullskala eksperimenter vil ofte være umulig eller svært kostbart, i tillegg til å være tidskrevende. Simuleringer vil kunne gi resultater relativt kjapt og kan gjennomføres uten å forstyrre den faktiske trafikken.

Likevel er det viktig å være kjent med begrensningene av å bruke simuleringer ved hjelp av trafikkmodeller. Noen av begrensningene er at modellene krever omfattende og detaljert inputdata, samt at det kreves kalibrering og validering. Dårlig utførelse av dette kan føre til ubrukelige modeller. I tillegg kan modeller manipuleres og misbrukes for å fremme ønskede resultater eller være et resultat av uerfarenhet.

Det finnes flere klassifiseringer på modeller. Noe av disse klassifiseringene som er relevante for problemstillingen vil nevnes her.

3.1.1 Mikroskopiske, makroskopiske og mesoskopiske modeller

Modelleringer kan gjøres på mikroskopisk, makroskopisk og mesoskopisk nivå, som vist i Figur 3.1. Hvilket nivå som brukes avhenger av hvilken modelleringskala som passer best ved ulike situasjoner, og hvilke detalj- og kompleksitetsnivå det er behov for.

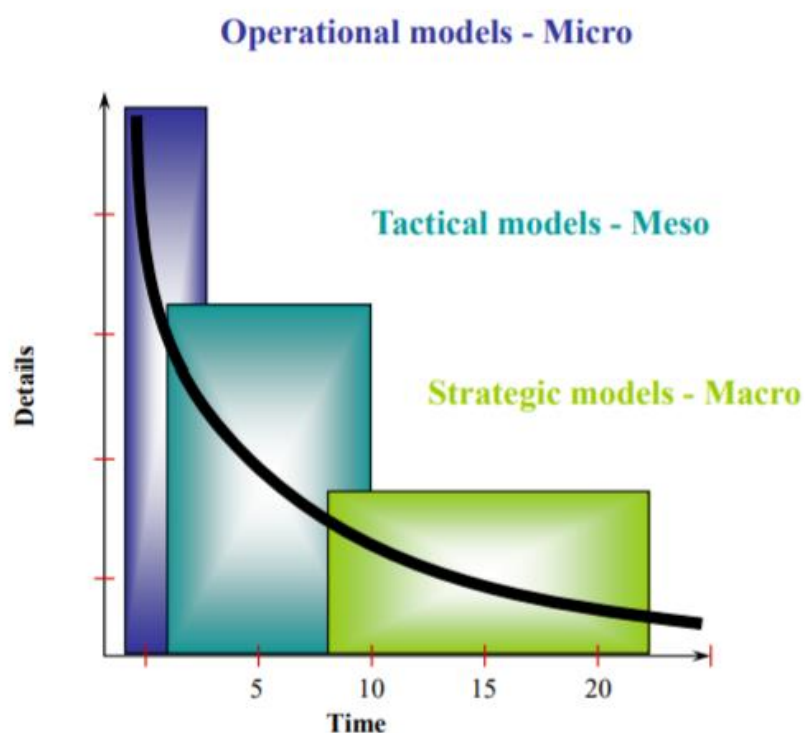


Figur 3.1 Ulike detaljnivåer i trafikkmodellering (Aakre, 2021a)

Mikroskopiske modeller er basert på individuelle kjøretøy og førere, og gir en detaljert beskrivelse av samhandlingen mellom kjøretøy (Aakre, 2021a). Dette er nivået som typisk brukes i trafikksimuleringer. Slike modeller beskriver individuelle kjøretøyers langsgående og laterale bevegelser (Kessels, 2019). Mikroskopiske modeller beskriver atferden til etterfølgende kjøretøy og filskifte. Det er dette simuleringsnivået som burde benyttes når det er fokus på feltbruk, feltskifte, fletting, forbikjøring og lignende, og er derfor nivået som benyttes i oppgaven.

Makroskopiske modeller er basert på trafikkstrømmer. Slike modeller modellerer ikke individuelle kjøretøy, men den kontinuerlige densiteten og flyten av trafikken. Mesoskopiske modeller er en kombinasjon av mikroskopiske og makroskopiske modeller, basert på grupper av kjøretøy. Ved å kombinere mikro- og makronivået simulerer mesoskopiske modeller trafikkflyten gjennom sannsynlighetsfordeling, samtidig som atferden for enkeltkjøretøy er definert. En mellomting mellom mikroskopisk og mesoskopisk simuleringsnivå heter hybrid simulering. Her defineres deler av modellområdet som mikrosimulert og deler som mesosimulert.

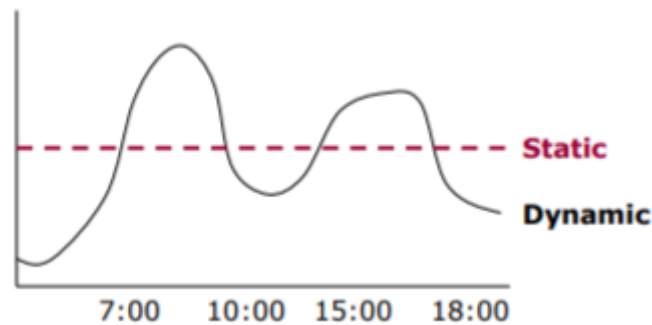
De ulike detaljeringsnivåene krever ulike mengder detaljer og har ulike tidsperspektiv. Som illustrert i Figur 3.2 krever mikroskopiske modeller mange detaljer, men har lite tidsperspektiv. Større modeller, som makroskopiske modeller, krever færre detaljer, men har større tidsperspektiv. Dette er fordi det er vanskelig å vite detaljert hva som vil skje i et lengre tidsperspektiv, og modelleringer med for høyt detaljeringsnivå vil derfor få større usikkerheter over større tidsperspektiv. Likevel er det noe overlapp mellom de ulike modelltypene.



Figur 3.2 Detaljnivå og tidsperspektiv for ulike modeller, illustrasjon (Aakre, 2021a)

3.1.2 Statisk vs. dynamisk modell

Det finnes både statiske og dynamiske modeller. Statiske modeller gir et gjennomsnitt av resultatene over tid. Her blir det ikke tatt hensyn til variasjoner over tid. Dynamiske modeller endrer seg over tid, og gjør det enklere å modellere det som skjer i kortere tidsperioder, som for eksempel rushtid. En illustrasjon av statisk og dynamisk modell er vist i Figur 3.3.



Figur 3.3 Illustrasjon av statisk og dynamisk modell (Aakre, 2021a)

3.1.3 Stokastisk vs. deterministisk modell

Modeller kan klassifiseres som stokastiske eller deterministiske. Stokastiske modeller inkluderer tilfeldigheter i simuleringen som påvirker resultatene ved hver gjennomkjøring. Dette gjør at resultatene fra en gjennomkjøring vil gi et annet resultat enn fra en annen. I slike modeller er det derfor nødvendig å ha flere gjennomkjøringer for å ta hensyn til variasjonen i resultatene og deretter forsøke å trekke riktige konklusjoner.

En deterministisk modell produserer de samme resultatene for hver simulering. Trafikkatferdens stokastiske natur kan likevel inkluderes gjennom den matematiske modellen som brukes i ulike programvarer. Tilfeldighetseffekter kan inkluderes i forsinkelser og kølengder, samt andre faktorer i simuleringen.

3.1.4 Analytisk vs. simuleringsmodeller

Trafikkmodeller kan baseres på analytiske beregninger eller simuleringer. En analytisk modell bruker direkte matematiske beregninger for å bestemme tilstander i systemet. Slike analytiske modeller er hovedsakelig deterministiske, og produserer de samme resultatene for hver simulering. Likevel kan det være stokastiske elementer i modellen.

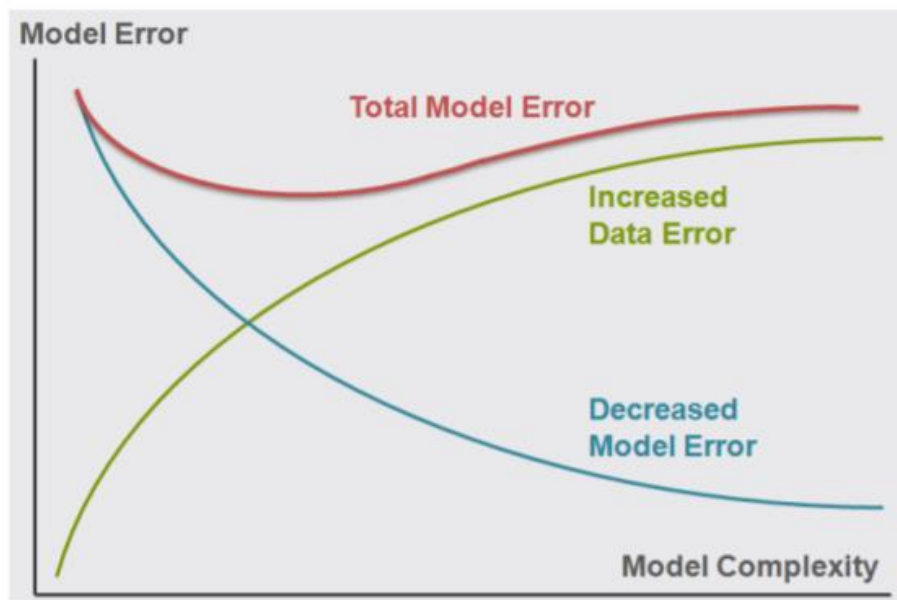
Simuleringsmodeller bruker som regel ulike regler i form av matematiske ligninger for bevegelse av individuelle kjøretøy. Slike modeller er hovedsakelig stokastiske, men har deterministiske elementer i seg. Simuleringsmodeller gir dermed ulike resultater ved hver gjennomkjøring, og trenger å kjøres flere ganger grunnet de tilfeldige effektene.

Alle modeller burde baseres på trafikkteori, trafikantatferd og empiriske og observerbare data. Det er i tillegg viktig med kalibrering og validering for å få gode og brukbare resultater. Selv om det skiller mellom beregninger og simuleringer, er begrepene brukt om hverandre i denne oppgaven. Generelt gjøres beregninger i SIDRA og simuleringer i Aimsun.

3.1.5 Kompleksitet og feil

En modell må ikke være for kompleks, fordi det da vil være bortimot umulig å kalibrere. Det er ikke slik at en mer detaljert modell vil redusere modellfeil (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020). Dette er fordi samtidig som modellspesifikasjonsfeil vil reduseres ved økende kompleksitet og detaljnivå vil den totale målefeilen øke grunnet den økte kompleksiteten, ettersom det er flere variabler som hver har sine målefeil. Dette gjelder både for analytiske og simuleringsmodeller.

Som vist i Figur 3.4 er det en balanse mellom kompleksiteten til modellen og feilene som oppstår. For lav kompleksitet og detaljeringsgrad vil kunne gi feil grunnet for liten spesifisering («*model error*»), mens for høy kompleksitet og detaljeringsgrad kan gi feil grunnet målefeil for de ulike variablene («*data error*»). Avhengig av hva modellen skal beskrive og kvaliteten på inngangsdata, må det velges et optimalt nivå av kompleksitet for å minimere den totale modellfeilen.



Figur 3.4 Modellfeil vs. modellkompleksitet (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)

3.1.6 Verifisere, kalibrere og validere modeller

En viktig del av arbeidet med modellering er å gå gjennom en verifiserings-, kalibrerings- og valideringsprosess (Asplan Viak, 2019). Verifiseringsprosessen er definert som en kontroll på modellens egnethet til å svare på den aktuelle problemstillingen ifølge Asplan Viak sin brukermanual for Aimsun Next. Det skal sjekkes at grunnlagsdata er tilfredsstillende, at nettverk og trafikkregulering er riktig kodet og at sentroider, sentroidetilknøyninger og etterspørsel er akseptabelt som grunnlag til kalibreringssteget.

I kalibreringsprosessen skal inputparametere justeres slik at trafikantenes atferd stemmer i rimelig grad med virkeligheten. I tillegg skal etterspørselen i modellen justeres slik at den reflekterer den virkelige etterspørselen. Noen programvarer har verktøy som hjelper til med kalibreringsprosessen.

Avslutningsvis må modellene valideres for å kontrollere at modellen gjenspeiler dagens situasjon. Dette kan være overensstemmelse med beregnet og observert trafikkvolum, rutevalg, reisetid og kø. Validering inkluderer å kontrollere at modellen responderer på en ventet måte ved endring i tilbud og etterspørsel.

3.1.7 Modellering av samarbeid i trafikken

I virkeligheten følger ikke alle trafikanter trafikklovene nøyaktig. Dette gjelder spesielt for ikke-signaliserte kryss, der kapasiteten er sprengt og det dannes flaskehalser (Aakre og Aakre, 2017). Når det er situasjoner der vegnettet er overbelastet og krysset ikke fungerer som tiltenkt, vil ikke lenger de tradisjonelle tidslukene i modeller gi realistiske resultater. Dette vil være når det holdes kortere avstander enn normalt, og trafikkstrømmene som i teorien har prioritet slipper inn vikende trafikk. Når det er stor belastning og kø på enkelte vegstrekninger vil trafikanter tillatte mindre tidsluker enn normalt. I tillegg vil trafikkstrømmer kunne flettes sammen, selv om en trafikkstrøm har prioritet. Dette merkes spesielt i rundkjøringer. Den trafikkstrømmen som har prioritet er den som kommer dårligst ut av situasjonen, ettersom den selv skaper lenger ventetid for seg selv. Dette er oppførsel som er vanskelig å modellere i programvarer.

De ulike kjørefeltene begynner å samarbeide der det ikke lenger er muligheter for bevegelse mellom to kjørefelt med tanke på tid- og avstandsluker. Dette kan eksempelvis gjelde når det har vært en flaskehals som fortsetter gjennom et signalisert lyskryss. For å løse problemet med endring av felt blir det samarbeid mellom trafikantene i kjørefeltene, slik at det blir fletting mellom dem.

Det vil nå nevnes to ulike samarbeidsmodeller, Turn Cooperation Model og Aakre Cooperative Merge Model. Disse vil ikke brukes i oppgaven, fordi det ikke passer inn i kryssene som skal modelleres, da de ikke kan benyttes for områder der to felt går sammen til ett. Likevel nevnes modellene da de viser muligheter for å modellere samarbeid i trafikken. Disse modellene kan muligens brukes i lignende oppgaver, eller videreutvikles for å kunne fungere for flere situasjoner og bidra til mer realistisk modellering av fletting i trafikken.

Turn Cooperation Model - TCM

En samarbeidsmodell for svingebevegelser, kalt «*Turn Cooperation Model*» (TCM), er en standard funksjon i mikrosimuleringsprogramvaren Aimsun, og kan benyttes som et alternativ til lukeakseptmodellen, *Gap Acceptance Model* (GAM) (Aakre og Aakre, 2017). I lukeakseptmodellen senkes lukeaksepten etter hvert som ventetiden i krysset øker. Dette gjør at trafikanter som har ventet lenge aksepterer kortere luker enn normalt. I TCM funksjonen vil kjøretøy med lav prioritet kunne få samarbeid fra prioriterte trafikanter for å komme inn i krysset. Prosentandelen av de prioriterte trafikantene som samarbeider styrer forholdet av flyt mellom de ulike trafikkstrømmene. Dersom alle de prioriterte trafikantene samarbeider vil det oppstå en situasjon med glidelåsfletting. De trafikantene som har lav prioritet som ikke får samarbeid vil følge lukeakseptmodellen. Bruken av TCM eller GAM kan bli automatisk utløst etter visse triggere, slik at simuleringen av kjøreatferd og trafikkforholdene korresponderer bedre med virkeligheten.

Aakre Cooperative Merge Model - ACM

Aakre og Aakre (2017) har laget en analytisk modell for Aimsun for å ta hensyn til samarbeidet som skjer mellom trafikantene under overbelastede vegnett. Denne modellen heter «*The Aakre Cooperative Merge Model*» (ACM). Modellen består av fem steg for å bedre beskrive tidsluker og fletting mellom trafikantene.

Det første steget handler om å definere *Gap Acceptance Capacity* og forsinkelsesmodellene. Det er foretrukket å velge en modell som ikke inkluderer lukeakseptvilkår, ettersom forsinkelsesmodellen skal brukes for luker og fletting. Aakre og Aakre brukes HCM 2010 som kapasitetsmodell grunnet dette. I det andre steget skal etterspørselsstrømmene og prosent på veg mot nedstrøms flaskehals beregnes. Hovedpoenget er å bestemme de største og minste bevegelsesetterspørslene og prosentvis andel som er på veg mot den nedstrøms flaskehalsen.

I det tredje steget skal tilstanden til krysset bestemmes. Her skal det bestemmes om krysset er blokkert fra en nedstrøms flaskehals, eller om det er fri flyt i kryssets utkjørsler. Prosentvis andel med blokkert eller ikke-blokkert tilstand må kalkuleres eller spesifiseres. Dette kan bestemmes fra feltobservasjoner. I det fjerde steget skal kapasitetene for hver bevegelse- og atferdstype beregnes. For en tilstand som ikke er blokkert brukes den vanlige lukeakseptmodellen, og for en blokkert tilstand brukes flettemodellen. Den totale kapasiteten blir funnet gjennom et vektet gjennomsnitt fra de to modellene ut fra tid i de ulike trafikktilstandene.

I det femte og siste steget skal metningsgrad, forsinkelser og køer beregnes. Dette kan komme fra etterspørselsstrømmene og kapasitetsberegningene ved bruk av HCM 2010 kapasitetsmodellen, som ble brukt i det første steget.

3.2 SIDRA INTERSECTION 9

3.2.1 Beskrivelse

SIDRA INTERSECTION ble er utviklet av Rahmi Akcelik og Mark Besley, og ble først introdusert i Australia i 1984 (Aakre, 2021b). Det har vært kontinuerlig forskning og utvikling av programvaren i over 35 år. Programvaren forkortes ofte til kun SIDRA.

SIDRA INTERSECTION regnes som en mikro-analytisk modell ettersom det er en fil-basert modell slik som mikroskopiske modeller (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020). Det er en programvare for å designe og vurdere enkelte kryssløsninger eller nettverk av kryss. SIDRA INTERSECTION vil gjøre avanserte trafikkevalueringer basert på fil- og kjøremønstermodeller i kombinasjon med iterative tilnæringsmetoder som gir estimater på kapasitet og annen ytelsesstatistikk i trafikken. Inndata og resultater er basert på opprinnelse og destinasjonsbevegelser, som forbedrer håndteringen av bevegelser i kryssløsninger.

SIDRA INTERSECTION er en deterministisk modell, der de samme resultatene produseres for hver simulering. Likevel tas det hensyn til trafikkatferdens stokastiske natur gjennom tilfeldighetseffekter i ligningene gjennom den matematiske modellen som brukes (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020).

Det er mulig å modellere enkeltområder, nettverk og ruter i SIDRA INTERSECTION. Et nettverk består av å kombinere enkeltområder, og i et slikt nettverk kan det dannes ruter for å få ytelsesvurderinger langs en reisevei. For problemstillingen i denne oppgaven skal ikke nettverksfunksjonen i SIDRA INTERSECTION benyttes.

Det fokuseres på de funksjonene i programvaren som er mest relevante for å løse oppgaven, men det finnes flere muligheter innad i programvaren. Dette illustrerer dermed kun en liten del av mulighetene som finnes i SIDRA INTERSECTION. Versjonen som blir benyttet i oppgaven er nåværende versjonen av programvaren, SIDRA INTERSECCION 9.0, som først ble lansert 20. mai 2020.

3.2.2 Modellering av kryss og inndataparametere

SIDRA INTERSECTION gir muligheten til å spesifisere en stor del av geometriske parametere og trafikkparametere. En del av parameterne har allerede standardverdier, men disse kan endres for å tilpasses ulike forhold. Det er en viktig del å identifisere viktige modellparametere for å kalibrere SIDRA INTERSECTION til å reflektere lokale veg- og sjåføregenskaper og spesielle kryssforhold.

Avhengig av krysstype er det litt ulike parametere det er mulig å justere. Tabell 3.1 viser en kort oppsummering dialogboksene og noe av det som kan endres i de enkelte. Det vil være en kort gjennomgang av de viktigste inputparameterne for oppgaven. Informasjonen er hentet fra brukermanualen for SIDRA INTERSECTION 9, og her finnes det også mer utfyllende informasjon om funksjonene i programvaren (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020). Noen input påvirker videre justeringsmuligheter, som det er viktig å være oppmerksom på under modelleringen.

Tabell 3.1 Oppsummering av dialogboksene og deres funksjonen

Dialogboks	Forklaring
Intersection	Områdeinformasjon og geometri
Movement Definitions	Definere trafikklasser og bevegelser
Lane Geometry	Kjørefeltgeometri Type fletting mellom felt
Lane Movement	<i>Lane Movement Flow Proportions</i> <i>Blockage Calibration</i>
Roundabouts	Rundkjøringsgeometri
Pedestrians	Type overgangsfelt Fotgjengervolum
Volumes	Trafikkvolum <i>Peak Flow Period</i>
Priorities	Motstridende bevegelser, prioritet og vikeplikt
Gap Acceptance	Tidsluker og følgetid for vikepliktige bevegelser
Vehicle Movement Data	Inn- og utkjøringshastighet Kjøretøyparametere
Phasing & Timing	Type signalregulering Omløpstid og faser
Site Demand & Sensitivity	Etterspørsel- og sensitivitetsanalyser
Parameters Settings	Endre modellparametere, kostnader, utslipp mm.

Intersection

Extra Bunching er en parameter for å styre hvor mange kjøretøy som kommer samlet inn i trafikkstrømmen. Denne funksjonen brukes hovedsakelig for rundkjøringer eller skiltkontrollert kryss. Dersom det er et signalregulert kryss plassert oppstrøms et annet kryss, er det sannsynlig at bilene kommer puljevis inn i dette krysset. Økt puljekjøring fører til en aksept av kortere tidsluker, slik at kapasiteten i krysset øker. Andelen av puljekjøring avhenger av avstanden mellom det signalregulerte krysset og krysset som skal simuleres, som vises i Tabell 3.2. Andre signalregulerte kryss kan skape puljekjøring over lange avstander, selv om det er mer enn 800 meter mellom de signalregulerte kryssene, avhengig av området.

Tabell 3.2 Anbefalte verdier for ekstra puljekjøring (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)

Avstand til oppstrøms signalanlegg [m]	< 100	100-200	200-400	400-600	600-800	> 800
Ekstra puljekjøring [%]	25	20	15	10	5	0

Area Type Factor er en parameter for signalanlegg som brukes for å justere metningsvolumfaktoren grunnet effekten miljøet har på krysset. Dette gjelder for alle innfartsvegene, og kan brukes som en enkel måte å endre metningsvolumet i innfartene.

Lane geometry

Under fanen for «Lane Data» kan flettetyper mellom to felt som flettes sammen velges. Når glidelåsfletting [*Zipper Merge*] velges som flette metode har det korte feltet og feltet det flettes inn til vikeplikt for hverandre. Her er det delt prioritet mellom feltene. Det er også mulig å justere kritisk tidsluke og følgetid for flettebevegelsen, som gjelder for begge filene som flettes sammen. Dersom det er ønskelig med ulik vikeplikt for feltene, settes prosentene til andre verdier enn 50%.

Basic Saturation Flow brukes som utgangspunkt for estimering av trafikkvolum. Metningsvolumet er det maksimale trafikkvolumet som kan avvikles ved flyt i trafikken. *Basic Saturation Flow* justeres ved bruk av faktorer som områdetypefaktor, feltbredde, stigning, svingradius, motstridende fotgjengervolum, parkering og busser sammen med trafikkvolumfaktorer.

Dersom det er under 2% stigning vil det ha minimal påvirkning på trafikkbildet. Ellers vil en stigning gi noe tregere avvikling, og helning noe bedre avvikling.

Roundabouts

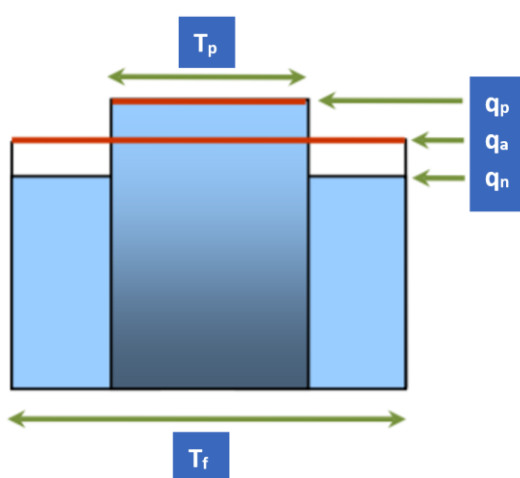
Her kan inngangsdata om geometri slik som antall sirkulerende felt, bredder i sirkulasjonsområde, øydiameter i rundkjøringen og radius og vinkel for innfartene spesifiseres. Denne dialogboksen er kun tilgjengelig dersom krysstypen er en rundkjøring, og parameterne vil påvirke avviklingen i rundkjøringen.

Environment Factor er en inndataparameter som tillater høyere og lavere kapasitet grunnet rundkjøringsmiljøer som er henholdsvis mindre eller mer begrenset. Parameteren settes for hver tilfart, og jo lavere verdi, desto større kapasitet i rundkjøringen. Verdien kan være mellom 0,5 og 2,0. *Environment Factor* og kapasiteten kan variere ut fra faktorer som sikt, kjøreatferd i form av mer eller mindre aggressiv og våken sjåførholdning, størrelsen på kjøretøy, antall fotgjengere, parkering langs vegen og andel tunge kjøretøy.

Volumes

Peak Flow Factor og *Peak Flow Period* er to parametere som relaterer til hverandre. *Peak Flow Period* parameteren viser til at det er en tidsperiode i rushtiden der det er større trykk på vegnettet enn gjennomsnittlig. Dersom dette neglisjeres vil forsinkelse, kø osv. bli underestimert. Det er mulig å selv spesifisere hvor lang periode som er *Peak Flow Period*, men standarden i SIDRA er 30 minutter. *Peak Flow Factor* og *Peak Flow Period*, sammen med *Total Flow Period*, påvirker ytelsesestimatene betydelig.

Figur 3.1 viser definisjonen av *Total Flow Period* (T_f), *Peak Flow Period* (T_p) og gjennomsnittlig trafikkvolum i hele modelleringsperioden (q_a), i rushperioden (q_p) og utenfor rushtiden (q_n). *Peak Flow Factor* er definert som forholdet mellom det gjennomsnittlige trafikkvolumet for hele modelleringsperioden og for rushperioden, $PFF = q_a/q_p$. Det er i tillegg mulig å angi *Peak Flow Factor* for fotgjengere, dersom det er fotgjengere i tilknytning til krysset.



Figur 3.5 Beregning av Peak Flow Factor (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)

Gap Acceptance

Kritisk tidsluke [*Critical Gap*] (t_c) og følgetid [*Follow-up Headway*] (t_f) er to viktige parametere ved simuleringer og beregninger av kapasitet og volum i trafikkrøss. Kritisk tidsluke er den minimumstiden mellom to påfølgende kjøretøy i hovedstrømmen som er akseptabel for at det kan kjøre inn et kjøretøy fra de mindre trafikkstrømmene. Dette kan være å legge seg inn i en rundkjøring, kjøre ut fra en vikepliktregulert veg, eller ved venstresvinger over kryss. Følgetid er den gjennomsnittlige tiden mellom to påfølgende kjøretøy som kjører inn på hovedstrømmen.

Det finnes baseverdier på disse parameterne, avhengig av typen situasjon. Dette vil si at det ikke avhenger av de ulike kryssutformingene, men heller hva slags bevegelse det er som gjennomføres. For rundkjøringer er bruken av *Environment Factor* viktig for å oppnå observerte tidsluke- og følgetidsverdier, og kan brukes fremfor å spesifisere satte verdier for kritisk tidsluke og følgetid.

Exiting flow effect (%) brukes fordi trafikanter som skal inn i et kryss ikke alltid kan fastslå hvordan kjøretøyene i krysset skal bevege seg. Derfor kan en prosentvis andel av strømmen som kjører ut av krysset bli lagt til den sirkulerende eller motsigende strømmen for å påvirke trafikkflyten til innkjøringene, og kan defineres for alle typer kryssløsninger.

For signalregulerte kryss vil det ikke være så mange tilfeller der det er ukjent for trafikantene hvor andre trafikanter skal bevege seg, ettersom de ulike fasene styrer bevegelsene. Denne parameteren er derfor mer aktuell for rundkjøringer.

Phasing & Timing

Under *Phasing & Timing* kan fasene i signalregulerte kryss endres. Her kan det velges ulike innstillinger og parametere justeres slik som hvilke bevegelser og trafikklasser som går i hver fase, maksimal omløpstid, type signalregulering, gultid og rødtid. Det er også her det legges inn hvordan omløpstiden skal beregnes, dersom det ikke legges inn en brukergitt omløpstid. Det finnes en rekke metoder for å beregne omløpstiden i SIDRA, men den som hovedsakelig benyttes i denne oppgaven er optimal omløpstid.

Ved optimal omløpstid vil programmet beregne en omløpstid som optimerer et valgt ytelsesmål. Standard er dette minimal forsinkelse, som også benyttes for denne oppgaven. Programmet velger grønttiden som tilfredsstillende den praktiske metningsgraden for kritiske bevegelser for hver omløpstid under søket etter den optimale omløpstiden.

3.2.3 Resultater

Når krysset er ferdig modellert, er det mulig å få et mål på prestasjonen i området. I verktøylinjen kan det velges rapporter med ulik informasjon om krysset. Noen av standardresultatene som blir beregnet for krysset og en kort forklaring av parameteren vises i Tabell 3.3.

Tabell 3.3 Standard resultatparametere i SIDRA

Parameter	Forklaring
<i>Capacity</i> [kjt/t]	Maksimalt trafikkvolumet som kan passere en seksjon i en gitt tidsperiode under forholdene
<i>Degree of Saturation</i> [v/c]	Trafikkvolumet i kjørefeltet delt på kapasiteten der
<i>Average Delay</i> [sek]	Gjennomsnittlig forsinkelse i kjørefeltet, i sekunder. Avhenger av stopp og geometri
<i>95% Back of Queue</i> [kjt] [m]	95% persentilen for kølengde Lengden på køen i antall kjøretøy og i meter
<i>Average Speed</i> [km/t]	Gjennomsnittlig hastighet i kjørefeltet
Level of Service	Avviklingskvaliteten for kjørefeltet
<i>Cost Total</i>	Totale driftskostnader for brukere av krysset
<i>Fuel Consumption</i> [L/t]	Forbruk av drivstoff i liter per time
<i>Emissions</i> [kg/t]	Utslipp av forurensende gasser (CO ₂ , CO, HC, NO _x)

Flere av resultatene kan fremstilles i figurer for bedre visuell formidling. Da vil hver kryssarm få informasjon om den gjeldende parameteren i form av verdier og/eller farger.

3.2.4 Kalibrering

Det finnes noen nøkkelementer for kalibrering i SIDRA INTERSECTION. Nøkkel-elementene nevnt i SIDRA INTERSECTION 9.0 User Guide vises i Tabell 3.4.

Tabell 3.4 Nøkkelementer for modellkalibrering i SIDRA INTERSECTION 9.0 (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020)

Krysstype	Anbefalt nøkkelkalibreringsparameter	Dialogboks
Signalregulert	<i>Area Type Factor</i>	Intersection (For hver tilfart)
	<i>Basic Saturation Flow</i>	Lane Geometry (For hvert felt)
Rundkjøring	<i>Environmental Factor</i>	Roundabouts (For hver tilfart)
Vikepliktregulert	<i>Base Follow-up Headway and Critical Gap</i>	Gap Acceptance (For hver bevegelse)

3.3 Aimsun Next 22

3.3.1 Beskrivelse

Aimsun ble grunnlagt i Barcelona i 1997, og har bakgrunn i 36 år med forskning og utvikling innen modellering og simulering, med ansatte over hele verden (*About Aimsun*).

Aimsun Next 22 er en programvare med muligheten til å bruke alle skaleringsnivåene av modellering (Asplan Viak, 2019). Dermed er det mulig å utføre simuleringer på mikroskopisk, mesoskopisk, makroskopisk eller hybrid nivå. Aimsun Next gir kun svar på spørsmål angående trafikkavvikling, rutevalg og kapasitet ved å bruke trafikkmatriser som kommer fra andre transportmodeller eller tellinger. Ved bruk av dette programmet vil det kunne resultere i detaljerte data angående kjøremønstre for hvert enkelt individ ved bruk av mikrosimulering, eller mindre detaljerte data over trafikkflyten generelt ved bruk av et høyere simuleringsnivå. I Norge er det vanligst å bruke mikrosimuleringsnivået i Aimsun Next, og det er dette nivået som passer med modellering av kryssløsninger. Aimsun Next forkortes ofte til Aimsun.

Aimsun Next er en stokastisk modell, noe som tilsier at det er tilfeldigheter i simuleringen som påvirker resultatene ved hver gjennomkjøring. Dermed er det nødvendig å gjennomføre flere iterasjoner ved simulering for å ta hensyn til variasjonen i resultatene.

Siden det er mikrosimuleringsnivået i Aimsun Next som er best egnet til arbeidet med problemstillingen, er det funksjonene i dette nivået som vil presenteres.

Den nyeste versjonen av Aimsun Next kom i starten av 2022, men har stort sett de samme funksjoner som tidligere versjoner. Noen av de nye funksjonene inkluderer nye modeller for simuleringer, forbedring i eksisterende funksjoner og noen nye funksjoner for bedre kontroll og enklere modellering. De nye funksjonene vil ikke bli diskutert i dybde, da det vil være de aktuelle funksjonene for oppgaven som vil bli kort omtalt i dette kapitlet.

