

Pernille Munkvold

Alternative utforminger for strekningen Flatåsenkrysset - Tonstadkrysset

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Juni 2022

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

Pernille Munkvold

Alternative utforminger for strekningen Flatåsenkrysset - Tonstadkrysset

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Pernille Munkvold våren 2022, og er veiledet av Arvid Aakre, leder for Trafikkteknisk senter ved NTNU. Oppgaven tilsvarer et arbeidsomfang på 30 studiepoeng og er skrevet som en sluttrapport i emnet TBA4940 Veg, masteroppgave etter en 5 år lang studietid i Trondheim.

Det rettes en stor takk til veileder Arvid Aakre, som har bidratt med gode tilbakemeldinger og innspill underveis i arbeidet. Det rettes også en stor takk til mine kontaktpersoner i Trøndelag fylkeskommune, Terje Simonsen og Robert Aakerli, for nyttige tilbakemeldinger og synspunkter underveis i oppgaven. Det settes også stor pris på fylkeskommunen for å være veldig hjelpelige med deling av nødvendig data og rapporter.

Til slutt vil jeg berømme familie og venner for å ha vist et imponerende engasjement og interesse rundt tema som flaskehals og lyskryss. Det har bidratt til økt motivasjon og andre vinklinger enn det en vegingeniør vanligvis har.

Trondheim, 10. juni 2022



Pernille Munkvold

Abstract

Population growth is constantly increasing, which leads to constant traffic growth and an increasing need for innovative solutions when it comes to infrastructure. This leads to an increase in capacity problems such as congestion, delays, and bottlenecks. This master thesis identifies traffic flow problems at a known road section, located approximately 7 km south of Trondheim city centre. The study area connects Tonstad and E6 to Flatåsen and includes the three signalized intersections Flatåsenkrysset, Tonstadkrysset east, and Tonstadkrysset west.

In order to assess and develop different measures on the road section, models of the intersections were made in the tool SIDRA INTERSECTION. The models were based on traffic registrations and observations made on the site to make them as similar as possible to the observed conditions of the traffic. The main issues for the traffic flow and active bottlenecks were identified, and the effects of different measures for improvement were calculated.

During the morning peak hour, the traffic flow had manageable conditions. There was some congestion towards the intersections, but this dissolved rather quickly during the green signals. The distribution of traffic during the morning peak hour showed a large share of the traffic going eastwards. Measures such as replacing both the signalized intersections at Tonstad by roundabouts showed an increase in traffic flow and a reduction of the queue lengths and delays at these intersections. During the afternoon peak hour, the distribution of traffic shifted to a large share towards the west. This caused large problems for the traffic flow, mainly because of the bottleneck caused by the lane reduction before Bjørndalsbrua. The capacity at the intersections at Tonstad was affected by the spillback from the bottleneck. To reduce this effect, a reversible lane over Bjørndalsbrua was modelled. The measure showed a reduction in queue lengths and delays for the traffic going westwards, and an increase in traffic flow. To prevent the reversible lanes over Bjørndalsbrua making Flatåsenkrysset into a new bottleneck, a measure with an added lane westwards in Flatåsenkrysset was implemented. The congestion and spillback in the intersections at Tonstad were improved by implementing a big roundabout that connected the two intersections. Even with a longer travel distance, this solution showed reduced delays and queue lengths.

The geometric design of each of the implemented measures was sketched. The sketches were used as illustrations for the different measures, showing the extent of the area and the use of lanes. Both the sketches and the models showed that it is possible to improve the traffic flow on the road section. It is important to mention that there is a need for further assessment and work before any of the measures can be implemented. Aspects like traffic safety and prioritization of pedestrians are mentioned briefly in the thesis but will be important aspects to focus on in further work.

Sammendrag

Med en stadig økende befolkning så øker også trafikken og behovet for smarte løsninger når det kommer til infrastruktur. Kapasitetsproblemer er allerede et økende problem, og med en stadig vekst i trafikken vil dette fortsette å øke. Et vanlig problem når det kommer til kapasitet er kødannelse og flaskehals. Denne oppgaven tar for seg trafikkavviklingen for et valgt studieområde sør for Trondheim sentrum, som forbinder Tonstad og E6 i øst sammen med Flatåsen i vest. Strekningen omfatter de tre signalregulerte kryssene Flatåsenkrysset, Tonstadkrysset øst og Tonstadkrysset vest.

For å kunne vurdere og utvikle ulike tiltak på strekningen, så ble det laget modeller i SIDRA basert på trafikkregistreringer og observasjoner ute på området. Ved hjelp av SIDRA ble det forsøkt å modellere de observerte trafikkforholdene i hvert av de tre kryssene så likt de reelle situasjonene som mulig. Hovedproblemene knyttet til trafikkavviklingen på strekningen og flaskehals ble identifisert, og det ble sett på effekten av mulige tiltak for forbedring.

I morgenrushet ble det ikke observert store problemer med trafikkavviklingen. Det ble registrert en skjevhet i retningsfordelingen av trafikken, med høyest andel trafikk mot øst under morgenrushet. Kapasiteten østover var stort sett tilstrekkelig, og det ble ikke funnet problematiske forsinkelser eller kølengder på strekningen. Modellingene viste et forbedringspotensial for kølengder, forsinkelser og belastningsgrader ved ombygging av de signalregulerte kryssene til rundkjøring. Dette gjaldt for samtlige kryss under morgenrush. I ettermiddagsrushet ble retningsfordelingen forskjøvet slik at den høyeste andelen trafikk gikk mot vest. Dette skapte store avviklingsproblemer for flettepunktet ved reduksjonen av felt før Bjørndalsbrua, og det oppsto en flaskehals. Kødannelsen ved flettepunktet førte til tilbakeblokkeringer til Tonstadkrysset vest, som igjen førte til tilbakeblokkeringer i Tonstadkrysset øst. Tiltaket med ombygging til rundkjøring fungerte godt for alle kryssene også under ettermiddagsrush. I tillegg ble det sett på et tiltak for å eliminere flaskehalsen ved Bjørndalsbrua. Reversibelt kjørefelt over Bjørndalsbrua ble implementert i modellen, og ga reduserte kølengder og forsinkelser mot vest. Det tyder på at en slik løsning vil redusere avviklingsproblemer ved flettepunktet, slik at flaskehalsen elimineres. Det ble i tillegg sett på tiltak for å forhindre at flaskehalsen flyttes til Flatåsenkrysset, som inkluderte tiltakene ombygging til rundkjøring og utbygging av ekstra felt mot vest. For kryssene på Tonstad ble det sett på en løsning med en «superrundkjøring», som kombinerte de to kryssene til en stor rundkjøring. Selv med lengre reisevei, så ble forsinkelsene og kølengdene redusert.

For alle de modellerte tiltakene ble det prosjektert planskisser av løsningene. Disse ble brukt som illustrasjon på de ulike tiltakene, og viste omtrentlig arealomfang og feltbruk. Både skissene og modelleringene laget i denne oppgaven vil kreve ytterligere arbeid før tiltakene kan implementeres. Faktorer som trafikkikkerhet og myke trafikanter nevnes i diskusjonen av tiltakene, men er ikke blitt vurdert da det faller utenfor omfanget av denne oppgaven tar for seg.

Innhold

Figurer	xiv
Tabeller.....	xvi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål.....	2
1.3 Oppbygging av oppgaven	3
2 Beskrivelse av strekningen.....	4
2.1 Strekningens beliggenhet	4
2.2 Tidligere tiltak	6
2.3 Tidligere arbeid og studier.....	6
3 Teori.....	8
3.1 Trafikkavvikling	8
3.2 SIDRA INTERSECTION	10
3.3 Alternative kryssutforminger.....	14
3.3.1 Ombygging til rundkjøring.....	14
3.3.2 Kollektivfelt.....	15
3.4 Øvrige strekningstiltak.....	16
3.4.1 Reversible felt	16
3.4.2 Bruk av ITS	17
4 Metode.....	19
4.1 Datainnsamling.....	19
4.1.1 Generell informasjon	19
4.1.2 Trafikkregistreringer.....	20
4.1.3 Kartgrunnlag	22
4.2 Databehandling	22
4.2.1 Videoanalyse.....	22
4.2.2 Beregning av reisetid	23
4.2.3 Øvrige trafikkdata	24
4.3 Modellering i SIDRA.....	26
4.3.1 Utforming av dagens situasjon.....	26
4.3.1.1 Flatåsenkrysset.....	26
4.3.1.2 Tonstadkrysset vest.....	27
4.3.1.3 Tonstadkrysset øst	28
4.3.2 Faseplaner og signalkontroll	28
4.3.3 Nettverksmodell	31

4.4	Utvikling og implementering av alternative utforminger	31
4.4.1	Alternativ 0: endring av faseplan	33
4.4.2	Alternativ 1: rundkjøringer	35
4.4.2.1	Flatåsenkrysset.....	35
4.4.2.2	Tonstad vest og øst	36
4.4.3	Alternativ 2: endring av feltbruk	39
4.4.3.1	Flatåsenkrysset.....	40
4.4.3.2	Bjørndalsbrua	40
4.4.3.3	Tonstad vest og øst	40
4.4.4	Sensitivitetsanalyse	42
4.5	Begrensninger og utfordringer med metoden	42
5	Prosjektering og skisser.....	44
6	Resultater.....	50
6.1	Reisetider og trafikkmengder	50
6.1.1	Morgenrush.....	50
6.1.2	Ettermiddagsrush	51
6.2	Flatåsenkrysset.....	52
6.2.1	Morgenrush.....	52
6.2.2	Ettermiddagsrush	53
6.3	Tonstadkrysset vest	54
6.3.1	Morgenrush.....	54
6.3.2	Ettermiddagsrush	55
6.4	Tonstadkrysset øst	56
6.4.1	Morgenrush.....	56
6.4.2	Ettermiddagsrush	57
6.5	Nettverksmodell.....	57
6.5.1	Morgenrush.....	57
6.5.2	Ettermiddagsrush	58
6.6	Sensitivitetsanalyse.....	59
6.6.1	Flatåsenkrysset	59
6.6.2	Tonstadkrysset vest	60
6.6.3	Tonstadkrysset øst.....	61
7	Diskusjon	62
7.1	Hva er hovedårsakene til at flaskehalser oppstår på denne strekningen?.....	62
7.1.1	Morgenrush.....	62
7.1.2	Ettermiddagsrush	63

7.2	Hvordan kan SIDRA benyttes for å modellere dagens løsning og aktuelle tiltak på strekningen?	65
7.2.1	Fysisk utforming og trafikkdata.....	65
7.2.2	Faseplaner og signalanlegg	66
7.2.3	Kapasitet og nettverksfunksjon.....	67
7.3	Hvordan kan alternative utforminger og tiltak påvirke trafikkavviklingen på strekningen?.....	68
7.3.1	Flatåsenkrysset	68
7.3.2	Bjørndalsbrua.....	70
7.3.3	Tonstad øst og vest.....	71
7.3.4	Hele strekningen.....	74
7.4	Andre forhold	75
7.4.1	Trafikksikkerhet.....	75
7.4.2	Myke trafikanter	76
7.4.3	Kollektivtrafikk	76
8	Konklusjon.....	78
	Referanser	81
	Vedlegg	84

Figurer

Figur 1.1: Studieområdet beliggenhet markert i rødt sør for Trondheim sentrum (Kartverket, 2022).	2
Figur 2.1: Studieområdet strekker seg fra Flatåsenkrysset i vest til krysset Tonstad øst i øst.	4
Figur 2.2: Oversikt over kollektivfelt og holdeplasser på strekningen.	5
Figur 2.3: Oversikt over kryssene Tonstad vest og Tonstad øst med vegnavn.	5
Figur 2.4: Oversikt over Flatåsenkrysset med vegnavn.	5
Figur 2.5: Nyetablert kollektivfelt sett fra Bjørndalsbrua i vestgående retning (Miljøpakken, u.å.-c).	6
Figur 3.1: Illustrasjonen viser hvordan metningsvolum måles i løpet av en syklus i et signalanlegg (Aakre, 2021a).	9
Figur 3.2: Tilbakeblokkering av kø i rødt som strekker seg tilbake til nærliggende kryss og blokkerer for andre svingebevegelser i blått.....	10
Figur 3.3: Bruk av regresjonsanalyse for å finne kritisk tidsluke og følgetid (Aakre, 2021b).	11
Figur 3.4: Eksempel på bruk av SIDRAs kapasitetsbegrensning i rundkjøring under overbelastede forhold (Akcelik & Associates, 2020).	12
Figur 3.5: Mal for utforming av "5-armet rundkjøring" fra SIDRA (Akcelik & Associates, 2020).	13
Figur 3.6: Eksempel på bruk av filterfelt i rundkjøring (Statens vegvesen, 2014b).....	15
Figur 3.7: Eksempel på kollektivgate fra håndbok V123 (Statens vegvesen, 2014a).	16
Figur 3.8: Dobbelt varsellinje og signal 1090 for reversible kjørefelt i henhold til N302 og N303.	17
Figur 4.1: Bilde av Flatåsenkrysset tatt på befaring 04.02.22.	20
Figur 4.2: Kameraplassering under trafikkregistreringer ved Flatåsenkrysset vist i rødt. 21	
Figur 4.3: Kameraplassering under trafikkregistreringer ved Tonstadkrysset øst og vest vist i rødt.	21
Figur 4.4: Eksempel på kjøretøy brukt til beregning av reisetid.....	23
Figur 4.5: Detektorplan over Flatåsenkrysset.	24
Figur 4.6: Detektorplan for Tonstadkrysset vest.	25
Figur 4.7: Detektorplan for Tonstadkrysset øst.	25
Figur 4.8: Modell over Flatåsenkrysset laget i SIDRA.....	26
Figur 4.9: Modell over krysset Tonstad vest laget i SIDRA.....	27
Figur 4.10: Modell over lyskrysset ved Tonstad øst laget i SIDRA.....	28
Figur 4.11: Faseplan og signalgrupper for Flatåsenkrysset.	28
Figur 4.12: Maksimums- og minimumstider for signalgruppene i Flatåsenkrysset.	29
Figur 4.13: Faseplan og signalgrupper for Tonstad vest.	30
Figur 4.14: Maksimums- og minimumstider for signalgruppene i Tonstad vest.	30
Figur 4.15: Nettverksmodell med dagens utforminger laget i SIDRA.	31
Figur 4.16: Trafikkforhold under morgenrush rundt kl. 07:30 fra Flatåsenkrysset mot Bjørndalsbrua.	32
Figur 4.17: Trafikkforhold under morgenrush rundt kl. 07:45 mot Flatåsenkrysset og Granåsen.	32
Figur 4.18: Utsnitt fra videoopptak viser stillestående kø tilbake til Tonstad øst.	33
Figur 4.19: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Flatåsenkrysset.	34
Figur 4.20: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Tonstad vest.....	35
Figur 4.21: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Tonstad øst.	35