3.3.2 Modellering

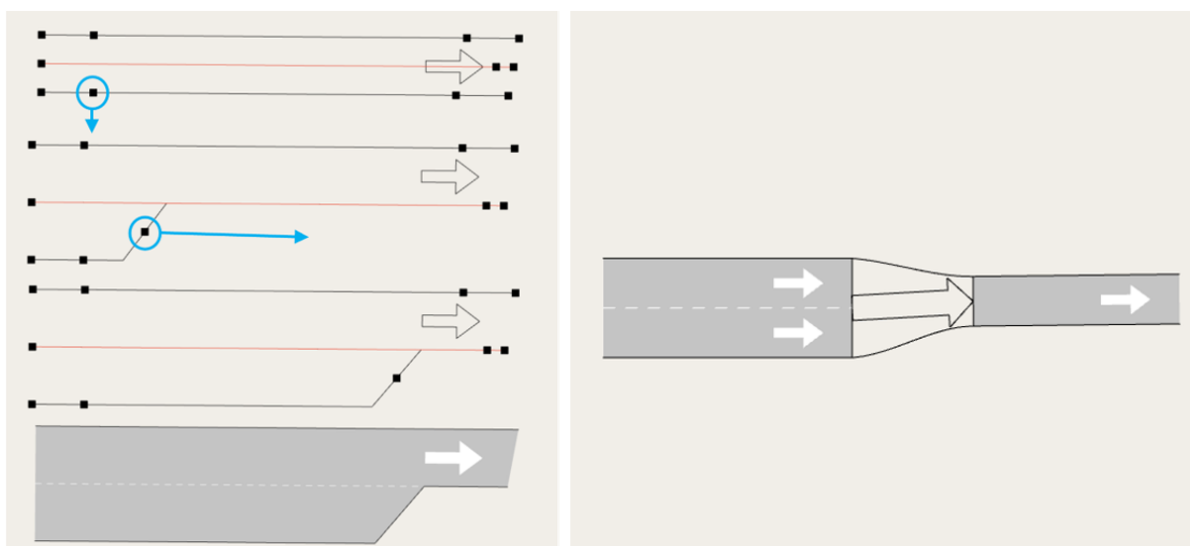
I Aimsun Next 22 bygges modeller opp ved å importere vegnettverk eller lage nettverket fra bunnen (Røys, 2015). Vegnettverk importeres fra andre dataprogrammer eller kartverk. Ved tegning fra bunnen brukes seksjoner, noder og sentroider. I Aimsun Next programvaren er brukeren relativt fri til å utforme områder og nettverk etter eget ønske, og det er også dermed enklere å få en naturtro modell. En seksjon er en representasjon av en veg og den tilhørende kjøreretningen. En node er et sted hvor flere seksjoner møtes, og vil inneholde svingebevegelser som angir hvor trafikantene kan bevege seg. Sentroider gir informasjon om hvor trafikk oppstår og forsvinner til.

Det vil være en kort gjennomgang av de viktigste elementene når det skal dannes en modell i Aimsun Next. Informasjonen som benyttes er hentet fra Aimsun Next 22 sin hjelpemanoal som finnes inne i programvaren. Det finnes ikke en egen brukermanual for programvaren, men ulike hjelpefunksjoner og veiledninger inne i programmet. Det er mange modeller som har detaljert beskrevne formler som kan være nyttige dersom det er ønskelig med en dypere forståelse av hvordan programmet fungerer, men de vil ikke bli nevnt i denne oppgaven.

Vegseksjoner

Hver vegseksjon lages separat, og form, vegtype og antall felt kan justeres underveis. Vegseksjonene dannes som rette seksjoner, men det er mulig å danne rette eller buete toppunkter for å tilpasse utformingen av hver enkelt seksjon. For hver enkelt vegseksjon kan også mer detaljerte inputparametere justeres. Feltbredden vil ikke påvirke trafikkatferden eller interaksjonen mellom kjøretøy i tilstøtende kjørefelt, men kan justeres for estetiske grunner.

Det er mulig å endre antallet felt i samme kjøreretning mellom 1 og 20, og lage sidefelt for ulike seksjoner. Det er i tillegg mulig å reservere kjørefelt for bruk til spesifikke trafikklasser, eksempelvis kollektivtrafikk. Når alle de enkelte vegseksjonene er dannet kan de slås sammen dersom antallet felt er kompatible. Om ikke antall felt er kompatible kan det opprettes noder mellom vegseksjonene. Både funksjonen med sidefelt og noder er aktuelle når flettefelt skal dannes, og antall felt skal gå fra to til ett. Funksjonene er vist i Figur 3.6. De samme funksjonene kan benyttes ved feltutvidelse.



Figur 3.6 Redusering av antall felt med sidefelt og node

Under dialogboksen for egenskaper for vegseksjonene er det en fane for dynamiske modeller, der det gis muligheter for å endre flere parametere. Noen av parameterne som kan endres her vil bli forklart kort, ettersom dette vil være en viktig del av oppgaven i forbindelse med flettefelt. Parameterne som benyttes er samarbeid og returnering til innvendig kjørefelt etter forbikjøring.

Samarbeid [*Cooperation*] parameteren angir prosentandel av oppstrøms trafikant-samarbeid for å skape luker for kjøretøy som prøver å bytte felt. Prosenten kan ligge mellom 0 og 100%, og høyere prosentandeler angir høyere samarbeid. Dersom samarbeidet settes til 100% vil det foregå en glidelåsfletting med gjensidig vikeplikt mellom feltene. Ved 0% er det en vanlig vikepliktsituasjon uten fletting.

Dersom parameteren relatert til filskifte etter forbikjøring er krysset av, vil kjøretøyet etter forbikjøring skifte tilbake til det nærliggende kjørefeltet. Dette er påkrevd oppførsel i Storbritannia og EU, og også i Norge på motorveger, men skal ikke benyttes i oppgaven.

Kjøretøytyper

Under prosjektpanelet er det en oversikt over de ulike kjøretøytypene. Her kan det spesifiseres lengde, bredde, avvik, foretrukket maksimale hastighet og lignende for hver kjøretøytype. Antallet kjøretøytyper burde holdes på et minimum for hva som er nødvendig for å besvare den aktuelle problemstillingen (Asplan Viak, 2019). Asplan Viaks veileder for Aimsun har en anbefalt inndeling i kjøretøytyper, som består av 10 ulike grupper. For denne problemstillingen kreves det ikke en oppdeling med så mange typer, og kjøretøytypene vil dermed bestå av biler, busser og lastebiler. Lastebiler vil fungere som tyngre kjøretøy, som vil være resterende tyngre kjøretøy sett vekk fra buss. Det er fordeler og ulemper med å ha et større utvalg av kjøretøytyper. Fordelene kan inkludere å få inn ulike egenskaper for de ulike kjøretøytypene, men ulempen er at det kreves mer detaljert data.

Samarbeidsmodell

I Aimsun Next er det, som nevnt under Modellering av samarbeid i trafikken, mulig å legge inn samarbeid mellom feltene i svinger der det vanligvis ville vært et felt som har vikeplikt for det andre. Dette blir ikke brukt i oppgaven, og gjennomgås derfor ikke.

Opprette OD-matriser

Aimsun Next har to muligheter for å fremstille etterspørselen i nettverket. Dette er gjennom en enkel representasjon av etterspørselen ved bruk av kun volumet i nettverket og svingeandelen, eller ved bruk av OD-matriser [*Origin-Destination*-matriser]. Det er OD-matriser som benyttes i oppgaven. OD-matrisene brukes i kombinasjon med sentroider for å fortelle hvor trafikken kommer fra og reiser til.

Signalregulerte kryss

Signalregulerte kryss i Aimsun Next lages ved å velge noden det signalregulerte krysset skal være i, for deretter å legge inn bevegelsene som skal inkluderes i signalreguleringen. Når de nødvendige signalgruppene er dannet kan det dannes en kontrollplan som holder alle signalfasene. Det kan velges mellom ulike typer signalregulering, slik som aktiv eller passiv regulering. Her kan gultid fra grønn til rød eller motsatt velges, og prosentandel rødtid fra grønt til rødt. Starttiden og varigheten for de ulike fasene bestemmes.

Det må i tillegg dannes en masterkontrollplan. Dette er en samling av kontrollplanene som er tilordnet et scenario som brukes til å kontrollere signalplanene i scenarioet. Det er denne masterkontrollplanen som benyttes ved kjøring av scenarioer.

Det er mulig å opprette detektorer som kan være nyttige ved modellering av aktive signalanlegg. Dette blir ikke benyttet i denne oppgaven og vil derfor ikke kommenteres ytterligere.

Busstopp, kollektivlinjer og kollektivplan

Ved bruk av busstopp kan det lages kollektivlinjer, med avgangintervaller og stopptider. Når alle de enkelte kollektivlinjene er dannet, dannes en kollektivplan som inneholder alle linjene for bruk i simuleringer.

3.3.3 Kjøre en simulering og resultater

Ved gjennomkjøring av en simulering er det nødvendig å lage et scenario som kan kjøres. Det er muligheter for å velge ulike typer simuleringer i Aimsun Next, etter hvilket simuleringsnivå modellen skal være i. Det er også mulig å velge mellom en stokastisk eller dynamisk modell. Etter å ha valgt simuleringstype må alle trafikkdata som skal brukes i simuleringen velges.

Antallet replikasjoner kan deretter bestemmes når simuleringen skal kjøres gjennom. Ved gjennomføring av flere enn en replikasjon kan det velges at det skal dannes et gjennomsnitt av alle replikasjonene. Ettersom stokastiske modeller har en viss variasjon i hver gjennomkjøring er det viktig med flere replikasjoner.

Det finnes flere ulike metoder for å finne frem til antallet replikasjoner som skal benyttes. Metodene vil ikke nevnes, da de ikke brukes. Det finnes ikke noe fasitsvar på hvor mange replikasjoner som skal brukes for en modell, men det er ønskelig at replikasjonene skal føre til en slags likevektssituasjon, der ingen ekstreme resultater påvirker gjennomsnittsverdiene i stor grad. I tilfeller der det er avanserte modeller er det likevel ikke ønsket med for mange replikasjoner, da det blir tidskrevende å kjøre gjennom simuleringen.

For at nettverket ikke skal være tomt for kjøretøy ved oppstart av simulering må det legges inn en *Initial State* som en «oppvarmingsperiode». Dette kan gjøres ved å bruke scenarioetterspørselen/ trafikktilstanden eller en annen trafikktilstand og definere etterspørselen under oppvarmingsperioden. Det kan også være en lagret trafikktilstand som benyttes for å skape en starttilstand for scenarioet. Ved å ikke legge inn en oppvarmingsperiode vil trafikkavviklingen bli unaturlig høy i starten av simuleringen, noe som kan påvirke hele resultatet.

Etter gjennomkjøring av en simulering vil det komme en rekke resultater. Dette inkluderer generelle resultater som forsinkelse og kø, og forhold slik som volum/kapasitets-forholdet [*V/C Ratio*].

3.3.4 Kalibrering

For å kalibrere Aimsun-modellen er det mange faktorer det kan gjøres endringer på, avhengig om det skal påvirke hele nettverket, kun spesifikke seksjoner eller kjøretøytyper. Tabell 3.5 viser en oppsummering av noen av parameterne som kan endres for å finjustere modellen for mikroskopiske simuleringer.

Tabell 3.5 Kalibreringsparametere i Aimsun Next 22 (Aimsun Next 22 Help Manual)

Globale parametere	Seksjonsparametere	Kjøretøy
Reaksjonstid	Fartsgrense	Ønsket hastighet, akselerasjon, retardasjon
Reaksjonstid ved stopp	Svingehastighet	Minste avstand mellom kjøretøy
Kø og utkjøringshastighet	Synlighetsdistanse	Vikeplikttid
To-felts bilfølging	Distanse på feltskiftesoner	Lagde ruter i nettverk
Feltskifteparametere	Distanse på rampe	
Feltskifte: Rampe-modell		

4. Forskningsspørsmål

4.1 Forskningsspørsmål

Objektivet til denne masteroppgaven er å få undersøkt mulighetene og fordelene av å benytte seg av feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryssløsninger.

De tre forskningsspørsmålene er som følger:

- Hvordan utformes kryss i Norge?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt modelleres i SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next?
- Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt påvirke trafikkavviklingen i rundkjøringer og signalregulerte kryss?

Forskningsspørsmålene skal svares på ved hjelp av bakgrunnsteori og modellering. En kort diskusjon av omfanget og begrensningene til hvert forskningsspørsmål kommenteres her.

Forskningsspørsmål 1

Hvordan utformes kryss i Norge?

Målet er å få forståelse for hvilke grunnlag som ligger til rette for å velge forskjellige kryssløsninger i ulike situasjoner, og hvordan disse utformes. Det er mange faktorer som påvirker utformingen, som oppmerking, skilting, områdebruk osv. Det vil derfor være fokus på krysstypene som brukes i Norge, og når de ulike benyttes.

Forskningsspørsmål 2

Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt modelleres i SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next?

Modellering av feltutvidelse har allerede eksisterende løsninger i programvarene, og vil derfor ikke bli gitt for mye oppmerksomhet under modelleringsgjennomgangen.

Modellering av flettefelt har ingen enkel, standard løsning. En del av oppgaven vil derfor være å undersøke mulighetene til å lage flettefelt i SIDRA og Aimsun Next. Ettersom det er begrensninger i tid vil det ikke bli lagt tid i å forsøke å omgjøre allerede eksisterende modeller til å passe inn i flettefelt. Dette gjelder blant annet samarbeidsmodellene TCM og ACM. Det som er fokuset er hvordan det med nåværende funksjoner i programvarene kan legges inn flettefelt på en så naturtro måte som mulig.

Forskningsspørsmål 3

Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt påvirke trafikkavviklingen i rundkjøringer og signalregulerte kryss?

Gjennom resultater fra programvarene vil det være mulig å sammenligne en løsning med og uten feltutvidelse og flettefelt. Det er mange ulike resultater som kommer fra hvert program, og det velges derfor å fokuseres på trafikkavviklingen med tanke på forsinkelse og kapasitet, selv om det kan være verdi i å sammenligne andre resultater. En del av oppgaven blir å analysere resultatene og finne ut i hvilken grad de kan benyttes videre.

4.2 Kunnskapshull

Feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryss

Etter gjennomførelsen av litteratursøk står det igjen et inntrykk av manglende litteratur på kombinasjonen av rundkjøringer og signalregulerte kryss med feltutvidelse og flettefelt. Det finnes litteratur på en rekke alternative utforminger for å forbedre kapasitet i rundkjøringer og signalregulerte kryss. Det ble ikke funnet noe litteratur som kombinerer ulike kryssløsninger med feltutvidelse og flettefelt.

Gjennom litteratursøket ble det lagt merke til et stort fokus på automatiske kjøretøy og kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur i nyere litteratur, men mindre fokus på hvordan trafikkavviklingen kan bedres uten slik kommunikasjon. Spesielt nyere litteratur om fletting i trafikken er sterkt preget av modellering for automatiske kjøretøy.

Det er ønskelig å undersøke hvordan trafikkavviklingen kan bedres i rundkjøringer og signalregulerte kryss med feltutvidelse og flettefelt. Hvilke effekter en slik kryssutforming har er i liten grad utforsket tidligere, og vil bli rettet mer oppmerksomhet. Per dags dato er det kun kjent at løsningen brukes et par steder i Norge i forbindelse med rundkjøringer og signalregulerte kryss. Dette viser til at slike utforminger i stor grad er ukjent i Norge. Hvilken endring det vil være i trafikkavviklingen ved å øke antall sirkulerende felt og antall felt et stykke ved inn- og utfarten av rundkjøringen er det som skal undersøkes videre i denne oppgaven. Det skal også undersøkes endringen i trafikkavviklingen ved å utvide til to gjennomgående felt før stopplinja i et signalregulert kryss, som flettes sammen til ett felt igjen etter en gitt lengde.

Modellering

Det er ingen innebygde enkle funksjoner for å modellere sammenfletting i programvarene som benyttes. For å lage en god løsning kunne det blitt laget en egen problemstilling kun for å utforske mulighetene i programvarene for å gi naturtro sammenflettinger. Ettersom hovedfokuset i oppgaven er å finne ut hvordan trafikkavviklingen endrer seg ved bruk av feltutvidelse og flettefelt, og ikke hvordan flettefelt kan modelleres korrekt, vil det ikke fokuseres for mye på dette utover allerede eksisterende funksjoner i programvarene. Det er likevel viktig å være oppmerksom på at modelleringen har påvirkning på resultatene.

4.3 Begrensninger og usikkerheter

SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next er relativt ukjente programvarer å bruke, da disse kun er brukt en håndfull ganger i forbindelse med andre fag. Derfor kreves det en god opplæring før oppstart av modellering og simulering. I tillegg vil liten erfaring med programvarene kunne føre til misforståelser og feil verifisering, kalibrering og validering.

Det vil ikke være mulig å se på alle aspekter som er relevante til oppgaven uten at spennet blir for stort, og fokuset blir på noe annet enn tiltenkt. Dersom det inkluderes for mye detaljer og temaer i samme oppgave kan hovedpoenget fort vaskes vekk og resultatene bli vage og tvetydige. Derfor vil det alltid være noen begrensninger som må settes ved arbeid av oppgaver, spesielt med en så streng tidsbegrensning som det er for masteroppgaven.

Det finnes mange ulike typer kryssløsninger, men det blir i denne oppgaven satt søkelys på fire-armete rundkjøringer og signalregulerte T-kryss ved modellering. Å skulle ta for seg for mange kryssløsninger vil kreve mye arbeid både i innsamling av data og å analysere resultater. Ved å senke antallet kryssløsninger som det forskes på er det muligheter for å gå mer i dybden. Grunnen til å velge en firearmet rundkjøring er fordi det er denne typen rundkjøring det er funnet flest gode eksempler på.

I dag er det mange trafikkregler som gjør det forvirrende for trafikanter å navigere riktig, trygt og effektivt gjennom ruten. Bedre skilting og oppmerking kan øke trafikkavviklingen, og bedre opplevelsen av vegnettet for alle trafikanter. For å avgrense oppgaven blir ikke effekten av skilting og oppmerking i sammenheng med trafikkavvikling tatt med, verken for eksisterende eller nye løsninger.

Det vil ikke være med beregninger om utslipp i oppgaven. Utslipp kan endres med den nye løsningen grunnet mindre tomkjøring, redusert tid i kø eller en reduisering i antall stopp. Dette vil ikke være en del av oppgaven. Kostnaden ved implementeringen av løsningen blir heller ikke et fokus i oppgaven. Dette kan være kostnader i form av bygging av nytt kryss og omgjøring av kryss eller kostnader i form av trafikkstøy, støvforurensning eller lignende. Det er viktig å være oppmerksom på effektene ved implementering av en slik løsning, men det blir ikke gjort beregninger for dette.

Programvarene som brukes har ulike funksjoner og vanskelighetsgrad ved bruk. Som nevnt finnes det ingen enkel funksjon for å modellere et glidelåsfelt, der to felt går jevnt sammen til et. Det blir ikke en stor del av oppgaven å forsøke å finne ut av hvordan dette kan løses, da det kunne vært en masteroppgave i seg selv.

Hvordan endrede levestilmønster kan endre trafikken er ikke tatt med i oppgaven. Pandemien kan ha påvirket trafikkbildet, uten at dette kan sies med sikkerhet. Både bevegelsesmønster, utfartsdager og utfartstidspunkt kan ha blitt påvirket av et endret levestilmønster.

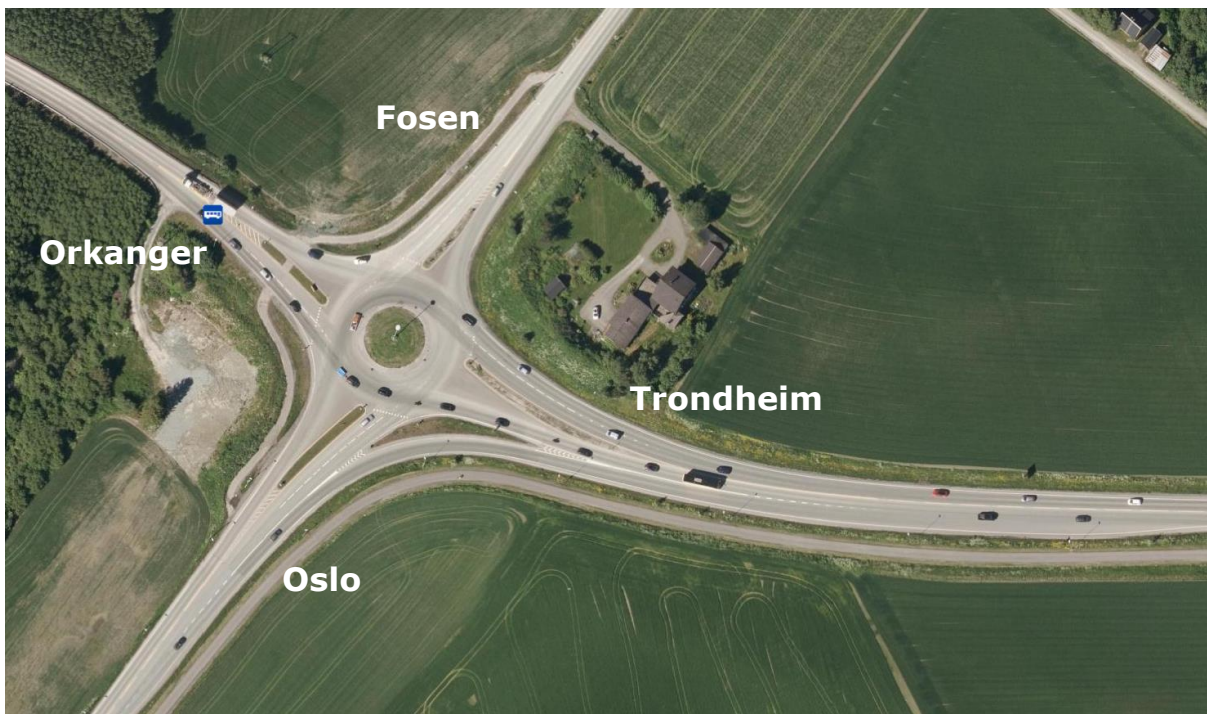
Omtalte emner kan være nevnt i løpet av prosjektet, men vil ikke være hovedfokuset på oppgavens omgang. Dessverre vil det ikke være mulig å ta i betraktning alle aktuelle temaer som har sammenheng med oppgaven. Det vil sannsynligvis være flere avgrensninger som er gjort, som ikke spesifikt nevnes her. Derfor er de omtalte emnene kun et utgangspunkt for å vise begrensningene ved oppgaven.

5. Områdebeskrivelse

5.1 Rundkjøring - Klett

5.1.1 Tidligere utforming

Figur 5.1 viser utformingen av vegnettverket på Klett, før utbyggingen av E6 som ble ferdigstilt i 2019 (Miljøpakken E6). Alle som skulle fra Trondheim mot Oslo måtte da innom denne rundkjøringen. Den hadde doble sirkulerende felt, samt filterfelt fra Oslo mot Trondheim. Posisjonen er noe mer øst enn dagens rundkjøring. Ved å ha filterfelt fra Oslo mot Trondheim trengte ikke trafikken som skulle denne retningen å være innom rundkjøringen. De doble feltene i alle tilfartene gjorde det mulig å legge seg to kjøretøy i bredden, og raskere avvikle trafikken inn mot rundkjøringen. Retningsbeskrivelsene er hentet fra skilt i området. Fosen er mot Klett og videre, Oslo er mot Melhus og videre.



Figur 5.1 Tidligere utforming av vegnettverket på Klett (2015). Hentet fra kart.finn.no sine historiske satellittbilder

5.1.2 Dagens utforming

Figur 5.2 viser et utsnitt av rundkjøringen på Klett slik den er i dag, som skal undersøkes nærmere. Denne rundkjøringen er en kompakt to-felts rundkjøring, der det er mulig å kjøre to personbiler parallelt. Det er kun et felt inn i rundkjøringen fra hver tilfart. Inn til rundkjøringen kommer avkjøringen fra E6 ut fra Trondheim. Her er det mange reisende, og spesielt i utfartshelger, da populære hyttefelt har dette som reisevei. Problemet er at rundkjøringen blir en flaskehals for alle som kjører av E6, og skaper en kø som vokser ut av avkjøringsrampen og ut på motorvegen. Dette er problematisk da det er høye hastigheter på motorvegen, og det brått blir nødvendig med stans eller bytte av felt for å ikke skape problemer med kjøretøyene i kø.



Figur 5.2 Utsnitt av studieområdet med rundkjøringen på Klett

Det er 100 km/t på motorvegen og en god del av avkjøringsrampen inn mot rundkjøringen. Omtrent 120 meter før rundkjøringen reduseres fartsgrensen til 60 km/t, og fortsetter som 60 km/t på E39 mot Orkanger. Dette vises illustrert i Figur 5.3, der blå farge representerer strekningen med fartsgrense på 100 km/t, og rød farge representerer en strekning med 60 km/t. De andre tilfartene inn mot rundkjøringen har en fartsgrense på 50 km/t.



Figur 5.3 Oversikt over fartsgrenser i forbindelse med rundkjøring på Klett

En teori er at grunnet den lange køen som dannes på denne avkjøringen er det noen trafikanter som velger å ta neste avkjøring fra motorvegen. Dette fører til at de kommer kjørende tilbake fra E39 sør og inn i rundkjøringen fra Oslo-tilfarten. Dette påvirker igjen trafikkstrømmen fra avkjøringen til E6 ved at trafikanter her må vike for de som kommer fra sørgående innkjøring.

I området er det stort sett bare biltrafikk, og det er egne underganger for myke trafikanter. Det er ingen overgangsfelt i tilknytning rundkjøringen, og er dermed ingen åpenbare konfliktpunkter mellom harde og myke trafikanter.

Det er en relativt liten andel busser i området. Disse har egne busslommer og hindrer dermed ikke resterende trafikk ved stopp med av- og påstigning, men de har heller ikke egne løsninger og må stå i kø sammen med resterende trafikk. Dette kan føre til forsinkelser på bussrutene, men bedre trafikkavvikling utelukkende for kollektivtrafikk er

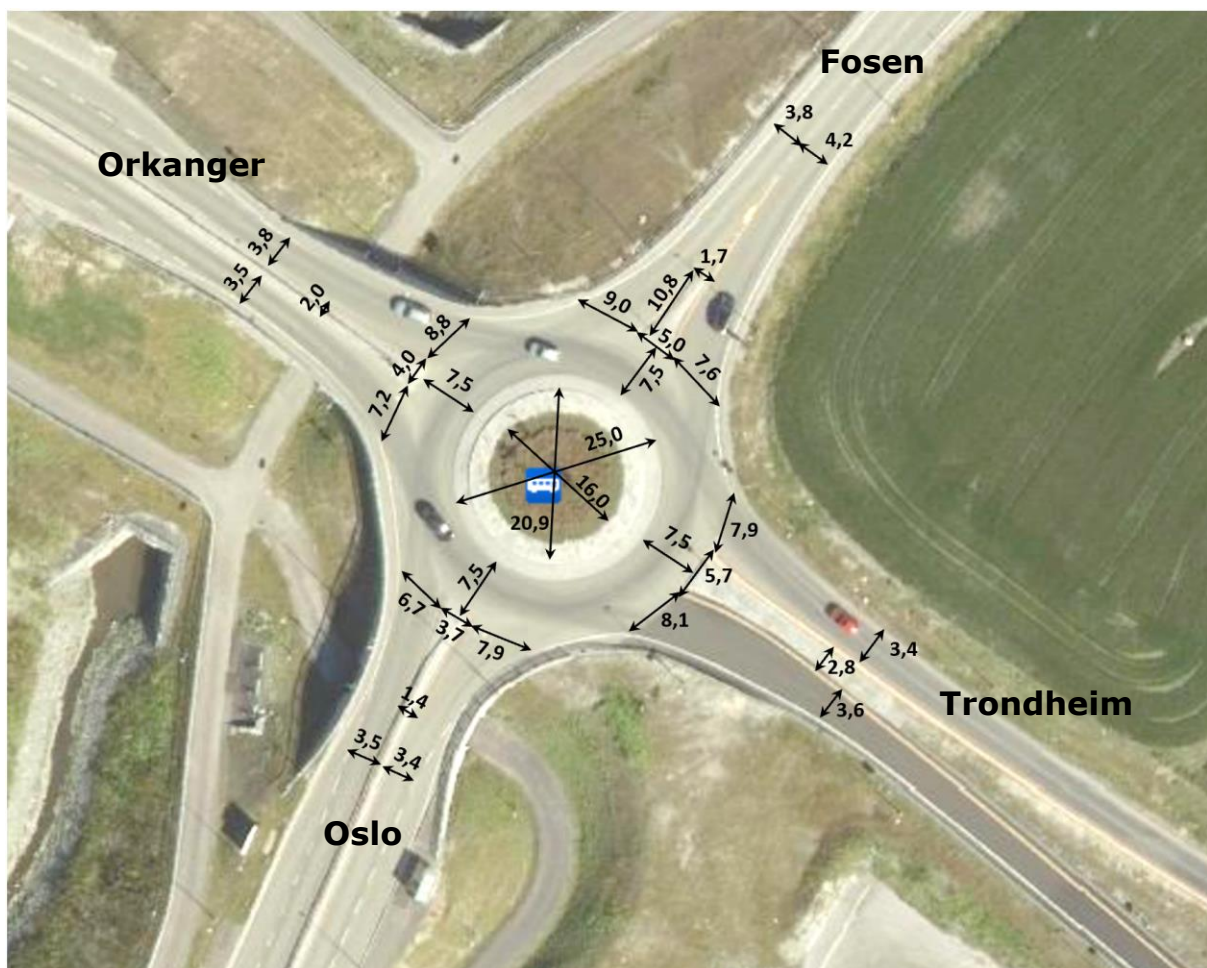
ikke en del av oppgavens omfang. Det blir fokusert på bedring i trafikkavviklingen for alle brukere av vegen, noe som samtidig kan bedre reisetiden for kollektivtrafikken.

Området er lite utbygget, og det vil ikke være store hindre for at en løsning som krever noe nytt areal kan implementeres. Dette er ikke en problemstilling som blir tatt videre hensyn til. Det samme gjelder problemstillinger knyttet til grunnforhold, stans av eller omlegging av trafikk under ombygging eller andre faktorer som kan påvirke utbygging i området.

Dagens geometri

Geometrien i rundkjøringen på Klett er illustrert i Figur 5.4. Målene er hentet i meter fra flyfoto fra kart.finn.no, og er rundet opp til nærmeste tiende cm. Dette ble gjort da disse målene er relativt nøyaktige, og det er vanskelig å gjøre målinger manuelt i området uten å være forstyrrende for trafikk. Det er nærmest ingen helning i området.

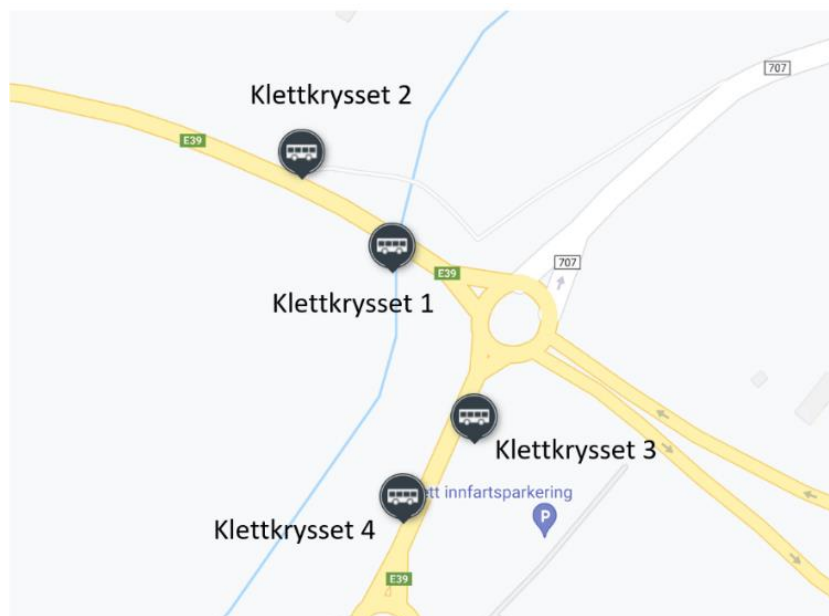
Lengden på avkjøringsfeltet fra motorvegen til stopplinjen til rundkjøringen er omtrent 680 m.



Figur 5.4 Geometri i rundkjøring på Klett i meter, hentet fra kart.finn.no

Kollektivtrafikk i området

Rundkjøringen på Klett er et møtepunkt for buss. Det er fire busstopp i forbindelse med rundkjøringen, som vist i Figur 5.5. Tabell 5.1 viser informasjon om kollektivtrafikken i området. Det er totalt 7 ulike bussruter, og 6 ulike rutevalg gjennom krysset for kollektivtrafikken.



Figur 5.5 Bussholdeplasser i forbindelse med Klett-rundkjøringen, hentet fra atb.no

Tabell 5.1 Oversikt over kollektivtrafikk i Klett-rundkjøringen, hentet fra atb.no

Holdeplass	Antall avganger 15:10 – 16:10 (29.04.2022)	Ruter	Omtrentlig intervall	Relevant info
Klettkrysset 1	5	310, 410	12 min	
Klettkrysset 2	12	310, 410, 420	5 min	
Klettkrysset 3	11	71, 77, 340	10 min (i rutetabellen)	
Klettkrysset 4	8	71, 77, 340, 480	8 min	340/480 ingen avstigning før Stendal

5.1.3 Opprinnelig tiltenkt utforming i området

Opprinnelig skulle det være et toplanskryss på Klett, men grunnet pengemangel på E6-prosjektet ble det heller bygget en rundkjøring (Miljøpakken Klettkrysset). Kapasiteten i rundkjøringen ble overvurdert, og har derfor skapt store trafikkproblemer. Det er nå blitt gitt en finansiering på 40 millioner for utbedring av området. Nåværende løsning er omtalt i media, der det skrives om lange køer og teorier om at det kun er en fullverdig kryssløsning som vil være tilstrekkelig løsning for trafikantene (Andersen, 2021). Ved å

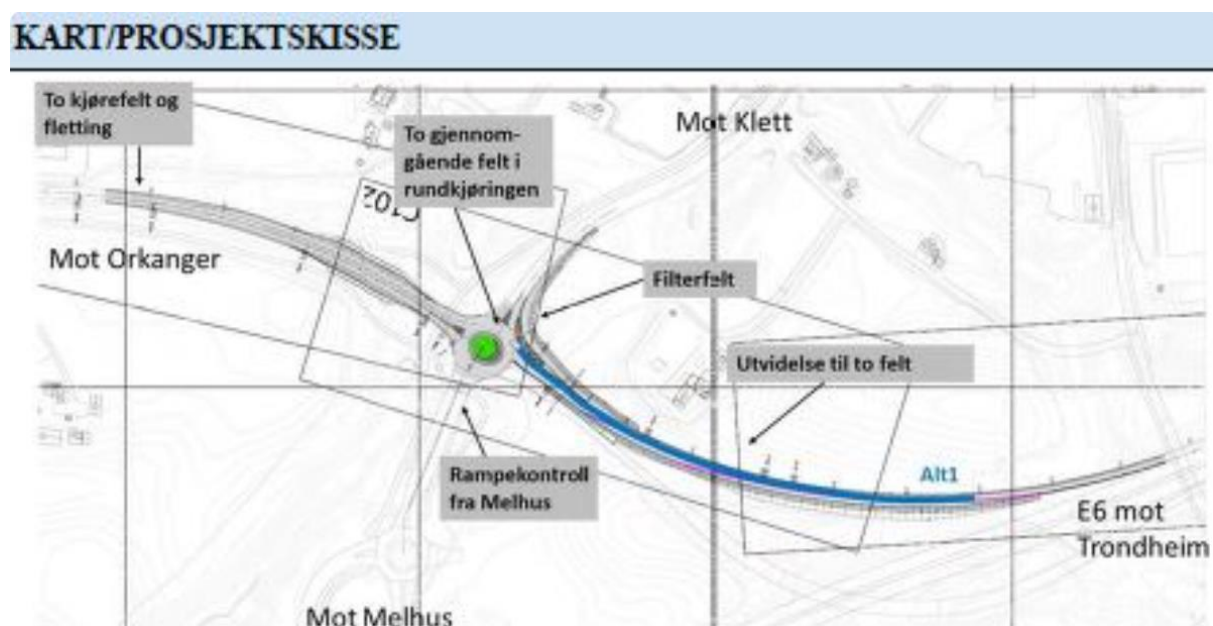
undersøke om en versjon med feltutvidelse og flettefelt kan gi tilstrekkelig kapasitet i området kan det gis bedre innsikt i om slike teorier er korrekte for denne situasjonen. Det skal ikke undersøkes videre på den opprinnelige tiltenkte utformingen, men det er viktig å være klar over at det var tiltenkt en annen løsning enn en rundkjøring i forbindelse med avkjøringen mot Klett, og at dette er en av grunnen til at det har oppstått store trafikkavviklingsproblemer her i tiden etter ferdigstilling. Den planlagte planskilte løsningen for Klettkrysset på området vises i Figur 5.6.