Figur 4.22: Utforming av alternativ 1a - Flatåsenkrysset i SIDRA.	36
Figur 4.23: Utforming av alternativ 1b - Flatåsenkrysset i SIDRA.	36
Figur 4.24: Utforming av alternativ 1a - Tonstad øst i SIDRA.	37
Figur 4.25: Utforming av alternativ 1a - Tonstad vest i SIDRA.	37
Figur 4.26: Utforming av alternativ 1b - Tonstad vest i SIDRA.	38
Figur 4.27: Overordnet skisse av superrundkjøring på Tonstad laget i AutoCAD.	39
Figur 4.28: Modell for alternativ 1c - Tonstad superrundkjøring laget i SIDRA.	39
Figur 4.29: Utforming av alternativ 2a - Flatåsenkrysset i SIDRA.	40
Figur 4.30: Utforming av alternativ 2a - Tonstad vest i SIDRA.	41
Figur 4.31: Utforming av alternativ 2b - Tonstad vest i SIDRA.	41
Figur 4.32: Utforming av alternativ 2a - Tonstad øst i SIDRA.	42
Figur 5.1: Skisse over alternativ 1a - Flatåsen som viser utforming av rundkjøring.	44
Figur 5.2: Skisse over alternativ 1b - Flatåsen som viser utforming av rundkjøring.	45
Figur 5.3: Skisse over alternativ 2a - Flatåsen som viser ekstra felt i vestgående retning.	45
Figur 5.4: Skisse over alternativ 1a - Tonstad vest som viser utforming av rundkjøring.	46
Figur 5.5: Skisse over alternativ 1b - Tonstad vest som viser utforming av rundkjøring.	46
Figur 5.6: Skisse over alternativ 1c - Tonstad som viser utforming av superrundkjøring.	47
Figur 5.7: Skisse over alternativ 2a - reversibelt felt over Bjørndalsbrua for morgen.	47
Figur 5.8: Skisse over alternativ 2a - reversibelt felt over Bjørndalsbrua for ettermiddag.	48
Figur 5.9: Skisse over alternativ 2b - Tonstad vest som viser utforming av 3 felt fra østlig retning.	48
Figur 5.10: Skisse over alternativ 1a - Tonstad øst som viser utforming av rundkjøring.	49
Figur 5.11: Skisse over alternativ 2a - Tonstad øst som viser utforming av rundkjøring.	49
Figur 6.1: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.	52
Figur 6.2: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.	53
Figur 6.3: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.	54
Figur 6.4: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.	55
Figur 6.5: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.	56
Figur 6.6: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.	57
Figur 6.7: 95-persentil kølengder under morgenrush for nettverksmodell i SIDRA.	58
Figur 6.8: Belastningsgrad under morgenrush for nettverksmodell i SIDRA.	58
Figur 6.9: 95-persentil kølengder under ettermiddagsrush for nettverksmodell i SIDRA.	59
Figur 6.10: Belastningsgrad under ettermiddagsrush for nettverksmodell i SIDRA.	59
Figur 7.1: Utsnitt over Tonstad øst og vest som viser tilbakeblokkeringer fra fletting ved Bjørndalsbrua under ettermiddagsrush.	64
Figur 7.2: Utsnitt fra videoopptak som viser problematikk med blokkering ut i krysset.	64
Figur 7.3: Månedsdøgntrafikk for tellepunkt Bjørndalsbrua i 2022 (Statens vegvesen, u.å.).	66
Figur 7.4: 95-persentil kølengder under morgenrush for alternativ 1a - Tonstad vest.	73
Figur 7.5: 95-persentil kølengder under ettermiddagsrush for alternativ 1b - Tonstad vest.	74

Tabeller

Tabell 3.1: Oppsummering av hvilke innstillinger for valg av fase- og omløpstid som kan velges ved bruk av EQUISAT og Actuated.	14
Tabell 4.1: Tidspunkt for gjennomførte videoopptak til trafikktegnings.	21
Tabell 6.1: Trafikkmengdene i makstimene for Flatåsenkrysset brukt i SIDRA.	50
Tabell 6.2: Trafikkmengdene i makstimene for Tonstadkrysset vest brukt i SIDRA.	50
Tabell 6.3: Trafikkmengdene i makstimene for Tonstadkrysset øst brukt i SIDRA.	50
Tabell 6.4: Reisetider under morgenrush.	50
Tabell 6.5: Tabellen viser summen av kjøretøy til og fra hver retning i hver av kryssene under morgenrush.	51
Tabell 6.6: Reisetider under ettermiddagsrush.	51
Tabell 6.7: Tabellen viser summen av kjøretøy til og fra hver retning i hvert av kryssene under ettermiddagsrush.	51
Tabell 6.8: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for alternativene for Flatåsenkrysset.	52
Tabell 6.9: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for alternativene for Flatåsenkrysset.	53
Tabell 6.10: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for Tonstadkrysset vest.	54
Tabell 6.11: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for Tonstadkrysset vest.	55
Tabell 6.12: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for Tonstadkrysset øst.	56
Tabell 6.13: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for Tonstadkrysset øst.	57
Tabell 6.14: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktegnings.	60
Tabell 6.15: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktegnings.	60
Tabell 6.16: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktegnings for Tonstadkrysset vest.	60
Tabell 6.17: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktegnings for Tonstadkrysset vest.	61
Tabell 6.18: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktegnings for Tonstadkrysset øst.	61
Tabell 6.19: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktegnings for Tonstadkrysset øst.	61

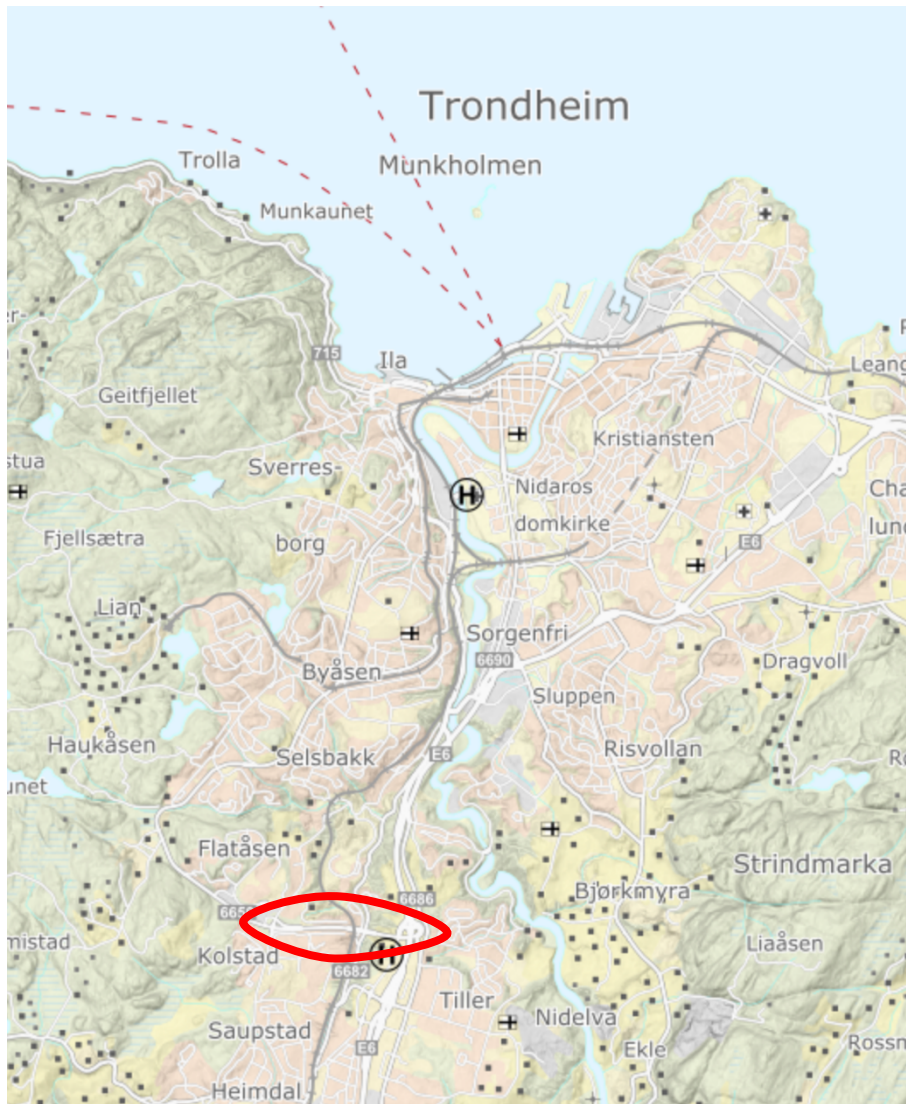
1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Dagens befolkningsvekst, både i Norge og i verden, fører til et økende transportbehov. Det forventes at Norge vil bikke 6 millioner innbyggere i 2050, og at økningen vil fortsette i flere tiår (Statistisk Sentralbyrå, 2020). En slik befolkningsvekst vil kreve en økt utbygging av både infrastruktur og bygninger. Behovet for smarte løsninger i infrastrukturen vil derfor bli stadig viktigere, både for å utnytte de arealene man har tilgjengelig, men også for å utnytte kapasiteten på dagens vegstrekninger bedre. Kapasitetsproblemer er allerede et økende problem, spesielt i og rundt de største byene i landet.

Et av de vanligste kapasitetsproblemene ved større byer i Norge i dag er lange køer og flaskehals. En flaskehals er en hindring eller det leddet i en produksjonsprosess med svakest kapasitet som hindrer full gjennomstrømning eller virksomhet (Store norske leksikon, 2021). I trafikksammenheng blir det gjerne sett på som det punktet som danner opphopninger og køer. Dette skjer fordi etterspørselen overstiger kapasiteten ved dette punktet, og det danner seg opphopninger oppstrøms for flaskehalsen. Flaskehals skjer gjerne i forbindelse med på- og avkjøringsfelt for større motorveier, i forbindelse med vegkryss og ved innsnevring av vegen.

Denne masteroppgaven tar for seg trafikkavviklingen på et valgt studieområde sør for Trondheim sentrum, vist i Figur 1.1. Det er en viktig strekning som forbinder Tonstad og E6 i øst sammen med Flatåsen og Granåsen i vest. Det består av tre sentrale kryss: Kolstadvegen x Kongsvegen, Kolstadvegen x Vestre Rosten og Kolstadvegen x Ytre Ringveg (Tonstadkrysset). De to sistnevnte kryssene har på- og avkjøringsramper knyttet til E6. Strekningen består av flere punkter der trafikk må flettes sammen på grunn av fysiske hindringer eller kollektivfelt. Det er en strekning som er kjent for mye kø og forsinkelser under rushperioder, der det stadig vekk diskuteres hva som skal til for å løse problemene. I tillegg fungerer strekningen for tiden som alternativ rute for dem som er berørt av stengingen av Oslovegen nord for Sluppenbrua i forbindelse med bygging av ny bru der.



Figur 1.1: Studieområdets beliggenhet markert i rødt sør for Trondheim sentrum (Kartverket, 2022).

Arbeidet med masteroppgaven ble startet høsten 2021, og det ble skrevet en prosjektoppgave som et forprosjekt for oppgaven. Under arbeidet i løpet av høsten ble studieområdet bestemt i samarbeid med veileder, og tema og problemstilling ble bestemt. Det ble da gjennomført flere litteratursøk om temaet, og relevant litteratur ble gjennomgått. I tillegg ble fremgangsmåte planlagt, og det ble skaffet en oversikt over relevante data å ha med for strekningen. Trøndelag Fylkeskommune ble kontaktet om et mulig samarbeid, og det ble inngått en avtale om samarbeid i januar 2022.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Selv om problemet med overmettet kapasitet og gjentakende flaskehals er et kjent problem, så kan det tyde på at det er få fungerende tiltak som er gjennomført i området.

På bakgrunn av dette skal denne masteroppgaven se på alternative utforminger og tiltak som kan bedre trafikkavviklingen i området. Det legges vekt på å se på flere ulike utforminger på et overordnet nivå, fremfor å velge kun en løsning som blir nøye modellert. Den overordnede problemstillingen blir derfor:

Hvordan kan alternative utforminger implementeres på en strekning med flaskehalsproblemer, og på hvilken måte vil dette påvirke trafikkavviklingen?

For å kunne besvare problemstillingen på best mulig måte er det utformet følgende tre forskningsspørsmål:

- Hva er hovedårsakene til at flaskehals oppstår på denne strekningen?
- Hvordan kan SIDRA benyttes for å modellere dagens løsning og aktuelle tiltak på strekningen?
- Hvordan kan alternative utforminger og tiltak påvirke trafikkavviklingen på strekningen?

1.3 Oppbygging av oppgaven

Denne masteroppgaven har en klassisk struktur bestående av teori, metodebeskrivelse, resultat, diskusjon og konklusjon. I tillegg er kapitlene Beskrivelse av strekningen og Prosjekteringer lagt til for mer beskrivelser av det valgte studieområdet og skisser med utformingene av tiltakene. Teoridelen består av en litteraturgjennomgang som bygger videre på litteratursøk som ble gjort i forbindelse med prosjektoppgaven høsten 2021. I metoddelen presenteres de valgte metodene som er benyttet, og det forklares hva som er blitt gjort. Her blir også utfordringer og uforutsette hendelser som dukket opp underveis med arbeidet forklart, samt begrensninger med metoden. Resultatene fra modelleringene presenteres i resultatdelen, ved bruk av figurer og tabeller for å vise frem dataene. Resultatene blir så diskutert i diskusjonsdelen, der også forskningsspørsmålene blir diskutert. Avslutningsvis konkluderes arbeidet i kapitlet Konklusjon, der også forslag til videre arbeid presenteres.

2 Beskrivelse av strekningen

2.1 Strekningens beliggenhet

Strekningen ligger sør for Trondheim sentrum og består av tre signalregulerte kryss. Det er en viktig hovedfartsåre for innbyggerne på sørsiden av Trondheim, da den forbinder Tonstad og Tiller med Flatåsen og Granåsen. I tillegg er dette hovedvegen inn til sentrum for mange, enten via E6 i øst av strekningen eller via Granåsen videre vest for strekningen. Strekningen ligger omtrent 7 km sør for sentrum i et område med mye boligbebyggelse og næringsvirksomheter. Strekningen er avgrenset fra krysset Tonstad øst i øst og til Flatåsenkrysset i vest, som vist i Figur 2.1. Tonstad øst og Flatåsenkrysset er trearmede lyskryss, mens Tonstad vest er et firearmet lyskryss. Områdene Tonstad og Flatåsen bindes sammen av Bjørndalsbrua, som er en trefelts bru med gang- og sykkelveg. Det er etablert flere gode, separate gang- og sykkelveger langs strekningen som ligger skjermet fra vegen. Det er derfor kun krysset Tonstad vest som har etablerte gangfelt for kryssing av gående. I tillegg forbindes flere gang- og sykkelveger sammen på Tonstad øst, som gir mulighet til adkomst via sykling og gange til kollektivknutepunktet her.



Figur 2.1: Studieområdet strekker seg fra Flatåsenkrysset i vest til krysset Tonstad øst i øst.

Studieområdet er et viktig område for kollektivtrafikken i byen, med et stort kollektivknutepunkt helt øst i strekningen. Her betjenes to av tre metrobuslinjer, med mulighet for omstigning til en rekke andre busslinjer (Miljøpakken, u.å.-b). Knutepunktet har to lange plattformer, sykkelhotell, ladestasjoner for el-bussene, taxiholdeplasser og et eget område for å sette av bilpassasjerer på kalt «kiss and ride» (Miljøpakken, u.å.-a). Det er kollektivfelt fra E6 rampa og mot vest i krysset Tonstad vest som ender ved holdeplassen Tonstadkrysset 4. Kollektivfeltet opphører over Bjørndalsbrua, og etableres igjen på strekningen vest for brua. En oversikt over kollektivfelt og holdeplasser er vist i Figur 2.2 under.

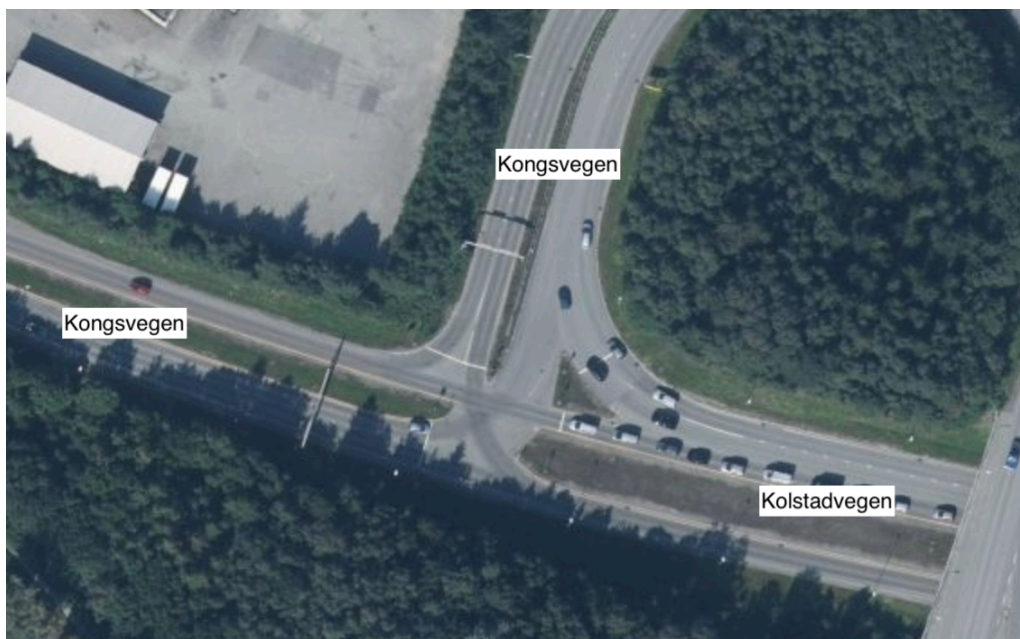


Figur 2.2: Oversikt over kollektivfelt og holdeplasser på strekningen.