Figur 5.6 Planlagt løsning for Klettkrysset (illustrasjon: miljøpakken/wikipedia)

5.1.4 Planlagte arbeider i området

Krysset som skal undersøkes har allerede blitt satt til utbedring og skal ombygges. Dette er fordi det er store køproblemer i retning vest mot E39 Orkanger. Ombyggingen inkluderer utvidelse til to felt på avkjøringsrampen fra E6 inn mot rundkjøringen, endre utformingen av rundkjøringen til to felt til/fra E6/E39 med en oval form og bygge en flettestrekning vest for rundkjøringen fra to til et felt (Miljøpakken Klettkrysset). Et kart og prosjektskisse av planlagt arbeid er vist i Figur 5.7.



Figur 5.7 Kart/ projektskisse over planlagt arbeid i forbindelse med Klett-rundkjøringen (Miljøpakken Klettkrysset)

Opprinnelig planlagt byggestart for prosjektet var mars 2022, og det ble antatt å være ferdigstilt i oktober 2022. I april ble ny oppstartstid satt til mai 2022, med fortsatt ferdigstilling i oktober 2022. Tidspunktet for ferdigstilling gjør at det ikke blir mulighet til å se resultatet av utbyggingen i forbindelse med denne oppgaven, men det vil likevel være interessant å modellere krysset selv for å se hvordan tiltakene kan bedre kapasiteten, og om dette er en god løsning for området. Dette gjør og at registreringer i området bør gjennomføres før oppstart av ombyggingen, for å oppnå høyest mulig grad av normal trafikk ved simulering. Det ble forsøkt å ta kontakt med aktuell kontaktperson som har uttalt seg om krysset tidligere, med forespørsel om plantegninger for tiltenkt ny løsning. Forespørselen ble beklageligvis ikke besvart, og det er dermed ukjent hvordan nøyaktige mål er tiltenkt for ny løsning.

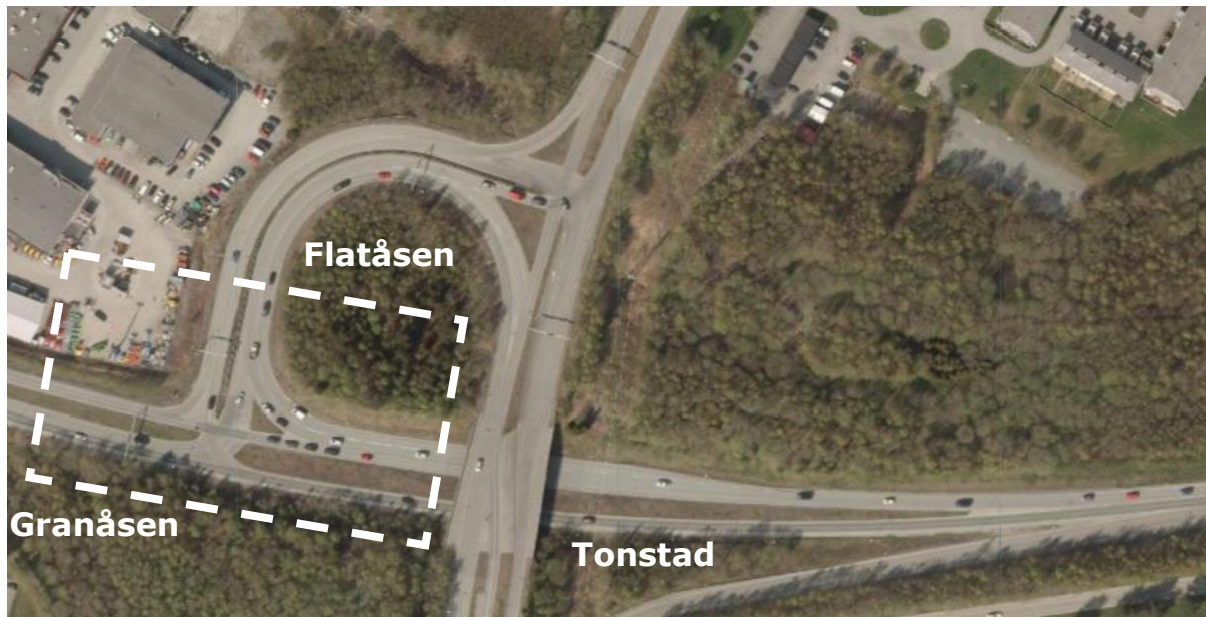
5.1.5 Kort beskrivelse av forslag til ny løsning

Forslaget til ny løsning i området blir i hovedtrekk det samme som den planlagte ombyggingen. Dette inkluderer å bygge ut til to felt før rundkjøringen, ha to gjennomgående felt i rundkjøringen og ha to kjørefelt med fletting etter rundkjøringen. Den tiltenkte rampekontrollen fra Oslo/ Melhus blir ikke inkludert, da det ikke ser ut som dette er et stort behov i forhold til trafikken i denne retningen. Ved å ha en tilfartskontroll vil det skapes større forsinkelser for trafikantene på denne strekningen, uten å gi store vinninger for resterende trafikanter. Hvor stor påvirkning det faktisk vil ha vil ikke undersøkes eller kommenteres videre. Samtidig vil de to kjørefeltene fra E6 Trondheim mot rundkjøringen fungere som et kømagasin, og bidra til å minke problematikken med bakovergående kø ut på motorvegen. Nåværende avkjøringsfelt er ikke tilstrekkelig for å unngå denne problemstillingen. Filterfeltet mot Fosen/ Klett blir ikke inkludert i forslaget til den nye løsningen, da det i hovedsak er av interesse å se på feltutvidelsen og flettefeltet mellom Trondheim og Orkanger.

5.2 Signalregulert kryss – Flatåsen

5.2.1 Tidligere utforming

Figur 5.9 viser den tidligere utformingen av vegnettet rundt det signalregulerte krysset ved Flatåsen. Alle kjøretøytyper måtte da gjennom det signalregulerte krysset. Videre var det et vikepliktregulert kryss ovenfor det signalregulerte mot Flatåsen. Utformingen av det signalregulerte krysset er ellers identisk med dagens løsning. Ettersom bussene måtte gjennom det signalregulerte krysset, kan dette være grunnen til at det er to høyresvingefelt fra Tonstad. Det var ingen av feltene som var kollektivfelt.



Figur 5.8 Tidligere utforming av området rundt det signalregulerte krysset på Flatåsen (2012).
Hentet fra kart.finn.no sine historiske satellittbilder

5.2.2 Dagens utforming

Det signalregulerte krysset på Flatåsen er i forbindelse med av- og påkjøringen på E6. Figur 5.9 viser området rundt krysset, med krysset som skal studeres markert med stiplet linje. Dette er et T-kryss mange reisende som skal mot eller fra Trondheim sentrum må gjennom. Det er totalt trafikk fra tre ulike retninger som møtes og skal utføre ulike bevegelser i krysset. På strekningen mellom E6 og Flatåsenkrysset er det en fartsgrense på 60 km/t over hele strekningen. Bussen har en egen trasé utenfor krysset og inn i rundkjøringen ovenfor det signalregulerte krysset. Traseén ble påbegynt i 2013. Det signalregulerte krysset har tilknytning til en rundkjøring. Gående og syklende har egne løsninger utenfor vegnettet.

På strekningen mellom det signalregulerte krysset og E6 er det flere flaskehalsar. En av flaskehalsene på strekningen er Bjørndalsbrua. På denne broen er det to felt mot øst, noe som tar vekk noe av den verste trafikken. Mot vest over broen og inn mot det signalregulerte krysset er det kun ett felt for vanlig trafikk, noe som fører til et kapasitetsproblem. Det er et eget kollektivfelt som ble ferdigstilt i 2021, som ikke vises på bildene (Miljøpakken Kolstadvegen). I denne oppgaven skal det ikke tas hensyn til å utbedre løsninger for andre mulige flaskehalsar på strekningen, men det er viktig å være kjent med andre områder som kan skape utfordringer i trafikkavviklingen.



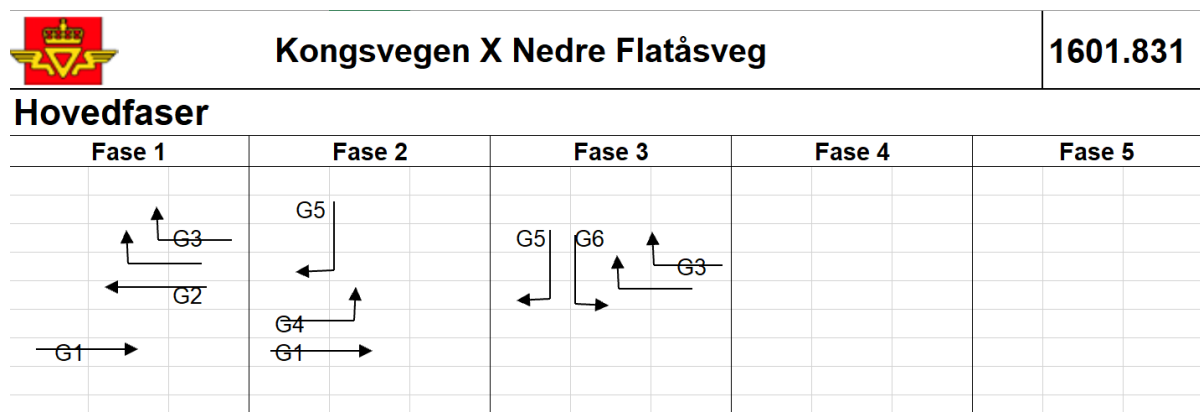
Figur 5.9 Oversiktsbilde over plassering av det signalregulerte krysset på Flatåsen

I dagens situasjon er det et signalregulert kryss med lite effektiv utforming og regulering, som skaper til dels lange køer og store forsinkelser både i morgen og ettermiddagsrushet. Et oversiktsbilde av Flatåsenkrysset er vist i Figur 5.10. I morgenrushet er det spesielt trafikken fra Granåsen i vest og Flatåsen/Kolstad inn mot det signalregulerte krysset som skaper køer og forsinkelser. På ettermiddagen er det særlig trafikken fra Tonstad i øst som skaper rush. Det er ettermiddagsrushet det fokuseres på i denne oppgaven.



Figur 5.10 Utsnitt av studieområdet med det signalregulerte krysset på Flatåsen

Alle svingebevegelesene i krysset er signalregulert, der hver svingebevegelesene har ett felt med unntak av høyresvingen fra Tonstad mot Flatåsen. Flatåsenkrysset er regulert med et trafikkstyrt signalanlegg, som har faser som vist i Figur 5.11. Faseinndelingen i det signalregulerte krysset på Flatåsen er funnet ved bruk av Statens Vegvesens oversikt over anlegget. Dette er mottatt gjennom Fylkeskommunen.

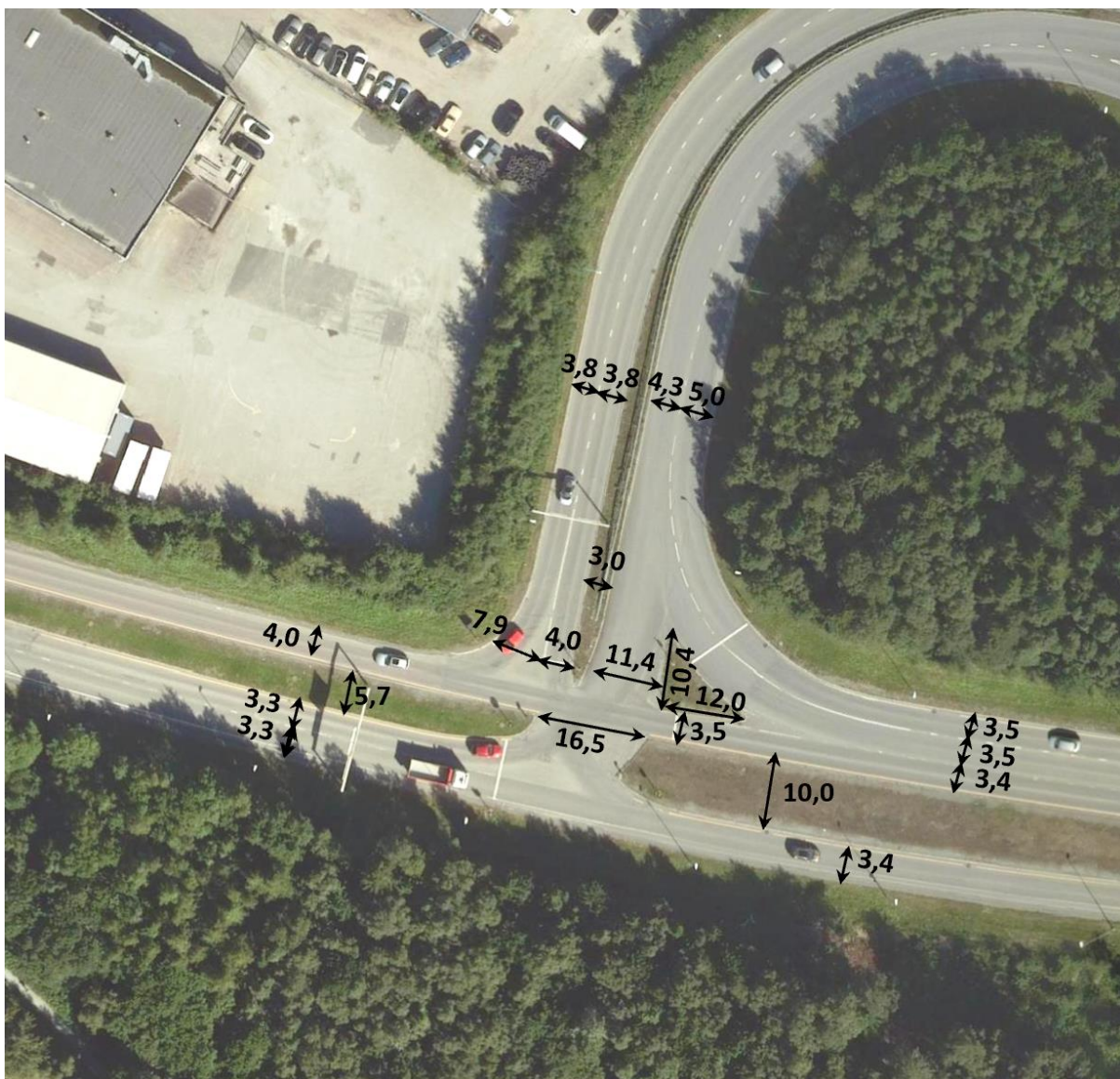


Figur 5.11 Faseinndelingen i Flatåsen-krysset

I området er det gode muligheter for å finne en løsning som gir bedre trafikkavvikling enn den eksisterende. Sikkerheten kan også påvirkes av en ny løsning, selv om trafikk-sikkerhetsaspektet ikke blir hovedfokus ved videre arbeid på dette signalregulerte krysset. Det er ikke kjent at det er noen planlagte arbeider i området.

Dagens geometri

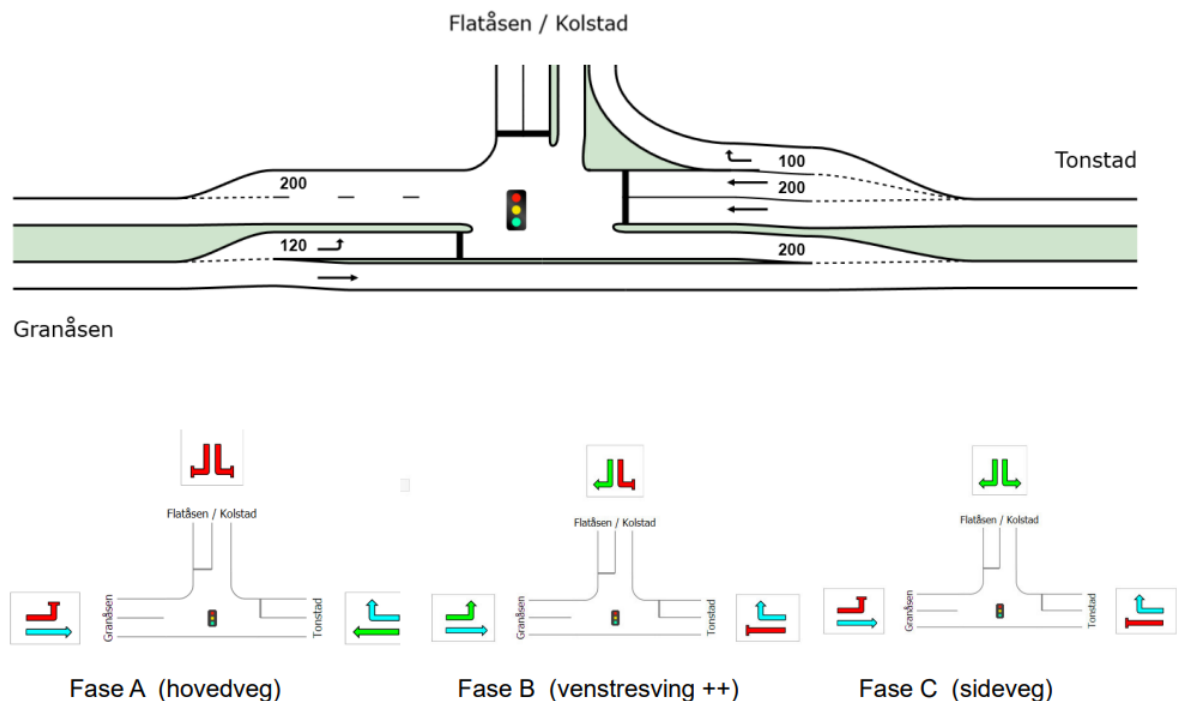
Geometrien til det signalregulerte krysset på Flatåsen er vist i Figur 5.12. Målene er i meter i nærmeste tiende cm, hentet fra flyfoto fra kart.finn.no. Høyresvingen fra Tonstad utvides til to felt omtrent 160 meter før stopplinja. Det er omtrent 170 meter fra rundkjøringen i retning Flatåsen/Kolstad til stopplinja inn mot det signalregulerte krysset. Fra Granåsen starter det venstre svingefeltet mot Flatåsen omtrent 145 meter før stopplinja. Det er litt helning i strekningen mot Flatåsen, men den er ikke mulig å måle og er relativt svak.



Figur 5.12 Geometri i det signalregulerte krysset på Flatåsen i meter, hentet fra kart.finn.no

5.2.3 Kort beskrivelse av forslag til ny løsning

Et førsteutkast til en mulig løsning på utforming og signalplan er illustrert i Figur 5.13, laget av Arvid Aakre. Dette er et godt utgangspunkt for videre arbeid med ny løsning.



Figur 5.13 Forslag til løsning (utforming og signalplan) (Illustrasjon: Arvid Aakre)

Det antas at det er tilstrekkelig med et høyresvingefelt fra Tonstad mot Flatåsen/ Kolstad. Denne bevegelsen kan i teorien ha «kontinuerlig grønt lys», ettersom den vil fortsette i et eget felt mot rundkjøringen. Siden det er en rundkjøring i tilknytning det signalregulerte krysset er det viktig at det åpnes for muligheter til feltskifte før rundkjøringen.

Fra Granåsen vil det være muligheter for å etablere et skille mellom kjørefeltene et lite stykke før og etter krysset, for å flette disse sammen til et felt igjen. Det høyre, rettgående feltet fra Granåsen til Tonstad blir da helt adskilt og kan også gis «kontinuerlig grønt», altså utgå fra signalreguleringen. Det venstre feltet benyttes for venstresvingen fra Granåsen til Flatåsen/ Kolstad slik som det gjør i dag, men fortsetter i venstre felt etter krysset før det åpnes opp for muligheter til feltskifte før rundkjøringen.

Fra Flatåsen/ Kolstad vil reguleringen i krysset være lik som i dag. Venstresvingen mot Tonstad forsetter i eget kjørefelt før sammenfletting med trafikken fra Granåsen.

Denne tiltenkte løsningen kan i hovedsak etableres innenfor dagens kryssareal ved å utnytte dagens midtrabatter. Ettersom det ikke er myke trafikanter i området, vil det ikke påvirke deres trafikksikkerhet eller ha andre negative konsekvenser for denne brukergruppen. I hvilken grad løsningen bedrer trafikkavviklingen skal undersøkes videre, men det antas at løsningen fører til meget god trafikkavvikling for alle svingebevegelser. Dette er ettersom to viktige bevegelser kan holdes utenfor signalreguleringen og to felt fra Tonstad mot Granåsen vil gi bedre kapasitet og redusere kø og forsinkelser.

Lignende eksisterende løsning

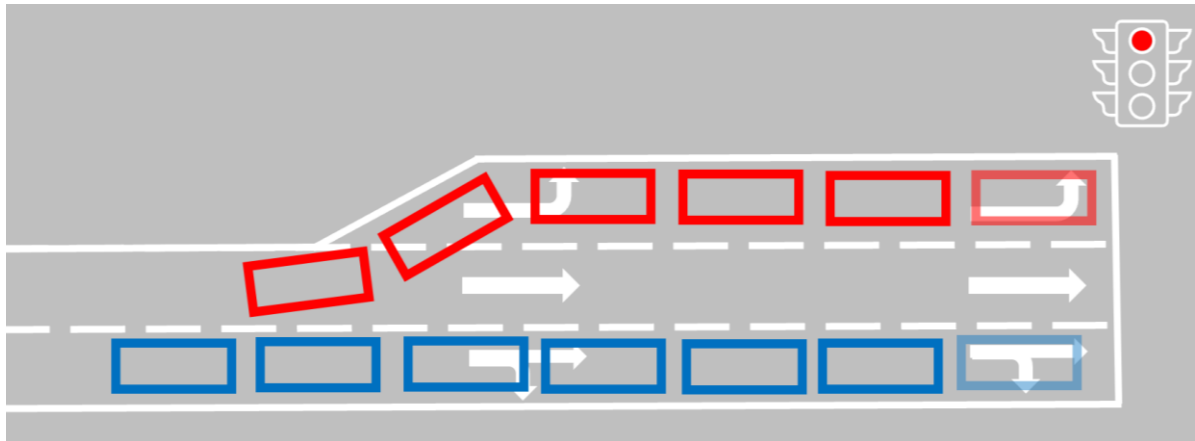
For å få innsikt i hvordan et signalregulert kryss med flere gjennomkjørende felt som flettes sammen fungerer, ble det valgt å observere det signalregulerte krysset på Tiller i en kort periode. Her er det to gjennomgående kjørefelt som går sammen til et etter krysset, som vist i Figur 5.14. Det ble observert i tidsperioden mellom 15.00-15.15 tirsdag 8. februar 2022. Det ble raskt observert at det var liten andel av trafikanter som benyttet seg av det midtre feltet. Dette kan ha en sammenheng med at disse får vikeplikt ved reduksjonen i antall felt etter krysset, men det var likevel ikke noe kapasitetsproblemer i krysset i tidsperioden som ble observert.



Figur 5.14 Signalregulert kryss på Tiller med to gjennomgående kjørefelt som flettes sammen

Det ble kun observert tre kjøretøy som la seg i midtfeltet gjennom krysset. For et av kjøretøyene var det sannsynligvis for å passere en minibuss og kunne holde høyere hastighet senere. Det ble dermed heller benyttet som et forbikjøringsfelt enn som et middel til å bedre kapasiteten. Det ble i tillegg observert at når det var trafikanter i midtre felt ble strømmen i den høyre filen saktet ned, selv om disse i praksis har prioritet. Dette gjorde at gjennomstrømningen ble lavere ved å benytte seg av begge feltene, ettersom trafikanten i det venstre feltet presser seg frem og fører til saktere hastighet i høyre felt. Det var sjeldent store oppsamlinger av trafikanter som skulle videre rett frem ved det signalregulerte krysset, og den grønne fasen var mer enn lang nok for alle trafikantene i kø å komme seg gjennom.

Det ble derimot observert at venstresvingen gjennom det signalregulerte krysset hadde en høy andel trafikanter. Noen trafikanter ble stående i 3 omløp før de kom seg over krysset, noe som også gjorde at køen raskt ble lengre. Dette førte til at trafikanter som skulle krysse over til venstre etter hvert ble stående i det midtre feltet, ment for trafikanter som skal framover. Et eksempel på dette er illustrert i Figur 5.15. Dette kan være til hinder for at venstrefilen blir valgt, ettersom denne filen blir sperret.



Figur 5.15 Illustrasjon over for liten venstresvingefelt som hindrer trafikk i venstre felt (Egen illustrasjon)

For å ikke få denne problemstillingen ved de kryssene som skal modelleres i oppgaven er det viktig å sørge for å ha nok kapasitet i alle felt. Det er viktig å ha kontroll på andelen kjøretøy som skal i hver retning, slik at lengdene på feltene kan tilpasses trafikkbelastningen.

6. Målinger og registreringer

For å samle inn trafikkdata ble det gjennomført videoopptak i de aktuelle områdene. Videoopptak ble utført i tidspunkter det antas å være stor trafikk i området. Dette er for å få innsikt i tidspunktet det er dårligst trafikkavvikling og størst trykk på vegnettet. Dette er ønskelig ettersom det skal undersøkes bedring i trafikkavviklingen ved bruk av nye kryssutforminger. Videoopptakingen ble utført ved bruk av samtlige GoPro 8 kameraer, festet på konstruksjoner i området eller satt opp ved bruk av stativ. Festing av utstyr var mulig å gjøre uten å være i konflikt med trafikken.

Ut fra videoopptakene gjøres det registreringer av trafikkmengder, svingebevegelser og kjøretøytypesammensetning. I tillegg vil opptakene bli brukt til å registrere kølengder og reisetider. Registreringene er gjort manuelt ved å se hvilken tilfart og utfart hvert enkelt kjøretøy valgte. Tellingene ble gjennomført i 5 minutters intervaller for å kunne se svingningene i trafikken over korte perioder. Ut fra dette kan det lages matriser over opprinnelse og destinasjon for hvert intervall, og finne tidspunktene med størst trafikk gjennom rundkjøringen. Den maksimale timen benyttes ved modelleringen.

6.1 Rundkjøring - Klett

Som nevnt er Klett-rundkjøringen meget aktuell i forbindelse med helger og andre utfartsdager, da det er en del av reiseveien til populære hyttefelt. Det ble derfor bestemt å gjennomføre videoopptak på fredag 11.02.2022 mellom klokken 15:00 og 17:00, da det antas mange reisende her i dette tidsrommet. I tillegg ble det gjennomført videoopptak på fredagen 18.02.2022 i tidsrommet 14:00-16:45, da dette er starten for vinterferien i Trondheim og det ble antatt en høy andel trafikanter i dette tidsrommet.

Trafikkstrømmene som registreres er vist i Figur 6.1. Hver innkjøring til rundkjøringen gir fire mulige destinasjoner/utkjøringer, vist i figuren som Trondheim, Fosen, Orkanger og Oslo.



Figur 6.1 Trafikkstrømmer i Klett-rundkjøringen

Det ble plassert tre kameraer i området for å få oversikt over trafikken. Det ble plassert et kamera på en haug ved rundkjøringen (1), og to på en bro i nærheten for å få oversikt over avkjøringen fra motorvegen (2/3). Plasseringen av kameraene og synsfeltene de dekket er illustrert i Figur 6.2 og Figur 6.3 – Figur 6.5. Det viktigste for oppgaven var å få med seg rundkjøringen, og de andre kameraene er kun for å illustrere problemene som kan oppstå i området og beregne kølengder og reisetider. Selv om plasseringen av kamera 3 ikke ble optimal ved første videoopptaksdag ga opptaket informasjon om trafikk-avviklingsproblemer og forsinkelsene som oppstod.



Figur 6.2 Plassering av kamera og synsfelt ved Klett-rundkjøringen



Figur 6.3 Synsfelt for kamera 1, utsikt over rundkjøringen



Figur 6.4 Synsfelt for kamera 2, utsikt over midten av avkjøringen



Figur 6.5 Synsfelt for kamera 3, viser starten av avkjørsel mot motorveg, 11.02.2022 og 18.02.2022

Tidvis var køene så lange at det ikke ble mulig å registrere lengden ut fra videoopptakene. Det ble derfor beregnet reisetider fra avkjøringen på motorvegen til rundkjøringen. Reisetiden fra avkjøringens start til rundkjøringen ble gjort ved å velge ut gjenkjennbare kjøretøy, og registrere tiden det brukte fra start til slutt av avkjøringsrampen. Videoopptakene må da koordineres med hverandre. For å beregne forsinkelsen på avkjøringen fra motorvegen må det gjennomføres reisetidsberegninger for tider både med og uten kø.

For å få en gjennomsnittlig forsinkelse for Trondheim-tilfarten ble det gjort registreringer to ganger per 5-minuttersintervall, med omtrent 2,5 minutt mellomrom, i maks-timen. Dette skapte et gjennomsnitt per 5 minutt, som sammen med trafikkteilingene skapte en gjennomsnittlig forsinkelse.

6.1.1 Observert trafikkavvikling

I rundkjøringen legger kjøretøyene seg dobbelt i feltet fra Fosen. Det er noen få som legger seg dobbelt i rundkjøringen, da det er brede felt, men dette er minimalt og parallellkjøringen i den sirkulerende strømmen tas ikke i betraktning i modelleringen.

Mange trafikanter blir uoppmerksomme etter lengre tid i kø. Dette bemerkes ved at det var svært store tidsluker i rundkjøringen. Når trafikantene først har kommet frem til krysset har de ikke lenger dårlig tid, som igjen fører til en lenger reisetid og forsinkelser for trafikanter lenger bak i køen.

Det bemerkes også at det var en stor andel trafikk fra Orkanger, som gjør at det tidvis var mange kjøretøy med lavere hastigheter for denne tilfarten.

11.02.2022

Det var et tilfelle der det var parallellkjøring av brøytebiler på motorvegen, omtrent klokken 15:18. Brøytebilene skapte en flaskehals i trafikken, og gjorde at det i en periode var minimalt med kjøretøy på motorvegen og på avkjøringen inn mot rundkjøringen. Dette førte til en oppsamling av kjøretøy bak brøytebilene, og dermed en større andel kjøretøy inn mot krysset i tiden etterpå.

Samtidig som brøytebilene kjørte på motorvegen ble det dyttet en del snø over i avkjøringsfeltet, se Figur 6.6. Dette førte til en nedbremsing av trafikanter på dette området, som kan ha påvirket volumet inn mot rundkjøringen. Etter en periode forsvant denne snøen. Utenom denne tidsperioden på omtrent 10 minutter var vegene frie for snø.



Figur 6.6 Snø liggende i avkjøringsfeltet grunnet brøyting av motorveg

Etter de parallellkjørende brøytebilene fylte hele avkjøringsfeltet til motorvegen mot rundkjøringen seg opp, og er fullt til omtrent 16:00. Etter dette løsnet det gradvis opp. Når avkjøringsfeltet ble fullt ble de kjøretøyene som skulle av på avkjøringen liggende i høyrefeltet på motorvegen. Dette førte til at de kjøretøyene som skal fortsette på motorvegen måtte benytte seg av venstre felt. Selv om dette ikke påvirker antallet kjøretøy inn til rundkjøringen er det en viktig grunn til at det bør gjøres noe med trafikkavviklingen i området.

Selv når avkjøringsfeltet ikke er helt fylt opp må nedbremsing starte allerede før avkjøringen. Dette fører til nedbremsing for trafikantene som skal på avkjøringen i motorvegen, og gjør at trafikanter som skal fortsette på motorvegen fortsatt velger venstre felt for å unngå nedbremsing.

Den 11.02.2022 var det en personbil som fikk trafikkstans og ble stående i tilfarten fra Oslo omtrent klokken 15:07-15:28. Dette førte til en noe redusert trafikkavvikling. Det var mulig for andre trafikanter å passere det stansede kjøretøyet via busslommen, men dette ble en flaskehals. Det var spesielt større kjøretøy som skapte problemer, da de viste ekstra forsiktighet ved passering. I tillegg var det noen trafikanter som stoppet opp for å snakke med det stansede kjøretøyet, noe som skapte trafikkstans og oppsamlinger av kjøretøy som ikke ellers ville vært i området. Dette var likevel ikke mer enn 7-10 kjøretøy. Kjøretøyet ble tauet vekk fra området. Dette er en av grunnene til at det velges å modellere 18.02.2022 fremfor 11.02.2022.

18.02.2022

Likt som 11.02.2022 var det parallellkjørende brøytebiler på motorvegen som kan ha påvirket trafikken inn mot rundkjøringen. Disse passerte avkjøringen mot rundkjøringen omtrent 14:20, og antas dermed ikke å påvirke trafikken i makstimen fra 15:20 i særlig grad. Her legges det ikke merke til noe forstyrrende snø over i avkjøringsfeltet. Brøytebilene førte til det samme som 11.02.2022, at avkjøringsfeltet ble fylt opp med kjøretøy, og trafikanter på motorvegen må legge seg over i venstre felt dersom de skal fortsette på motorvegen. Dette er vist i Figur 6.7.



Figur 6.7 Oppfylt avkjøringsfelt fører til kø i motorvegen og bruk av venstre fil for trafikanter på motorvegen

Det var en enkel brøytebil som kom fra motorvegen ut på avkjøringsfeltet omtrent klokken 15:29. Denne skapte også en opphopning av trafikanter inn mot rundkjøringen, men hindret ikke trafikken på motorvegen i like stor grad som de parallellkjørende brøytebilene.