Hovedvegen på strekningen er fylkesveg 6650 som også kalles Kolstadvegen. Denne binder retningene øst og vest sammen, og ligger nokså vannrett på plankartene. Kryssene Tonstad vest og Tonstad øst har begge på- og avkjøringsramper fra E6, i tillegg til armer mot områdene Tiller og Rosten. En nærmere oversikt over kryssene og armene med vegnavn er vist i Figur 2.3 og Figur 2.4.



Figur 2.3: Oversikt over kryssene Tonstad vest og Tonstad øst med vegnavn.



Figur 2.4: Oversikt over Flatåsenkrysset med vegnavn.

2.2 Tidligere tiltak

Bjørndalsbrua og lyskryssene på Tonstad sto ferdig i 1976 og ble åpnet for trafikk. Strekningen ble bygget for å knytte nye boligområder på Heimdal og Kolstad sammen med E6, og ble et av de største veganleggene i Trondheim kommune i mange år (Brissach, 2014). Bjørndalsbrua besto da av ett kjørefelt i hver retning og eget felt for gående. I de senere årene har kravene til vegbredder endret seg, og dagens bru har til utvidet de to kjørefeltene til tre. To av disse er for østgående trafikk.

I forbindelse med omleggingen av bussrutene i byen og innføringen av metrobuslinjer i 2019, så ble det gjort en del forandringer på strekningen. Tonstad omstigningspunkt ble bygget om til et kollektivknutepunkt for to av de tre hovedlinjene i metrobusprosjektet, og holdeplassen sto klar høsten 2019 (Miljøpakken, u.å.-b). Det samme gjaldt de andre nevnte bussholdeplassene langs strekningen, som alle ble oppgradert til å kunne betjene metrobussene. Det er i de siste årene bygget ut kollektivfelt vest for Bjørndalsbrua, som vist tidligere i Figur 2.2. Den seneste utbyggingen ble fullført høsten 2021, da kollektivfeltet i vestgående retning sto ferdig. Dette prosjektet ble gjennomført som en del av Miljøpakkens prosjekter, med mål om at bussens fremkommelighet og reisetider skulle forbedres (Miljøpakken, u.å.-c). Strekningen har per dags dato kollektivfelt i begge kjøreretninger mellom Bjørndalsbrua og rampene mot Flatåsen og Saupstad.



Figur 2.5: Nyetablert kollektivfelt sett fra Bjørndalsbrua i vestgående retning (Miljøpakken, u.å.-c).

2.3 Tidligere arbeid og studier

Det er i løpet av de siste årene gjennomført flere prosjekter og studier knyttet til trafikkavviklingen på strekningen, i tillegg til de innførte tiltakene for kollektivtrafikkens fremkommelighet. Strekningen er et område som er kjent for de fleste innbyggerne i Trondheim, mye på grunn av trafikkmengden og køproblematikken som oppstår i rushtidene. Det har derfor blitt gjennomført flere studier av både masterstudenter og fylkeskommunen for å se på mulige løsninger som kan bedre forholdene på strekningen.

Disse arbeidene er i varierende grad benyttet og vurdert i arbeidet med problemstillingen for denne oppgaven.

Det ble hentet mye inspirasjon fra en tidligere masteroppgave fra 2018 som ble skrevet av Sindre Lindheim-Minde. Oppgaven hadde fokus på modellering av flaskehalsen på strekningen Granåsen – Tonstadkrysset, og det ble sett på tiltak for forbedring av trafikkavviklingen gjennom studieområdet. Denne oppgaven ble gjennomført før innføringen av metrobussystemet i Trondheim, og både utformingen av og trafikkforholdene på strekningen var noe annerledes da enn nå. I Lindheim-Minde sin oppgave ble det fokusert mye på hvor realistisk det var mulig å modellere trafikksituasjonen i studieområdet ved bruk av programmet Aimsun (Lindheim-Minde, 2018).

Trøndelag fylkeskommune har i løpet av våren 2022 jobbet med en utredning av et mulig tiltak med kollektivfelt over Bjørndalsbrua. Hovedoppgaven var å se på muligheten for å etablere kollektivfelt i en eller begge kjøreretningene over brua, for å redusere forsinkelsene for busslinjene på denne strekningen. Dette på bakgrunn av at det er registrert store forsinkelser for kollektivtrafikken fra Tonstad omstigningspunkt og vestover mot Flatåsen og Saupstad. Arbeidet med utredningen ble presentert i en rapport, der siste versjon var ferdig 02.06.22.

I forbindelse med omlegging av busslinjene i Trondheim i 2019 så ble det i forkant av prosjektet gjennomført flere trafikkvurderinger og analyser av området på Tonstad. Konsulentfirmaene Asplan Viak og Rambøll har gjort fremkommelighets- og kapasitetsberegninger av vegnettet rundt kollektivknutepunktet på Tonstad i metrobussprosjektet. Rambøll gjorde i tillegg en trafikkvurdering av strekningen E6 Tonstad - Kroppanbrua våren 2021 i forbindelse med ny reguleringsplan for E6. Denne rapporten inkluderte Tonstadkrysset vest, der det ble sett på behovet for utbygging av høyre svingefelt for trafikk fra øst som skal videre sørover på E6.

3 Teori

Dette kapittelet bygger videre på mye av den samme teorien som ble presentert i prosjektoppgaven som ble skrevet som et forprosjekt høsten 2021. Deler av teorien er hentet fra denne.

3.1 Trafikkavvikling

En teoretisk måte å beskrive trafikkavviklingen i et kryss tar utgangspunkt i en del grunnleggende karakteristikk. Tre av disse er trafikkflyt (q), forsinkelse og tidsluker. Trafikkflyt beskrives gjerne med følgende ligning:

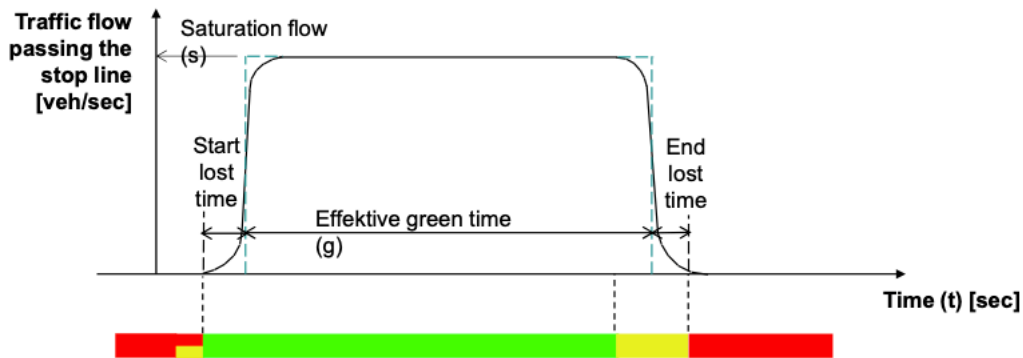
$$q = \frac{N}{t} \quad \mathbf{1}$$

Ligning 1 gir trafikkflyt og måles i antall kjøretøy, N , per tidsenhet, t , med enheten kjt/time. Denne verdien brukes f. eks. for å beskrive flyten gjennom et kryss, altså hvor mange kjøretøy som kjører gjennom krysset i løpet av en time (Aakre, 2021c). I et kryss med en hovedkjøreretning så vil det meste av trafikkflyten gå i denne retningen. Da vil fordelingen av luker i denne trafikkstrømmen være med å påvirke forsinkelsen til de mindre trafikkstrømmene. Hvor lange luker en fører krever er individuelt, og vil derfor variere (Aakre, 2021b).

En vanlig måte å vurdere trafikkavviklingen i kryss og på vegstrekninger er ved bruk av begrepet kapasitet. Dette er en dynamisk verdi, som påvirkes av flere parametere. Blant disse er førernes valg og kjøremåte, geometrien på vegen, andelen tunge kjøretøy, svingeforhold osv. En vanlig definisjon på kapasitet i lysregulerte kryss er å uttrykke det som den maksimale flyten under en gitt tidsperiode, med hensyn til både rød- og grønttid (Aakre, 2021a). Ligningen kan uttrykkes som:

$$K = S * \frac{g}{c} \quad \mathbf{2}$$

Der K er kapasitet, S er metningsvolum, g er grønttid og c er omløpstid. Faktoren benyttes gjerne til å bestemme belastningsgraden i et kryss. Belastningsgraden for et kryss sier noe om forholdet mellom trafikkflyten og maksimal flyt, kapasitet, som passerer stopplinjen i et kryss (Aakre, 2021d). Ved belastningsgrader på 1,0 og oppover så vil kapasiteten i krysset være overskredet, og trafikkavviklingen vil bryte sammen. Dette er derfor en mye brukt parameter i forbindelse med vurdering av trafikkforholdene i kryss, og det ønskes generelt ikke belastningsgrader over 0,8.

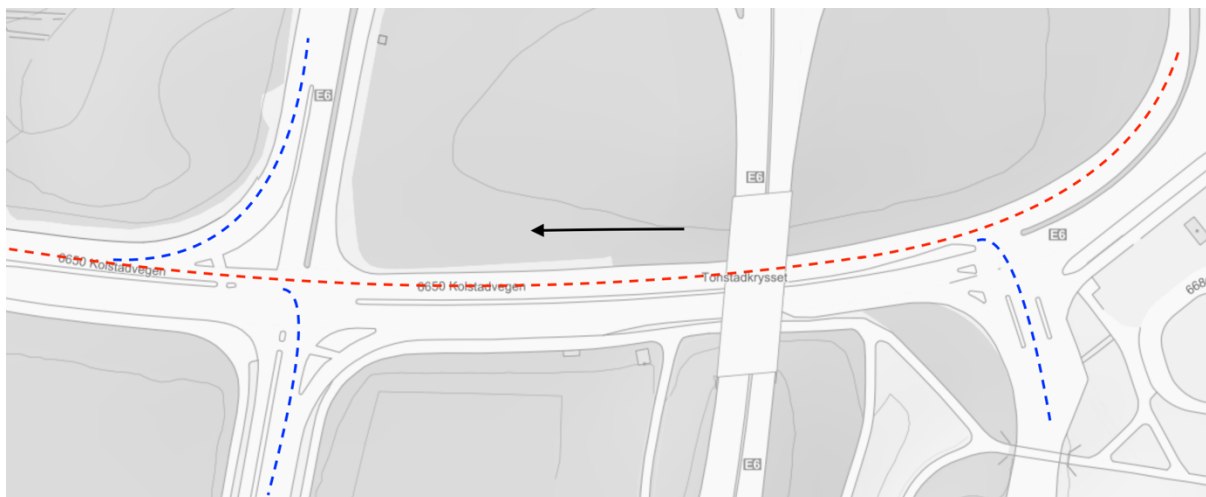


Figur 3.1: Illustrasjonen viser hvordan metningsvolum måles i løpet av en syklus i et signalanlegg (Aakre, 2021a).

Parameteren metningsvolum kan uttrykkes som den maksimale kapasiteten for en kontinuerlig trafikkstrøm gjennom et kryss under grøntiden i løpet av en time (Gao, Zhao og Wang, 2020). En illustrasjon av dette er vist i Figur 3.1. En vanlig metode å beregne metningsvolum på er ved stopplinje-metoden. Metningsvolum uttrykkes som antall kjøretøy per time per felt som kan passere gjennom et signalisert kryss dersom det var grønt lys hele timen. Det beregnes ved å se på gjennomsnittlige tidsluker i en signalsyklus, og denne verdien deles så på antall sekunder i en time. Ved beregning av metningstidsluken ser man vanligvis bort ifra de første 3-4 kjøretøyene i køen, fordi disse bruker en del tid på å gå fra bremsing til akselerering før de får passert gjennom krysset. Tidslukene blir derfor veldig lange sammenlignet med tidslukene for bilene lengre bak i køen (Gao, Zhao og Wang, 2020). For beregning av metningsvolum i signalregulerte kryss benyttes vanligvis en 2 sekunders tidsluke mellom kjøretøyene ved grønt signal. Dette gir et metningsvolum på 1800 kjt/time ved grønt signal (Aakre, 2021d). Ligningen for beregning av metningsvolum S , er vist i ligning 3, der h er gjennomsnittlig metningstidsluke målt fra kjøretøy nummer fem i køen.

$$S = \frac{3600}{h} \quad 3$$

Parameteren metningsvolum er en viktig faktor for å bestemme blant annet forsinkelse og kølengde ved signaliserte kryss. Ved forsinkelse menes ekstra reisetid sammenlignet med reisetiden ved fri flyt på en gitt strekning eller punkt (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). Forsinkelse kan skyldes mange faktorer, og påvirkes av mengden trafikk. Ved høy trafikkbelastning vil sannsynligheten for forsinkelser øke. Det samme gjelder for kølengder. Kølengde er lengden av en kø målt i antall kjøretøy i kø eller i lengdeenheter, som regel målt i meter. I perioder med spesielt mye trafikk og nærliggende kryss og avkjørsler, så vil det kunne oppstå tilbakeblokkeringer. Da strekker bakenden av køen seg lengre tilbake enn tilgjengelig kømagasin, noe som kan påvirke trafikken i nærliggende kryss (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). Dette er illustrert i Figur 3.2 der kølengden er så lang at den vil føre til tilbakeblokkeringer i krysset oppstrøms. En slik kø, som vist i rødt i figuren, vil i tillegg blokkere for andre svingebevegelser i krysset, markert i blått.



Figur 3.2: Tilbakeblokkering av kø i rødt som strekker seg tilbake til nærliggende kryss og blokkerer for andre svingebevegelser i blått.

I områder der trafikkflyt og etterspørsel overstiger kapasiteten, så oppstår det en såkalt flaskehals. Slike områder har gjerne en begrenset kapasitet i forhold til etterspørselen, noe som ofte medfører saktegående eller stillestående køer (Aakre, 2021c). Flaskehalsen kan oppstå på faste punkter, som f.eks. en innsnevring av kjørefelt eller kryssområder, eller de kan være midlertidige, som f.eks. ved ulykker eller vegarbeid. Det skiller mellom aktive og skjult flaskehals. Aktive flaskehals er flaskehals der trafikkflyten har nådd kapasiteten, og det oppstår kødannelse. De kjennetegnes gjerne ved at det oppstår store kødannelse oppstrøms mens trafikken er i fri flyt nedstrøms. En skjult flaskehals er en flaskehals der etterspørselen er mindre enn kapasiteten, og den vil derfor ikke skape kødannelse (Appel, Aakre og Kronborg, 2018). Dersom man fjerner en aktiv flaskehals, så vil det kunne oppstå en endring i trafikkflyten slik at en skjult flaskehals aktiveres. Ved aktivering av en flaskehals vil det samle seg trafikk oppstrøms, noe som vil ha negative konsekvenser for trafikkavviklingen. Dette betyr at dersom man utbedrer en aktiv flaskehals, så bør man være oppmerksom på mulige skjulte flaskehals.

3.2 SIDRA INTERSECTION

SIDRA INTERSECTION, også kalt SIDRA, er et mikroanalytisk verktøy for beregning og analysing av trafikkforhold i et eller flere kryss. Det benytter en unik kjørefeltbasert modell kombinert med en kjørefeltbasert kjøretøyrute-modell for å løse komplekse matematiske modeller (Akcelik & Associates, 2020). Det er derfor et nyttig verktøy ved veg- og trafikkplanlegging fordi det gir verdier for kapasitet og trafikkavvikling gjennom kryss. Trafikkavvikling kan beskrives med parametere som f.eks. forsinkelse, belastningsgrad, stopprate, maksimal kølengde, osv. Modellen skiller seg fra andre mikroskopiske modeller ved at den baseres på grupper av kjøretøy, og ikke enkeltkjøretøy, og kan dermed også kalles for en mesoskopisk modell (Aakre, 2021e).

Både mesoskopiske og mikroskopiske modeller benytter gjerne metoder basert på matematiske formler. Modelleringsmetodene baseres på teori om aksept av kritiske tidsluker ved beregning av parametere som kapasitet og forsinkelse. Denne metoden tar hensyn til tilgjengelige tidsluker og sammenligner med førernes krav (Aakre, 2021b). Det er en realistisk metode for konfliktløsning basert på førerens adferd. Samtidig finnes det ingen gjennomsnittlig fører, og det kan være store forskjeller på føreradferd fra person til

person og fra sted til sted. For å estimere kritiske tidsluker benyttes vanligvis den minste tidsluken som den «gjennomsnittlige» føreren vil akseptere, for å krysse eller kjøre inn i en retning med høyere prioritet. Tidslukene har dermed en direkte innvirkning på kapasiteten i trafikkstrømmene som ønsker å kjøre inn på primærvegen, som har høyere prioritet. I tillegg defineres følgetid som den kritiske tidsluken for kjøretøy 2, 3, osv. når de alle bruker den samme luken i en hovedstrøm. Denne ligger vanligvis på rundt 60% av den kritiske tidsluken. For å finne lukefordelingen i et kryss kan man enten benytte en eksponentiell fordeling eller mer komplekse fordelinger. Sammen med lineær regresjon kan kritisk tidsluke og følgetid beregnes (Aakre, 2021b). Dette krever køtilstand på den minste trafikkstrømmen, og at det registreres antall kjøretøy, n , som kjører fra den minste trafikkstrømmen i løpet av en tidsluke. Lengden på tidsluken må måles i sekunder, t , slik at den gjennomsnittlige tidsluken for alle n kan regnes ut. Lineær regresjon benyttes da for å finne den gjennomsnittlige tidsluken som en funksjon av antall kjøretøy (Akcelik & Associates, 2020):

$$t = t_0 + t_f n \quad 4$$

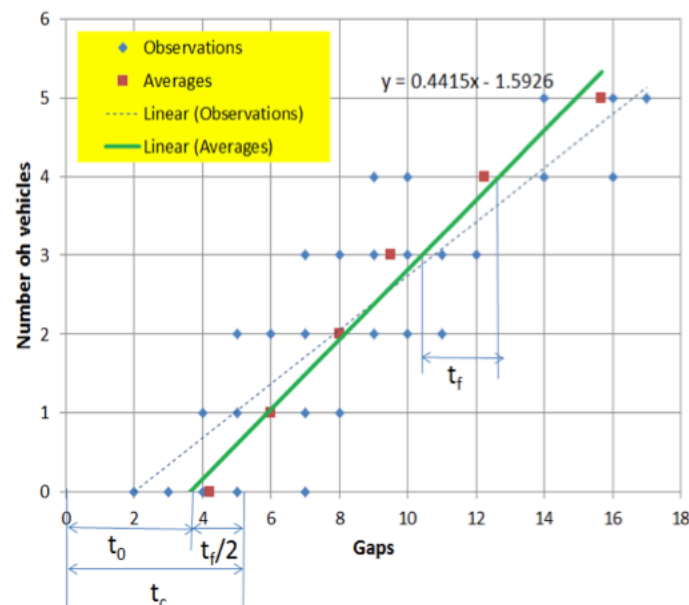
Der t_f er følgetid og t_0 er den gjennomsnittlige tidsluken der ingen kjøretøy fra den minste trafikkstrømmen kjører inn:

$$t_0 = t_c - 0,5t_f \quad 5$$

Her er t_c kritisk tidsluke som kan finnes ved ligningen:

$$t_c = t_0 + 0,5t_f \quad 6$$

Følgetiden, t_f , kan så finnes ved regresjon. Et eksempel på beregning av følgetid og kritisk tidsluke ved bruk av regresjonsanalyse er vist i Figur 3.3.

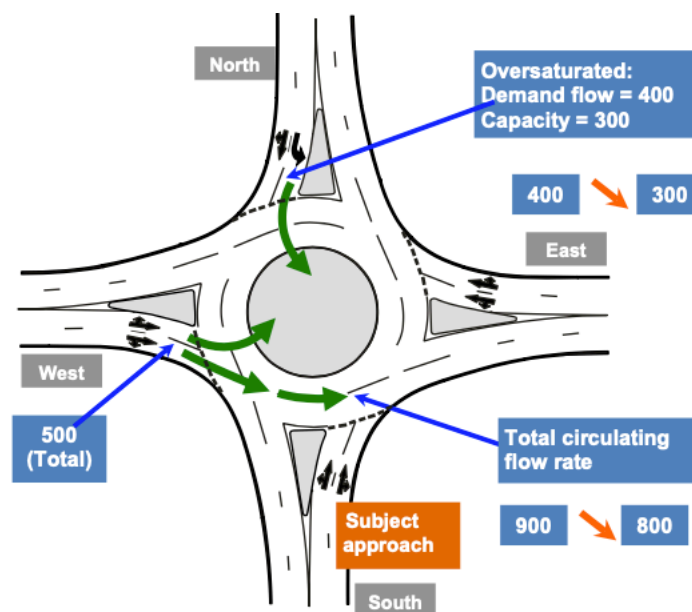


Figur 3.3: Bruk av regresjonsanalyse for å finne kritisk tidsluke og følgetid (Aakre, 2021b).

Som regel benytter man erfaringsbaserte verdier for kritisk tidsluke og følgetid. SIDRA benytter ett sett med standardverdier for kritisk tidsluke og følgetid, som varierer avhengig av blant annet krysstype og antall felt. De kan endres etter trafikkvariasjoner gjennom dagen og etter hvilken ukedag det er (Akcelik & Associates, 2020).

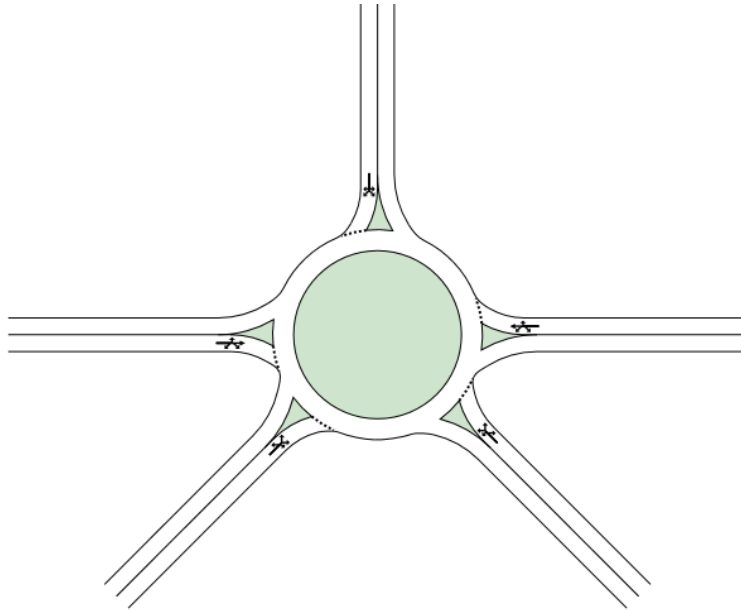
SIDRA har en egen funksjon for modellering av nettverk med flere kryss og strekninger koblet sammen. Denne modellerer blant annet køblokkeringer og kapasitetsbegrensninger ved å bruke en iterativ tilnæringsmetode i kombinasjon med kjørefeltmodeller. Dette gir estimater av kapasitet og belastningsgrad gjennom hele strekningen. Ved modellering av nettverk så vil modellen bestemme opphopningen av kø bakover etter hvert som køer på nedstrøms felt blokkerer oppstrøms felt, og det vil innføres kapasitetsbegrensninger på de overbelastede feltene som begrenser flyten som entrer nedstrøms felt. Disse elementene har svært interaktive effekter, som balanseres ved hjelp av den iterative prosessen (Akcelik & Associates, 2020).

Kapasitetsbegrensningene kan beskrives ved å benytte en rundkjøring som eksempel. Dersom en tilfart er overbelastet, altså at trafikken inn i rundkjøringen overstiger tilgjengelig kapasitet ($q_a > Q_e$), så benyttes kapasiteten for å bestemme sirkulasjonsflyten i rundkjøringen for alle andre armer inn i den. Denne prosessen blir så gjentatt for hver arm, slik at man får nøyaktige resultater for hele rundkjøringen. Kapasitetsbegrensningen vil innføres for hver tilfart gjennom en iterativ prosess, for å bestemme det totale bidraget til relevante sirkulasjonsvolum (Akcelik & Associates, 2020). Et eksempel på innføring av kapasitetsbegrensning under overbelastede forhold for en rundkjøring er vist i Figur 3.4.



Figur 3.4: Eksempel på bruk av SIDRAS kapasitetsbegrensning i rundkjøring under overbelastede forhold (Akcelik & Associates, 2020).

SIDRAS nettverksfunksjon beregner i tillegg signalkoordinering ved hjelp av en kjørefeltbasert metode. Det er mulig å legge inn egne data for signalanalysen for nettverk under fanen «Common Control Groups (CCGs)», som overkjører innstillinger gjort for hvert enkelt kryss. Denne metoden gjør det mulig å kontrollere en gruppe med signaliserte kryss av en enkelt signalkontroller. Metoden er relevant for modellering av nærliggende kryss, som f.eks. to T-kryss som er forskjøvet (Akcelik & Associates, 2020).



Figur 3.5: Mal for utforming av "5-armet rundkjøring" fra SIDRA (Akcelik & Associates, 2020).

Selv om det finnes en del standardinnstillinger for programvarene i SIDRA, så er det mulig å tilpasse modellene slik man ønsker. Det finnes et stort utvalg maler for utforming av ulike typer kryss som kan benyttes, både for tradisjonelle kryssutforminger og mer alternative, som f.eks. «5-armet rundkjøring». Utsnitt av mal for «5-armet rundkjøring» er vist i Figur 3.5. Malene kan tilpasses ønsket utforming ytterligere med dimensjoner på lengder, bredder og stigning av kjørefelt. I tillegg kan det legges inn valg av kjøretøyklasse, feltbruk og retningsvalg, samt trafikkvolum og fartsgrenser.

For signalregulerte kryss finnes det egne innstillinger for omløpstid og fasetider, samt valg av fasegrupper. Det skilles mellom innstillinger for tidsstyrte og trafikkstyrte faseplaner i SIDRA, «EQUISAT (Fixed-Time)» og «Actuated». Den første refererer til en metode for å finne så like belastningsgrader for hver arm som mulig ved valg av grønntider. Fordelingen av grønntid og omløpstid kan derfor variere, og resultatene ved beregning av denne metoden kan sees på som en gjennomsnittlig beregning for analyseperioden. Standardinnstillingen for bestemmelse av minimum grønntid er satt til 6 sekunder for alle typer modeller i SIDRA, men den kan også bestemmes av brukeren (Akcelik & Associates, 2020). Minimum effektiv grønntid, g_{min} , må oppfylle et krav på minst 3 sekunder, slik at ligningen under er oppfylt:

$$g_{min} = G_{min} - t_s + t_e \geq 3 \quad 7$$

Der G_{min} er minimum vist grønntid, t_s er tapt tid ved start av grønt signal og t_e er tapt tid ved slutten av gult signal. Ved bruk av EQUISAT så anbefales det ikke å legge inn maksimum grønntid i SIDRA, men det anbefales heller å benytte maksimum omløpstid (Akcelik & Associates, 2020).

Når det gjelder metoden kalt «Actuated», så fungerer denne som en tradisjonell kjøretøy-bestemt kontrollmetode. Denne baseres på maksimum grønntid og tidslukeinnstillinger. Standardverdier for maksimum grønntid er 50 sekunder for primærbevegelser og 20 sekunder for sekundærbevegelser dersom analysemetoden er «actuated». Med primærbevegelser menes trafikkbevegelsene rett frem og til høyre i kryssene, mens sekundærbevegelser er venstresvingende trafikk. Avhengig av hvilken

metode man velger, så kan fasetider og omløpstider bestemmes på ulike måter (Akcelik & Associates, 2020). En oppsummering er vist i tabellen nedenfor:

Tabell 3.1: Oppsummering av hvilke innstillinger for valg av fase- og omløpstid som kan velges ved bruk av EQUISAT og Actuated.

Timing calculations	EQUISAT	(Fully) Actuated
Practical Cycle Time	Ja	Ja
User-Given Cycle time	Ja	Nei
Optimum Cycle time	Ja	Nei
Optimum Maximum Green settings	Nei	Ja
User-Given Phase times	Ja	Ja

3.3 Alternative kryssutforminger

I Norge er trafiksikkerhet og trafikkavvikling de viktigste premisene for valg av krysstype og utforming av kryss. I tillegg finnes det en del andre faktorer som vil ha betydning for valg av utforming, som f.eks. areal og plass tilgjengelig, økonomi og estetikk. Ved valg av krysstype er det ønskelig å redusere antall konfliktpunkter til et minimum, slik at antallet konflikter kan reduseres. I tillegg er det viktig at utformingen er forståelig for alle trafikantene som ferdes i krysset, og at utformingen hindrer meget alvorlige ulykker så lenge det er mulig. En forståelig utforming vil og kunne bidra positivt for trafikkavviklingen i krysset (Statens vegvesen, 2014b).

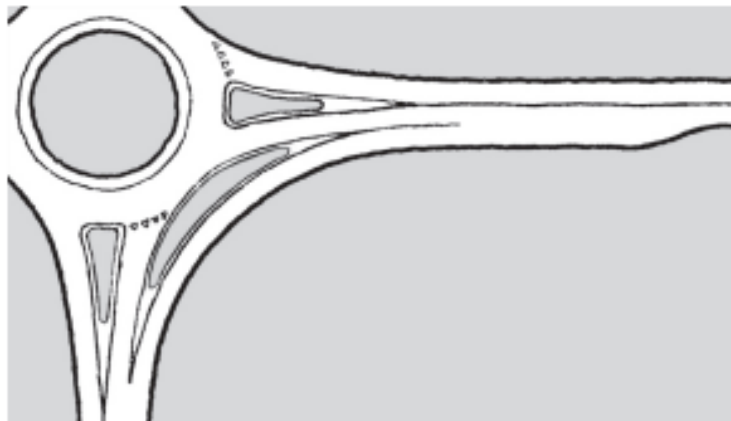
3.3.1 Ombygging til rundkjøring

En av de vanligste kryssutformingene som benyttes i Norge i dag er rundkjøring. Ombygging til rundkjøring fra signalregulering benyttes ofte for å bedre både trafiksikkerhet og trafikkavvikling. Det fungerer i midlertidig best ved kryss der trafikkmengden er nokså lik i alle armene og der mengden gående og syklende er relativt lav (Statens vegvesen, 2014b). Dersom disse forutsetningene er oppfylt, så vil rundkjøring generelt være den sikreste typen kryss for kjørende. Ulykker i rundkjøringer er som regel mindre alvorlige enn i f.eks. T- og X-kryss, da mengden konfliktpunkter er redusert (Elvik, 2015). I tillegg er rundkjøringer fartsdempende, som igjen minsker risikoen for alvorlige ulykker.

Ved omtrent like mye trafikk på alle tilfartene i en rundkjøring, så vil trafikkavviklingen stort sett forbedres i forhold til T- og X-kryss. Dette fordi rundkjøringer generelt har større kapasitet, og ventetiden reduseres gjennom rundkjøringen. Kryssende bevegelser er fjernet, og man må kun forholde seg til trafikk i en retning gjennom rundkjøringen. Det er en tendens til at trafikantene godtar kortere tidsluker i rundkjøringer, som igjen reduserer forsinkelsen i forhold til andre krysstyper. Dersom det er skjevheter i trafikkmengden fra armene i rundkjøringen så er det mulig å regulere en eller flere av disse ved å ta i bruk signalregulering. Dette vil øke kapasiteten og redusere forsinkelse på de ikke-signalregulerte armene, og vil kunne gi en positiv virkning på kapasitet og ventetider. Det må likevel sees på den totale virkningen på ventetidene for alle armene ved vurdering av tilfartskontroll, og på hvordan området rundt rundkjøringen og trafikkmengdene der blir påvirket (Elvik, 2015).

Ved utforming av rundkjøring i Norge så benyttes normalt håndbok *V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss* og *N100 Veg- og gateutforming* for krav til

dimensjonering. Det skilles gjerne mellom tre hovedtyper rundkjøringer: minirundkjøring, rundkjøring på 2-felts veger og rundkjøring på 4-feltsveger. For sistnevnte kreves en ytre diameter på minst 45 meter, og to felt i tilfartene, i sirkulasjonsområdet og i utfartene. Dersom kapasiteten er tilfredsstillende med kun ett felt i tilfart og utfart så kan det etableres. Kjørefeltbredden i sirkulasjonsarealet bestemmes etter ytre diameter på rundkjøringen og dimensjonerende kjøretøytype (Statens vegvesen, 2021b). Ved behov kan det etableres filterfelt for høyresvingende trafikk i rundkjøringen, som vist i Figur 3.6. Dette vil gi økt prioritet for denne trafikkstrømmen og mindre forsinkelse, samt kunne gi bedre kapasitet for hele rundkjøringen (Statens vegvesen, 2014b).