I tillegg til de vanlige GoPro kameraene som ble benyttet for å filme trafikken begge dager i rundkjøringen, ble det 18.02.2022 filmet ved hjelp av droner. Dette ble gjennomført av veileder Arvid Aakre som lovlig kan operere droner med slik størrelse. Dette gjorde det enklere å registrere trafikken fra Fosen, samtidig som det var enklere å registrere atferden til trafikantene fra Trondheim. Det ble registrert at det delvis ble en oppsamling av kjøretøy

fra Fosen, og at trafikantene fra Trondheim ikke fulgte med i trafikkbildet og holdt ideelle avstander til kjøretøyet foran. Dette er vist i Figur 6.8 og Figur 6.9.



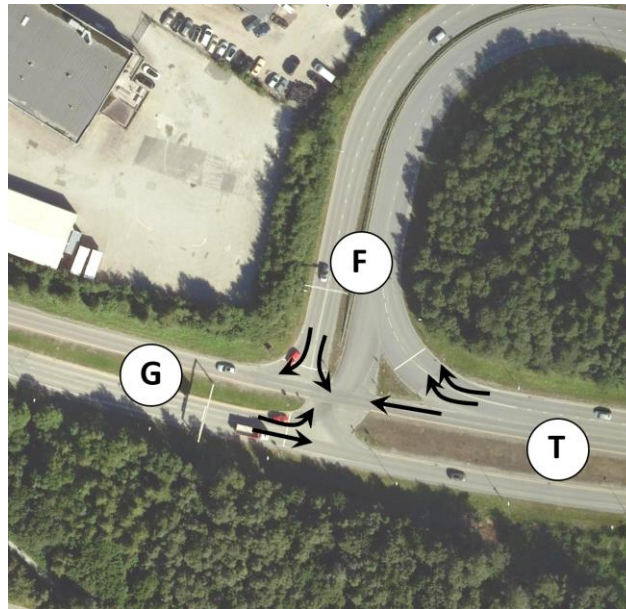
Figur 6.8 Tidvis lengre køer fra Fosen



Figur 6.9 Gode mellomrom mellom kjøretøy i kø fra Trondheim

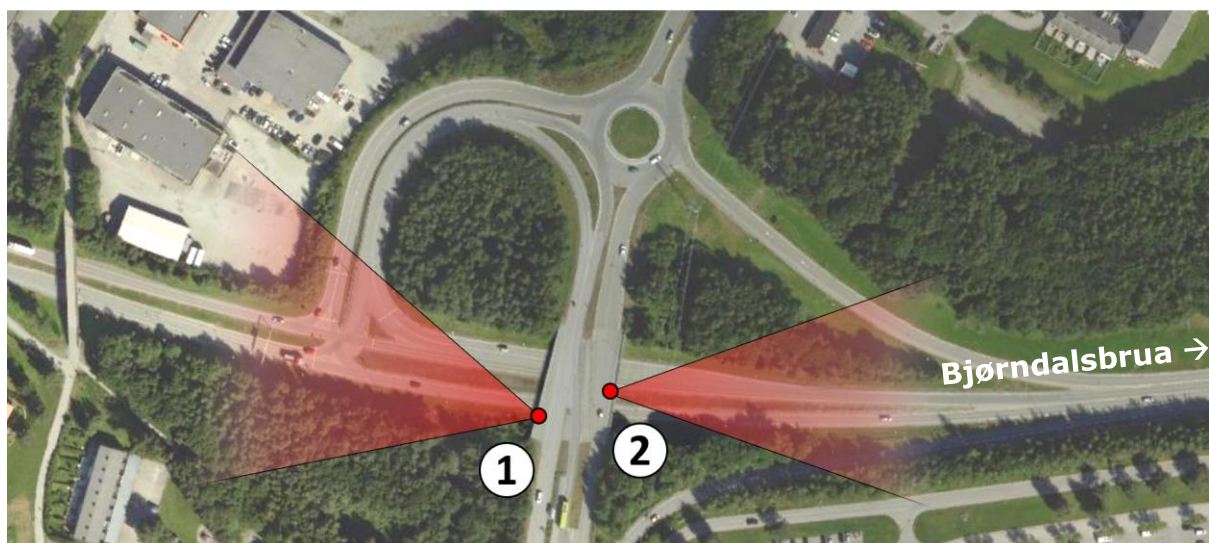
6.2 Signalregulert kryss - Flatåsen

Det signalregulerte krysset på Flatåsen ble filmet i tidsrommet 07:00-08:30 og 14:30-17:00 torsdag 03.03.2022. Dette var for å både få med seg morgenerushet og ettermiddagsrushet i området. Figur 6.10 viser trafikkstrømmene som ble registrert i Flatåsenkrysset. Hver innkjøring til krysset har blitt nummerert med bokstavene G, F og K for henholdsvis Granåsen, Flatåsen og Tonstad. Her ble trafikktegninger gjennomført i samarbeid med medstudent Pernille Munkvold.



Figur 6.10 Trafikkstrømmer i Flatåsenkrysset

Kameraoppstillingen og synsfeltet er som vist i Figur 6.11, der begge kameraene ble plassert på bilbroen som krysser over Kolstadvegen. Det viktigste ved kameraoppstillingen var å få med seg alle svingebevegelesene i krysset. Det andre kameraet ble plassert for å kunne få med seg bakenden av køen i ettermiddagsrushet, og generelt trafikkavviklingen på strekningen mot Bjørndalsbrua. Kameraenes synsfelt er vist i Figur 6.12.



Figur 6.11 Plassering av kamera og synsfelt ved Flatåsenkrysset



Figur 6.12 Synsfelt for henholdsvis kamera 1 og 2

6.2.1 Observert trafikkavvikling

Det er ettermiddagstrafikken som kommenteres, da det er denne som planlegges å benyttes for modellering. Dette var planlagt før registreringer, da Tonstad-tilfarten er av størst interesse for problemstillingen.

I det signalregulerte krysset ble det observert en jevn strøm av trafikanter. Delvis ble det større oppsamlinger av trafikanter i venstresvingen fra Granåsen og fra Flatåsen. Fra Tonstad kom det konstant kjøretøy, som oftest uten høye hastigheter. Det antas at observerte hastigheter var under fartsgrensen. Ettersom det er et trafikkstyrt kryss ble fasene styrt etter pågangen av trafikk. Det var ingen spesielle hendelser verdt å bemerke seg under opptaksperiodene. Vegene var frie for snø og andre hindre som kunne påvirket trafikken.

Det er en kjent problemstilling at trafikkavviklingsproblemer fra tidligere signalregulert kryss skaper lavere hastigheter frem mot Flatåsenkrysset over Bjørndalsbrua. Ettersom hele nettverket ikke skal modelleres er det vanskelig å vite hvor stor påvirkning denne forsinkelsen har. Likevel gjør dette det vanskeligere å finne frem til korrekte reisetider og kølengder for området, da mye kommer fra utenfor modelleringsområdet. Det er derfor blitt nødvendig å gjøre noen antagelser for modellen, og kølengdene i området brukes for å kalibrere modellen fremfor reisetider og forsinkelse.

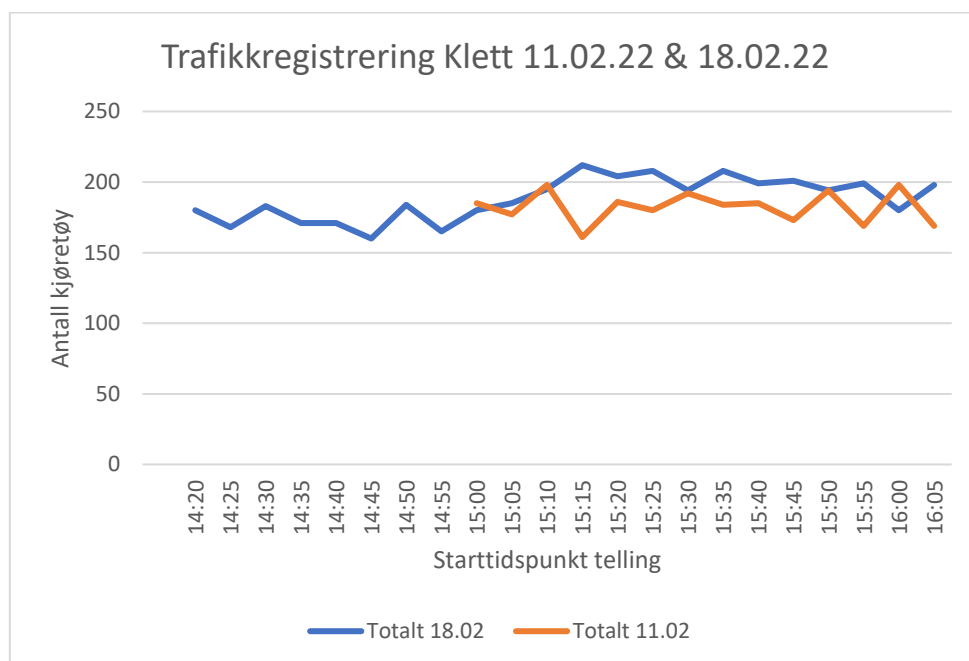
Ut fra videoopptak virker det som det er 2-3 sekunder reaksjonstid når signalet blir grønt, som er tapt tid ved starten av grønnfasen. Det ble observert at det er en kombinasjon av trafikanter som kjører over stopplinjen ved oransje lys på signalet, og trafikanter som bremser ned når det blir oransje. Dette gjør at det noen ganger var større tap på oransje lys enn andre, så det er valgt å bruke standardverdien på 3 sek som et gjennomsnitt her for alle svingebevegelser ved modellering.

6.3 Trafikktellinger

Mer utdypende trafikkregistrering kan ses i elektronisk vedlagt Excel-fil. I dette vedlegget representeres rådataen fra trafikkregistreringene. Under resultatene vises kun de vesentligste verdiene og registreringer benyttet i modellering.

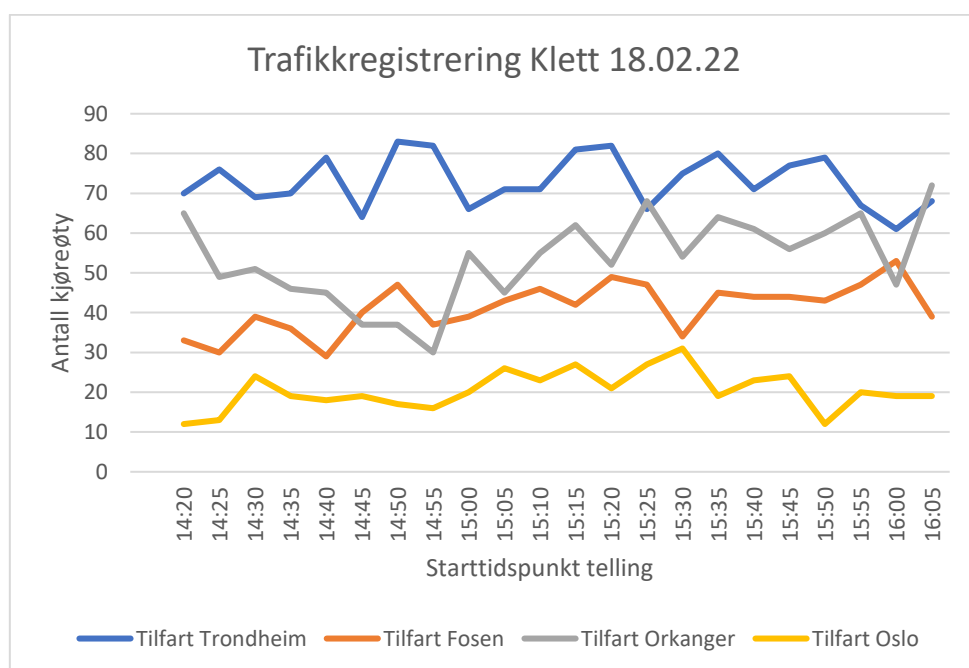
6.3.1 Rundkjøring på Klett

Figur 6.13 viser registrering av trafikk fredag 11.02.2022 og 18.02.2022.



Figur 6.13 Trafikkregistreringer i Klett-rundkjøringen fredag 11.02.2022 og 18.02.2022

Figur 6.14 viser antallet kjøretøy inn i hver tilfart med 5 minutters intervall 18.02.2022.



Figur 6.14 Trafikkregistreringer inn i hver tilfart i Klett-rundkjøringen 18.02.2022

Tabell 6.1 viser tidspunktene med maksimal trafikk gjennom rundkjøringen.

Tabell 6.1 Maks trafikk gjennom Klett-rundkjøringen

Dato		Klokkeslett	Trafikk gjennom rundkjøringen	Omgjort til timestrafikk
18.02.2022	Makstime	15:10-16:10	2 392	2 392
	Maks kvarter	15:15-15:30	624	2 496
11.02.2022	Makstime	15:05-16:05	2 197	2 197
	Maks kvarter	15:30-15:45 / 15:50-16:05	561	2 244

Opprinnelsesdestinasjonsmatrisene for ulike trafikklasser i makstimen for 18.02.2022 er vist i Tabell 6.2 til Tabell 6.4

Tabell 6.2 OD-matrise for lette kjøretøy 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10

Lette kjøretøy					
Fra/ Til	Trondheim	Fosen	Orkanger	Oslo	Sum
Trondheim		124	692	21	837
Fosen	88		227	200	515
Orkanger	424	142		107	673
Oslo	17	131	100	1	249
Sum	529	397	1019	329	2274

Tabell 6.3 OD-matrise for tunge kjøretøy 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10

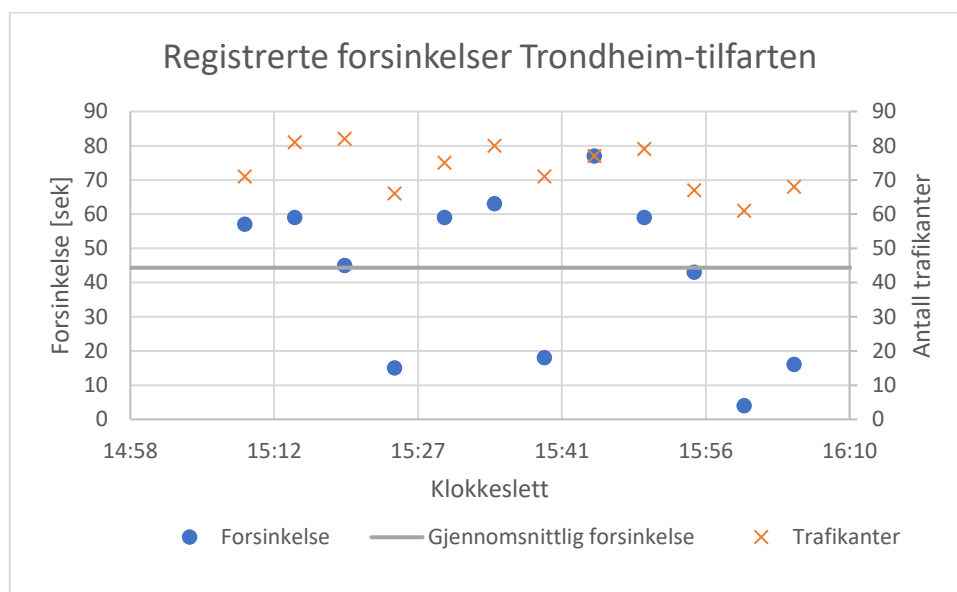
Tunge kjøretøy					
Fra/ Til	Trondheim	Fosen	Orkanger	Oslo	Sum
Trondheim	1	4	18		23
Fosen	7		2	4	13
Orkanger	26	2	1	7	36
Oslo	2	1	1		4
Sum	36	7	22	11	76

Tabell 6.4 OD-matrise for buss 18.02.2022 i tidsperioden 15:10-16:10

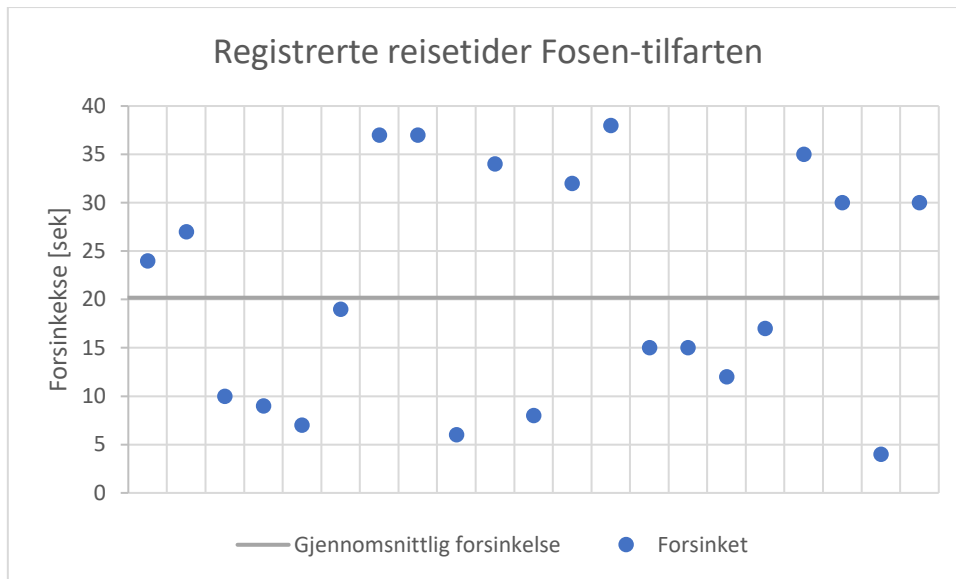
Buss					
Fra/ Til	Trondheim	Fosen	Orkanger	Oslo	Sum
Trondheim			12	6	18
Fosen	1		1	3	5
Orkanger	7				7
Oslo	8	4			12
Sum	16	4	13	9	42

Registrerte forsinkelser rundkjøring

Figur 6.15 og Figur 6.16 viser de registrerte forsinkelsen i Kletttrundkjøringen i tilfarten fra Trondheim og Fosen, og den gjennomsnittlige forsinkelsen på henholdsvis 44 og 20 sekunder. Registreringene av forsinkelse er vist i Vedlegg 1.



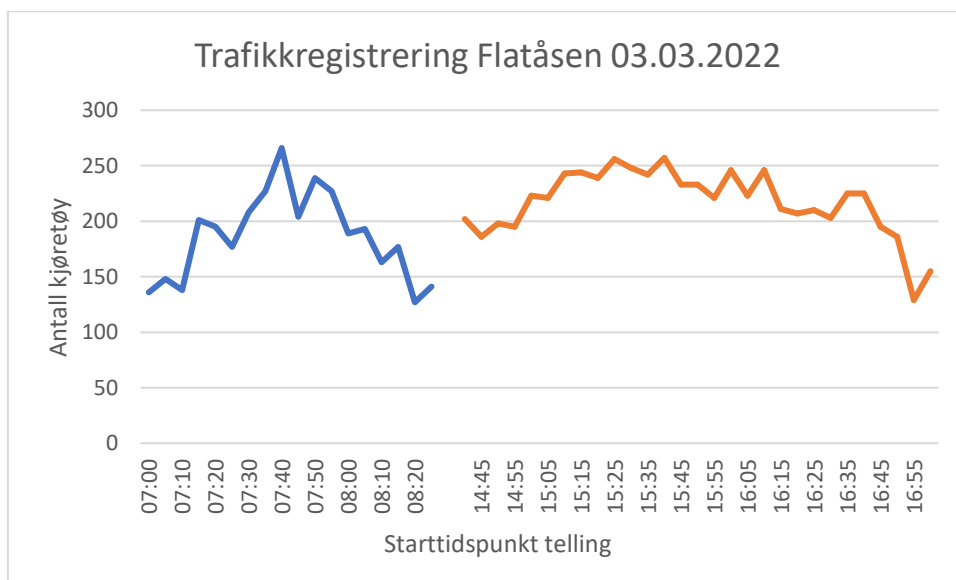
Figur 6.15 Registrerte forsinkelser i Klett-rundkjøringen, tilfart fra Trondheim



Figur 6.16 Registrerte forsinkelser i Klett-rundkjøringen, tilfart fra Fosen

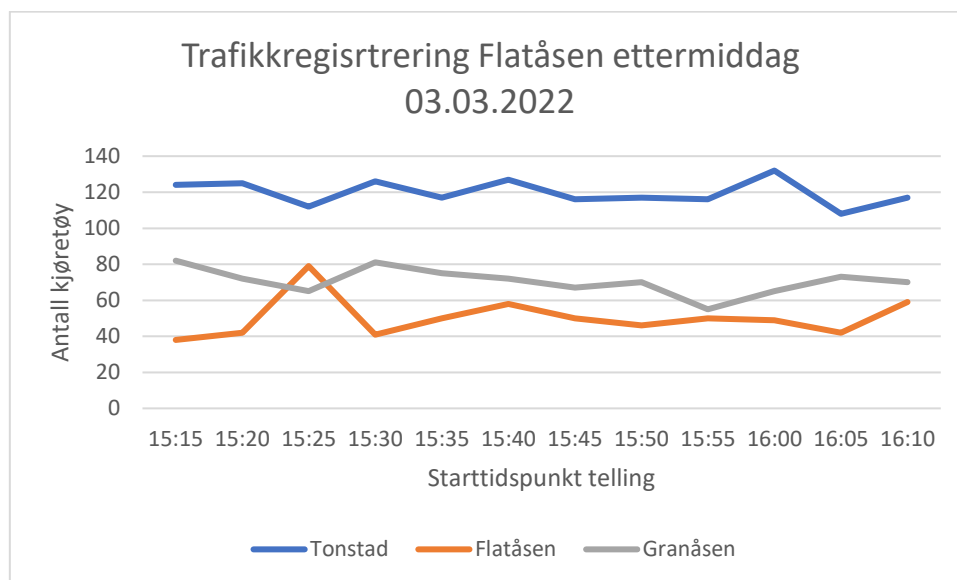
6.3.2 Signalregulert kryss på Flatåsen

Figur 6.17 viser registrering av trafikk i Flatåsen-krysset på morgenen og ettermiddagen torsdag 03.03.2022.



Figur 6.17 Trafikkregistreringer 03.03.2022

Figur 6.18 viser antallet kjøretøy i hver tilfart med 5 minutters intervall ettermiddagen 03.03.2022.



Figur 6.18 Trafikkregistreringer inn i hver tilfart i Flatåsenkrysset ettermiddagen 03.03.2022

Tabell 6.5 viser tidspunktene med maksimal trafikk gjennom det signalregulerte krysset.

Tabell 6.5 Maks trafikk gjennom Flatåsenkrysset

Tidspunkt		Klokkeslett	Trafikk gjennom krysset	Omgjort til timestrafikk
Morgenrush	Makstime	07:15-08:15	2 489	2 489
	Maks kvarter	07:40-07:55	709	2 836
Ettermiddagsrush	Makstime	15:15-16:15	2 888	2 888
	Maks kvarter	15:30-15:45	747	2 988

Opprinnelsesdestinasjonsmatrisene for ulike trafikklasser i makstimen ettermiddagen 03.03.2022 er vist i Tabell 6.6 og Tabell 6.7.

Tabell 6.6 OD-matrise for lette kjøretøy 03.03.2022 klokken 15:15-16:15

Lette kjøretøy				
Fra/ Til	Tonstad	Flatåsen	Granåsen	Sum
Tonstad		792	637	1429
Flatåsen	207		396	603
Granåsen	482	351		833
Sum	689	1143	1033	2865

Tabell 6.7 OD-matrise for tunge kjøretøy 03.03.2022 klokken 15:15-16:15

Tunge kjøretøy				
Fra/ Til	Tonstad	Flatåsen	Granåsen	Sum
Tonstad		1	7	8
Flatåsen			1	1
Granåsen	14			14
Sum	14	1	8	23

Tabell 6.8 viser kølengdene ved start av grøntid i antall kjøretøy i makskvarteret på ettermiddagen 03.03.2022. Kølengdene registrert kan ses i Vedlegg 2.

Tabell 6.8 Kølengder ved start grøntid i antall kjøretøy i makskvarteret på ettermiddagen 03.03.2022

Tilfart	Tonstad			Flatåsen		Granåsen	
	Rett	Høyre (v)	Høyre (h)	Høyre	Venstre	Venstre	Rett
Kølengde [kjt]	6,6	2,2	3,3	3,3	2,8	5,3	2,3

6.3.3 Diskusjon trafikkteLLinger

Selv om det ble filmet over lengre perioder, ble det kun gjort tellinger av trafikken i de periodene det var størst trafikk. Dette er fordi det er tidskrevende å gjøre tellinger, og det er av størst interesse å se på periodene der det er avviklingsproblemer i området. Fra registreringene ble makstidene i trafikken lokalisert, og det er dette som benyttes i modelleringen. For å kvalitetssikre at det er perioden det er størst avviklingsproblemer som brukes må det gjennomføres tellinger over en lengre tidsperiode enn det ble i denne oppgaven.

For å ikke undervurdere trafikkvolumet i kryssene ble det undersøkt hvilket kvarter som hadde mest trafikk. Makskvarteret omgjort til timestrafikk avviker ikke i altfor stor grad fra registrert trafikkmengde over en time for noen av kryssløsningene, og dermed benyttes den registrerte makstimens verdier ved videre modellering. Grunnen til å bruke timesverdien fremfor kvarteret ganget opp med 4, er for å ikke gå glipp av naturlige variasjoner av trafikksammensetning og lignende, som kan forsvinne ved å benytte kun et kvarter av tellinger.

For å være noe sikrere på at registreringene for en dag ikke er unaturlige ble det gjennomført flere registreringer i de aktuelle kryssene. I rundkjøringen ble det gjennomført registrering av trafikk over to ulike dager, mens det i det signalregulerte krysset ble gjennomført to registreringer til ulike tider samme dag. Dette er for å forsikre seg om at verdiene hverken er unaturlig høye eller lave.

Grunnet tidsperspektivet på en masteroppgave og det tidskrevende arbeidet det er å gjennomføre tellinger ble det ikke gjennomført flere eller lengre tellinger. For å være sikker på at det ikke er unaturlig trafikk som legges som grunnlag for oppgaven skulle det helst vært gjennomført enda flere registreringer.

Rundkjøring på Klett

Som vist i TrafikkteLLinger er det gjennomført en telling for 11.02.22 og en for 18.02.22. Fra tellingene, se Figur 6.13, er det mulig å se at det ikke er en altfor stor variasjon i de ulike dagene, og tellingene kan antas realistiske. Det blir valgt å bruke registreringene fra 18.02.2022 i videre arbeid, ettersom det som nevnt var et kjøretøy med trafikkstans 11.02.2022, som kan ha påvirket trafikken i ukjent grad. Tellingene og OD-matrisene dannet fra disse er å se i Figur 6.13, Figur 6.14 og Tabell 6.1 til Tabell 6.4.

Registrerte forsinkelser for Trondheim- og Fosen-tilfarten er vist i Figur 6.15 og Figur 6.16. Ettersom kameraene ikke dekket tilfartene fra Orkanger og Oslo, var det ikke mulig å registrere forsinkelser fra disse tilfartene. De registrerte forsinkelsene gir en pekepinn på forsinkelsen i området, selv om den ikke gir et nøyaktig anslag da det kan være variasjoner over korte tidsperioder. Den ideelle reisetiden ble registrert utenfor makstiden og simuleringsperioden, for å få en reisetid helt uten forsinkelser og forstyrrelser av annen trafikk.

I etterpåklokskap skulle det vært satt opp flere kameraer for å bedre kunne følge med på alle tilfartene og forsinkelsene som oppstod. For Fosen-tilfarten måtte videoopptakene fra dronen benyttes, da GoPro kameraene ikke hadde bra nok utsnitt for å registrere reisetiden. Dette gjorde at det kun var korte tidsperioder det var mulig å registrere trafikken, både fordi dronen har kort batteritid, og fordi den ble forflyttet underveis og ikke alltid hadde utsikt over Fosen-tilfarten. Dette gjør det problematisk å gi et anslag på

gjennomsnittlig forsinkelse over makstimen. Dermed ble det gjort noen antagelser om andelen trafikanter og påvirkningen på den gjennomsnittlige forsinkelsen. Det ble observert i felt at det var en stor andel trafikanter som hadde periodevis dårlig trafikkavvikling, og dermed ble registreringene med forsinkelse vektlagt i større grad enn registreringene uten forsinkelse. Grunnen til at det tillattes en så enkel tilnærming i denne situasjonen, er fordi dette ikke er tilfarten av størst interesse i krysset. Det er altså store usikkerheter i den registrerte forsinkelsen for denne tilfarten.

Signalregulert kryss på Flatåsen

Det ble besluttet at det var tilstrekkelig med tellingene fra en dag, selv om disse ble tatt ved ulike tidspunkt. Det blir observert at det er en lignende trafikkmengde gjennom krysset i morgenrushet og i ettermiddagsrushet, selv om fordelingen i de ulike tilfartene er noe ulik. Dette er logisk med tanke på tiden på døgnet og hva som er destinasjonen til trafikantene. For å være sikrere på at tellingene er innenfor normen burde tellinger for flere dager gjennomføres. Tellingene og OD-matrisene for krysset er vist i Figur 6.17 og Figur 6.18, og i Tabell 6.5 til Tabell 6.7.

Grunnet utsynsfeltene til kameraene ble det ikke mulig å registrere reisetider eller kølengder i særlig grad, også fordi trafikken er påvirket fra tidligere seksjoner på vegnettverket. I tillegg er det et trafikkstyrt signalanlegg i virkeligheten, som modelleres som et tidsstyrt. Dette gjør at det ikke vil være direkte sammenlignbare verdier for registrerte og modellerte kølengder og reisetider. Det måtte derfor brukes skjønn om riktige tider. Gjennom diskusjoner med medstudent Pernille Munkvold, som modellerte samme kryss, ble det enighet om logiske forsinkelsesresultater. De kølengdene som ble registrert under makskvarteret er vist i Tabell 6.8. Den viktigste faktoren for kalibrering av modellen har likevel vært gjennom diskusjoner med medstudent Pernille Munkvold, men kølengdene kan gi en indikasjon om forholdene.

7. Modellering

Trafikkvolumene legges inn etter makstimene og matrisene oppgitt i Trafikktellinger. Det benyttes tellinger fra 18.02.2022 for rundkjøringen, og ettermiddagen 03.03.2022 for det signalregulerte krysset.

Bestemmelse av lengden på feltutvidelsen og flettefeltene ble gjort ved å undersøke flere lengder, og se påvirkningen av dette for både rundkjøring og signalregulert kryss. I SIDRA har lengden på utvidelsen fra et til to felt ingen påvirkning på hvor mange som legger seg i hvert felt. I flettefeltet vil alle lengder over 180 meter gi lik fordeling av kjøretøy mellom feltene. Kortere flettefelt vil gi en kjørefeltutnyttelse [*Lane Utilisation*], som blir lavere ved kortere felt. I Aimsun påvirkes trafikken i liten grad av hvilket felt som flettes inn i det andre, eller om det brukes noder. Det ligger alltid noen flere kjøretøy i høyre felt, men påvirkes i liten grad av lengdene på feltene før og etter. Forsinkelse påvirkes noe av lengden på feltene, men ikke i stor grad. Andre faktorer vedrørende feltene er ikke undersøkt. Det vil ikke være noen resultater med ulike feltutvidelse- og flettefeltlengder. Det er valgt feltutvidelse- og flettefeltlengder som antas som realistiske og akseptable, og som er hentet fra prosjektskisse for rundkjøringen. Lengden av utvidelsen til to felt burde speile grøntid i det signalregulerte krysset, slik at begge felt blir fylt opp. Om ikke vil ikke bruksgraden av feltene optimaliseres.

7.1 SIDRA

7.1.1 Rundkjøring på Klett

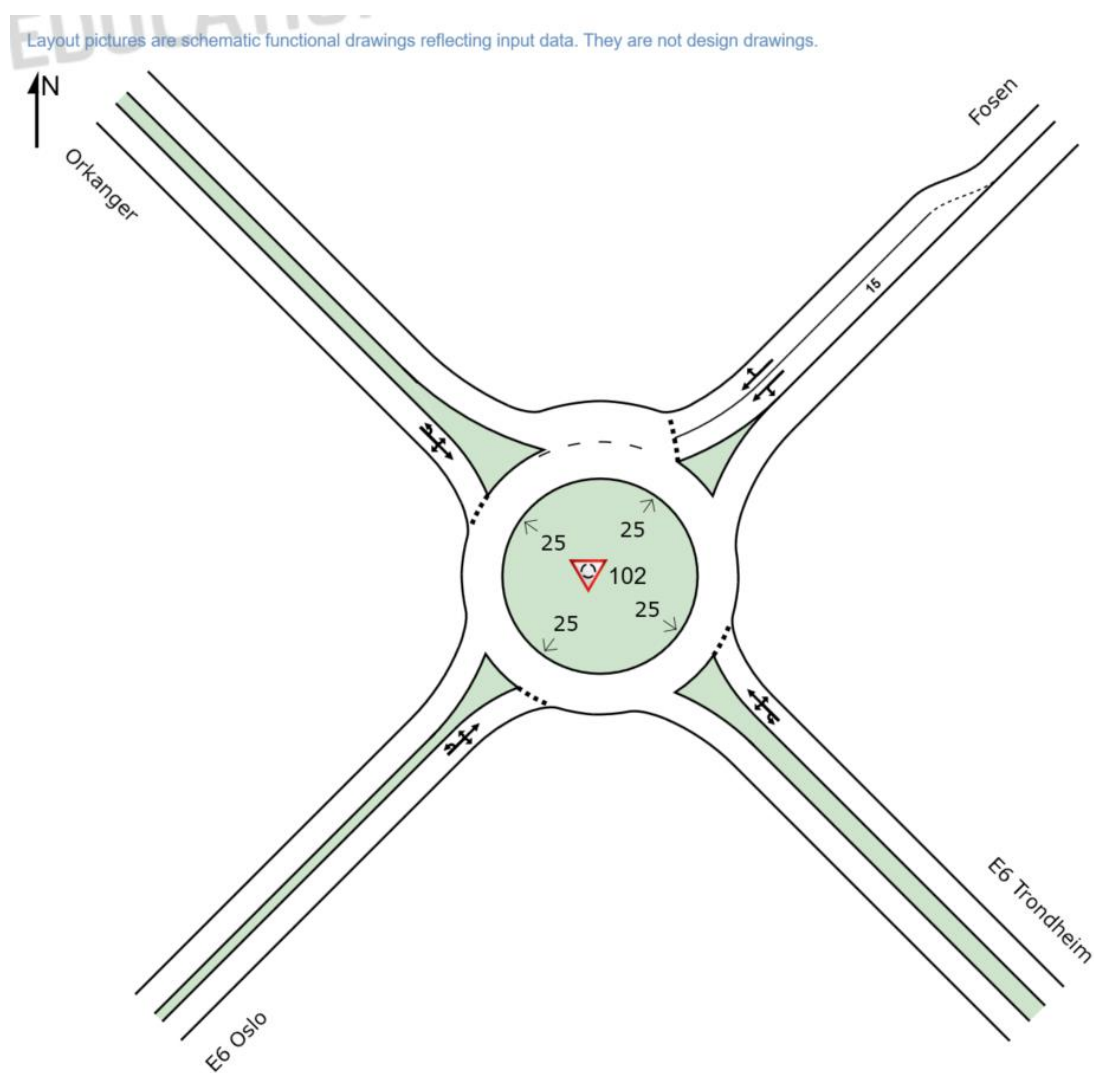
Original utforming

Oppsummering av brukte parameterverdier for modellering av rundkjøringen vises i Tabell 7.1. De verdiene som er endret fra standardverdiene er merket med rød farge i tabellen. Standardverdien benyttes for de parameterne som ikke omtales i tabellen. Mer utdypende forklaringer for de mest sentrale parameterverdiene kommer etter oppsummerings-tabellen.

Tabell 7.1 Parameterverdier for modellering av rundkjøringen på Klett i SIDRA, rød farge er verdier endret fra standardverdien

Dialogboks	Parameter	Trondheim	Fosen	Orkanger	Oslo	
Intersection	Approach Distance	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m	
	Extra Bunching	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Movement Definitions	Movement Classes	Lette kjøretøy, tunge kjøretøy, buss				
Lane Geometry	Lane Width	Tilfart	3,40 m	3,00 m	3,50 m	3,40 m
		Kort tilfart	-	3,00 m	-	-
		Utfart	3,60 m	4,20 m	3,80 m	3,50 m
	Lane Length	Tilfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m
		Kort tilfart	-	15,0 m	-	-
		Utfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m
Roundabouts	Circulating Width	6,5 m	6,5 m	6,5 m	6,5 m	
	Island Diameter	25,0 m	25,0 m	25,0 m	25,0 m	
	Entry Radius	23,0 m	25,0 m	31,0 m	22,0 m	
	Entry Angle	28,0 °	34,0 °	28,0 °	28,0 °	
	Environment Factor	0,97	1,0	1,0	1,0	
Volumes	Peak Flow Period	30 min				
	Peak Flow Factor	95,0 %	95,0 %	95,0 %	95,0 %	
Gap Acceptance	Exiting Flow Effect	10 %	10 %	10 %	10 %	
Vehicle Movement Data	Approach Cruise Speed	60 km/t	50 km/t	60 km/t	50 km/t	
	Exit Cruise Speed	Tilsvarende tilfarten i samme arm				

Utformingen av rundkjøringen blir i SIDRA som vist i Figur 7.1.



Figur 7.1 Utformingen av rundkjøringen på Klett laget i SIDRA INTERSECTION 9.0

Lane geometry

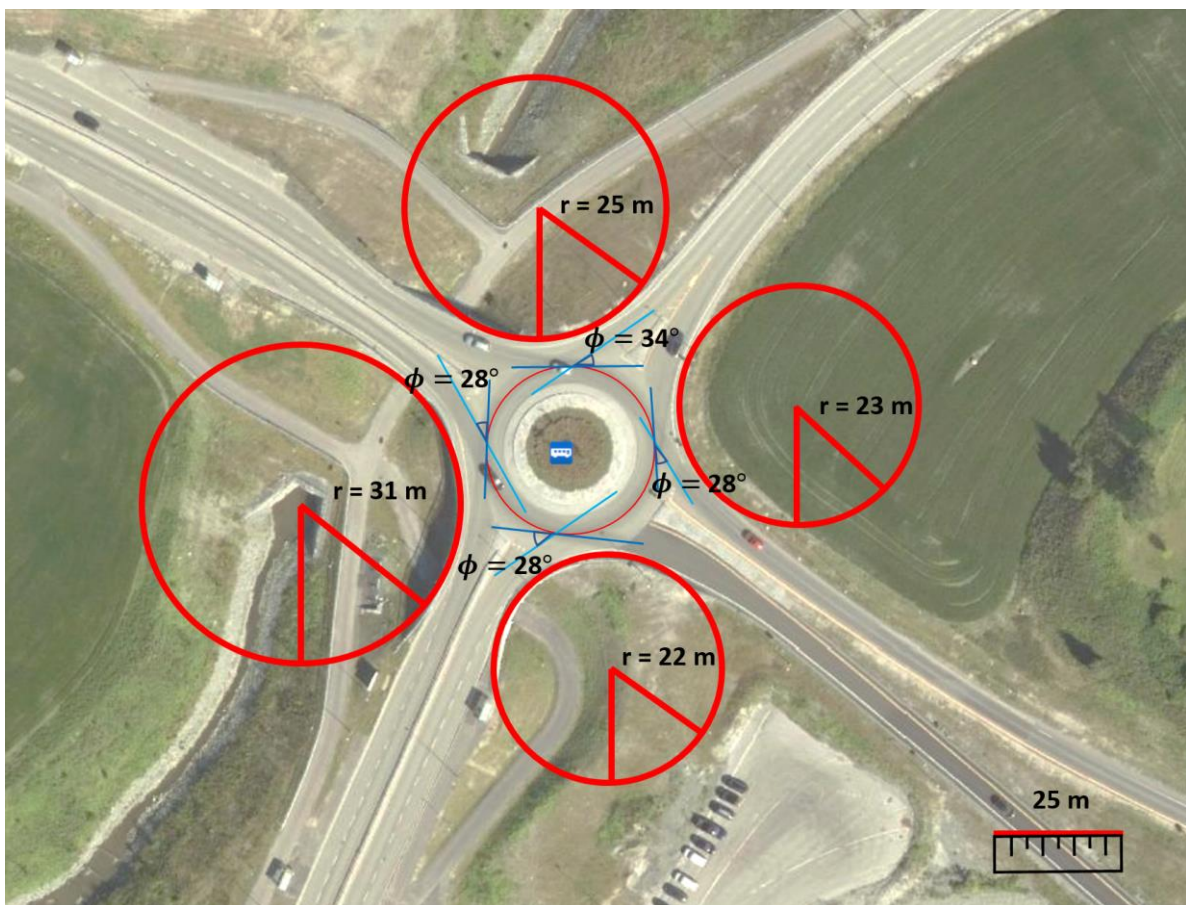
Dagens geometriverdier legges inn som vist under Dagens geometri for rundkjøringen for alle tilfarter og utfarter, med unntak av tilfarten til Fosen. Det legges det til et kort felt i tilfarten fra Fosen for å simulere at det i virkeligheten er plass til 2 i bredden ved innkjøringen til rundkjøringen. Disse feltene settes til 3,0 meter hver, ettersom det ikke faktisk er to felt inn mot rundkjøringen. Det korte feltet legges inn som 15 meter langt, siden det er omtrent denne lengden det er mulig å plassere to biler ved siden av hverandre i virkeligheten.

Roundabouts

Trafikkøyen i rundkjøringen kan ha flere mål, avhengig av hvordan det velges å definere denne. Det er noe av øyen som er overkjørbar for tungtrafikk som krever dette, men ettersom størstedelen av trafikken ikke ville måtte bruke dette, velges det et mål på trafikkøyen på 25 meter i diameter.

Den sirkulerende bredden er jevn gjennom hele det sirkulerende feltet i rundkjøringen. Selv om hele bredden på feltene er 7,5 meter med asfaltert veg, brukes ikke mer enn 6,5 meter for alle tilfartene. Dette er fordi ingen trafikanter som benytter seg av den ytterste meteren, som også er mulig å se i form av slitasje på veien. For at den sirkulerende bredden ikke skal oppfattes for stor i SIDRA blir det benyttet 6,5 meter som bredde for alle tilfartene.

Radius og vinkelen for innkjøringene er vist i Figur 7.2. Metoden for å finne radius og vinkel er forklart i SIDRAS hjelpemanual i programvaren, og det er denne metoden som er brukt. Det blir ikke helt nøyaktige verdier når slike parametere beregnes, men gir et omtrentlig området for de ulike verdiene som bidrar til en mer naturnær simulering.



Figur 7.2 Radius og vinkel for innkjøringer i Klett-rundkjøringen

Gap Acceptance Data

Det blir valgt å la programvaren velge kritiske luke- og følgetider. *Exiting Flow Effect* blir satt til 10%, da det forventes at det vil være en påvirkning av den sirkulerende strømmen på den innkjørende strømmen. I rundkjøringen på Klett er det en del som påvirkes av trafikantene som er i den sirkulerende strømmen, selv om det ikke alltid er en motstridende bevegelse.

Kalibrering og validering

Å skulle forklare alle steg for hver gjennomkjøring av modellen og justeringer vil kreve mye repetisjon. Det er derfor valgt å vise verdiene som endres fra standardverdien for å tilpasse modellen til virkeligheten. En del av kalibreringsprosessen har vært å forsøke ulike kombinasjoner og verdier for ulike parametere. De parameterverdiene som er nevnt i modelleringsdelen er de verdiene som gjør at modellen tilpasses best med virkeligheten. Likevel vil det aldri være fullstendig overensstemmelse med en modell og det som observeres i virkeligheten, ettersom modellen gjør enkelte forenklinger og beregninger som ikke vil stemme med observert atferd.

Kalibreringen inkluderer å legge inn 2 felt for tilfarten fra Fosen, og endre miljøfaktoren fra Trondheim til 0,97.

For å sjekke hvordan en trafikkøkning påvirket modellen ble det utført simuleringer med en økning i trafikken på 10, 20 og 30% ved bruk av *Flow Scale*.

Ny utforming

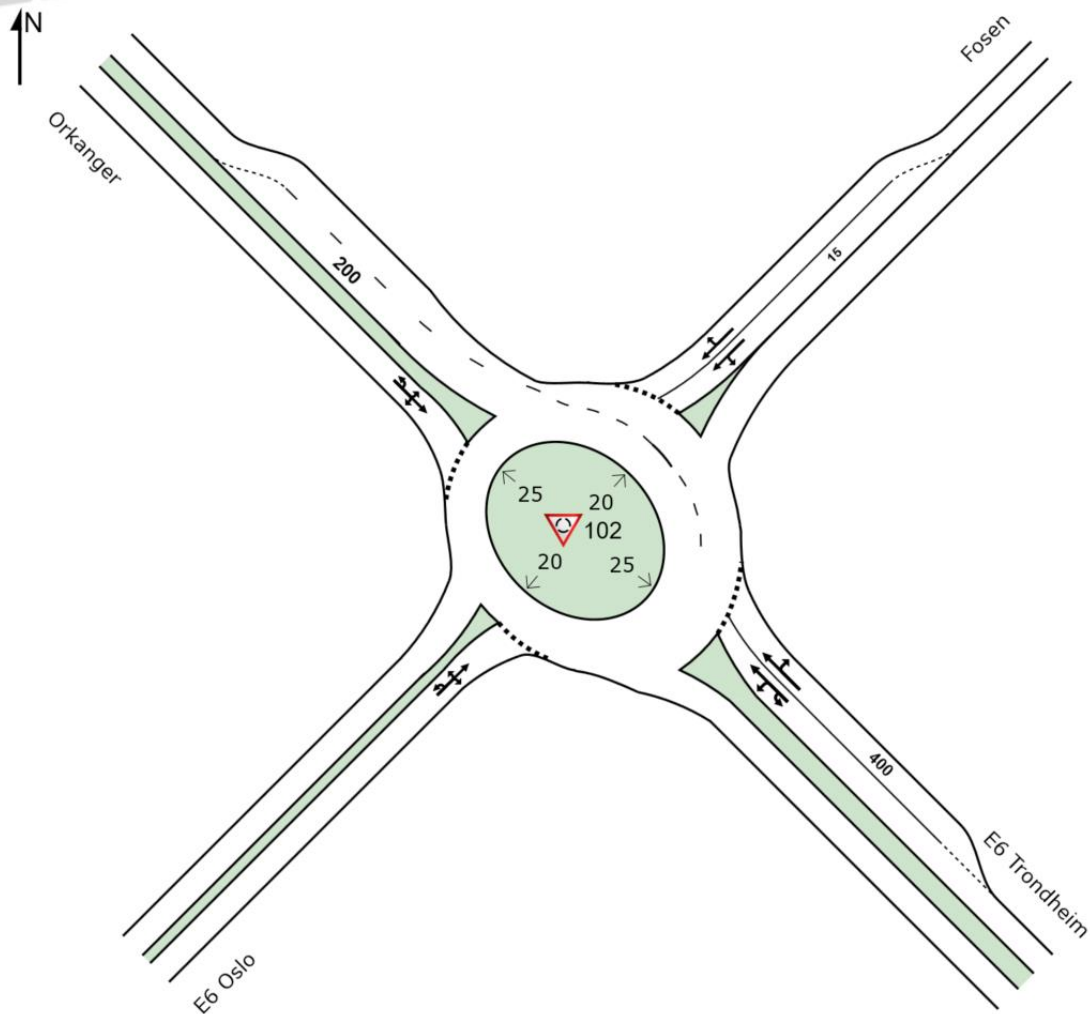
Oppsummeringen av brukte parameterverdier for modelleringen av den nye utformingen vises i Tabell 7.2. De verdiene som er endret for den nye utformingen er markert med rødt. Verdiene som gjenbrukes fra original utforming er markert med gult, og resten er standardverdier. Det vil være mer utdypende forklaringer for paramaterverdier etter oppsummeringstabellen. Her vil det ikke være nye forklaringer for det som er uendret fra modelleringen av den eksisterende utformingen.

Tabell 7.2 Parameterverdier for modellering av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett i SIDRA, gul farge er verdier gjenbrukt fra original løsning, rød farge er verdier endret fra standard

Dialogboks	Parameter	Trondheim	Fosen	Orkanger	Oslo	
Intersection	Approach Distance	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m	
	Extra Bunching	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
Movement Definitions	Movement Classes	Lette kjøretøy, tunge kjøretøy, buss				
Lane Geometry	Lane Width	Tilfart	3,40 m	3,00 m	3,50 m	3,40 m
		Kort tilfart	3,40 m	3,00 m	-	-
		Utfart	3,60 m	4,20 m	3,80 m	3,50 m
		Kort utfart	-	-	3,80 m	-
	Lane Length	Tilfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m
		Kort tilfart	400 m	15,0 m	-	-
		Utfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m	500,0 m
		Kort utfart	-	-	400 m	-
Roundabouts	Circulating Width	6,5 m	6,5 m	6,5 m	6,5 m	
	Island Diameter	25,0 m	20,0 m	25,0 m	20,0 m	
	Entry Radius	23,0 m	25,0 m	31,0 m	22,0 m	
	Entry Angle	28,0 °	34,0 °	28,0 °	28,0 °	
	Environment Factor	0,97	1,0	1,0	1,0	
Volumes	Peak Flow Period	30 min				
	Peak Flow Factor	95,0 %	95,0 %	95,0 %	95,0 %	
Gap Acceptance	Exiting Flow Effect	10 %	10 %	10 %	10 %	
Vehicle Movement Data	Approach Cruise Speed	60 km/t	50 km/t	60 km/t	50 km/t	
	Exit Cruise Speed	Tilsvarende tilfarten i samme arm				

Den nye utformingen til rundkjøringen er vist i Figur 7.3.

Layout pictures are schematic functional drawings reflecting input data. They are not design drawings.



Figur 7.3 Ny utforming av rundkjøringen på Klett laget i SIDRA INTERSECTION 9.0

Lane Geometry

Modellen er bygget med utgangspunkt i prosjektskissen fra Planlagte arbeider i området. Ut fra prosjektskissen det var mulig å finne på miljøpakken sine sider ser det ut som utvidelsen til to felt skal være omtrent 400 meter før rundkjøringen (Miljøpakken Klett-krysset). Dette er også for å kunne samle opp kø i feltene på avkjøringen, fremfor at køen skal gå ut på motorvegen og skape trafikkproblemer der også. Ut fra skissen er det ikke mulig å se hvor langt flettefeltet skal være etter rundkjøringen, så det antas at denne er omtrent 200 meter etter. Breddene på feltene antas å være like brede som eksisterende felt for enkelhets skyld.

Roundabout

Ifølge planer for utbyggingen av rundkjøringen på Klett skal det være en oval form på trafikkøyen for å være bedre tilpasset det nye feltet som går fra Trondheim til Orkanger. Dermed ble det gjort en antagelse på at formen vil være med den korte siden på 20 m og den lange siden på 25 m. Det legges inn to sirkulerende felt for Fosen.

Kalibrering og validering

Ettersom dette er en løsning som ikke eksisterer er det ingen verdier å kalibrere mot. Det ble derfor kun beholdt verdiene fra nåværende løsning. Det ble utført en sensitivitetsanalyse på tilsvarende måte som for eksisterende løsning, ved å øke trafikken med 10, 20 og 30% ved bruk av *Flow Scale*.

7.1.2 Signalregulert kryss på Flatåsen

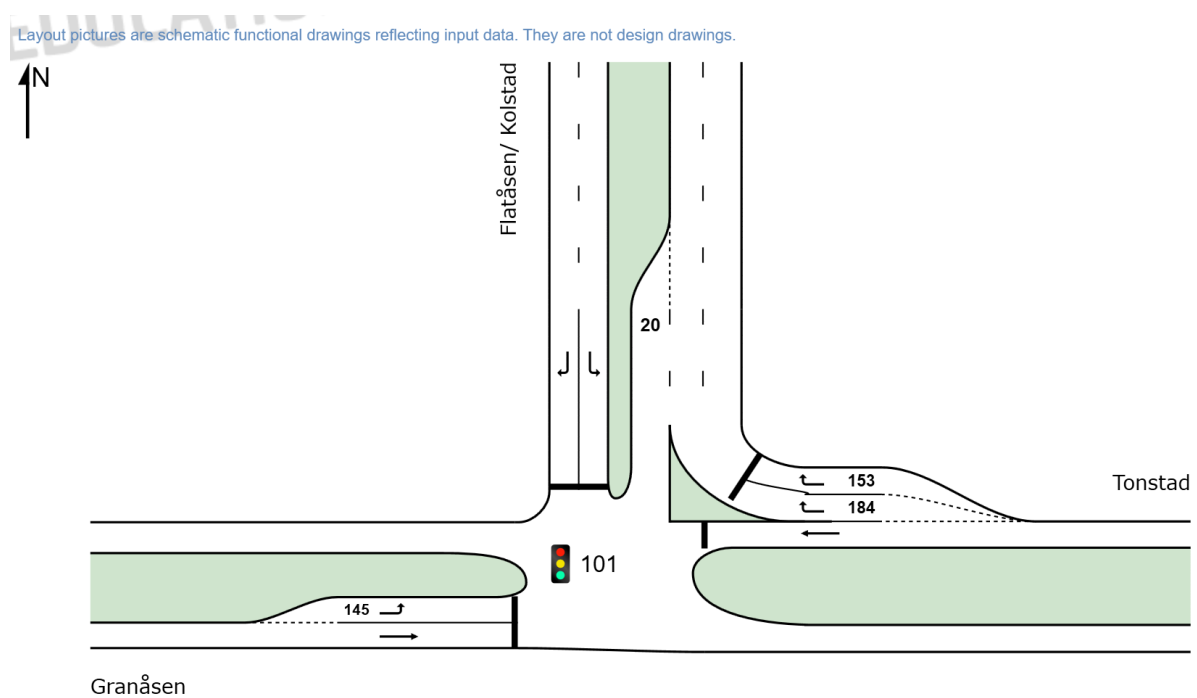
Original utforming

Tabell 7.3 viser parameterverdier for modelleringen av det signalregulerte krysset på Flatåsen. Verdiene markert med rød er endret fra standardverdiene. For parametere som ikke er nevnt i tabellen benyttes standarden i programvaren. Mer utdypende forklaringer for parameterverdier kommer etter oppsummeringstabellen.

Tabell 7.3 Parameterverdier for modellering av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, rød farge er verdier endret fra standardverdien

Dialogboks	Parameter	Tonstad	Flatåsen	Granåsen	
Intersection	Approach Distance	500,0 m	500,0 m	500,0 m	
	Extra Bunching	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
	Area Type Factor	1,0	1,0	1,0	
Movement Definitions	Movement Classes	Lette kjøretøy, tunge kjøretøy			
Lane Geometry	Lane Width	Tilfart	3,40 m	-	3,30 m
		Høyre	3,50 m	3,80 m	-
		Venstre	-	3,80 m	3,30 m
		Utfart	3,50 m	4,30 m	4,00 m
	5,00 m				
	Lane Length	Tilfart	500,0 m	-	500,0 m
		Høyre	184,0 m	500,0 m	145,0 m
			153,0 m	-	-
		Venstre	-	500,0 m	-
		Utfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m
	Kort utfart	-	20,0 m	-	
	Basic Saturation Flow		1950 tcu/t	1950 tcu/t	1950 tcu/t
	Lane Utilisation	Høyre H	100	-	-
Høyre V		70			
Volumes	Peak Flow Period	30 min			
	Peak Flow Factor	95,0 %	95,0 %	95,0 %	
Vehicle Movement Data	Approach Cruise Speed	60 km/t	50 km/t	60 km/t	
	Exit Cruise Speed	60 km/t	60 km/t	60 km/t	
	Start loss	3 sek	3 sek	3 sek	
	End loss	3 sek	3 sek	3 sek	
Phasing & Timing	Yellow Time	4 sek	4 sek	4 sek	
	All-Red Time	2 sek	2 sek	2 sek	
	Site Cycle Time	User-Given Cycle Time: 80 sek			

Utformingen av det eksisterende signalregulerte krysset blir i SIDRA som vist i Figur 7.4



Figur 7.4 Utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen laget i SIDRA INTERSECTION 9.0

Intersection

Extra Bunching settes som 0, ettersom det er mer enn 800 meter fra forrige signalregulerte kryss. Fra Flatåsen er nærmeste signalregulerte kryss omtrent 700 meter vekk, men dette er gjennom en rundkjøring.

Movement definitions

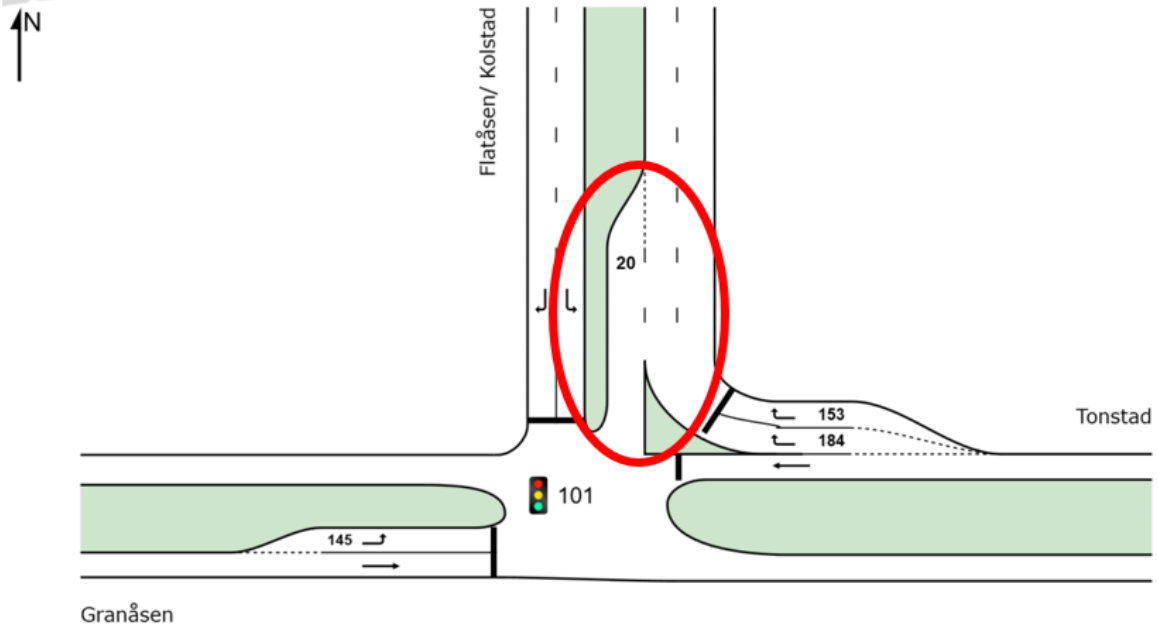
Grunnet egne ruter for buss utenom det signalregulerte krysset er det ikke noe poeng i å inkludere buss som egen trafikkklasse. De få bussene som passerer gjennom vil defineres som tunge kjøretøy, da det ikke er noen bussholdeplasser på strekningen som vil påvirke hvordan bussene ferdes sammenlignet med andre tunge kjøretøy. Kjøretøytypene som inkluderes blir dermed lette og tunge kjøretøy.

Lane geometry

Legger inn verdiene fra geometritegningen vist under Dagens geometri for det signalregulerte krysset.

Det må gjøres noen forenklinger i forhold til oppbygning av det signalregulerte krysset i SIDRA, da det ikke er mulig å lage en naturtro modell. Det 20 meter korte feltet, markert i Figur 7.5, er lagt inn for å simulere der venstresvingen fra Granåsen kjører inn sammen med høyrefeltene fra Tonstad. Lengden på det korte feltet er valgt for å prøve å tilpasse så godt det lar seg gjøre til virkeligheten. Det trengs ikke tas hensyn til fletting i dette tilfellet i venstresvingen fra Granåsen, som ifølge oppbygningen av modellen flettes sammen med høyresvingen fra Tonstad. Disse to svingebevegelsene vil ha ulike faser i signalreguleringen.

Layout pictures are schematic functional drawings reflecting input data. They are not design drawings.



Figur 7.5 Kort felt for venstresvingen fra Granåsen som en forenkling av modellen i SIDRA

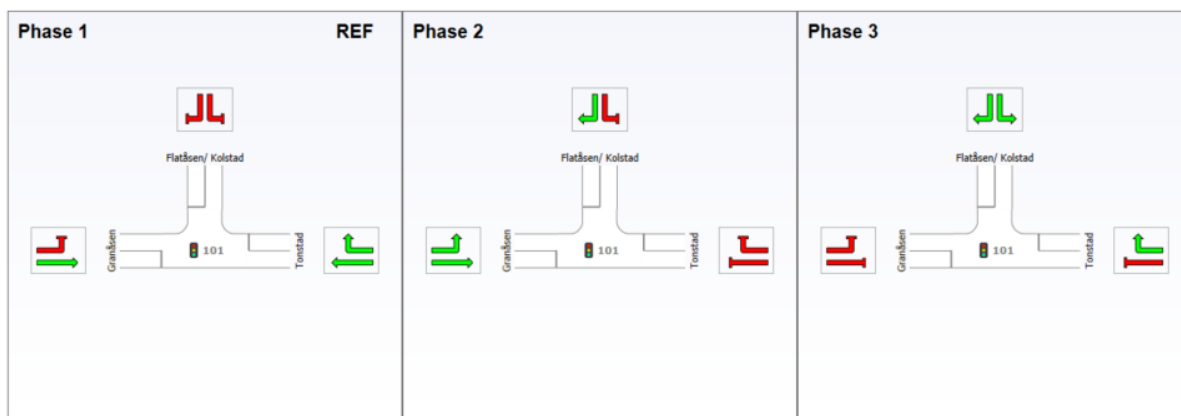
Grunnet god geometri og ingen myke trafikanter i området, brukes standardverdien for grunnleggende metningsvolum på 1950 kjt/t, som forklart i SIDRA INTERSECTION 9.0 User Guide (Akcelik & Associates PTY LTD, 2020, s. 199).

Det er en liten stigning i området, men som nevnt tidligere påvirker ikke avviklingen i stor grad trafikken dersom det er under 2% stigning eller helning. Ettersom stigningen i området er såpass svak, og ikke kan måles nøyaktig, velges det å se vekk fra stigning.

For å skille mellom andelen trafikanter som bruker høyre og venstre felt i høyresvingen fra Tonstad legges det inn at det høyre feltet har en bruksgrad [*Lane Utilisation*] på 100%, og det venstre en bruksgrad på 70%.

Phasing & timing

Det er faseinndelingen oppgitt fra Fylkeskommunen som benyttes i modellen. Fasene legges opp som Figur 7.6. Dette er et trafikkstyrt signalanlegg, men blir simulert som et tidsstyrt signalanlegg.



Figur 7.6 Faseinndeling for Flatåsenkrysset

Omløpstidene er bestemt ved å først optimalisere tiden i SIDRA, og deretter øke omløpstiden noen sekunder og legge inn brukergitt omløpstid. Ettersom SIDRA prøver å oppnå en så liten forsinkelse som mulig ved optimalisering av omløpstiden, blir det liten margin før krysset overbelastes. For å kunne bruke disse fasetidene videre i Aimsun uten overbelastning settes derfor omløpstiden noe opp. Omløpstiden er satt opp med 3 sekunder fra optimal omløpstid, og ble dermed 80 sekunder. Dette legges inn som brukergitt omløpstid.

Kalibrering og validering

Kalibrering har skjedd underveis i modelleringen.

For å sjekke hvordan en trafikkøkning påvirket modellen ble det utført simuleringer med en økning i trafikken på 10, 20 og 30% ved bruk av økning i *Flow Scale*. Ved økning i trafikken benyttes optimal omløpstid.

Ny utforming

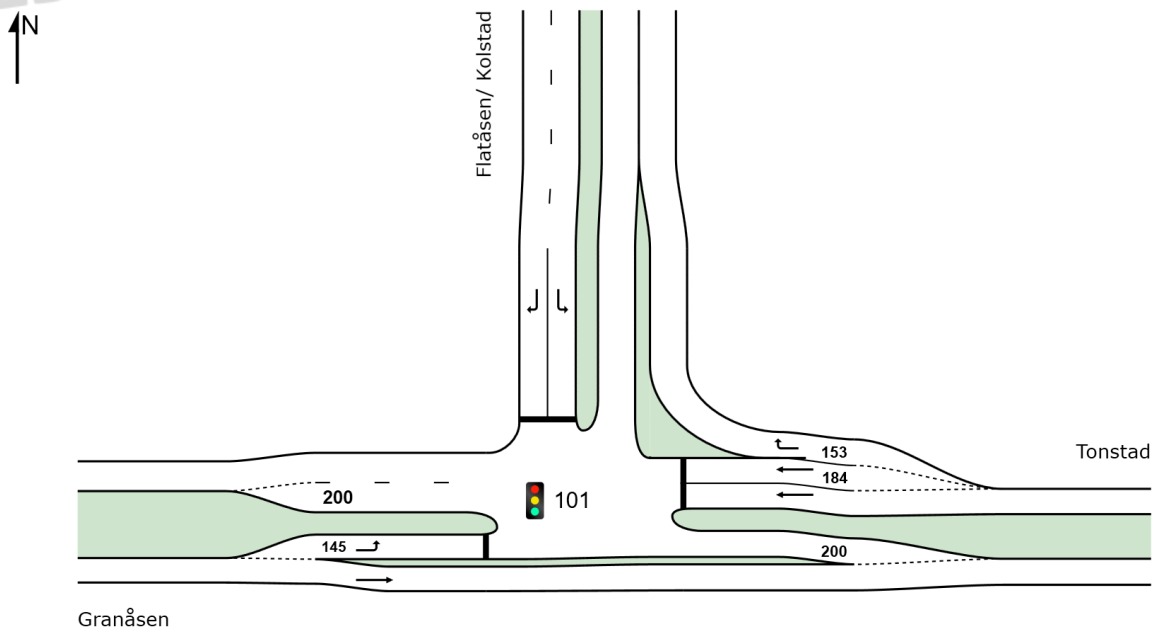
Oppsummeringen av brukte parameterverdier for modelleringen av den nye utformingen vises i Tabell 7.4. Verdiene for den nye utformingen er markert med rødt. Verdiene som gjenbrukes er markert med gult. Resterende verdier er standardverdier. Parametere som endres fra den originale utformingen forklares etter tabellen.

Tabell 7.4 Parameterverdier for modellering av den nye utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen i SIDRA, gul farge er verdier gjenbrukt fra original løsning, rød farge er verdier endret fra standard

Dialogboks	Parameter	Tonstad	Flatåsen	Granåsen	
Intersection	Approach Distance	500,0 m	500,0 m	500,0 m	
	Extra Bunching	0,0 %	0,0 %	0,0 %	
	Area Type Factor	1,0	1,0	1,0	
Lane Geometry	Lane Width	Tilfart	3,40 m	-	3,30 m
			3,40 m	-	-
		Høyre	3,50 m	3,80 m	-
		Venstre	-	3,80 m	3,30 m
		Utfart	3,50 m	5,00 m	4,00 m
			3,50 m	5,00 m	4,00 m
	Lane Length	Tilfart	500,0 m	-	500,0 m
		Kort tilfart	184,0 m	-	-
		Høyre	153,0 m	500,0 m	-
		Venstre		500,0 m	145,0 m
		Utfart	500,0 m	500,0 m	500,0 m
				500,0 m	
	Kort utfart	200,0 m	-	200,0 m	
	Basic Saturation Flow		1950 tcu/t	1950 tcu/t	1950 tcu/t
	Volumes	Peak Flow Period	30 min		
Peak Flow Factor		95,0 %	95,0 %	95,0 %	
Vehicle Movement Data	Approach Cruise Speed	60 km/t	50 km/t	60 km/t	
	Exit Cruise Speed	60 km/t	60 km/t	60 km/t	
	Start loss	3 sek	3 sek	3 sek	
	End loss	3 sek	3 sek	3 sek	
Phasing & Timing	Yellow Time	4 sek	4 sek	4 sek	
	All-Red Time	2 sek	2 sek	2 sek	
	Site Cycle Time	User-Given Cycle Time: 52 sek			

Utformingen av den nye løsningen for det signalregulerte krysset blir modellert i SIDRA som vist i Figur 7.7.

Layout pictures are schematic functional drawings reflecting input data. They are not design drawings.