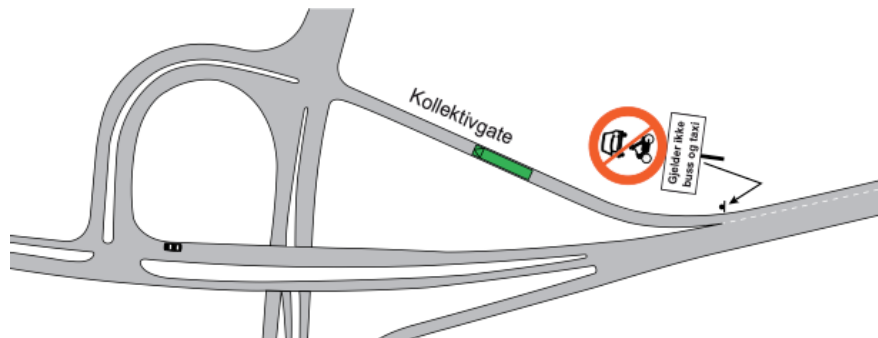
Figur 3.6: Eksempel på bruk av filterfelt i rundkjøring (Statens vegvesen, 2014b).

3.3.2 Kollektivfelt

Et mye brukt tiltak for å forbedre fremkommeligheten til kollektivtrafikk er bruken av kollektivfelt. Dette tiltaket velges ofte på veger med bærekraftige mål og der miljø prioriteres for å øke attraktiviteten til buss. Dersom det lykkes i å få flere bilister til å velge buss fremfor privatbil, så har tiltaket flere fordeler med tanke på reduserte køer og bedre utnyttelse av vegkapasiteten. Ulempen er at det ved opprettelse av kollektivfelt har vist seg å øke ulykkesrisikoen og det kan påvirke trafiksikkerheten. Dette fordi kollektivfelt ofte fører til flere feltbytter og fartsendringer, samt at det ofte er tillatt for mopeder og motorsykler å kjøre i kollektivfeltene (Høye, 2003).

Det finnes også andre måter å prioritere kollektivtrafikken på enn ved bruk av felt, som ved bruk av sambruksfelt eller egne kollektivgater. Forskjellen på sambruksfelt og kollektivfelt er at det på sambruksfelt også er lov for personbiler med minst en eller flere passasjerer å benytte seg av det (Statens vegvesen, 2021a). Sambruksfelt benyttes gjerne i områder der det er forsinkelse for busser, men det ikke er ønskelig med en innføring av kollektivfelt av hensyn til den totale trafikkavviklingen (Statens vegvesen, 2014a). Feltypene kan være midtstilte eller sidestilte. Kollektivfeltene kan kombineres med reversible felt, som omtales senere i dette kapittelet. Kollektivgater benyttes der det er behov for økt prioritering av bussens fremkommelighet. En kollektivgate er en adskilt gate som kun er tillatt for kollektivtrafikk og taxier. Denne typen prioritering benyttes gjerne i bykjerner for å knytte sammen kollektivnett, men også i boligområder for å gi bussene en snarveg (Statens vegvesen, 2014a). Et eksempel på en kollektivgate er vist i Figur 3.7. Denne utformingen minner om løsningen ved Flatåsenkrysset i studieområdet,

der det i retning vest fra Bjørndalsbrua før Flatåsenkrysset finnes en kollektivgate slik som på figuren.



Figur 3.7: Eksempel på kollektivgate fra håndbok V123 (Statens vegvesen, 2014a).

For kryssområder med kollektivfelt på en eller flere armer, så kan kollektivtrafikken prioriteres ved hjelp av lysregulering. Det finnes to hovedprinsipper for prioritering i signalregulerte kryss; aktiv og passiv. Aktiv signalprioritering prioriterer kollektivtrafikken ved behov. Dette betyr at det må finnes et system for å registrere kollektivkjøretøyene som kan gi kollektivtrafikken prioritering ved behov. Dette kan gjennomføres ved hjelp av f.eks. detektor-sløyfer i kjørebanelen eller ved virtuelle sløyfer som registrerer bussens posisjon. Passiv signalprioritering benyttes i tidsstyrte anlegg og det er ingen detektering av kollektivtrafikken. Det gis da vanligvis mer grøntid i kollektivretningene og en kortere omløpstid for å redusere ventetiden. Ved samkjørte signalanlegg bør grøntiden tilpasses kollektivtrafikken for økt prioritering (Statens vegvesen, 2014a).

Kollektivtrafikk kan i tillegg prioriteres på andre måter enn ved signalregulering. I rundkjøringer så kan kollektivtrafikk prioriteres ved egne filterfelt lagt utenfor sirkulasjonsområdet. Dersom dette ikke er mulig kan det etableres kollektivfelt helt frem til og rett etter rundkjøringen. Dette vil bidra til å redusere reisetiden, og bedre trafikkavviklingen for kollektivtrafikken. I andre typer kryss kan kollektivtrafikken få unntak fra svingebevegelser som resten av trafikken må følge. Dette kombineres gjerne ved innføring av kollektivgater eller kollektivfelt (Statens vegvesen, 2014a).

3.4 Øvrige strekningstiltak

3.4.1 Reversible felt

Reversible kjørefelt kan benyttes for å styre trafikken, og for å øke kapasiteten på veger med skjev retningsfordeling. Tiltaket egner seg på veger med kapasitetsproblemer der begrenset areal og økonomi hindrer utbygging av vegen (Høye, 2018). Et eksempel på dette kan være over broer, der det ofte vil være kostbart å utvide. En forutsetning for gjennomføring av tiltaket er at vegen må ha minimum tre kjørefelt (Høye, 2018).

Utformingen av reversible kjørefelt kan variere fra kun vegoppmerking til fysiske skiller. Som regel angis reversible kjørefelt med overhengende lyssignaler, men også trafikkskilt, vegoppmerking og fysiske hinder bør benyttes. I Norge benyttes dobbel varsellinje og kjørefeltsignal 1090 i forbindelse med reversible kjørefelt, som vist i Figur 3.8 (Statens vegvesen, 2021d) (Statens vegvesen, 2022). Det er viktig med tilstrekkelig merking og varsling, slik at kjøreretningen er intuitiv og forståelig for alle trafikanter. I tillegg bør de

utformes med tilstrekkelig kapasitet på overgangsfeltene og sikre lett overgang ved bytte av kjøreretning. Dette for å begrense risikoen for ulykker og faren for å forveksle kjørefeltretninger. Etter Statens vegvesen sin vegnormal N100 så kreves det at vekslingsfelt er på minimum 200 m på strekninger ved fartsgrense 60 km/t eller lavere (Statens vegvesen, 2021b). Dette vil være nødvendig dersom feltbruken endres som følge av utvidelse med reversibelt kjørefelt, og for eksempel biltrafikk og kollektivtrafikk må veksle felt. Dersom det ikke er behov for veksling av felt i samme kjøreretning så vil en flettestrekning på minimum 100 m være tilstrekkelig ved endring av kjøremønster (Statens vegvesen, 2021d).



Figur 3.8: Dobbel varsellinje og signal 1090 for reversible kjørefelt i henhold til N302 og N303.

Det finnes få nyere norske studier på effekten av trafikkavviklingen ved reversible kjørefelt. Tidligere studier, presentert i en rapport fra TØI, viser en forbedring av trafikkavviklingen i retningen der kapasiteten øker (Høye, 2018). I tillegg ser man en reduksjon i reisetid og ingen tendens til økning i total trafikkmengde. Det samme konkluderer en studie av Wu *et al.* (2009). De har sett på effekten av reversible kjørefelt kombinert med avanserte reiseinformasjonssystemer. De konkluderer med at reversible kjørefelt potensielt er en av de mest effektive metodene for å øke rushtidskapasiteten. I tillegg viser de at ved å kombinere avanserte reiseinformasjonssystemer, så er det et stort potensial for at totale kostnader reduseres og køer begrenses (Wu *et al.*, 2009).

Det er få eksempler på bruk av reversible kjørefelt i Norge i dag. Tidligere ble det brukt på RV80 i Bodø, der det frem til 2019 var trefelts veg med midtstilt reversibelt felt på strekningen Hunstadmoen – Bodøelv. Denne løsningen ble i 2019 bygd om til tofelts veg med adskilt sykkelveg og fortau, på grunn av ny plassering av hovedvegen gjennom tunnel (Statens vegvesen, 2019). Det har også vært benyttet reversibelt felt på Kroppanbrua rett nord for Tonstadkrysset i Trondheim, da den kun hadde tre kjørefelt. Her ble en løsning med et midtstilt reversibelt kjørefelt benyttet fra 1979 til 1991, der kjøreretningen ble endret fra morgen til ettermiddag i det reversible feltet. Løsningen var lite trafiksikker med flere ulykker, og ble derfor byttet ut med en ny Kroppanbru i 1991 tilsvarende den eksisterende. Med denne fikk hver kjøreretning tre felt hver (Fremstad og Thingstad, 2008).

3.4.2 Bruk av ITS

De siste årene har intelligente transportsystemer fått mer og mer plass i transportsektoren. Det økende fokuset på trafikkavvikling og kombinerte løsninger for flere transportmetoder har ført til stadig mer ny teknologi og digitalisering av transportsektoren. I Norge har Statens vegvesen bidratt til forskning og utvikling av ny teknologi i vegsektoren, og har et økt fokus på dette. I ITS-strategien for Statens vegvesen for 2018-2023 presiseres deres viktigste roller for vegtransportsektoren som regulator, tilrettelegger, kunnskapsutvikler og systemeier. I tillegg beskrives det hvordan ITS bidrar til å oppnå hovedmålene i nasjonal transportplan, NTP. Disse handler om

fremkommelighet, trafikksikkerhet, klima og miljø (Vegdirektoratet, 2018). ITS kan altså bidra til et tryggere og mer effektivt transportsystem.

Begrepet ITS benyttes gjerne om ny teknologi i transportsektoren som har som mål å gjøre transportsystemene tryggere, mer effektive og mer bærekraftige. Det er varierende grad av hvor store og komplekse systemene må være, da det kan være alt fra sanntidsinformasjon på en bussholdeplass til et system av selvkjørende biler (ITS Norway, u.å.). Ved snakk om samvirkende ITS, også kalt C-ITS, så menes gjerne teknologier som gjør det mulig å veksle data mellom enheter, aktører og infrastruktur i transportsystemet. Ulike ITS-systemer har muligheten til å kommunisere med hverandre, som åpner for muligheten til autonome kjøretøy (SINTEF, u.å.). I et system med selvkjørende kjøretøy så kobles kjøretøyene opp mot hverandre og vegkantutstyr gjennom teknologier som V2V, V2I og V2X. Disse betyr henholdsvis kjøretøy-til-kjøretøy, kjøretøy-til-infrastruktur og kjøretøy-til-alt (Wu, Qiu og Gao, 2020). Ved hjelp av disse teknologiene kan kjøretøyene ikke bare kommunisere med hverandre, men også oppdateres på kjøreforhold, trafikkforhold og trafikksikkerhet.

Noen av fordelene med C-ITS er økt trafikksikkerhet og økt trafikkavvikling. Dette som følge av at den menneskelige faktoren reduseres, og styringen overlates til en nøyaktig utviklet teknologi. Trafikkavviklingen bedres ved at en kan tillate kortere tidsluker og færre feil i trafikken, samt bedre og raskere avgjørelser i trafikken. Den økte transporteffektiviteten vil igjen føre til bedre trafikkflyt, og man kan spare miljø og omgivelser ved å bygge smalere veier (Kröger, 2021).

4 Metode

4.1 Datainnsamling

4.1.1 Generell informasjon

Det ble i oppstartsfasen brukt tid på å gjøre seg kjent med strekningen, samt å hente inn nyttig informasjon om området. Mye av denne informasjonen ble hentet inn i forbindelse med prosjektoppgaven, og ga et godt grunnlag for arbeidet med masteroppgaven. Blant denne dataen var det en rekke parametere fra *vegkart.no*, som f.eks. ÅDT på strekningen, fartsgrenser, trafikkulykker osv. Trøndelag Fylkeskommune, TRFK, bisto med nyttig informasjon knyttet til sitt pågående prosjekt om Bjørndalsbrua. Dette var blant annet diverse trafikkrapporter med beregninger av kryssene knyttet til på- og avkjøringsrampene ved E6, og arbeidet med omlegging av bussruter og metrobuss. Annen nyttig data var reisetidsdata fra AtB som inneholdt gjennomsnittlig kjøretid for linje 2 og linje 40 fra midten av 2019 til slutten av 2021. TRFK var behjelpelige i å skaffe signalplaner for alle kryssene, samt detektor- og sensorplaner. I tillegg var det mulig å hente ut trafikk tall fra detektorene i signalanleggene, noe som ble gjort for å sammenligne de med registrerte trafikk tall fra videoopptakene.

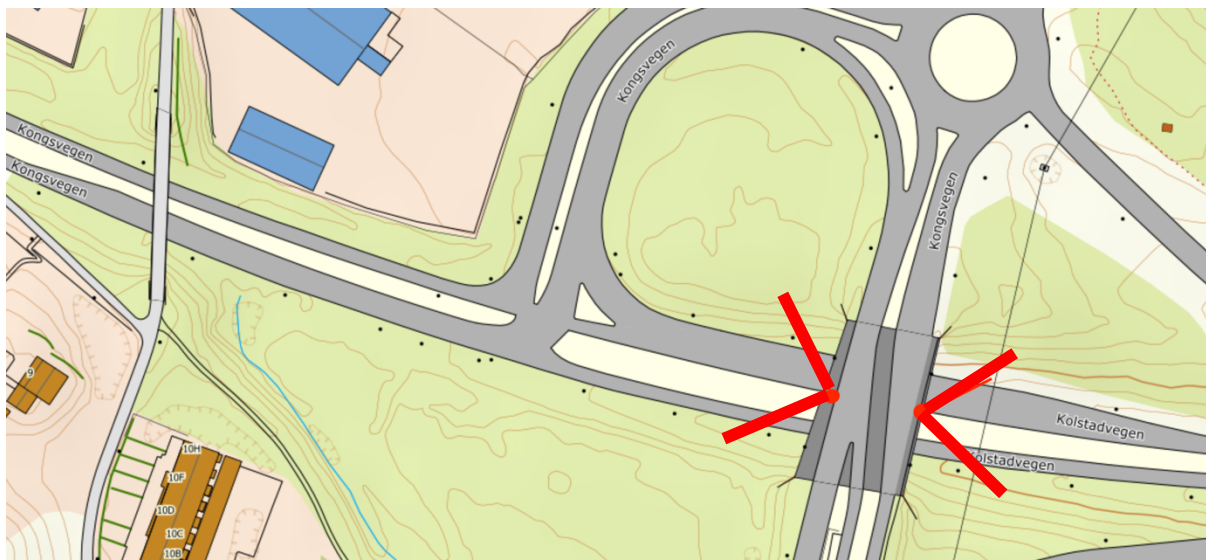
For å få et enda bedre innblikk i hvordan trafikkavviklingen på området faktisk var, så ble det gjennomført to befaringer som nevnt i prosjektoppgaven. I tillegg ble det gjennomført ytterligere to befaringer i forbindelse med planleggingen av trafikkregistreringene. Disse to ble gjennomført i februar 2022. Bilde av Flatåsenkrysset er vist i Figur 4.1 under.



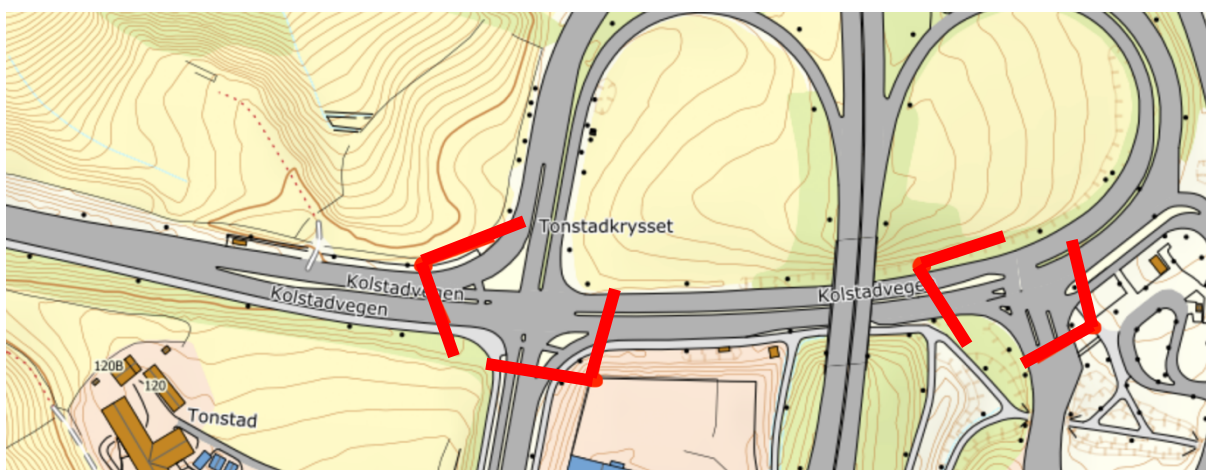
Figur 4.1: Bilde av Flatåsenkrysset tatt på befaring 04.02.22.