Figur 7.7 Den nye utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen, modellert i SIDRA INTERSECTION 9.0

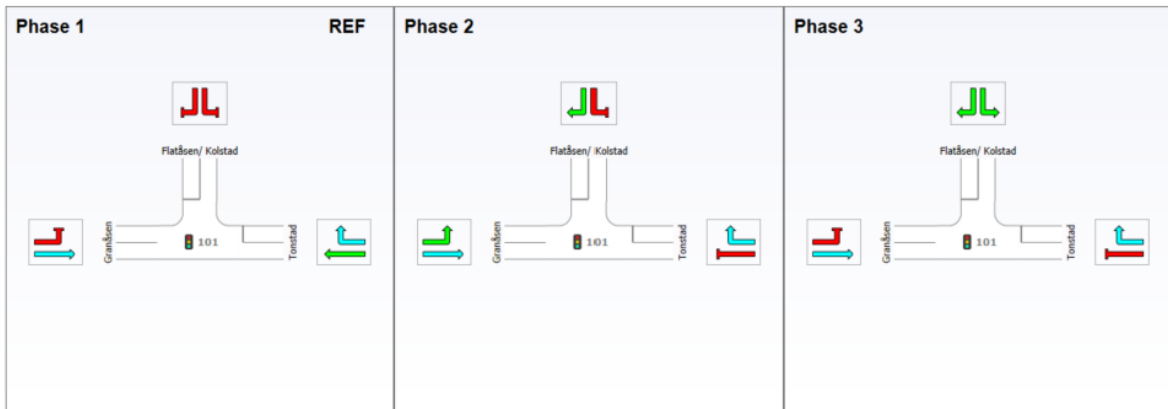
Lane Geometry

Det ene høyre svingefeltet fra Tonstad legges om til å være et felt mot Granåsen, og beholder lengden sin. Flettefeltene er lagt inn som et kort felt på 200 meter i utfarten til Granåsen, og 200 meter i utfarten til Tonstad med et skille mellom feltene. Venstresvingen fra Flatåsen vil dermed ha et eget felt som flettes sammen med bevegelsen fra Granåsen. Breddene modelleres til å være like brede som eksisterende felt for enkelhets skyld.

Her velges flettetype som glidelåsfletting under «Lane Data»-fanen. Antar kritisk tidsluke og følgetid er henholdsvis 2,5 og 2,0 sekunder. Dette er standardverdiene i SIDRA.

Phasing & Timing

Fasene i den nye utformingen blir som vist i Figur 7.8. Nå unnlates høyresvingen fra Tonstad og bevegelsen rett frem fra Granåsen fra signalanlegget. Disse bevegelsene vil altså ha «alltid grønt». Omløpstiden blir satt opp 4 sekunder fra optimal omløpstid, og blir dermed 52 sekunder.



Figur 7.8 Faseinndelingen for Flatåsenkryssets nye utforming

Kalibrering og validering

Det er ingen verdier å kalibrere mot med den nye utformingen.

For å sjekke hvordan en trafikkøkning påvirket modellen ble det utført simuleringer med en økning i trafikken på 10, 20 og 30% ved bruk av økning i *Flow Scale*. Ved økning i trafikken benyttes optimal omløpstid.

7.2 Aimsun

Det er viktig å tenke på at inputparametere ikke nødvendigvis vil ha en direkte kobling til observasjoner og observerte parametere, men velges for å få et så realistisk resultat fra modellering og simulering som mulig. Inputparameteren er den verdien som gir riktig resultat og atferd i modellen og gjensker observerte situasjon, ikke observerte verdier.

Verdier for globale reaksjonstider i det dynamiske scenarioet legges inn etter Tabell 7.5. Dersom det ikke er særlig forhold som tilsier at det bør være ulike reaksjonstyper for hver kjøretøytype, anbefales det å sette en felles reaksjonstid for alle kjøretøytyper.

Tabell 7.5 Oversikt over standardverdier for mikrosimulering etter internasjonale anbefalinger, standardverdier i Aimsun Next og norske standardverdier, hentet fra Asplan Viaks brukermanual for Aimsun Next i Norge (Asplan Viak, 2019)

	Lette (Tunge) Internasjonale anbefalinger i Aimsun	Standardverdi i Aimsun Next	Alle kjøretøytyper (variasjonsområde) Norske standardverdier
Reaksjonstid [Reaction time]	0.90 s (1.35 s)	0.80 s	0.90 s (0.8-1.0)
Reaksjonstid ved stopp [Reaction time at stop]	-	1.20 s	1.35 s (1.2-1.5)
Reaksjonstid ved trafikklys [Reaction time at traffic light]	1.35 s (1.70 s)	1.60 s	1.60 s (1.2-2.0)

Reaksjonstidene for signalregulerte kryss og den tapte tiden gjelder kun for det første kjøretøyet når den grønne fasen starter. Det vil i virkeligheten være en tapt tid fordelt utover de 3-5 første kjøretøyene i køen, men når det simuleres i Aimsun tildeles hele den tapte tiden til det første kjøretøyet (Asplan Viak, 2019).

Standardverdiene til Aimsun gir en meget tett oppstilling av kjøretøy i køsituasjoner, noe som blir urealistisk sammenlignet med norske observasjoner (Asplan Viak, 2019). Derfor er det viktig å justere disse verdiene, for at de simulerte kølengdene ikke skal bli for korte. Standardverdien i Aimsun gir generelt en avvikling som er høyere enn det som er vanlig på norske veier. Tabell 7.6 viser parameterverdier for de ulike kjøretøytypene, og blir benyttet i modelleringen. Rød farge indikerer endring fra standardverdien i Aimsun.

Tabell 7.6 Foreslåtte parameterverdier for ulike kjøretøytyper fra Asplan Viak sin Aimsun-veileder. Røde celler viser verdier som avviker fra standardverdiene gitt i Aimsun 8 (Asplan Viak, 2019).

Kjøretøytype			Personbil	Lastebil	Buss	
Meny	Parameter	Benevning	Sammenlignet med Car-templaten	Sammenlignet med Truck-templaten	Sammenlignet med Bus-templaten	
Main	Length	Mean	m	4,4	10	12
		Deviation	m	0,5	3	0
		Minimum	m	3,5	6	12
		Maximum	m	5,5	15	12
	Max Desired Speed	Mean	km/h	110	85	90
		Deviation	km/h	10	10	10
		Minimum	km/h	80	70	70
		Maximum	km/h	120	100	100
Dynamic Models	Speed Acceptance	Mean	-	1	1	1
		Deviation	-	0,1	0,1	0,1
		Minimum	-	0,9	0,8	0,9
		Maximum	-	1,1	1,1	1,1
	Clearance	Mean	m	2	2,5	2,5
		Deviation	m	0,8	0,8	0,8
		Minimum	m	0,5	1	1
		Maximum	m	3,5	4	4
	Maximum Give Way Time	Mean	Sek	10	15	15
		Deviation	Sek	2,5	5	5
		Minimum	sek	5	5	5
		Maximum	sek	15	30	30

I det signalregulerte krysset er det ingen bussholdeplasser, eller stor andel buss som ferdes, da det er egen rute for busser. Busser trenger derfor ikke ekskluderes fra andre tunge kjøretøy. Personbil og lastebil bør alltid inkluderes, samt eventuelle rutegående kollektivtransportformer. Det er ikke rutegående kollektivtransport innenfor prosjekteringsområdet ved det signalregulerte krysset på Flatåsen. Da det ikke er noen myke trafikanter, hverken som fotgjenger eller syklist, kan disse gruppene ses vekk fra for begge områdene.

Det er mulig å velge vegtype for hver vegseksjon i Aimsun. Ifølge Aimsun-veilederen er «en primær hovedveg» definert som hovedveger mellom byområder, med høy til middels

høy hastighet og kryss i plan. Det er denne vegtypen som benyttes for begge kryssene. Parametere som er utenfor oppgavens omfang, slik som kostnader, legges ikke inn.

Initial State som oppvarmingsperiode settes for alle modellene til å bruke scenario- etterspørselen etter 15 minutter. Dette gjør at trafikken i starten av simuleringen vil se ut som 15 minutter med kjøring av samme scenario.

Replikasjoner

Ettersom masteroppgaven har en tidsbegrensning ble det valgt å ikke gjøre beregninger for hvor mange iterasjoner som er optimalt for simuleringen. Dette var fordi det ble innsett at det var tidskrevende å sette seg inn i hvordan dette skulle gjøres på korrekt måte. I tillegg er området som simuleres relativt enkelt, og derfor er det kjørt flere iterasjoner enn antatt er strengt tatt nødvendig. Det er valgt et antall iterasjoner på 30 for alle modellene. Dette er valgt fordi det gir et representativt utvalg for å beregne et gjennomsnitt.

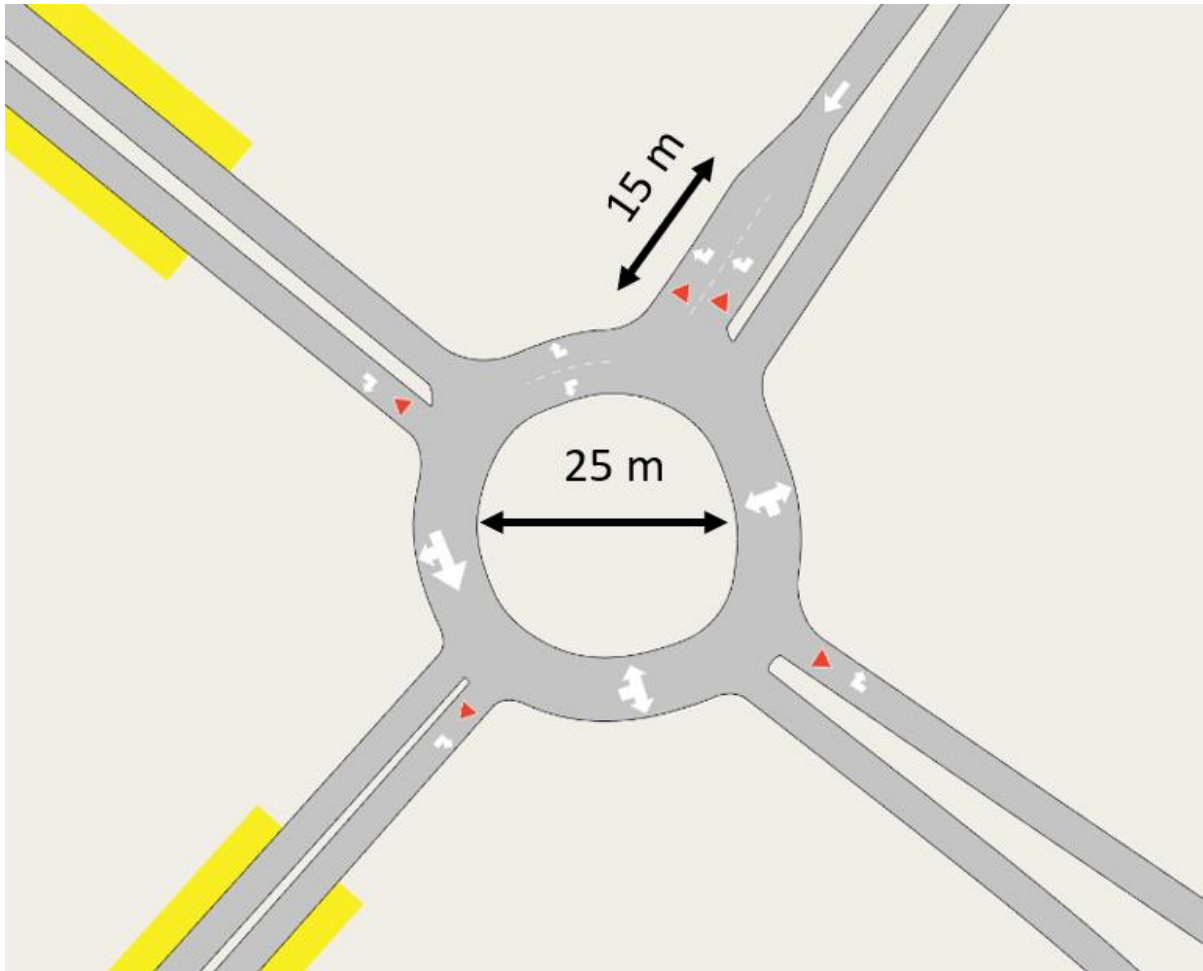
7.2.1 Rundkjøring på Klett

Original utforming

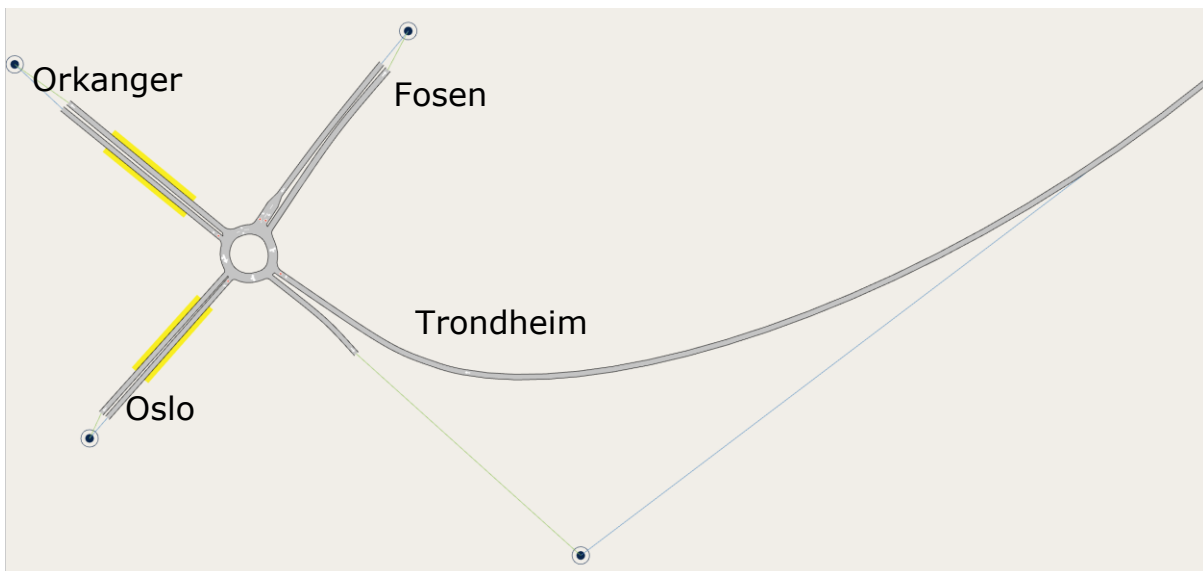
Tabell 7.7 viser verdiene brukt i modellen. Dersom en strekning består av flere seksjoner settes parameterne like for begge seksjonene. Reaksjonstiden ved trafikkllys er irrelevant ettersom det ikke er noen signaler i forbindelse med krysset. Det blir laget en rundkjøring med omtrent riktig geometri, men det brukes ikke lang tid på å lage rundkjøringen jevn. Utformingen av rundkjøringen modellert i Aimsun er vist i Figur 7.9 og Figur 7.10.

Tabell 7.7 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av original rundkjøring på Klett i Aimsun

	Reaksjonstid	Reaksjonstid ved stopp	Reaksjonstid ved trafikkllys	Acceleration Factor	Svingehastighet ut i rundkjøringen
Benevning	[sek]	[sek]	[sek]		[km/t]
Globale	0,8	1,35	1,35	-	-
Trondheim	-	-0,15	-	Increase (x2)	33,0
Fosen	-	-0,15	-	Increase (x2)	-
Orkanger	-	-	-	-	-
Oslo	-	-	-	-	-



Figur 7.9 Nærbilde av utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22



Figur 7.10 Helbilde av utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22

Aimsun er ikke bygget opp på en måte der modelleringen gjennomføres like systematisk som i SIDRA.

Geometriverdier legges inn etter Dagens geometri for rundkjøringen for alle tilfarer og utfarter, med unntak av tilfarten til Fosen. På samme måte som i SIDRA legges det inn to felt inn mot krysset fra Fosen, for å simulere at det er plass til to parallelle kjøretøy inn mot rundkjøringen.

I *Demand Data* i prosjektpanelet legges OD-matriser for de ulike kjøretøytypene og bussrutene inn. Det er som nevnt flere bussruter som går gjennom krysset. Grunnet kameraoppstillingen var det ikke mulig å se alle bussene som stoppet. Det gjøres derfor en antagelse at 50% av bussene som ble registrert benyttet seg av bussholdeplassene i forbindelse med rundkjøringen, ettersom mange ikke stanset. Resterende blir medregnet som bussruter uten stopp. Det dannes dermed tre OD-matriser for lette kjøretøy, tunge kjøretøy og buss uten stopp.

For bussene som medregnes i rute, lages totalt 6 transittplaner for rutene. Gjennomsnittlig stopptid settes som 20 sekunder for alle rutene. Ettersom det er usikkerheter i når bussene faktisk er på området og hvilke busser som stopper, settes avvikstiden relativt høy for bussrutene. Avvikstiden avhenger av hvor mange busser det er på ruten.

Kalibrering og validering

En del av kalibreringsoppgaven i Aimsun er å teste ulike kombinasjoner av parameterverdier. Å skulle forklare alle steg for hver gjennomkjøring av modellen og justeringer vil kreve mye repetisjon. Det er derfor kun gjort en oppsummering av valgte verdier som ga en best tilpasning til observerte verdier.

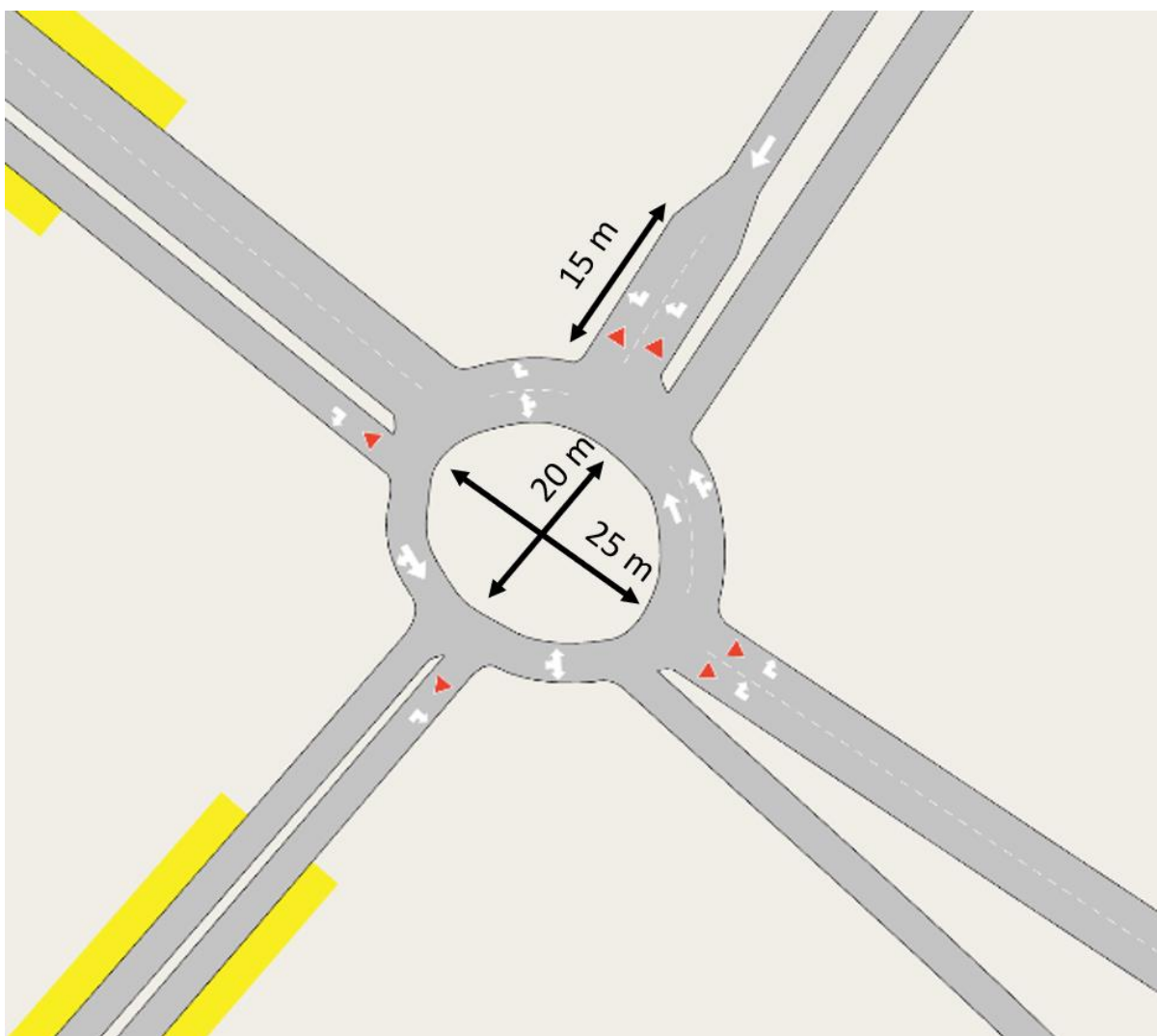
For å sjekke hvordan en trafikkøkning påvirket modellen ble det utført simuleringer med en økning i trafikken på 10, 20 og 30% ved å gange opp OD-matrisene for alle kjøretøytypene. Bussandelen i rute ble ikke endret.

Ny utforming

Tabell 7.8 viser verdiene brukt ved modelleringen av den nye utformingen. Dersom en strekning består av flere seksjoner settes parameterne like for begge seksjonene. Verdiene er stort sett uendret fra den originale utformingen, da det ikke er noe å kalibrere verdiene mot. Her las alle svingehastighetene bestemmes av programvaren. Den nye utformingen av rundkjøringen modellert i Aimsun er vist i Figur 7.11 og Figur 7.12.

Tabell 7.8 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av ny rundkjøring på Klett i Aimsun

	Reaksjonstid	Reaksjonstid ved stopp	Reaksjonstid ved trafikklys	Acceleration Factor	Svingehastighet ut i rundkjøringen
	[sek]	[sek]	[sek]		[km/t]
Globale	0,80	1,35	1,60	-	-
Trondheim	-	-0,15	-	Increase (x2)	-
Fosen	-	-0,15	-	Increase (x2)	-
Orkanger	-	-	-	-	-
Oslo	-	-	-	-	-



Figur 7.11 Nærbilde av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22



Figur 7.12 Helbilde av den nye utformingen av rundkjøringen på Klett modellert i Aimsun Next 22

I forhold til den originale utformingen er det nå en oval form på øyen med doble felt fra Trondheim til Orkanger. I tillegg er det laget et 400 meter langt dobbeltfelt før rundkjøringen fra Trondheim, og et 200 meter langt flettefelt etter rundkjøringen.

Kalibrering og validering

Ettersom dette er en løsning som ikke eksisterer er det ingen verdier å kalibrere mot. I likhet med den originale utformingen blir det sjekket hvordan en trafikkøkning påvirker modellen ved å øke trafikken med 10, 20 og 30%. Bussandelen i rute ble ikke endret.

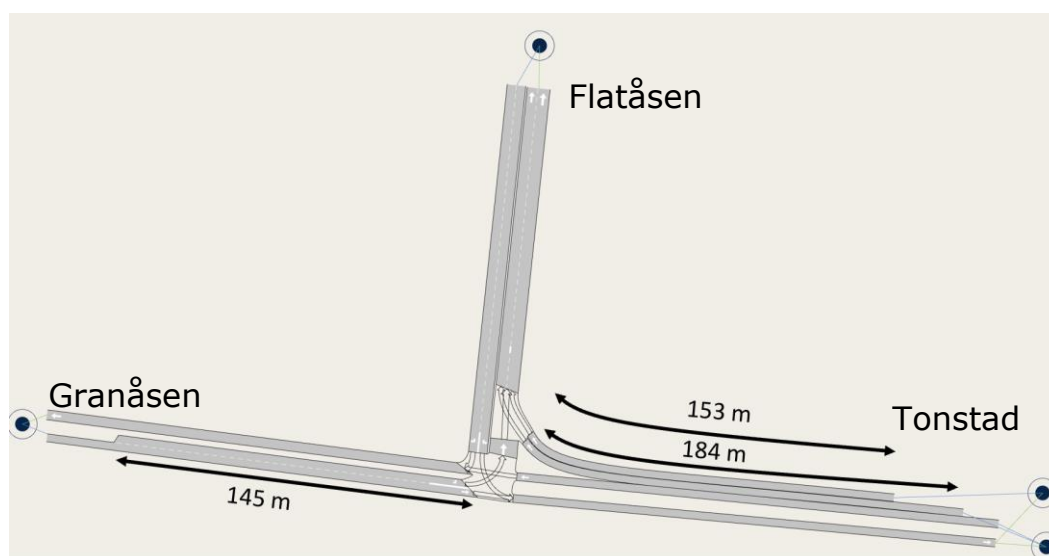
7.2.2 Signalregulert kryss på Flatåsen

Original utforming

Det modelleres for tellinger gjort ettermiddagen 03.03.2022. Geometrien er etter dagens løsning. Kalibreringsparameterne benyttet er vist i Tabell 7.9. Utformingen av det signalregulerte krysset i Aimsun er vist i Figur 7.13.

Tabell 7.9 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av originalt signalregulert kryss i Aimsun

		Reaksjonstid	Reaksjonstid ved stopp	Reaksjonstid ved trafikklys
Benevning		[sek]	[sek]	[sek]
Globale		0,90	1,35	1,60
Tonstad	Rett	-	0,15	0,40
	Høyre	-	0,15	0,40
Flatåsen		-	-0,10	-0,20
Granåsen		-	-	0,10



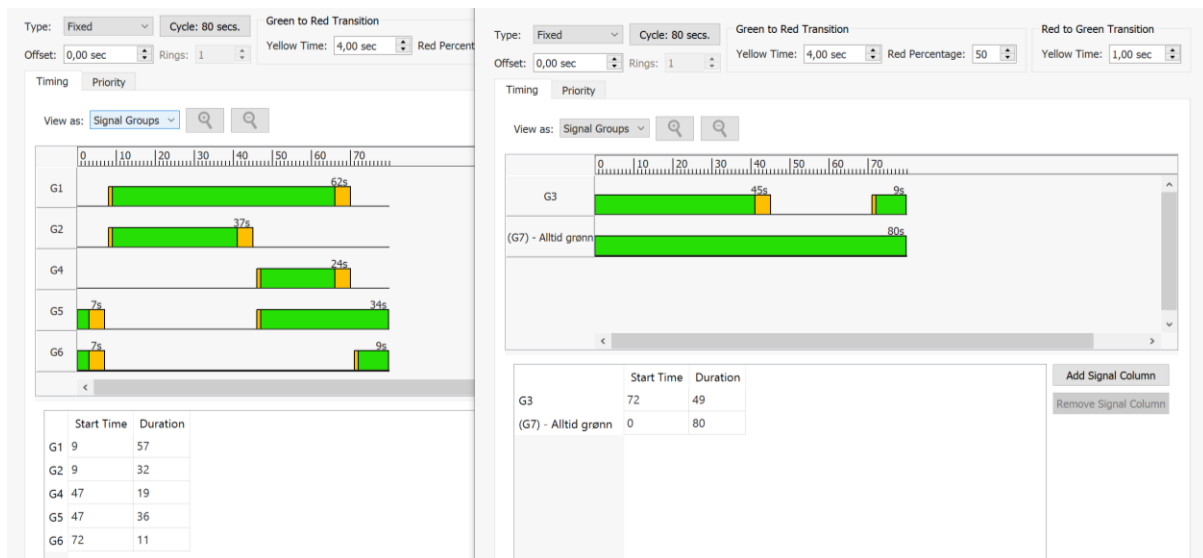
Figur 7.13 Utformingen av det signalregulerte krysset på Flatåsen modellert i Aimsun Next 22

For å få fordelt trafikken mellom høyre og venstre felt i høyresvingen fra Tonstad blir det lagt to enkelt veglenker parallelt, med to sentroider for tilfarten fra Tonstad. Disse to feltene for høyresvingen blir laget som egne veglenker, og ikke som korte felt ut fra feltet som går rett frem. Fartsgrenser og bredder fylles inn for de ulike seksjonene. Ser vekk fra stigning da den er ukjent i området.

Det lages OD-matriser for lette og tunge kjøretøy, siden det ikke er buss i rute med stopp i modelleringsområdet. Bussen legges inn som tunge kjøretøy.

Signalregulering

Det legges inn signalregulering som fast omløpstid, med en omløpstid på 80 sekunder. Fasetider og omløpstider er hentet fra SIDRA. Gultid fra grønn til rød er 4 sekunder, og fra rød til grønn er gultiden 1 sekund. Faseinndelingen blir som vist i Figur 7.14.



Figur 7.14 Faseinndeling og tider for det originale signalregulerte krysset på Flatåsen

Kalibrering og validering

Kalibreringsjusteringer er gjort underveis i modelleringen, med gjeldende parameterverdier som nevnt.

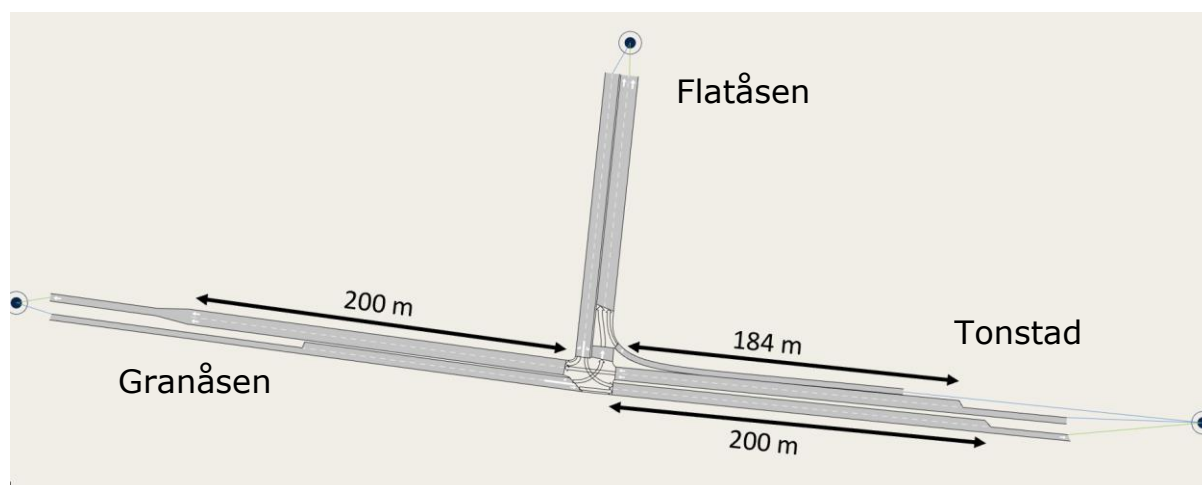
Det sjekkes hvordan en trafikkøkning påvirker modellen ved å utføre simuleringer med en økning i trafikk på 10, 20 og 30%. OD-matrisene for hver kjøretøytype blir ganget opp, samtidig som omløpstid og fasetider endres etter verdier funnet i SIDRA for optimal omløpstid.

Ny utforming

Tabell 7.10 viser verdiene brukt i modellen. Disse er ikke endret fra den originale utformingen, da det ikke er noen verdier å kalibrere mot. Den nye utformingen av det signalregulerte krysset modellert i Aimsun er vist i Figur 7.15.

Tabell 7.10 Kalibreringsparametere benyttet i modellering av nytt signalregulert krysset i Aimsun

		Reaksjonstid	Reaksjonstid ved stopp	Reaksjonstid ved trafikklys
Benevning		[sek]	[sek]	[sek]
Globale		0,90	1,35	1,60
Tonstad	Rett	-	0,15	0,40
	Høyre	-	0,15	0,40
Flatåsen		-	-0,10	-0,20
Granåsen		-	-	0,10

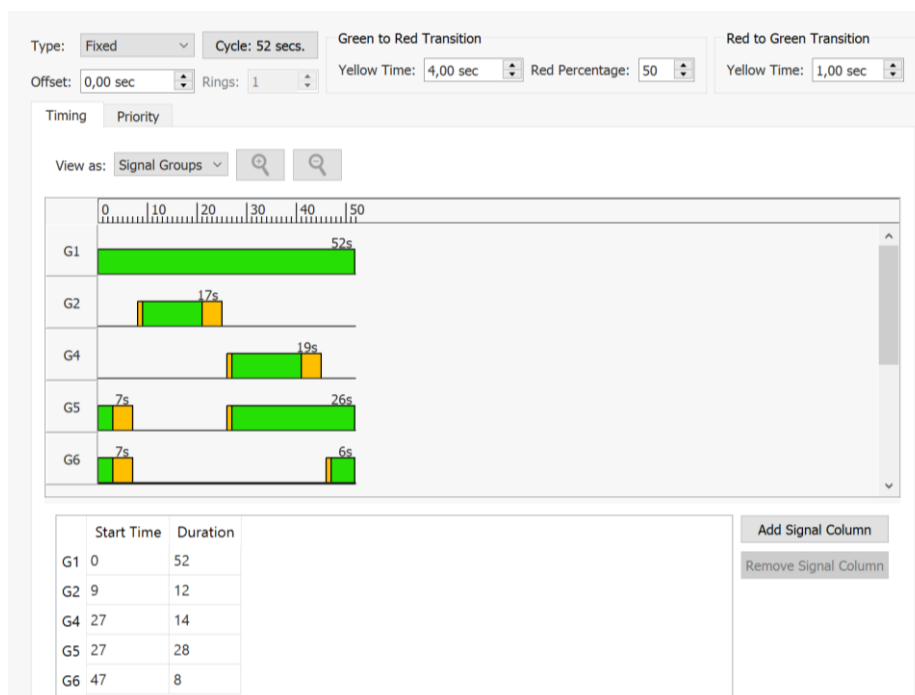


Figur 7.15 Utforming av ny løsning for det signalregulerte krysset på Flatåsen modellert i Aimsun Next 22

I forhold til den originale utformingen er det nå to felt fra Tonstad mot Granåsen, som flettes sammen etter krysset. Lengden er 184 meter før krysset, og 200 meter etter krysset. Høyresvingen fra Tonstad og bevegelsen rett gjennom krysset fra Granåsen går utenfor signalreguleringen. Venstresvingen fra Flatåsen går inn i et eget felt, som flettes sammen med trafikken fra Granåsen. Det egne feltet fra Flatåsen er på 200 meter.

Signalregulering

Den faste omløpstiden settes til 52 sekunder, med faseinndeling som vist i Figur 7.16. Verdiene er igjen hentet fra SIDRA.



Figur 7.16 Faseinndeling og tider i Aimsun for det nye signalregulerte krysset på Flatåsen

Kalibrering og validering

Likt som for nåværende utforming blir det utført en sensitivitetsanalyse ved å se hvordan en trafikkøkning på 10, 20 og 30% påvirker krysset. Fasetider endres etter økning i trafikk etter verdier funnet i SIDRA for optimal omløpstid.

8. Resultat

Resultatene fra hvert enkelt kryss modellert i de ulike programvarene vil presenteres først. Deretter vil det være en sammenligning mellom de ulike løsningene og de ulike programvarene.

8.1 Resultater modellering

8.1.1 Rundkjøring på Klett

SIDRA

Original rundkjøring

Tabell 8.1 viser noen av resultatene fra modelleringen av den originale utformingen av rundkjøringen i SIDRA.