4.1.2 Trafikkregistreringer

Befaringene ga utgangspunktet for valg av områder å hente inn data fra, og plasseringen av kameraene. Trafikkregistreringene ble gjennomført ved hjelp av videokamera, som ble lånt av Institutt for bygg- og miljøteknikk, IBM, ved NTNU. Det ble i forkant av selve registreringsdagen gjennomført en pilotstudie, der kameraene ble plassert ut og testet. Dette ga økt trygghet og effektivitet på selve registreringsdagen, samt at det sikret gode videobilder av de ønskede kryssene. Det ble i prosjektoppgaven presentert utsnitt over planlagt plassering av kameraene, og disse ble justert noe etter pilotstudien. Figur 4.2 og Figur 4.3 viser de faktiske plasseringene av kameraene som ble benyttet til selve registreringene. Et av kameraene som ble plassert ut ved Flatåsenkrysset filmet strekningen vestover mot Bjørndalsbrua med på- og avkjøringsrampene fra Saupstad- og Flatåsenområdene. Dette ble gjort for å få en oversikt over trafikkbildet i retning de andre kryssene, og for å få et bedre bilde på eventuelle trafikkavviklingsproblemer og kødannelser ved rampene.



Figur 4.2: Kameraplassering under trafikkregistreringer ved Flatåsenkrysset vist i rødt.



Figur 4.3: Kameraplassering under trafikkregistreringer ved Tonstadkrysset øst og vest vist i rødt.

Tidspunkt for gjennomføring av videoopptak er vist i Tabell 4.1. I og med at målet med oppgaven var å se på effekten av ulike tiltak for å forbedre trafikkavviklingen i området, så ble de tidspunktene med høyest trafikkmengde valgt som utgangspunkt. Det var viktig å fa med både morgen- og ettermiddagsrush, fordi disse gjerne kan variere i trafikkmengder og retninger trafikken går i. Gjennomføringen av videoopptakene ble gjort med en medstudent, som også hadde behov for trafikkdata i området. Hun tok seg av oppsett av kameraene i Flatåsenkrysset både morgen og kveld. Dette viste seg å være gunstig for begge både på selve registreringsdagen, men også ved behandlingen av data i ettertid.

Tabell 4.1: Tidspunkt for gjennomførte videoopptak til trafikkteLLinger.

Ukedag	Dato	Tidspunkt
Torsdag	03.03.22	07:00 – 08:30
Torsdag	03.03.22	15:00 – 17:00

Totalt seks GoPro kamera i ulike versjoner ble brukt til opptakene. Under pilotstudien ble det benyttet et GoPro HERO7 og et helt nytt GoPro HERO9. Sistnevnte kamera var aldri brukt før, som krevde noen forberedelser for å klargjøre kameraet. I tillegg ble det brukt en del tid på å bli kjent med begge kameraene og deres funksjoner. Appen *GoPro Quik* ble brukt for å koble den nyeste kameraversjonen, HERO9, sammen med telefonen. Denne appen kunne brukes for å kontrollere kameraet, og til nedlastning av media direkte fra kamera til telefon. Denne funksjonen ble ikke brukt på selve registreringsdagen. Videoopptakene ble overført til egen datamaskin på dagtid mellom registreringstidspunktene, og igjen etter siste registrering. Kameraene ble også ladet opp mellom filmingene, og det ble sjekket at ekstra powerbanker hadde nok batteritid igjen. Powerbank ble kun benyttet til ett av kameraene under registreringene om morgenen, noe som medførte at to av kameraene døde etter omtrent en time med filming. Det ble derfor koblet opp powerbanker til tre av kameraene under registreringen på ettermiddagen, og det ble sikret at kameraene hadde strøm underveis i registreringen. Det nyeste GoPro-kameraet, versjon 9, hadde tilstrekkelig med batteritid til å filme i over 2 timer under ettermiddagsrushet, og ble derfor ikke koblet opp med powerbank.

Videoopptakene ble utsatt etter opprinnelig plan for å vente på gjenåpning av landet og lettelser i koronarestriksjonene. Dette for å få så normale trafikk tall som mulig som ikke avviker for mye fra tidligere år. I tillegg var vinterferie i uke 8 et ugunstig tidspunkt å gjennomføre tellinger på, så derfor ble videoopptakene gjennomført i uke 9.

4.1.3 Kartgrunnlag

Det ble hentet ut kartgrunnlag til bruk i modelleringsprogrammene Novapoint og AutoCAD som besto av FKB-data, ortofoto og høydedata. FKB står for «Felles kartdatabase», og er en fellesbetegnelse for samlinger av datasett over de mest detaljerte kartdataene i Norge (Granum, 2020). Disse datasettene besto av filer i SOSI-format, som ble brukt til å lage kartgrunnlag med blant annet arealgrenser, veglinjer og eiendomsgrenser. Dette ble opprettet i programmet Novapoint, før det ble lastet opp som bakgrunnskart i AutoCAD. Ortofoto ble også lagt over bakgrunnskartet for å vise hvordan de alternative skissene var i forhold til dagens løsning. All innhentet data til bruk av kartgrunnlaget ble tilsendt av TRFK.

4.2 Databehandling

Mye av tiden etter registreringene ble brukt på databehandling og analyse av videoopptakene. Dette gjelder både egne data i form av videoopptak og registreringer, og også tilsendt data. Både TRFK og Rambøll har bidratt med nyttig informasjon og data, som har blitt bearbeidet og gjennomgått for å evaluere hva som var nyttig og ikke for oppgaven.

4.2.1 Videoanalyse

De innhentede videoopptakene ble gjennomgått, og det ble registrert antall kjøretøy fra alle kjøreretninger i hvert kryss. Dette ble gjort manuelt. Denne metoden ble valgt for å få en ytterligere oversikt over og forståelse av hva de faktiske problemene på strekningen kom av, og hvor de oppsto. Det ga også mulighet for å notere ned spesielle hendelser, samt annen nyttig informasjon ved ulike tidspunkt. Dette var en tidkrevende del av oppgaven, men det ble vurdert som nyttig på grunn av god innsikt på strekningen. I tillegg ville alternativet med å finne en automatisk registreringsmetode ha krevd forberedelser og kunnskap, som også ville tatt tid og krevd mer tid på etterbehandling av resultatene. Denne delen av arbeidet tok noe mer tid enn planlagt, da hvert videoopptak

ble gjennomgått opptil tre ganger for å kunne registrere alle svingebevegelesene i alle kryssene.

Etter at alle trafikkmengdene for hver retning var registrert ble dette lagt inn i vedlagte Excel-skjema for å kunne finne makstimen med trafikk. Registreringene var delt inn i trafikktall per 5 minutters intervall. Dette intervallet ble valgt for å kunne gi større grad av valgmuligheter ved senere beregninger og mer frihet ved behandling av dataene. Det ble differensiert på vanlig personbiler, tunge kjøretøy og busser. Det ble kun registrert kjøretøy, og ikke gående eller syklende. Dette ble til dels bestemt på forhånd på grunn av oppgavens rammer og begrensninger, samtidig som det raskt ble klart under gjennomgangen av videoopptakene at det ikke var store mengder gående og syklende i området. Det var i tillegg kun Tonstadkrysset vest som hadde fotgjengeroverganger, og kun over to av armene til krysset. De fleste myke trafikantene benyttet disse overgangene for å komme seg til og fra bussholdeplassen Tonstadkrysset 4. For andre myke trafikanter finnes det gode, adskilte gang- og sykkelveger i området som ikke ligger ved hovedvegene, og som er mer brukt. Dette var nok hovedgrunnen til at antallet gående og syklende var nokså lavt. Antallet gående og syklende som ble benyttet til SIDRA-beregningene ble derfor et omtrentlig estimat.

4.2.2 Beregning av reisetid

Videoopptakene ble i tillegg benyttet for å se på reisetiden på strekningen på noen ulike valgte tidspunkt. Det ble da valgt ut kjøretøy som var lett gjenkjennelige, som f.eks. større lastebiler eller kjøretøy med spesielle farger. Se Figur 4.4 for eksempel på valgt kjøretøy til beregning av reisetid.



Figur 4.4: Eksempel på kjøretøy brukt til beregning av reisetid.

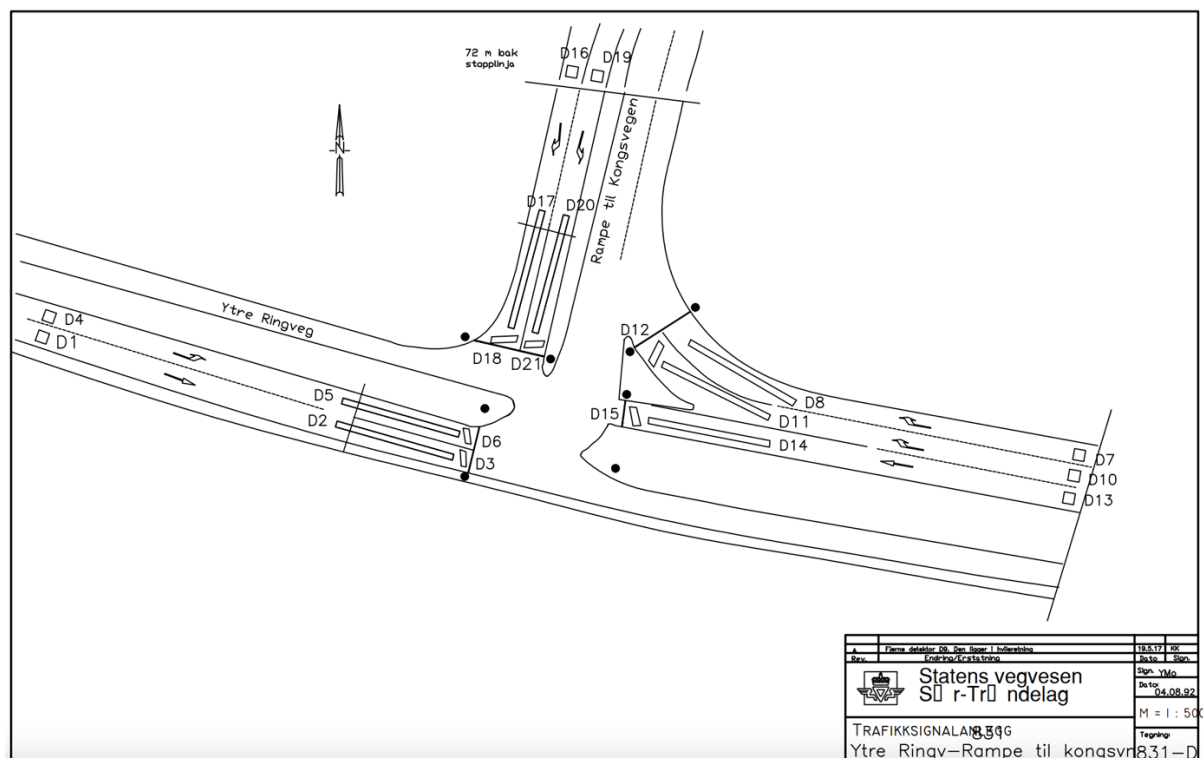
Deretter ble tidspunkt der kjøretøyene passerte første lyskryss notert, og det ble registrert når og hvor de dukket opp i neste lyskryss. Reisetiden ble funnet ved å finne differansen mellom tidspunktet de først ble registrert på og siste registrering. Under periodene med mest trafikk ble kjøretøyene registrert på det tidspunktet de nådde bakenden av køen. Dette ble gjort for å finne den totale reisetiden med forsinkelse før man når frem til lyskrysset. Dette var mest aktuelt ved ettermiddagsrush, da trafikken generelt var høyere her.

Det ble i tillegg registrert reisetid på strekningen ved befaringen i kryssene. Da ble et GoPro-kamera satt opp inne i dashbordet på bilen, og det ble filmet langs hele strekningen. Tiden kjøretøyet brukte på strekningen ble så registrert direkte fra videoopptaket. Dette ble gjennomført en fredag formiddag. Trafikkmengdene på dette tidspunktet var ikke sammenlignbart med forholdene under registreringene, og reisetiden ble ikke brukt videre.

4.2.3 Øvrige trafikkdata

I tillegg til å hente inn trafikkdata fra registreringene, så ble også data fra tellepunkt rett vest for Bjørndalsbrua og detektordata fra lyskryssene ved Flatåsen og ved Tonstad omstigningspunkt hentet inn. Disse ble brukt som en ekstra kvalitetssjekk på at de innhentede dataene ikke skilte seg nevneverdig ut, og som en kontroll på at de lå omtrent på normalnivå på valgte registreringsdag.

Tellepunktet, med navn Bjørndalsbrua vest, er et kontinuerlig trafikkregistreringspunkt som kan sees på trafikkdata.no. Det var i bruk igjen fra og med den 28. januar 2022, etter en periode med bygging og omlegging av kollektivfelt vest for punktet høsten 2021. Sammenligner man data fra dette punktet den 03.03.2022 med andre ukedager og senere uker, så ligger trafikknivået nokså jevnt for denne dagen i forhold til andre ukedager. Det gir også mulighet til å se på både timetrafikk, døgnetrafikk, månedsdøgnetrafikk, sesongdøgnetrafikk og årsdøgnetrafikk. Her var det i midlertidig varierende grader av nøyaktighet, da tellepunktet har vært ute av drift over en lengre periode. Det er også mulig å skille på hvilke felt man vil se på trafikkmengden for, noe som var en nyttig funksjon ved sammenligning av de registrerte dataene.



Figur 4.5: Detektorplan over Flatåsenkrysset.

sammenligne med de registrerte trafikktallene, for å se på eventuelle avvik og store forskjeller fra egne data. Onsdag den 9. mars ble valgt for å se på en annen ukedag og uke, slik at det ga et bedre bilde på om de registrerte dataene var representative for strekningen. Data fra detektorer kan imidlertid avvike noe fra de faktiske trafikktallene, fordi de gjerne er gamle og dårlig vedlikeholdt. Andre potensielle feilkilder kan være kjøretøy som registreres feil dersom de skifter fil eller ligger litt skjevt i vegbanen, eller at tunge kjøretøy registreres flere ganger.

4.3 Modellering i SIDRA

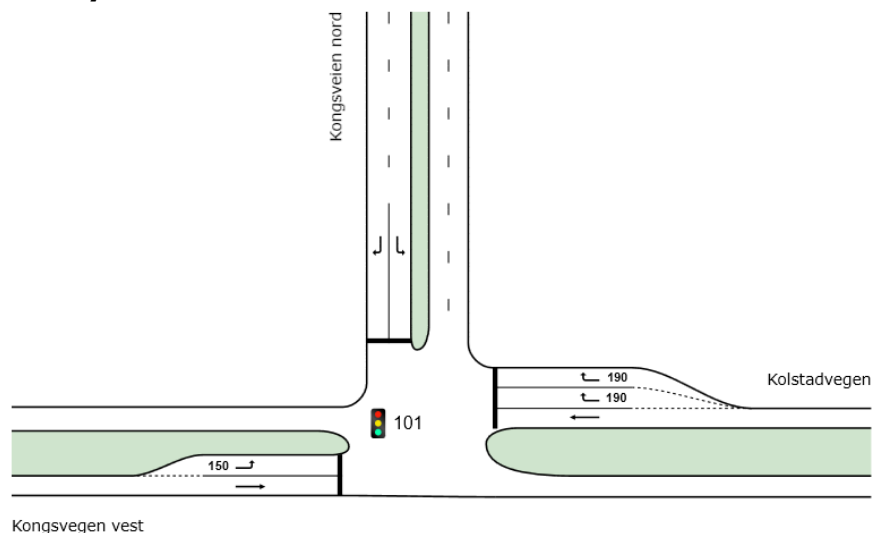
For å kunne gjennomføre enkle modelleringer og beregninger ble det utviklet flere modeller i SIDRA INTERSECTION. Se tidligere teorikapittel 3.2 for mer informasjon om hvordan programmet fungerer. Først ble dagens situasjon modellert og optimalisert, og deretter ble nye utforminger og tiltak utviklet og modellert.

4.3.1 Utforming av dagens situasjon

Det aktuelle studieområdet består som nevnt av tre signalregulerte kryss, og alle ble modellert hver for seg. De ble i tillegg modellert rettstrekker for å kunne koble sammen kryssene i en nettverksmodell, slik at modellen ble så lik den reelle strekningen som mulig. For hvert lyskryss og rettstrekning ble det lagt inn lengder på armer og svingefelt. Disse ble målt i *kart.finn.no*, og ga lengder mellom strekningene, bredder på kjørefelt og lengder på svingefelt. Annen nødvendig informasjon, som f.eks. fartsgrenser, feltbruk og kjøretøyklasser ble funnet fra *vegkart.no* og via TRFK.

I alle beregningene ble de registrerte trafikktallene for makstimene under morgen- og ettermiddagsrush benyttet. Disse ble også brukt videre under de alternative utformingene og tilpasningene.

4.3.1.1 Flatåsenkrysset

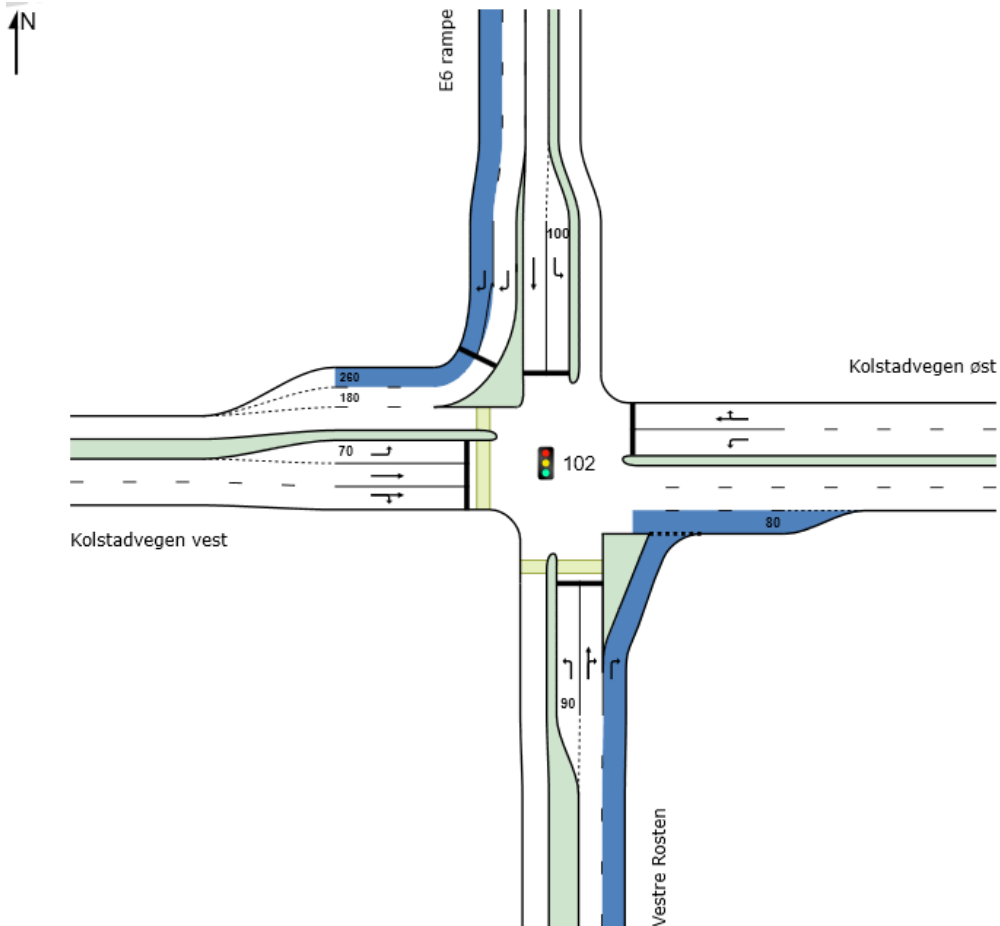


Figur 4.8: Modell over Flatåsenkrysset laget i SIDRA

Det ble jobbet med å lage en modell som samsvarte best mulig med virkeligheten for krysset på Flatåsen. Denne er vist i Figur 4.8 over. Det ble lagt inn to høyre svingefelt fra øst mot nord, samt et venstre svingefelt fra vest. Fartsgrenser for hver av armene ble lagt inn.

Trafikktallene som ble registrert under makstimen ble benyttet til beregningene, samt andelen tunge kjøretøy som var registrert. I dette krysset ble busser registrert som tunge kjøretøy, fordi alt av rutebusstrafikk går utenom dette krysset. Det var derfor et begrenset antall busser som kjørte gjennom krysset, og de ble telt med i andelen tunge kjøretøy.

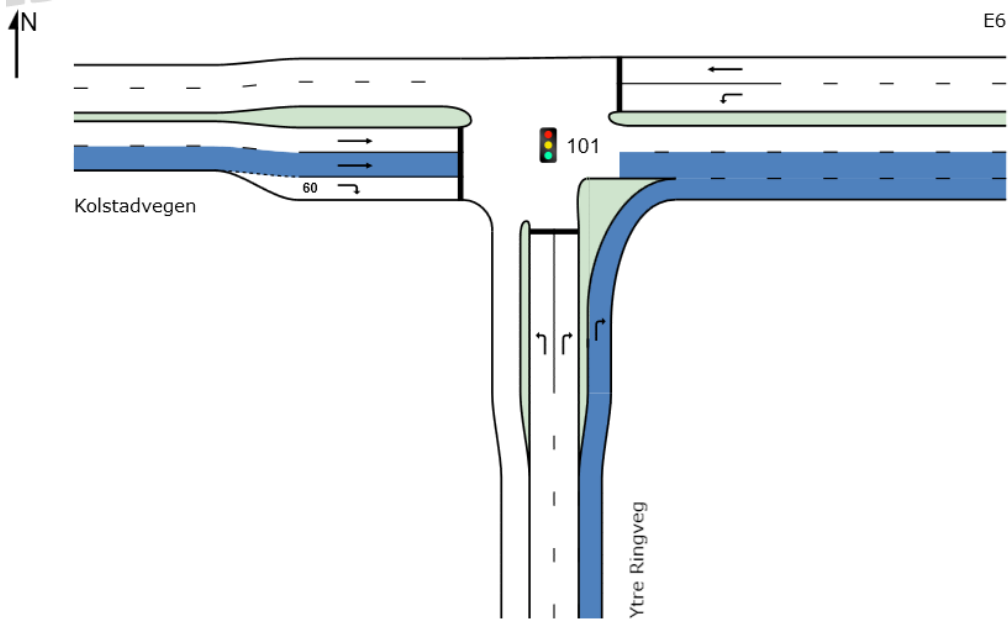
4.3.1.2 Tonstadkrysset vest



Figur 4.9: Modell over krysset Tonstad vest laget i SIDRA.

Utformingen for Tonstadkrysset vest er vist i Figur 4.9. Fra Vestre Rosten, sørlig retning, ble det laget et eget høyre svingefelt som ikke var lysregulert, og dette ble definert som et eget kjørefelt for busser. Fra nord ble det modellert to høyre svingefelt, der det ene ble definert som kjørefelt for busser. Begge kollektivfeltene ble markert i blått i figuren.

4.3.1.3 Tonstadkrysset øst




Figur 4.10: Modell over lyskrysset ved Tonstad øst laget i SIDRA.

Figur 4.10 viser utformingen til modellen for dagens situasjon ved lyskrysset ved Tonstad øst. Som for krysset i Figur 4.9 så er det også her et eget kollektivfelt fra sør mot øst. Dette ble modellert til kun å gjelde for busser og er gjort synlig med blå farge i figuren. Det samme ble midtre felt fra Kolstadvegen mot E6-rampen, fordi dette er et kollektivfelt.

4.3.2 Faseplaner og signalkontroll

Det ble brukt en del tid på tolkning og tilpasning av faseplanene fra TRFK. Disse ble brukt som utgangspunkt for å bestemme omløpstiden og fasetidene i SIDRA, men krevde noen justeringer. Faseplanene tilsendt fra TRFK viser at kryssene er trafikkstyrte. Utsnitt av faseplan og signalgrupper med maks- og minimumstider for Flatåsenkrysset er vist i Figur 4.11 og Figur 4.12 under. Faseplanene ble brukt som utgangspunkt ved modelleringen av de signalregulerte kryssene. Makstidene for signalprogram P1 ble benyttet for modellering av morgenrush, og signalprogram P3 ble benyttet for ettermiddagsrush.

		Kongsvegen X Nedre Flatåsveg			1601.831
Hovedfaser					
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	

Figur 4.11: Faseplan og signalgrupper for Flatåsenkrysset.



Kongsvegen X Nedre Flatåsveg

1601.831

Signal				Siste revisjon: 16.11.2017												
Gruppe	Fase	Min.tid	Gultid	Se merknad					Makstid							
				P1	P2	P3	P4	P15	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15
G 1	1,2	4	4						20	20	20	20				
G 2	1	4	4						20	20	20	20				
G 3	1	4	4						40	40	40	40				
G 4	2	4	4						20	20	20	20				
G 5	2,3	4	3						20	20	20	20				
G 6	3	4	3						40	40	40	40				

Figur 4.12: Maksimums- og minimumstider for signalgruppene i Flatåsenkrysset.

Ved lav trafikkmengde vil en trafikkstyrt faseplan bety at fasetidene ikke går til makstid, men at de tilpasses etter behov. Under trafikktoppene på strekningen var det i perioder mindre trafikk for noen av fasene, og grønttiden ble derfor justert etter behov. Det ble derfor modellert noen alternativ med en kombinasjon mellom makstid for fasene med høyest trafikkvolum og en redusert grønttid for andre faser.

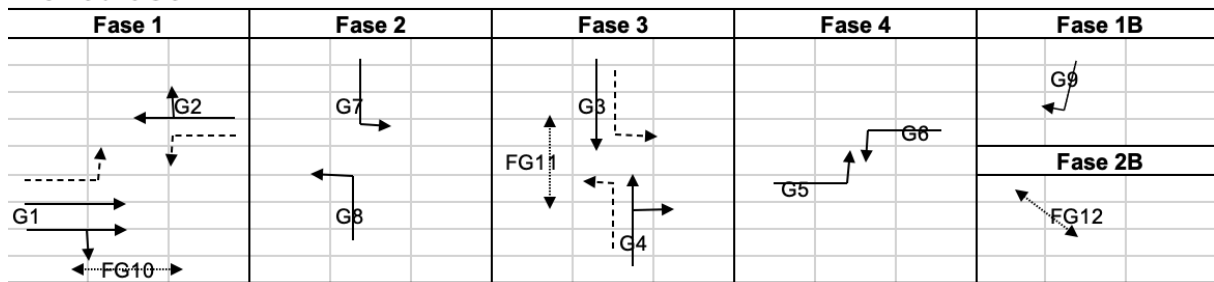
Under rushperiodene kan det imidlertid tenkes at fasene går til makstid, i og med at kryssene stort sett er overbelastet. Problemet med å modellere lyskryssene i SIDRA etter makstidene oppstår imidlertid når trafikken er så stor at man får tilbakeblokkeringer i de nærliggende lyskryssene. Problemet ble tydelig ved modelleringene av krysset ved Tonstad øst og Tonstad vest. Under ettermiddagsrushet ble trafikkmengdene mot vest så store at det oppsto kø og tilbakeblokkeringer fra flettingen til ett felt over Bjørndalsbrua i vestgående retning. Trafikken ble derfor hindret bakover til krysset ved Tonstad øst, som førte til en stillestående kø for trafikken i vestgående retning på enkelte tidspunkt. En slik overbelastning av kapasiteten førte til at grønttiden ikke ble utnyttet for flere faser, og signallogikken brøt sammen.

Ved modelleringen av de individuelle kryssene ble det forsøkt å få frem denne effekten. Det ble blant annet lagt inn økt rødtid for begge kryssene ved Tonstad i de fasene som ble hindret av kø. Dette for å redusere kapasiteten ut av krysset, slik at et mer reelt bilde på trafikkavviklingen ble modellert. Mer om de ulike alternativene for faseplan blir beskrevet senere i dette kapitlet.

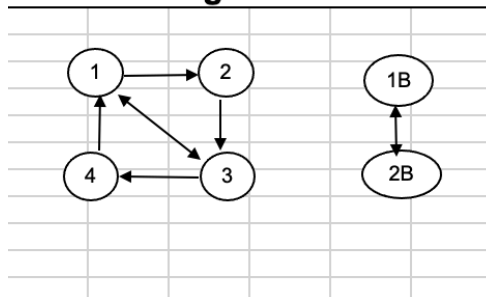
En annen utfordring med faseplanene til lyskryssene ved Tonstad er at de er delvis styrt av kollektivprioritering. Det finnes derfor egne makstider dersom kollektivtrafikken prioriteres, som vist i signalplan for Tonstad vest i Figur 4.13 og Figur 4.14. Dette ble det ikke tatt hensyn til under modelleringen av fase- og omløpstider i SIDRA.



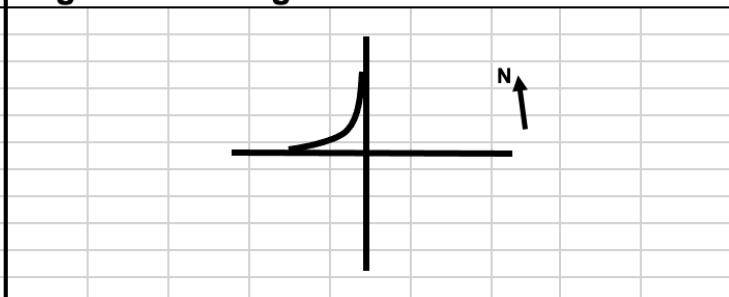
Hovedfaser



Fasevekslinger



Vegnavn / retning



Figur 4.13: Faseplan og signalgrupper for Tonstad vest.



Signaler for kjørende																	Siste revisjon:		10.02.2020			
Gruppe	Fase	Min.tid	Gultid	Garantert tid						Makstid						Maks prio						
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P15	P1	P2	P3	P4	P5	P6
G1	1	4	4	15	15	10	10	15	15	45	45	30	30	45	45	30	85	85	70	70	85	85
G2	1	4	4	15	15	10	10	15	15	45	45	30	30	45	45	30	85	85	70	70	85	85
G3	3	4	4	8	8	15	15	8	8	25	25	40	40	25	25	30						
G4	3	4	3	8	8	15	15	8	8	25	25	40	40	25	25	30						
G5	4	4	4	8	8	4	4	8	8	25	25	15	15	25	25	15						
G6	4	4	3	4	4	4	4	4	4	15	15	15	15	15	15	15						
G7	2	4	4	4	4	8	8	4	4	15	15	25	25	15	15	15	55	55	65	65	55	55
G8	2	4	3	4	4	4	4	4	4	15	15	15	15	15	15	15	55	55	55	55	55	55
G9	1B	4	4	15	15	10	10	15	15	45	45	30	30	45	45	30	85	85	70	70	85	85

Signaler for gående

Gruppe	Fase	Trykknapp		Privilegietid	Utt. Tid	Gr.blink	Min. tid	Førgrenn	Makstid													
		Enkel	Dobbel						P1	P2	P3	P4	P5	P6	P15							
FG10	1	X		3		8	8	3	10	10	10	10	10	10	8							
FG11	3	X				8	8		15	15	15	15	15	15	15							
FG12	2B	X				4	8		8	8	8	8	8	8	8							

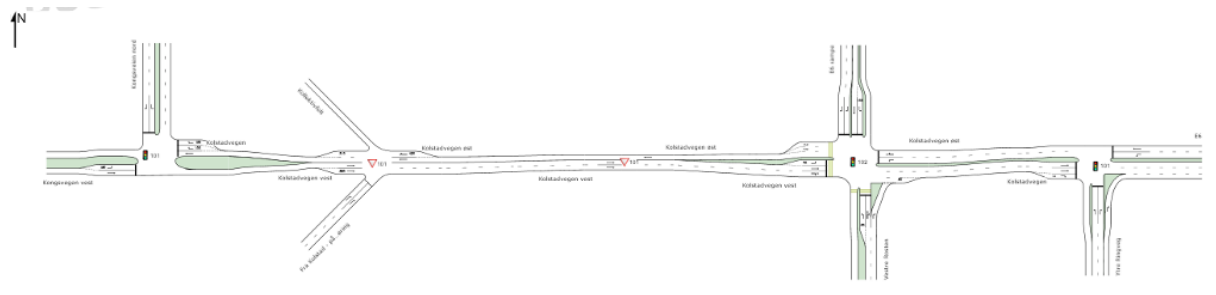
Figur 4.14: Maksimums- og minimumstider for signalgruppene i Tonstad vest.