Tabell 8.1 Oppsummerte resultater for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA

Original rundkjøring	Etterspørselsvolum		Kapasitet	Metningsgrad	Kjørefeltutnyttelse	Gj.snitt. forsinkelse	Level of Service	95% kø	
	Totalt	Tung						[kjt]	[m]
	[kjt/t]	[%]	[kjt/t]	v/c	[%]	[sek]			
Trondheim	924	4,7	939	0,98	100	43,7	LOS D	40,2	292,8
Fosen kort	319	5,0	539	0,59	99	18,5	LOS B	6,9	50,3
Fosen	242	1,3	406	0,60	100	21,3	LOS C	6,1	43,4
Orkanger	754	6,0	890	0,85	100	19,2	LOS B	16,3	120,3
Oslo	279	6,0	559	0,50	100	13,5	LOS B	4,5	33,3

Tabell 8.2 viser overensstemmelsen mellom registrert forsinkelse fra observasjoner og forsinkelse beregnet i SIDRA for tilfartene Trondheim og Fosen. Det er mulig å se at avvikene er små. Likevel må det vurderes om resterende tilfarter har en realistisk forsinkelse. Ettersom dette ikke er tilfartene av størst interesse rettes de mindre oppmerksomhet, men dersom de er modellert med store feil kan det påvirke helheten i resultatene.

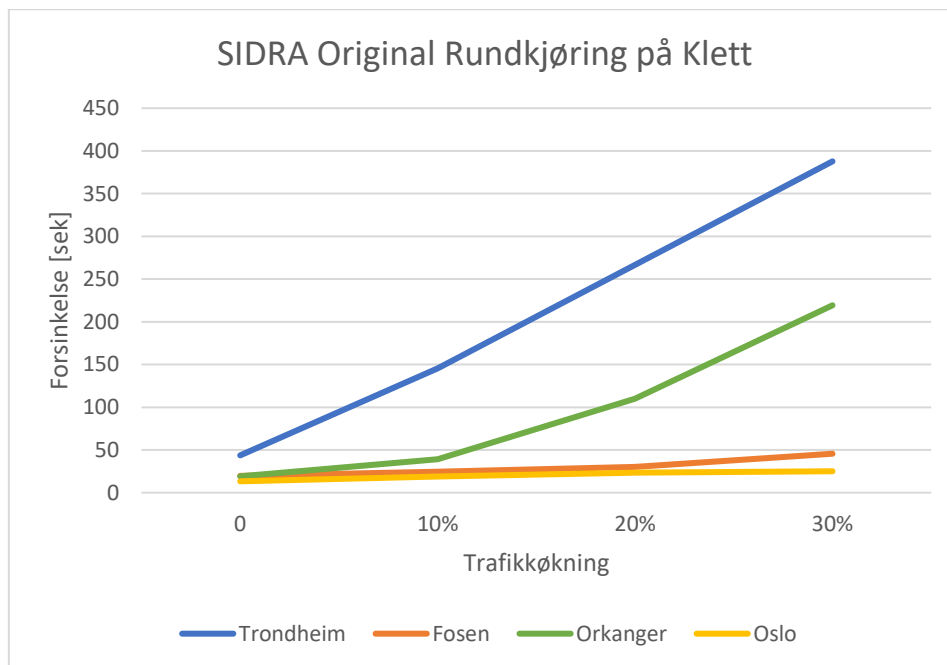
Tabell 8.2 Registrerte og simulerte forsinkelser for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA

Tilfart	Registrert forsinkelse	Forsinkelse SIDRA	Avvik SIDRA
	[sek]	[sek]	[%]
Trondheim	44,0	43,9	0
Fosen	20,0	19,7	1,5

Tabell 8.3 viser en sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning med ulike prosentandeler, som illustreres med graf i Figur 8.1. Som det er mulig å se fra tabellen og figuren, øker forsinkelsen ganske kraftig for tilfarten fra Trondheim og Orkanger ved økt trafikkandel. Trafikken er generelt ustabil når det begynner å bli store forsinkelser, noe som kan resultere i de høye forsinkelsene for Trondheim- og Orkanger-tilfartene. Etersom det tidvis ble observert køer fra Orkanger også, kan det bli store forsinkelser ved økt trafikk. Det antas dermed at modellen er akseptabel ut fra resultatene fra sensitivitetsanalysen.

Tabell 8.3 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund

Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Trondheim	44	146	267	388
Fosen	20	24	30	46
Orkanger	20	39	110	219
Oslo	13	19	23	25
Gj.snitt. krysset	28	73	140	221



Figur 8.1 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring i SIDRA

Ny rundkjøring

Tabell 8.4 viser resultatene for den nye utformingen av rundkjøringen.

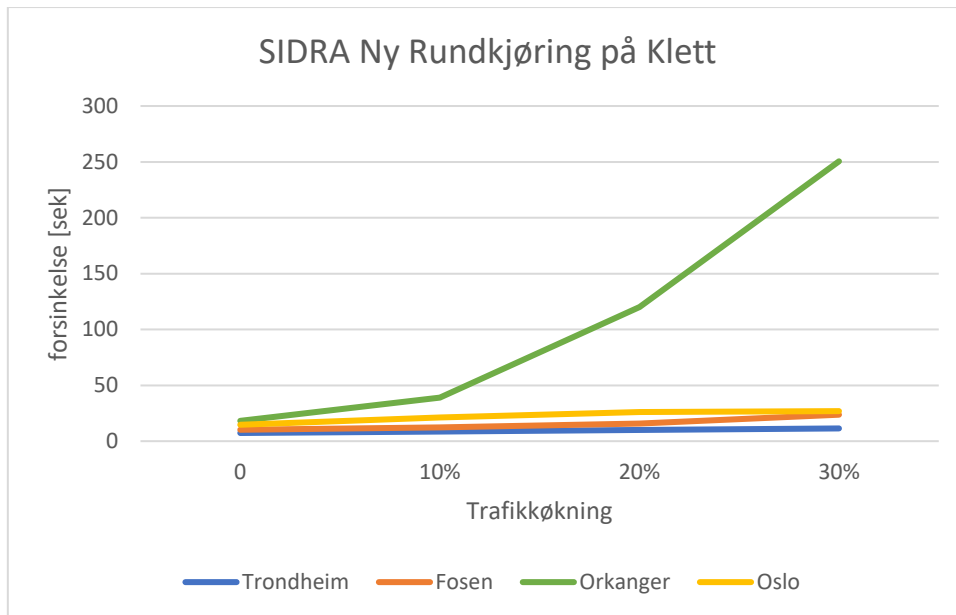
Tabell 8.4 Oppsummerte resultater for ny utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA

Ny rundkjøring	Etterspørselsvolum		Kapasitet	Metningsgrad	Kjørefeltutnyttelse	Gj.snitt. forsinkelse	Level of Service	95% kø	
	Totalt	Tung						[kjt]	[m]
	[kjt/t]	[%]	[kjt/t]	v/c	[%]	[sek]		[kjt]	[m]
Trondheim	404	5,7	902	0,45	100	8,1	LOS A	3,5	25,3
Trondheim kort	520	3,9	1162	0,45	100	6,7	LOS A	3,8	27,1
Fosen kort	319	5,0	634	0,50	100	10,4	LOS B	3,4	24,9
Fosen	242	1,3	541	0,45	89	10,0	LOS A	2,7	19,3
Orkanger	754	6,0	907	0,83	100	18,2	LOS B	15,3	112,3
Oslo	279	6,0	536	0,52	100	14,7	LOS B	4,8	35,2

Tabell 8.5 og Figur 8.2 viser sensitivetsanalysen. Disse resultatene har ingen sammenligningsgrunnlag, men det kan observeres at det nå er Orkangertilfarten som får betraktelig økte forsinkelser, og har de lengste forsinkelsene for krysset. Disse forsinkelsene følger samme trend som i den originale utformingen ved økt trafikk.

Tabell 8.5 Sensitivetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund

Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Trondheim	7	9	10	11
Fosen	10	12	16	24
Orkanger	18	39	120	251
Oslo	15	21	26	27
Gj.snitt. krysset	12	20	46	88



Figur 8.2 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring i SIDRA

Aimsun

Original rundkjøring

For modelleringen av rundkjøringen i Aimsun vises en oppsummering av resultatene i Tabell 8.6. Ettersom det er mulig å få ut mange resultater i Aimsun ble de antatte viktigste tatt med.

Tabell 8.6 Oppsummert noen av resultatene for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun

Original	Trafikkvolum per felt	Metningsgrad	Gj.snitt. forsinkelse	Maks kø
	[kjt/t]	v/c	[sek]	[kjt]
Trondheim	880	0,98	43,0	23,3
Fosen	529	0,29	12,7	25,3
		0,59		
Orkanger	720	0,80	14,5	10,1
Oslo	263	0,29	16,1	5,5

Tabell 8.7 viser forskjellene mellom observert og modellert forsinkelse, og det kan leses at det er større avvik her enn i SIDRA, men likevel antas det som innenfor akseptabelt område.

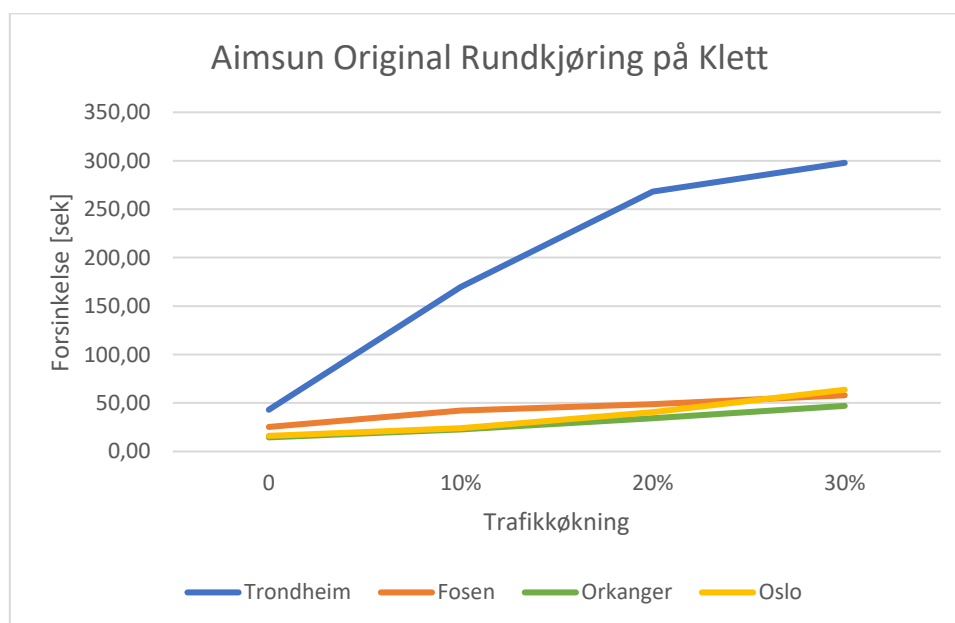
Tabell 8.7 Registrerte og simulerte forsinkelser for original utforming av rundkjøring på Klett, Aimsun

Tilfart	Registrert forsinkelse	Forsinkelse Aimsun	Avvik Aimsun
	[sek]	[sek]	[%]
Trondheim	44,0	43,0	2,2
Fosen	20,0	25,3	-26,6

I sensitivitetsanalysen vist i Tabell 8.8 og Figur 8.3 er det tydelig at Trondheimtilfarten påvirkes kraftig av trafikkøkning. De andre tilfartene holder jevnere økning i forsinkelse ved økt trafikk, og øker i liten grad.

Tabell 8.8 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund

Original rundkjøring	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Trondheim	43	170	268	298
Fosen	25	42	49	58
Orkanger	15	23	34	47
Oslo	16	24	41	64



Figur 8.3 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun

Ny utforming

Resultatene fra den nye utformingen modellert i Aimsun er vist i Tabell 8.9. Her er det igjen ikke noe sammenligningsgrunnlag, da løsningen ikke eksisterer.

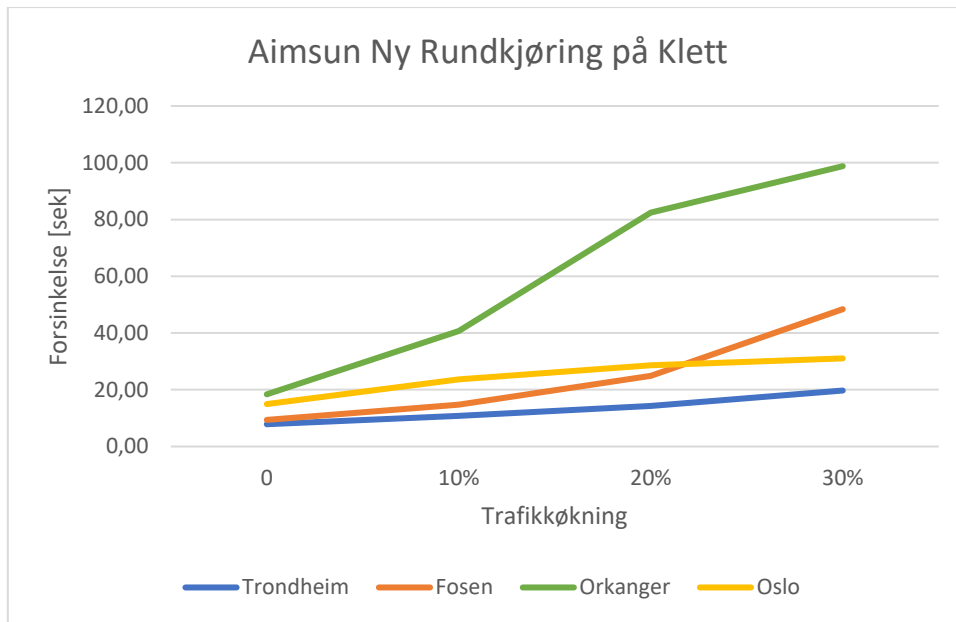
Tabell 8.9 Oppsummert noen av resultatene for ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun

Ny rundkjøring	Trafikkvolum per felt	Metningsgrad	Gj.snitt. forsinkelse	Maks kø
	[kjt/t]	v/c	[sek]	[kjt]
Trondheim	884	0,49	7,9	4,4
		0,98		
Fosen	531	0,29	9,4	7,0
		0,59		
Orkanger	720	0,80	18,4	11,7
Oslo	264	0,29	15,0	5,5

Som det er mulig å se fra sensitivetsanalysen, vist i Tabell 8.10 og Figur 8.4, er det Orkangertilfarten som igjen får lange forsinkelser ved økt trafikk. Den er likevel mye lavere økning i forsinkelse ved økning i trafikk enn den som ble beregnet i SIDRA.

Tabell 8.10 Sensitivetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund

Ny rundkjøring	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Trondheim	8	12	14	20
Fosen	9	15	25	48
Orkanger	18	41	82	99
Oslo	15	24	29	31



Figur 8.4 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av rundkjøring i Aimsun

8.1.2 Signalregulert kryss på Flatåsen

SIDRA

Original utforming

Modelleringsresultatene i SIDRA for den originale utformingen av det signalregulerte krysset vises i Tabell 8.11. Som det kan observeres er kølengdene som ble registrert kortere enn modellerte, vist i Tabell 8.12. Dette var fordi det ikke var mulig å se enden av køen, og de kan derfor ha blitt undervurdert. Likevel er forholdene mellom tilfartene relativt like. Det er i hovedsak diskusjoner med medstudent Pernille Munkvold og bruk av skjønn som har vært grunnlaget for kalibreringen av modellen.

Tabell 8.11 Oppsummerte resultater for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA

Originalt signal-anlegg	Etterspørsels-volum		Kapasitet	Metnings-grad	Kjørefelt-utnyttelse	Gj.snitt. forsinkelse	Level of Service	95 % kø	
	Totalt	Tung						[kjt]	[m]
	[kjt/t]	[%]	[kjt/t]	v/c	[%]	[sek]		[kjt]	[m]
Tonstad R	678	1,1	779	0,87	100	32,8	LOS C	29,2	206,4
Tonstad H (v)	344	0,1	1148	0,30	70	13,5	LOS B	6,3	44,2
Tonstad H (h)	491	0,1	1148	0,43	100	14,3	LOS B	10,0	70,1
Flatåsen V	218	0,0	262	0,83	100	47,4	LOS D	9,5	66,3
Flatåsen H	418	0,3	856	0,49	100	21,3	LOS C	11,5	80,8
Granåsen R	369	0,0	441	0,84	100	43,8	LOS D	15,8	110,7
Granåsen V	522	2,8	1364	0,38	100	4,8	LOS A	8,+	57,1

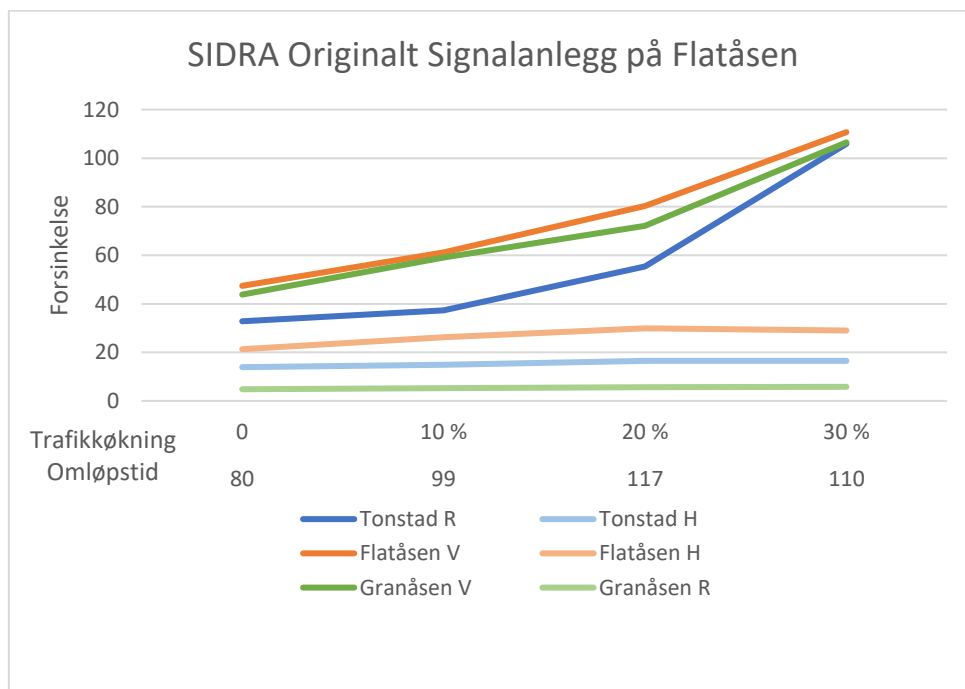
Tabell 8.12 Registrerte og simulerte kølengder ved start grønn i antall kjøretøy for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA

Tilfart	Tonstad			Flatåsen		Granåsen	
Bevegelse	Rett	Høyre (v)	Høyre (h)	Høyre	Venstre	Venstre	Rett
Registrert	6,6	2,2	3,3	3,3	2,8	5,3	2,3
SIDRA	11,6	3,2	4,5	5,5	5,1	7,6	3,5

Tabell 8.13 og Figur 8.5 viser sensitivitetsanalysen. Her vises forsinkelsene for hver bevegelse med økt trafikk. Ved økning i trafikk blir også omløpstiden endret. Omløpstidene ved økning i trafikk er optimale omløpstøpstider regnet ut av SIDRA. Det er tydelig at venstresvingen for Flatåsen og Granåsen, og bevegelsen gjennom krysset fra Tonstad, som har størst økning i forsinkelse med økt trafikk. Det antas denne økningen i forsinkelse er realistisk, ettersom forsinkelse som nevnt blir ustabil ved lange forsinkelser, og da kan øke kraftig.

Tabell 8.13 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund

Omløpstid	80	99	117	110
Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
Tonstad R	33	37	55	106
Tonstad H (v)	14	14	16	16
Tonstad H (h)	14	15	17	17
Flatåsen V	47	61	80	111
Flatåsen H	21	26	30	29
Granåsen V	44	59	72	107
Granåsen R	5	5	6	6



Figur 8.5 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for original utforming av signalregulert kryss i SIDRA

Ny utforming

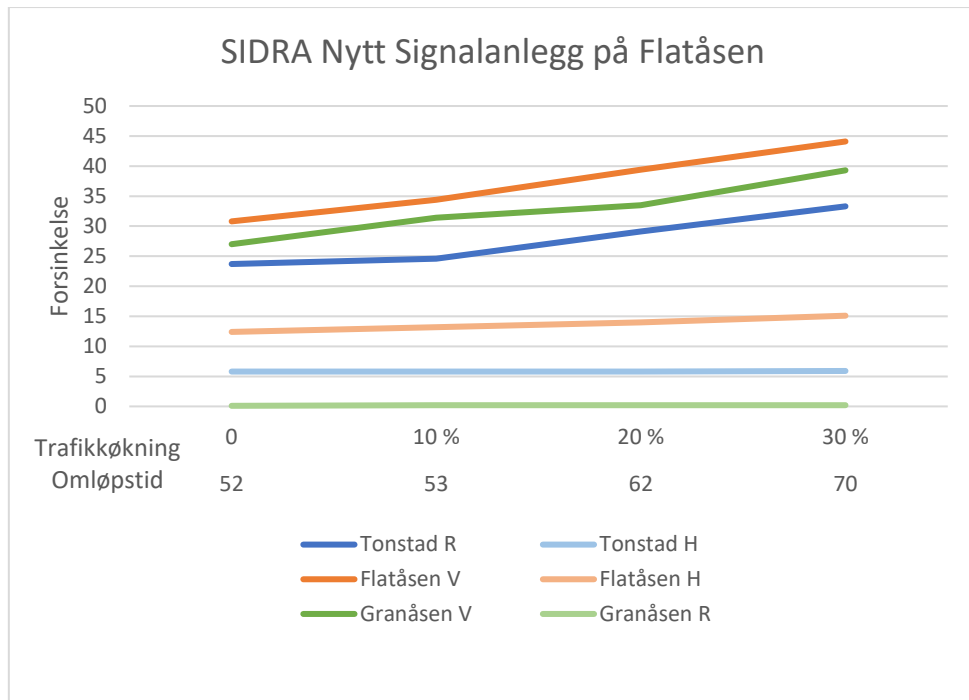
Fra resultatene fra modelleringen av den nye utformingen av det signalregulerte krysset i SIDRA, vist i Tabell 8.14, Tabell 8.15 og Figur 8.6, er det mulig å se at forsinkelsene fortsatt øker mest for de samme bevegelsene som for den originale utformingen. Forsinkelsene er likevel mye lavere enn de er for den originale utformingen.

Tabell 8.14 Oppsummerte resultater for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA

Nytt signal-anlegg	Etterspørsels-volum		Kapasitet	Metnings-grad	Kjørefelt-utnyttelse	Gj.snitt. forsinkelse	Level of Service	95% kø	
	Totalt	Tung						[kjt]	[m]
	[kjt/t]	[%]	[kjt/t]	v/c	[%]	[sek]		[kjt]	[m]
Tonstad R (v)	339	1,1	449	0,76	100	23,7	LOS C	9,0	63,7
Tonstad R (h)	339	1,1	449	0,76	100	23,4	LOS C	9,0	63,7
Tonstad H	835	0,1	1875	0,45	100	5,8	LOS A	0,0	0,0
Flatåsen V	218	0,0	293	0,74	100	30,8	LOS C	6,0	41,9
Flatåsen H	418	0,3	1024	0,41	100	12,4	LOS B	6,3	44,5
Granåsen V	369	0,0	500	0,74	100	27,0	LOS C	9,5	66,7
Granåsen R	522	2,8	1915	0,27	100	0,1	LOS A	0,0	0,0

Tabell 8.15 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA, avrundet til nærmeste sekund

Omløpstid	52	53	62	70
Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
Tonstad R	24	24	29	33
Tonstad H	6	6	6	6
Flatåsen V	31	34	39	44
Flatåsen H	12	13	14	15
Granåsen V	27	31	34	39
Granåsen R	0	0	0	0



Figur 8.6 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for ny utforming av signalregulert kryss i SIDRA

Aimsun

Original utforming

Oppsummeringen fra modelleringen av den originale utformingen til det signalregulerte krysset i Aimsun vises i Tabell 8.16.

Tabell 8.16 Oppsummert noen av resultatene for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun

Originalt signalanlegg	Trafikkvolum per felt	Metningsgrad	Gj.snitt. forsinkelse	Gj.snitt. kø	Maks kø
	[kjt/t]	v/c	[sek]	[kjt]	[kjt]
Tonstad R	645	0,72	21,7	4,8	15,7
Tonstad H (v)	321	0,36	8,1	0,6	5,6
Tonstad H (h)	471	0,52	9,1	0,9	7,3
Flatåsen V	207	0,34	42,2	2,3	7,8
Flatåsen H	399		18,3	1,6	8,7
Granåsen V	352	0,94	34,8	3,0	10,3
Granåsen R	494		4,7	0,4	5,5

Tabell 8.17 viser kølengdene observert og kølengdene modellert i Aimsun. Igjen er det mulig å se at disse ikke stemmer overens. Her er det ikke samme utgangspunkt for sammenligning, da registrerte kølengder er ved start av grønttid, mens Aimsun kun viser gjennomsnittlige eller maksimale kølengder. I Aimsun blir gjennomsnittlige kølengder for lave, mens maksimale kølengder gir for lange køer i forhold til observerte kølengder.

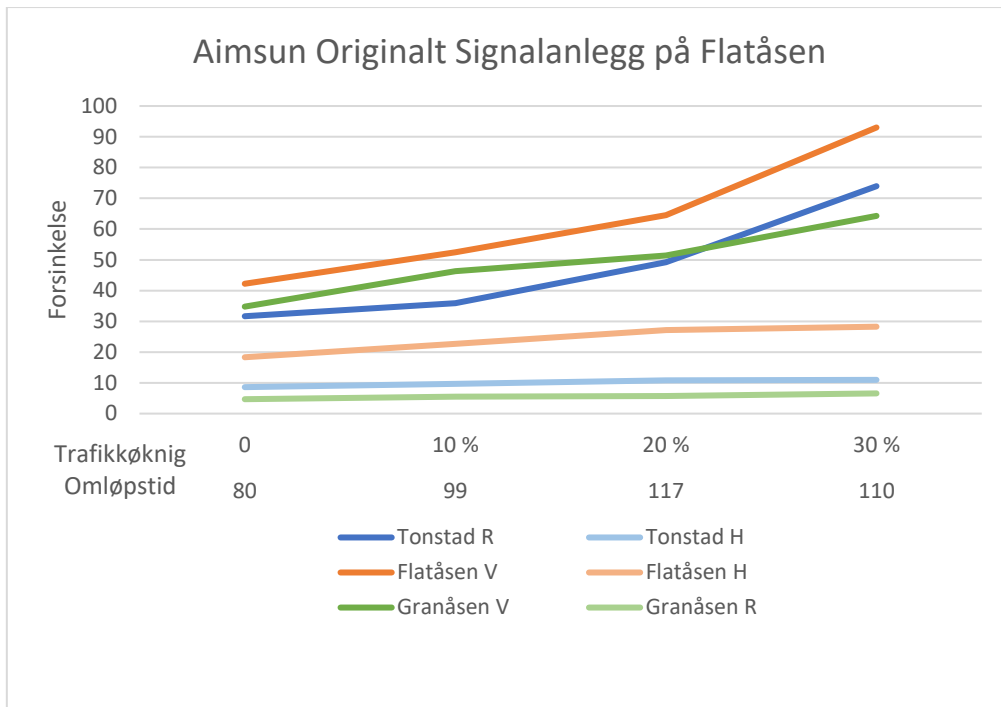
Tabell 8.17 Registrerte kølengder ved start grønttid og simulerte gjennomsnittlige og maksimale kølengder i antall kjøretøy for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun

Tilfart	Tonstad			Flatåsen H		Granåsen V	
	Rett	Høyre (v)	Høyre (h)	Høyre	Venstre	Venstre	Rett
Registrert	6,6	2,2	3,3	3,3	2,8	5,3	2,3
Aimsun Gj.snitt.	4,8	0,6	0,9	1,6	2,3	3,0	0,4
Aimsun maks	15,7	5,6	7,3	8,7	7,8	10,3	5,5

Tabell 8.18 og Figur 8.7 viser sensitivitetsanalysen gjennomført i Aimsun. Det er en relativt rask økning i forsinkelse for samme bevegelser som i SIDRA, altså Tonstad R, Flatåsen V og Granåsen V.

Tabell 8.18 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for original utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund

Originalt utformet signalregulert kryss				
Omløpstid	80	99	117	110
Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Tonstad R	32	36	49	74
Tonstad H	9	10	12	11
Flatåsen V	42	53	65	93
Flatåsen H	18	23	27	28
Granåsen V	35	46	51	64
Granåsen R	5	6	6	7



Figur 8.7 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for original utforming av signalregulert kryss i Aimsun

Ny utforming

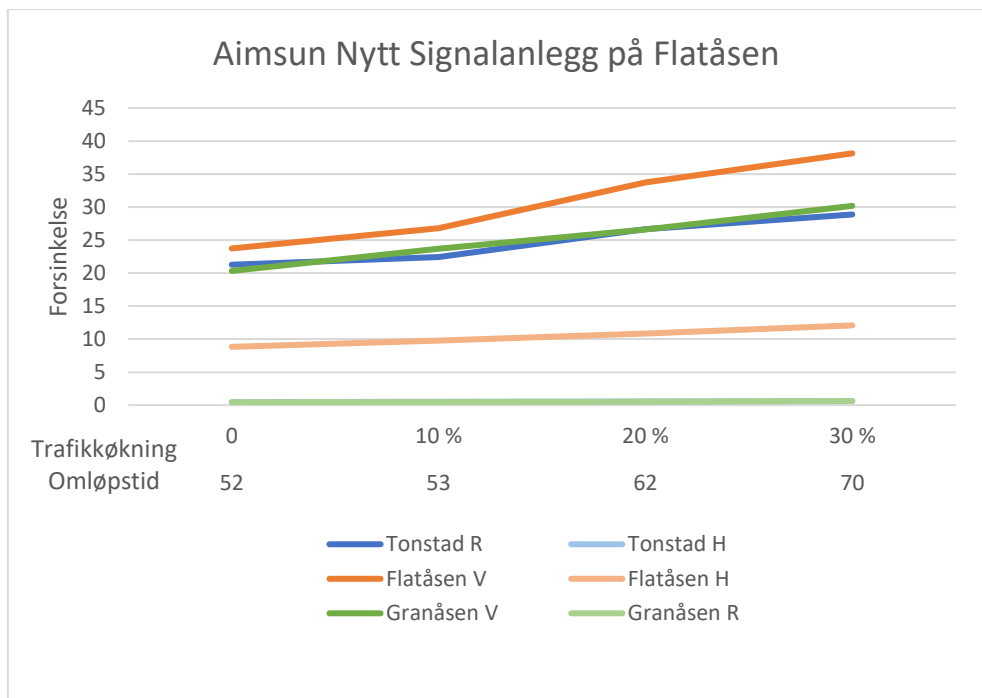
Resultatene fra den nye utformingen modellert i Aimsun og sensitivitetsanalysen er vist i Tabell 8.19, Tabell 8.20 og Figur 8.8. Det er fortsatt samme bevegelser som har størst forsinkelse, men i mindre størrelsesorden.

Tabell 8.19 Oppsummert noen av resultatene for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun

Nytt signalanlegg	Trafikkvolum per felt	Metningsgrad	Gj.snitt. forsinkelse	Gj.snitt. kø	Maks kø
	[kjt/t]	v/c	[sek]	[kjt]	[kjt]
Tonstad R	646	0,72	21,3	1,7	6,0
Tonstad H	791	0,88	0,5	0,0	0,0
Flatåsen V	207	0,34	23,7	1,2	5,7
Flatåsen H	398		8,8	0,7	5,7
Granåsen V	351	0,94	20,3	1,7	7,4
Granåsen R	494		0,4	0,0	0,0

Tabell 8.20 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun, avrundet til nærmeste sekund

Nytt utformet signalregulert kryss				
Omløpstid	52	53	62	70
Trafikkøkning	0	10 %	20 %	30 %
	[sek]	[sek]	[sek]	[sek]
Tonstad R	21	22	27	29
Tonstad H	0	1	1	1
Flatåsen V	24	27	34	38
Flatåsen H	9	10	11	12
Granåsen V	20	24	27	30
Granåsen R	0	0	1	1



Figur 8.8 Sensitivitetsanalyse for forsinkelse ved trafikkøkning for de ulike bevegelsene for ny utforming av signalregulert kryss i Aimsun

8.2 Sammenlignet original og ny løsning

8.2.1 Forsinkelse

Tabell 8.21 – Tabell 8.24 viser sammenligningen i forsinkelse mellom original og ny utforming for de ulike krysstypene modellert i de ulike programvarene.

Som det er mulig å se i Tabell 8.21 og Tabell 8.22 er det en nedgang i forsinkelsen for nesten alle tilfartene i rundkjøringen både i SIDRA og Aimsun. Det er likevel ulike tilfarter som har fått en økning i forsinkelsen. For modellering i SIDRA er det Oslo-tilfarten som får en økning, mens det i Aimsun er Orkanger-tilfarten. Disse økningene er små.

For Trondheimtilfarten, som er hovedfokuset i oppgaven, er det et kraftig fall i forsinkelsen ut fra modelleringen. Her er det en nedgang på over 80% av forsinkelsen. Fosen-tilfarten har også fått en betraktelig nedgang i forsinkelse.

Tabell 8.21 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av rundkjøringen på Klett i SIDRA

Forsinkelse – Rundkjøring SIDRA			
	Original	Ny	Forskjell [%]
Gj.snitt forsinkelse hele krysset	27,7	12,0	-56,7
Trondheim	43,7	7,3	-83,3
Fosen	19,7	10,2	-48,2
Orkanger	19,2	18,2	-5,2
Oslo	13,3	14,7	10,5

Tabell 8.22 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av rundkjøringen på Klett i Aimsun

Forsinkelse – Rundkjøring Aimsun			
	Original	Ny	Forskjell [%]
Trondheim	43,0	7,9	-81,8
Fosen	25,3	9,4	-62,9
Orkanger	14,5	18,4	26,7
Oslo	16,1	15,0	-7,0

For det signalregulerte krysset er det modellert en nedgang i forsinkelsen for alle svingebevegelser, vist i Tabell 8.23 og Tabell 8.24. Tonstad-Granåsen bevegelsen har fått en forbedring på omtrent 30% i begge programvarene. Begge bevegelsene fra Flatåsen har også en betraktelig forbedring i forsinkelse.

Tabell 8.23 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA

Forsinkelse – Signalregulert kryss SIDRA			
SIDRA	Original	Ny	Forskjell [%]
Omløpstider	80	52	
Tonstad R	32,8	23,7	-27,7
Tonstad H	13,9	5,8	-58,3
Flatåsen V	47,4	30,8	-35,0
Flatåsen H	21,3	12,4	-41,8
Granåsen V	43,8	27	-38,4
Granåsen R	4,8	0,1	-97,9

Tabell 8.24 Sammenligning av forsinkelse for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun

Forsinkelse – Signalregulert kryss Aimsun			
	Original	Ny	Forskjell [%]
Omløpstider	80	52	
Tonstad R	31,7	21,3	-32,8
Tonstad H	8,6	0,5	-94,7
Flatåsen V	42,2	23,7	-43,8
Flatåsen H	18,3	8,8	-51,8
Granåsen V	34,8	20,3	-41,5
Granåsen R	4,7	0,4	-90,6

8.2.2 Kapasitet og trafikkvolum

En viktig del av oppgaven er å se kapasitetsendringen mellom original og ny løsning. Tabell 8.25 - Tabell 8.28 viser enn sammenligning av kapasitet og trafikkvolum mellom løsningene. Det er mulig å lese fra resultatene fra rundkjøringen på Klett at kapasiteten og volumet har nesten fått en dobling for Trondheim-tilfarten i begge programvarene.

Tabell 8.25 Sammenligning av kapasitet for original og ny utforming av rundkjøring på Klett i SIDRA

Kapasitet – Rundkjøring SIDRA		
	Original	Ny
	[kjt/t]	[kjt/t]
Trondheim	939	902
		1162
Fosen	539	634
	406	541
Orkanger	890	907
Oslo	559	536

Tabell 8.26 Sammenligning av volum for original og ny utforming av rundkjøring på Klett i Aimsun

Trafikkvolum – Rundkjøring Aimsun		
	Original	Ny
	[kjt/t]	[kjt/t]
Trondheim	880	884
		884
Fosen	529	531
	529	531
Orkanger	720	720
Oslo	263	264

For det signalregulerte krysset har kapasiteten og trafikkvolumet blitt forbedret eller blitt værende det samme for alle tilfartene. Tonstad har fått en økning i kapasitet og volum som resultat av dobling i felt, samtidig som høyresvingen har fått minimalt eller ingen reduksjon i kapasiteten og volumet selv med fjerning av et felt.

Tabell 8.27 Sammenligning av kapasitet for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i SIDRA

Kapasitet – Signalregulert kryss SIDRA		
	Original	Ny
	[kjt/t]	[kjt/t]
Tonstad R	779	449
		449
Tonstad H (v)	1148	1875
Tonstad H (h)	1148	
Flatåsen V	262	293
Flatåsen H	856	1024
Granåsen R	441	500
Granåsen V	1364	1915

Tabell 8.28 Sammenligning av trafikkvolum for original og ny utforming av signalregulert kryss på Flatåsen i Aimsun

Trafikkvolum – Signalregulert kryss Aimsun		
	Original	Ny
	[kjt/t]	[kjt/t]
Tonstad R	645	646
		646
Tonstad H (v)	321	791
Tonstad H (h)	471	
Flatåsen V	207	207
Flatåsen H	399	398
Granåsen V	352	351
Granåsen R	494	494

8.3 Sammenlignet resultater SIDRA og Aimsun

Tabell 8.29 – Tabell 8.32 viser en sammenligning av forsinkelsene beregnet i SIDRA og i Aimsun for de ulike kryssløsningene. Som det kan leses fra tabellene er det noen ulikheter mellom modellene.

Tabell 8.29 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for original rundkjøring på Klett

Original rundkjøring			
	SIDRA	Aimsun	Forskjell [%]
Trondheim	43,7	43,0	1,5
Fosen	19,7	25,3	28,5
Orkanger	19,2	14,5	24,4
Oslo	13,3	16,1	21,0

Tabell 8.30 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for ny rundkjøring på Klett

Ny rundkjøring			
	SIDRA	Aimsun	Forskjell [%]
Trondheim	7,3	7,9	7,5
Fosen	10,2	9,4	8,0
Orkanger	18,2	18,4	1,0
Oslo	14,7	15,0	1,8

Tabell 8.31 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for originalt signalregulert kryss på Flatåsen

Originalt signalregulert kryss			
SIDRA	SIDRA	Aimsun	Forskjell [%]
Omløpstid	80	80	
Tonstad R	32,8	31,7	3,5
Tonstad H	13,9	8,6	38,1
Flatåsen V	47,4	42,2	10,9
Flatåsen H	21,3	18,3	14,0
Granåsen V	43,8	34,8	20,6
Granåsen R	4,8	4,7	2,3

Tabell 8.32 Sammenligning av forsinkelse mellom programvarene for nytt signalregulert kryss på Flatåsen

Nytt signalregulert kryss			
	SIDRA	Aimsun	Forskjell [%]
Omløpstid	52	52	
Tonstad R	23,7	21,3	10,3
Tonstad H	5,8	0,5	92,1
Flatåsen V	30,8	23,7	22,9
Flatåsen H	12,4	8,8	28,8
Granåsen V	27,0	20,3	24,7
Granåsen R	0,1	0,4	340,0

9. Drøfting

9.1 Modellering

Under modelleringen er det gjort forenklinger i utforming for å tilpasse programvarens muligheter. Dette har inkludert å legge felt noe annerledes, legge inn korte felt for å simulere parallellkjøring inn mot krysset, og legge inn fulle felt for faktiske korte felt. Det er lettere å få ønsket utforming i Aimsun sammenlignet med SIDRA når det gjelder utseende, men det er likevel noen begrensninger der også som gjør at modellene ikke er helt korrekte. Generelt er det mange måter å modellere løsningen i programvarene, men dette er ikke undersøkt.

Det er logisk at et lenger flettefelt vil gi en mer naturlige luker og fletting mellom kjøretøyene. Likevel nevner Idewu, Chanpiwat og Naghawi (2019) at lengden av flettefeltet ikke har så stor betydning på trafikkflyten. Det er vanskelig å se påvirkningen av flettefeltlengden i modellene, og det er som nevnt ingen endring i bruken av feltene når lengden er lenger enn 180 meter i SIDRA, og nesten ikke forskjell i bruk uavhengig av lengde i Aimsun. Forsinkelsen endrer seg noe ved kortere felt, men dette er ikke mange sekundene, og er ikke undersøkt i stor grad. Den optimale lengden av flettefelt vil avhenge av området, og det er derfor ikke et universelt svar om flettefeltlengde. Det samme vil gjelde feltutvidelseslengden.

Det vil sannsynligvis være flere som ligger i høyre felt enn venstre felt, selv om sammenflettingen skal være jevnt inn mot et felt med lik prioritering. Dette er fordi mange trolig vil tenke at høyre felt er prioritetsfeltet etter dagens standard. Det vil mulig være noen trafikanter i venstre felt som også gir prioritet til høyrefeltet fordi de er forsiktige ved innkjøring. Dette vil spesielt gjelde når løsningen er ny og ukjent for brukerne. Det vil likevel ikke legges inn ulike prioriteringsnivåer mellom filene eller fordeling av andel trafikanter mellom feltene, fordi det er ønskelig at feltene skal benyttes i lik grad om en løsning implementeres. Dette kan påvirke resultatene og kapasiteten i forhold til hva en slik løsning ville gitt i praksis.

Spesielt for rundkjøringen vil det sannsynligvis være flere som ligger i høyre felt enn venstre felt fra Trondheim til Orkanger. Det kan være flere grunner til dette, blant annet fordi ved bruk av venstre felt ved tilfarten blir trafikanten liggende i innerste fil i rundkjøringen. Sannsynligvis er flere mer komfortable i å ligge i høyre felt generelt, også ved sammenflettingen senere. Dette gjelder selv om sammenflettingen har lik prioritet. Dette er vist i publikasjonene fra Tollazzi (2015) og Brilon og Vandehey (1998).

Det signalregulerte krysset er i virkeligheten et trafikkstyrt anlegg. Ettersom det ble modellert som et tidsstyrt kryss er det vanskelig å sammenligne observert trafikk med modellert direkte. I tillegg ble omløpstiden beregnet ved å først benytte seg av optimale omløpstider beregnet av SIDRA, for så å øke denne med noen sekunder. Hvor mange sekunder omløpstiden ble satt opp fra optimal omløpstid var tilfeldig. Konsekvensene av antall sekunder økning kunne vært undersøkt grundigere.

Omløpstidene og fasetidene funnet i SIDRA blir videre brukt i Aimsun. Det er viktig å være forsiktig med å benytte resultater fra en modell inn i en annen, da det kan være usikkerheter i hvor pålitelige resultater fra en modell er. Ved å sette feil resultater fra en modell i en annen vil dette kunne skape enda større avvik og feil i resultatene. Likevel ble det gjort slik i denne modelleringen, fordi det ikke var mulig å finne noen passende tidsstyrte fasetider for krysset manuelt. Siden det ble for mye arbeid å kode inn et

trafikkstyrt kryss i Aimsun med tidsperspektivet oppgaven hadde og arbeidsoppgavene som måtte utføres ble denne løsningen valgt.

Grunnen til å øke antallet sekunder er fordi det er mer sannsynlig å få overbelastning ved å ha for kort omløpstid. Ved å øke omløpstiden med noen sekunder vil det unngås å få ekstreme forsinkelser dersom trafikantene blir stående over flere rødfaser. Spesielt ettersom disse verdiene blir benyttet videre i Aimsun. Selv om det ikke er en direkte sammenheng mellom virkeligheten og modellen grunnet ulik styring av signalanlegget er det mulig å se et forhold mellom registrerte kølengder og kølengdene modellert.

SIDRA og Aimsun er to programvarer som fungerer på ulike måter. Det vil derfor naturligvis være ulikheter i resultater som følge av eksempelvis oppsett og parameterjusteringer. Det er ingen parametere som er like mellom programvarene, og kalibreringen kan dermed ha skapt modeller som fungerer på ulike måter.

9.1.1 Modelleringsresultater

Troverdighet

Ettersom modelleringene er forenklinger av virkeligheten, og mange valg må gjøres når modellene lages, må det vises forsiktighet når resultatene fremvises og diskuteres. Resultatene speiler ikke nødvendigvis realistiske resultater av å implementere ulike løsninger, og skal derfor ikke benyttes uten begrunnelse. Resultatene kan gi indikasjoner på hvordan en løsning vil fungere fremfor en annen, men kan ikke benyttes til å argumentere for noe uten bedre grunnlag og videre undersøkelser.

Rundkjøring

Som det var mulig å se fra Resultater modellering var det forskjeller i hvilke tilfarter som fikk stor forsinkelse, og hvor store forsinkelsene var, i de ulike programvarene. For rundkjøringen er det likevel tydelig å se at Trondheimstilfartens forsinkelse øker kraftig ved økt trafikk for den originale utformingen, mens det er Orkangertilfarten som har størst forsinkelse ved økt trafikk for den nye utformingen for begge programvarene.

Signalregulert kryss

Det er store forskjeller mellom observerte og modellerte kølengder for det signalregulerte krysset for begge programvarer. Dette var fordi det var vanskelig å observere enden av køen, og de kan derfor ha blitt undervurdert, samtidig som det ikke er sammenlignbart med tanke på signalreguleringen. I tillegg kan utformingen av forskningsdesignet gi avvik. Likevel er forholdene mellom tilfartene relativt like. Som nevnt ble det brukt skjønn og diskusjoner med medstudent Pernille Munkvold for å lage modellen så riktig som mulig.

Sammenlignet original og ny løsning

Det vises en klar forbedring i forsinkelsen ved bruk av den nye løsningen sammenlignet med den originale for begge krysstypene. Likevel må det vises skepsis til direkte bruk av resultatene, da de kan ha simulert en for god trafikkavvikling for den nye løsningen.

Uansett indikerer resultatene at den nye utformingen vil bidra til en mindre forsinkelse, det er bare den prosentvise forbedringen som er høyst usikker. I tillegg kan resultatene for rundkjøringen vise til en klar forbedring i kapasiteten og volumet mellom den originale og nye løsningen for Trondheim-tilfarten som får feltutvidelse og flettefelt.

Som Tollazzi (2015) nevner vil en økning fra et til to felt i rundkjøringen kun gi en kapasitetsøkning på 30%, sammenlignet med forventede 100%. Dette påvirkes nok av at flere legger seg i høyre felt, noe som nevnt ikke tas hensyn til i modelleringen. Det legger seg nå omtrent like mange i begge felt. Derfor er det også en veldig høy kapasitetsøkning og trafikkvolumøkning fra den originale til den nye utformingen for Trondheim-tilfarten. Økningen i kapasitet og trafikkvolum vil antakelig ikke være så høy i praksis.

I likhet som for rundkjøringen er det mulig å se en forbedring i kapasitet og trafikkvolum i det signalregulerte krysset for Tonstad-tilfarten med dobling i felt. Den reelle forbedringen antas å være lavere enn modellert. Det kan antas den vil være noe mindre i virkeligheten.

Resultatene fra denne oppgaven viser en klar forbedring i avviklingen av trafikk for rundkjøringen og det signalregulerte krysset. Likevel er det viktig å være forsiktig med å ikke overvurdere effekten den nye utformingen gir, da det er mange usikkerheter knyttet til både modellering og resultater.

Sammenligning av resultatene for programvarene

Det vil være noe avvik mellom resultatene ved bruk av ulike programvarer. Dette kan som nevnt være grunnet programvarenes virkemåte, eller grunnet inngangsparametere som ikke er direkte sammenlignbare på tvers av programvarene. I tillegg er det nå brukt en stokastisk og en deterministisk modell, som kan skape ulikheter i resultatene. Dette vil skje selv om det er gjennomført mange iterasjoner i den stokastiske programvaren. I hvilken grad dette skaper ulikheter i resultatene vil påvirkes av den deterministiske modellens egenskaper til å klare å inkludere tilfeldighetseffekter i simuleringen, samt variasjonen i simuleringene i den stokastiske modellen.

Selv om modellene har ulik oppbygning er ikke verdiene i resultatene så ulike at de ses på som urealistiske, eller at en av modellene er fundamentalt feil. Det er viktig å tenke på at selve modelleringen av krysset også er ulikt, eksempelvis høyresvingen fra Tonstad. Dette kan påvirke og gi ulike resultater. Det er også denne bevegelsen som har størst avvik mellom programvarene. Selv om verdiene i sekunder ikke er så store, er den prosentvise forskjellen mellom programvarene tidvis stor. Dette kunne blitt undersøkt videre, for å se hva som skaper de store ulikhetene.

9.1.2 Kalibrering

SIDRA har et spesifikt utvalg av parametere som anbefales ved kalibrering. Aimsun har mange parametere som kan justeres og benyttes for kalibrering av en trafikkmodell. Kalibrering i Aimsun er derfor en tidkrevende jobb, og det er utfordrende å vite hvilke parametere og justeringer som gir best resultat. En rekke parametere ble testet gjennom prøving og feiling. Likevel er det usikkert om det ble gjort endringer i parametere som gjorde modellen så korrekt som mulig. Det vil finnes kombinasjoner av ulike parametere

som kan gi lignende resultater, uten å vite i hvilken grad andre kombinasjoner av parametere vil påvirke resultatene.

Det finnes i begge programvarer også metoder og formler for å finne visse verdier for parametere, som det er mulig å benytte i simuleringen. Dette ble det imidlertid ikke satt av tid til å sette seg inn i og studere, og ble dermed ikke benyttet.

Utfordringer tidsmessig

Både SIDRA og Aimsun er avanserte programvarer som er tidskrevende å sette seg inn i. Begge programvarene har mange funksjoner, men med begrenset opplæringstid og mulighet til å sette seg inn i alle funksjonene, blir det gjort noen forenklinger og antagelser. Det kunne altså modelleres nøyaktigere og mer realistiske modeller, og fått simuleringer som er nærmere virkelige forhold. I hvilken grad forenklinger og antagelser har påvirket resultatet er ukjent.

Det ble kjent underveis at det ble gjort mange unødvendige tellinger og tidsbruk på deler som ikke var like relevante for oppgaven. Etter å ha bli bedre kjent med modelleringsprogrammene underveis i arbeidet kunne planleggingsfasen og arbeidet blitt lagt opp mer effektivt.

For å gå mer i detalj i modelleringen og programvaren kunne det blitt valgt å modellere løsningen i kun en programvare. Likevel ses det verdifullt å både lære seg programvaren, men også kunne sammenligne resultatene fra programvarer med to ulike virkemåter.

9.2 Problemer med utformingen

Det kan bli høyere hastigheter fra Trondheim mot Orkanger når det ikke er kø, ettersom det blir mulig å kjøre rettere frem med en oval utforming i rundkjøringen. I tillegg kan det oppstå større usikkerheter i andre trafikkstrømmer når det er flere felt. Det vil også være knyttet flere problemstillinger til trafiksikkerheten med de nye løsningene, både i rundkjøringen og det signalregulerte krysset, som nevnt under Utfordringer. Dette er ikke noe som vil kommenteres i dybden videre.

I forhold til de ujevne trafikkstrømmene i tilfartene til rundkjøringen kan det diskuteres om det i det hele tatt burde vært plassert en rundkjøring her. Slike problemstillinger vil ikke være en del av omfanget til oppgaven. Ettersom det tidligere var plassert en rundkjøring omtrent samme sted som dagens kan det stilles spørsmål om hvorfor det ikke ble beholdt en lignende utforming. I den tidligere rundkjøringen var det to sirkulerende felt, og plass til to kjøretøy ved alle tilfarter. I hvilken grad en slik utforming hadde passet inn i dagens situasjon er ukjent og ikke undersøkt.

Den nye utformingen av rundkjøringen gir lange forsinkelser for Orkanger-tilfarten ved økt trafikk. Dette er noe som er viktig å tenke på for videre bruk av løsningen, slik at det ikke blir for dårlig trafikkavvikling for andre tilfarter, selv om en tilfart har fått bedre avvikling.

En utfordring med valgt løsning for det signalregulerte krysset kan være større problematikk for venstresvingen fra Flatåsen til Tonstad, ettersom de nå også må flettes sammen med trafikstrømmen fra Granåsen. Likevel antas 200 meter å være tilstrekkelig for økning av hastighet opp til 60 km/t og gjennomføre sammenfletting. Det er grunnet tid det ikke ble undersøkt hvordan løsningen påvirket morgenrushet. Valget på lengden av feltet er heller ikke undersøkt.

Selv om kapasiteten blir bedre i det signalregulerte krysset ved endring av utforming er det viktig å tenke på om det er andre flaskehalsen i området. Dersom det er andre flaskehalsen i området som vil bli aktive når kapasiteten i dette krysset økes, vil det ikke være like effektivt å implementere den nye løsningen.

9.3 Utgatte deler av oppgaven

Det var i utgangspunktet tenkt å utføre testing på bane av løsninger med flettefelt. Det ble valgt å ikke gjennomføre testing på bane, da det ville påløpt uforholdsmessige høye kostnader i forhold til fokus som er lagt på dette i oppgaven. Dersom et forsøk på bane skulle gjennomføres burde dette vært hovedfokuset i oppgaven, da det som nevnt vil være en stor økonomisk utgift som burde svare til plassen den får i en oppgave.

9.4 Forskningsspørsmål

Hvordan utformes kryss i Norge?

Gjennom teoridelen er det forklart hvordan utformingen av kryss gjøres i Norge. Det er hovedsakelig tre kryssløsninger som benyttes i Norge; T- og X-kryss, rundkjøringer og planskilte kryss. Valget av utforming avhenger av dimensjoneringsklassen til vegen og årlig trafikk. Det er ønskelig å prioritere hovedstrømmen med trafikk i kryssløsningen som velges, så avhengig av situasjonen velges ulike kryssløsninger. Ettersom det finnes så mange utforminger på disse kryssløsningene er en mer generell forklaring gitt. Det ble valgt å gå mer inn på rundkjøringer og signalregulerte kryss, da dette er hovedfokuset i oppgaven. Utforming avhenger av mange faktorer, men det er likevel kjennetegn for begge løsningene.

Utformingen vil påvirke trafikkavviklingen, og de ulike utformingene påvirker i ulik grad. Enkelte trafikkstrømmer og kjøretøytyper kan prioriteres ved å ha filterfelt eller kollektivfelt. I tillegg vil faktorer som sikt, svingebevegelse, stigning i området, kjøreatferd, parkering langs vegen, andel myke trafikanter osv. påvirke avviklingen. Derfor er det igjen ikke noe fasitsvar på hvordan et kryss skal utformes. En løsning i et område kan ha annen trafikkavvikling enn en identisk løsning et annet sted, avhengig av området rundt og trafikantene som bruker den.

Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt modelleres i SIDRA INTERSECTION og Aimsun Next?

Gjennom modelleringsdelen av oppgaven er det forsøkt å modellere feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med kryssløsninger. SIDRA og Aimsun fungerer på ulike måter, men ingen av programvarene har en standard funksjon for å modellere flettefelt. Det er begrensede muligheter å gjøre endringer for sammenfletting, og forenklinger må derfor gjøres. I SIDRA blir flettefelt modellert som et kort felt som går inn i det andre. Det samme kan gjøres i Aimsun, men her er det også muligheter for å lage en node for å få jevn sammenfletting av feltene. Selv om utseende til modellen da blir mer korrekt er det ingen måte å modellere kjøretøyatferden på en bra måte i sammenflettingsområdet. Dette er derfor et område som det burde forskes videre på.

Hvordan kan feltutvidelse og flettefelt påvirke trafikkavviklingen i rundkjøringer og signalregulerte kryss?

Ut fra resultatene som er kommet fra modelleringen er det mulig å gi en indikasjon på hvordan feltutvidelse og flettefelt kan påvirke trafikkavviklingen. Selv om resultatene ikke skal leses av direkte som korrekte verdier, tyder de på en bedring i trafikkavviklingen og forsinkelsen ved bruk av den nye utformingen med feltutvidelse og flettefelt, for tilfarten der dette implementeres. Hvor gode resultater en slik løsning gir vil være vanskelig å si konkret før en slik løsning faktisk benyttes på et allerede eksisterende kryss som det er gjort undersøkelser på. Rundkjøringen på Klett skal få en lignende løsning som det er arbeidet på i denne oppgaven, med prosjektavslutning til høsten 2022. Denne kan dermed være et element for å se løsningen og forbedringen i praksis. Samtidig vil avviklingen være ulik for forskjellige områder, så et område kan ikke gi et generelt grunnlag for andre steder løsningen kan implementeres. Derfor er det viktig å ikke bruke oppgitte resultater direkte for andre områder. Likevel viser resultatene fra denne oppgaven at det blir en klar bedring i trafikkavviklingen ved å benytte seg av feltutvidelse og flettefelt i forbindelse med krysset.

10. Avslutning og videre arbeid

Dagens kryssløsninger kan i områder skape tidvis dårlig trafikkavvikling og lange køer ved økt trafikkbelastning, som i rushtider. Utformingen av kryssløsninger avhenger av området og påvirker trafikkavviklingen, og ved å finne bedre løsninger kan flaskehalser unngås. I denne oppgaven ble det undersøkt hvordan feltutvidelse og flettefelt i tilknytning til en rundkjøring og et signalregulert kryss påvirket avviklingen. Det ble valgt ut en spesifikk rundkjøring på Klett, og et signalregulert kryss på Flatåsen, som har minimalt med myke trafikanter.

Ut fra trafikktegninger og modelleringer i SIDRA og Aimsun av rundkjøringen på Klett og det signalregulerte krysset på Flatåsen ble det undersøkt hvordan feltutvidelse og flettefelt i tilknytning til krysset kunne forbedre kapasiteten og trafikkavviklingen. Resultatene fra begge programvarene kan indikere en bedring i trafikkavviklingen ved å implementere et flettefelt. Likevel skal det vises skepsis til resultatene, da det er mange usikkerheter knyttet til modellering. Oppgaven belyser problemstillinger som kan utredes videre. Modellene kan brukes, men med begrensninger. Det er et utviklingspotensial i både løsningen og modellene.

Det kreves videre arbeid før slike løsninger kan implementeres i større omfang. De nye løsningene vil i tillegg til bedring i trafikkavviklingen, også kunne bidra til sikkerhetsproblemer i trafikken. Dette er ikke en stor del av denne oppgaven, og det ble dermed bevisst valgt kryss uten myke trafikanter. Slike sikkerhetsproblemer bør utredes videre.

Ved å undersøke mer nøyaktig hvilke fordeler en slik løsning kan gi for trafikkavvikling, er dette en plassbesparende og enkel løsning å implementere. Videre arbeid inkluderer derfor undersøkelser både med tanke på hvordan en slik løsning påvirker trafikkavviklingen i andre områder, men også hvordan løsninger påvirker andre aspekter, slik som sikkerhet, kostnader og utslipp. Det er like viktig å undersøke de negative aspektene ved en slik løsning, som de positive. I tillegg burde løsningene testes mer i praksis. Det kan synes som det er et stort potensial for å bedre trafikkavviklingen med nevnt løsning.

11. Referanseliste

About Aimsun. Tilgjengelig fra: <https://www.aimsun.com/about-aimsun/> (03.06.2022).

Akcelik & Associates PTY LTD (2020) *User Guide SIDRA INTERSECTION 9*.

Andersen, M. H. (2021) Veikrysset skal utbedres for 40 millioner. Det kan holde i «noen år». Tilgjengelig fra: <https://www.adressa.no/pluss/nyheter/2021/11/13/Veikrysset-skal-utbedres-for-40-millioner.-Det-kan-holde-i-%C2%ABnoen-%C3%A5r%C2%BB-24795443.ece> (Hentet: 16.02.2022).

Asplan Viak (2019) *Veileder for Aimsun, Delkapitler til veilederen*. Statens vegvesen Vegdirektoratet.

Astarita, V. et al. (2019) A Single Intersection Cooperative-Competitive Paradigm in Real Time Traffic Signal Settings Based on Floating Car Data. Tilgjengelig fra: https://mdpi-res.com/energies/energies-12-00409/article_deploy/energies-12-00409-v3.pdf.

Brilon, W. og Vandehey, M. (1998) Roundabouts - The State of Art in Germany, *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 68. Tilgjengelig fra: <https://www.proquest.com/docview/224897701/fulltextPDF/F10E3920C7AF48B3PQ/1?accountid=12870> (Hentet: 16.10.2021).

Downs, A. (1962) *The Law of Peak-Hour Expressway Congestion*. s. 393-409.

Elvik, R. (2020) *Rundkjøringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.tiltak.no/d-flytte-eller-regulere-trafikk/d2-regulere-trafikk/rundkjoeringer/> (Hentet: 09.11.2021).

Engstrøm, B. (2021) Rundkjøring *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/rundkj%C3%B8ring> (Hentet: 09.11.2021).

Helde, R. (2020) Fletting - trafikk *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/fletting_-_trafikk (Hentet: 28.10.2021).

Helde, R. (2021) Trafikklys *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/trafikklys> (Hentet: 21.11.2021).

Høyve, A. (2015) *Signalregulering i kryss*. Tilgjengelig fra: <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc658/> (Hentet: 21.11.2021).

Idewu, W., Chanpiwat, P. og Naghawi, H. (2019) Identifying Optimum Taper Lengths for Zipper Merging Applications using Real Data and Microscopic Simulation, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 48(3), s. 210-220. <https://doi.org/10.3311>

Idewu, W. I. A. og Wolshon, B. (2010) Joint Merge and Its Impact on Merging Speeds in Lane Reduction Areas of Construction Zone, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.3141/2169-04>

Jula, H., Kosmatopoulos, E. B. og Ioannou, P. A. (2000) Collision Avoidance Analysis for Lane Changing and Merging, *IEEE transactions on vehicular technology*, 49 (6), s. 2295-2308. <https://doi.org/10.1109/25.901899>

Ke-Zhao, B. *et al.* (2010) *Traffic flow of a roundabout crossing with an open boundary condition*. Tilgjengelig fra: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1056/19/4/040510/pdf> (08.12.2021).

Kessels, F. (2019) *Traffic Flow Modelling*. Sveits: Springer Nature Switzerland AG.

Miljøpakken E6 E6 Trondheim - Melhus. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/prosjekter/e6-trondheim-melhus> (26.05.2022).

Miljøpakken Klett-krysset Klett-krysset - ombygging. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/prosjekter/klett-krysset-ombygging> (Hentet: 02.02.2022).

Miljøpakken Kolstadvegen Kollektivfelt i Kolstadvegen. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/prosjekter/kolstadvegen-kollektivfelt> (26.05.2022).

Ministry of Transport New Zealand (2020) *The Congestion Question*. Tilgjengelig fra: <https://www.transport.govt.nz//assets/Uploads/Report/TheCongestionQuestionsTechnicalReport.pdf> (12.05.2022).

Morris, N. L., Craig, C. M. og Houten, R. V. (2020) Effective Interventions to Reduce Multiple-Threat Conflicts and Improve Pedestrian Safety, *Transportation Research Board*, 2674(5), s. 149-159. <https://doi.org/10.1177/0361198120914888>

Røys, K. Å. (2015) *Modellering av nettverk i SIDRA INTERSECTION og AIMSUN*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Samferdselsdepartementet (2021) *Byvekstavtaler og belønningsavtaler*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/kollektivtransport/belonningsordningen-bymiljoavtaler-og-byvekstavtaler/id2571977/> (11.12.2021).

Statens vegvesen *Kjøre i rundkjøringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/trafikkregler/kjoring-i-rundkjoringer/> (Hentet: 09.11.2021).

Statens vegvesen (2007) *Håndbok 142 Trafikksignalanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/195984/HB-142-2007.pdf?sequence=1> (Hentet: 22.11.2021).

Statens vegvesen (2014a) *N300 Trafikkskilt Del 1 Fellesbestemmelser*. Tilgjengelig fra: https://fileserv.motocross.io/trafikksiden/HB_N300_Trafikkskilt_del1_2014.pdf (Hentet: 28.10.2021).

Statens vegvesen (2014b) *Håndbok V123 Kollektivhåndboka* Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/226193> (Hentet: 28.04.2022).

Statens vegvesen (2014c) *Superbusskonsept og midtstilt kollektivfelt, rapport nr. 312*. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2659180/Rapport%20312%20Superbusskonsept%20og%20midtstilt%20kollektivfelt.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 28.02.2022).

Statens vegvesen (2014d) *Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf> (08.12.2021).

Statens vegvesen (2021a) *N100 Veg- og gateutforming*. Tilgjengelig fra: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859922/nb#id-3638e236-c995-4dc5-ec56-0830eadffa0b>.

Statens vegvesen (2021b) *N303 Trafikksignaler*. Tilgjengelig fra: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859927?filePath=N303%20Trafikksignalanlegg.pdf> (Hentet: 28.04.2022).

Sun, W. et al. (2015) *A continuous-flow-intersection-lite design and traffic control for oversaturated bottleneck intersections*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1500090X> (08.12.2021).

Tollazzi, T. (2015) *Alternative Types of Roundabouts*. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-09084-9.pdf> (Hentet: 08.12.2021).

Transportation Research Board (2016) *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: The National Academics of Science, Engineering, and Medicine.

U.S Department of Transportation *Traffic Analysis Toolbox Volume VI: Definition, Interpretation, and Calculation of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness*. Tilgjengelig fra: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08054/sect3.htm> (12.05.2022).

Vejdirektoratet (2019) *Kapacitet og Serviceniveau*. Tilgjengelig fra: https://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?texttype=Vejdir_h%c3%a5ndbog&fbclid=IwAR1gUIIYzCCZodalrng5p_FOAjwNCwKlGnA3EgmCRm9iJ4qesO8iLnii3t4&q=flaskehals&docId=vd20190071-full (08.12.2021).

Aakre, A. (2021a) Traffic simulation and AIMSUN *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU, Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 20.01.2022).

Aakre, A. (2021b) *SIDRA INTERSECTION TVA 4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU, Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 03.06.2021).

Aakre, E. og Aakre, A. (2017) Modeling cooperation in usignalized intersections, *Proceda Computer Science*, 109, s. 875-880. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.409>

Aakre, E. (2019) *Driver behaviour and traffic flow in oversaturated intersections*, NTNU.

Vedlegg 1

Reisetid og forsinkelse for Klett-rundkjøringen 18.02.2022, tilfart Trondheim og Fosen

Trondheim-tilfarten:					Fosen-tilfarten		
	Påkjøring	Avkjøring	Reisetid	Trafikanter	Reisetid	Forsinket	Minimalt forsinket
15:10:00	15:10:18	15:11:44	00:01:26	71		00:00:44	00:00:21
	15:12:25	15:14:13	00:01:48			00:00:47	00:00:19
15:15:00	15:14:48	15:16:27	00:01:39	81		00:00:30	00:00:19
	15:17:21	15:18:59	00:01:38			00:00:29	00:00:20
15:20:00	15:20:12	15:21:39	00:01:27	82		00:00:27	00:00:17
	15:22:37	15:24:00	00:01:23			00:00:39	00:00:23
15:25:00	15:24:59	15:25:57	00:00:58	66		00:00:57	00:00:22
	15:27:00	15:27:52	00:00:52			00:00:57	00:00:20
15:30:00	15:30:00	15:31:38	00:01:38	75		00:00:26	00:00:23
	15:32:31	15:34:11	00:01:40			00:00:54	00:00:23
15:35:00	15:34:52	15:36:30	00:01:38	80		00:00:28	00:00:15
	15:37:03	15:38:50	00:01:47			00:00:52	
15:40:00	15:39:59	15:40:50	00:00:51	71		00:00:58	
	15:42:26	15:43:31	00:01:05			00:00:35	
15:45:00	15:45:00	15:46:44	00:01:44	77		00:00:35	
	15:47:21	15:49:31	00:02:10			00:00:32	
15:50:00	15:49:59	15:51:49	00:01:50	79		00:00:37	
	15:52:33	15:54:01	00:01:28			00:00:55	
15:55:00	15:55:18	15:56:57	00:01:39	67		00:00:50	
	15:57:23	15:58:30	00:01:07			00:00:24	
16:00:00	16:00:09	16:00:50	00:00:41	61		00:00:50	
	16:02:21	16:03:07	00:00:46				
16:05:00	16:05:01	16:05:44	00:00:43	68			
	16:07:43	16:08:51	00:01:08				

Uforstyrret	Reisetid
	00:00:40
	00:00:37
	00:00:44
	00:00:38
	00:00:46
	00:00:42
	00:00:37
	00:00:35

Vedlegg 2

Kølengder Flatåsen-krysset ettermiddag 03.03.2022

Kø ved oppstart grøntid for kvarter med maks trafikk

Tilfart	Tonstad R	Tonstad H (v)	Tonstad H (h)	Flatåsen H	Flatåsen V	Granåsen V	Granåsen R
	7	2	2	3	1	4	5
	3	4	3	1	3	4	2
	7	0	2	4	2	3	2
	4	5	4	4	2	4	2
	7	1	1	3	1	3	5
	7	1	2	2	3	7	1
	8	1	4	4	4	5	0
	8	3	6	2	2	10	3
	6	1	6	4	4	10	1
	8	2	4	4	2	6	1
	6	3	3	4	4	5	4
	8	3	3	4	6	2	2
Gj.snitt [kjt]	6,6	2,2	3,3	3,3	2,8	5,3	2,3