Lyskrysset Tonstad vest har i tillegg tre gangfelt med lysregulering. Disse ble lagt inn i faseplanen tilsvarende som i original faseplan, med tider som biltrafikken. Det ble gjort noen forenklinger for å få alle fasene inn i samme omløpstid, og ikke to uavhengige slik som dagens kryss egentlig har. I realiteten har kjørende fra E6-rampen i nord stort sett

grønt, fordi denne lysreguleringen kun skifter til rødt når fotgjengere trykker på knappen for grønt lys. Modellen tok ikke hensyn til dette, og ga derfor en økt rødtid for trafikken fra nord mot vest.

4.3.3 Nettverksmodell

For å kunne tilpasse modellene ytterligere til dagens situasjon, ble det dannet en nettverksmodell. Her ble alle de individuelle kryssene satt sammen til en modell, slik at spesielt flaskehalsområdet ved Bjørndalsbrua skulle bli bedre modellert. Som nevnt tidligere ble det laget egne modeller for rettstrekket fra og med Bjørndalsbrua og bort til Flatåsenkrysset. Disse var nødvendige for å få riktige lengder mellom kryssene, og for å få til overgangene mellom økning og redusering av felt og bruken av kollektivfelt. I tillegg er det en påkjøring fra Saupstad og inn på Kolstadvegen i retning øst mellom Bjørndalsbrua og Flatåsenkrysset, og en avkjøring fra Kolstadvegen i vestgående retning for kollektivtrafikk. Disse ble tatt med i modellen for å kunne justere for forskjeller i trafikk mellom kryssene.



Figur 4.15: Nettverksmodell med dagens utforminger laget i SIDRA.

Det ble gjort noen tilpasninger på trafikkvolum for å unngå store avvik mellom de separate delene på strekningen. Dette ble tilpasset ved hjelp av funksjonen «Midblock Flows» i SIDRA.

4.4 Utvikling og implementering av alternative utforminger

Proessen med å finne alternative utforminger for strekningen ble startet allerede høsten 2021 under arbeidet med prosjektoppgaven. Det ble gjennomført flere litteraturstudier for å finne relevant litteratur om alternative utforminger, samt innhentet en del eksempler på ulike utforminger. Dette arbeidet ble deretter benyttet videre til å utvikle nye utforminger og løsninger for strekningen, sammen med den innhentede informasjonen om trafikkforholdene på strekningen. Det ble gjennomført modelleringer og beregninger av trafikkforhold i SIDRA INTERSECTION. De nye utformingene ble tegnet i AutoCAD som planskisser. Informasjonen om trafikkforholdene ga følgende problempunkter:

Morgenrush

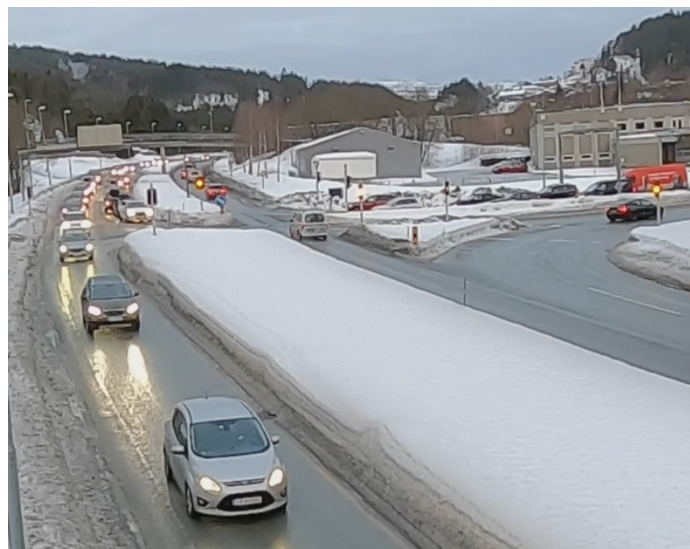
Under morgenrush var det tidvis god trafikkflyt gjennom alle kryssene. Hovedandelen av trafikken kom fra vest mot øst. I østgående retning har Bjørndalsbrua to felt, som førte til at trafikken ble fordelt bakover i de to feltene. Høyre felt over Bjørndalsbrua er forbeholdt høyresvingende trafikk i både det vestre og det østre krysset på Tonstad. Trafikkfordelingen viste seg likevel å være nokså lik i begge feltene, med omtrent halvparten som svingte til høyre i krysset ved Tonstad vest. Det var ikke store problemer med trafikkavviklingen, selv om ikke alle kjøretøyene i køen kom seg gjennom krysset i hver fase.

Trafikkflyten gjennom Flatåsenkrysset gikk også stort sett bra. Ved enkelte perioder strakk køen seg langt tilbake mot Granåsen, men løste seg opp etter lyskrysset. Rett øst for krysset finnes både påkjøring for trafikk fra Saupstad, og avkjøring for kollektivtrafikk til Flatåsen. Her var det ikke store problemer ved rampen fra Saupstad og inn på Kolstadvegen, kun fartsreduksjon ved fletting.

Etter innhentet informasjon om trafikkforholdene ble det ikke lagt spesielt stor vekt på utvikling av tiltak for morgenrush, fordi de største problemene oppsto under ettermiddagsrush. Det ble antatt at eventuelle forbedringer for ettermiddagsrush også ville gagne problemene under morgenrush.



Figur 4.16: Trafikkforhold under morgenrush rundt kl. 07:30 fra Flatåsenkrysset mot Bjørndalsbrua.



Figur 4.17: Trafikkforhold under morgenrush rundt kl. 07:45 mot Flatåsenkrysset og Granåsen.

Ettermiddagsrush

Under ettermiddagsrushet ble det oppdaget større problemer ved trafikkavviklingen. Den største delen av trafikkmengden bevegde seg fra øst til vest, noe som skapte problemer over Bjørndalsbrua. Her førte reduseringen til ett felt over brua til at trafikken ble stående bakover, som skapte problemer helt tilbake til Tonstad øst og rampen fra E6 i begge retninger. Det ble jobbet med å finne løsninger for å bedre flyten over brua og gjennom lyskryssene ved Tonstad øst under ettermiddagsrush.



Figur 4.18: Utsnitt fra videoopptak viser stillestående kø tilbake til Tonstad øst.

På bakgrunn av de observerte problemene ble det delt inn i tre hovedområder; Flatåsenkrysset, Bjørndalsbrua og området med kryssene Tonstad vest og Tonstad øst. Det ble skissert løsninger for hver av disse områdene, med noen tilhørende modelleringer og beregninger. Avslutningsvis ble det diskutert effekten av disse sett opp mot hverandre.

De valgte tiltakene ble som følger:

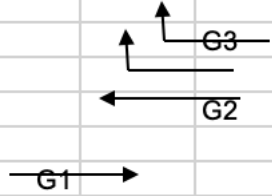
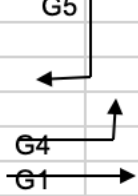

- Endring av faseplan i alle tre lyskryss for bedre trafikkavvikling
- Omgjøring til rundkjøringer i alle lyskryssene
- Ombygging til superrundkjøring på Tonstad
- Reversibelt felt over Bjørndalsbrua
- Utbygging av kollektivfelt tillatt for høyresvingende trafikk i vestgående retning mellom kryssene på Tonstad
- Ekstra felt i vestgående retning gjennom Flatåsenkrysset

4.4.1 Alternativ 0: endring av faseplan

Arbeidet med å modellere dagens situasjon viste seg å gi noen utfordringer knyttet til faseplanene og omløpstider på signalreguleringen. Det ble derfor jobbet en del med å tilpasse og forbedre faseplanene for en bedre trafikkavvikling gjennom rushperiodene, og for å få resultater mer tilpasset de observerte forholdene.

SIDRA har som tidligere nevnt flere funksjoner for bestemmelse av omløpstid og fasetid. Det ble laget forskjellige alternativer med ulike input-data, for å kunne sammenligne resultatene disse ga. "Optimum cycle time" var en av funksjonene som ble tatt i bruk. Her ble det lagt inn en øvre og en nedre grense for omløpstiden. SIDRA optimaliserte så en omløpstid og fasetider innenfor de gitte grenseverdiene. Denne ble brukt for å se om det var mulig å optimalisere dagens faseplan for å få en bedre trafikkavvikling. Det ble også lagt inn en ønsket omløpstid, der SIDRA fordelte fasetidene basert på denne. Valget av omløpstid ble satt til summen av makstidene i de eksisterende faseplanene for kryssene. Slik ble det mulig å optimalisere fasetidene uten å endre dagens maksimale omløpstid. Det ble også gjort antagelser om at grønttidene gikk til makstid for enkelte grupper, men ikke for de mindre trafikkerte. Her ble fasetidene basert på en kombinasjon av observasjonene og skjønn, for å tilpasse etterspørselen i kryssene.

De nye faseplanene for hvert kryss ble som følger:

Fase 1		Fase 2		Fase 3	
					
Alternativ	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Omløpstid	
0.0	40	20	20	80	
0.1	20	20	40	80	
0.2 - morgen	19	16	15	50	
0.2 - ettermiddag	34	22	14	70	
0.3 - morgen	20	16	15	51	
0.3 - ettermiddag	37	23	15	75	
0.4 - morgen	31	25	24	80	
0.4 - ettermiddag	39	25	16	80	

Figur 4.19: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Flatåsenkrysset.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	
Alternativ	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Omløpstid
0.0 - morgen	45	15	25	15	100
0.0 - ettermiddag	30	25	40	15	110
0.1	30	25	40	15	110
0.2	30	9	20	9	68
0.3	21	11	17	11	60
0.4	25	8	25	9	67

Figur 4.20: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Tonstad vest.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
Alternativ	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Omløpstid
0.0	75	20	25	120
0.1	75	20	25	120
0.2	33	15	12	60
0.3	46	20	14	80

Figur 4.21: Ny fordeling av fasetider og omløpstid for Tonstad øst.

4.4.2 Alternativ 1: rundkjøringer

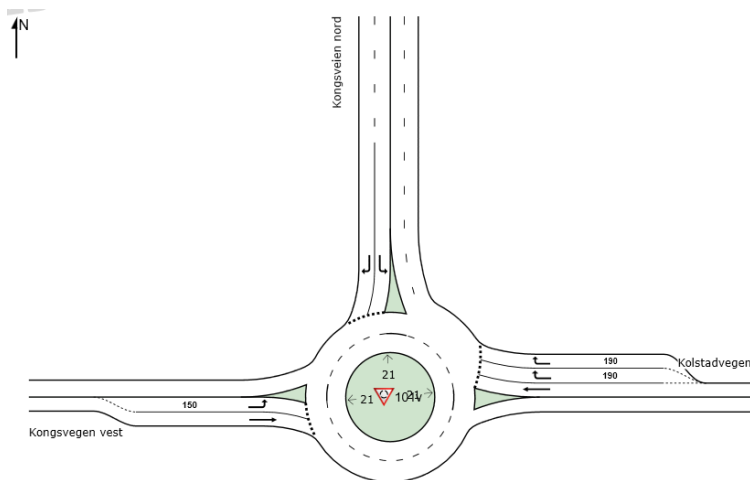
Et av alternativene var å se på effekten av å bygge om dagens tre lysregulerte kryss til rundkjøringer. Utformingen ble bestemt og tilpasset i henhold til standardene og normalene fra Statens vegvesen, deriblant *N100* og *V121*. Tegningene ble laget i AutoCAD, og ment som illustrasjoner for å vise omtrentlig arealbehov og feltbruk. Dagens løsninger med gang- og sykkelveg ble bevart der det var mulig, eller bygget om for å bevare et tilsvarende tilbud.

Skissene ble så modellert i SIDRA, og det ble gjennomført beregninger. Det ble brukt samme input-data som ved modelleringen av dagens situasjon så langt det var mulig, slik at f.eks. trafikkmengde ble holdt lik.

4.4.2.1 Flatåsenkrysset

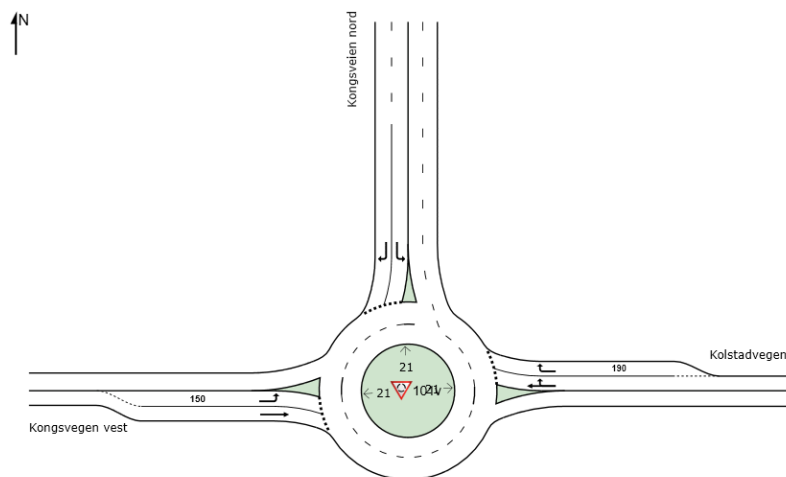
Det ble laget to ulike utforminger for rundkjøring for Flatåsenkrysset. Den første, kalt alternativ 1a - Flatåsenkrysset, vises i Figur 4.22 under. Denne bevarer alle dagens felt

inn og ut av kryssområdet, med 3 felt i sirkulasjonsområdet fra øst til nord. Indre diameter er på 21 meter, mens den ytre er på 45 meter med unntak av der hvor det finnes 3 felt.



Figur 4.22: Utforming av alternativ 1a - Flatåsenkrysset i SIDRA.

Alternativ 1b ble utviklet for å se på et alternativ uten et ekstra høyre svingefelt fra øst. Den ble utformet med to felt i sirkulasjonsområdet, slik vist i Figur 4.23. Denne rundkjøringen hadde en indre diameter på 21 meter og ytre diameter på 45 meter.

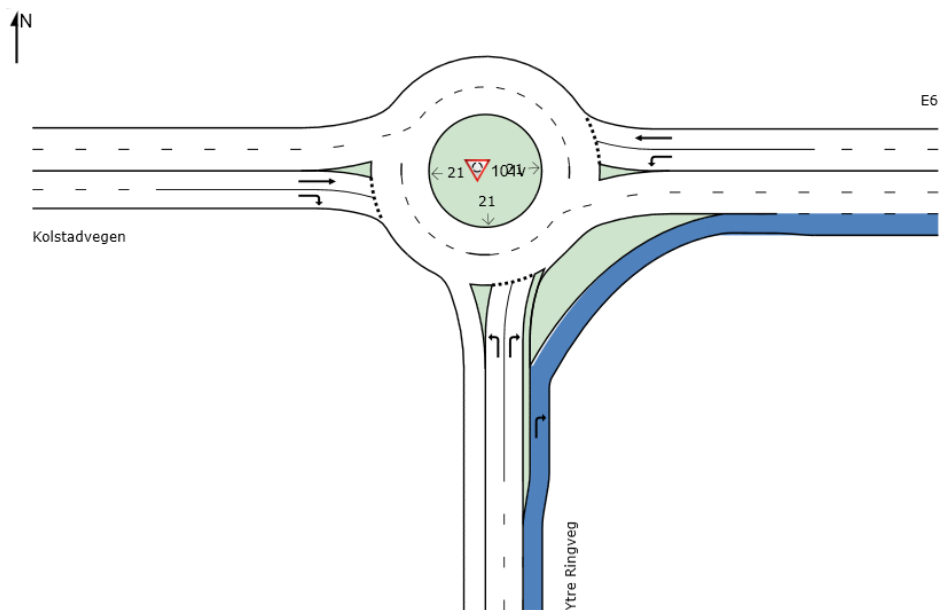


Figur 4.23: Utforming av alternativ 1b - Flatåsenkrysset i SIDRA.

4.4.2.2 Tonstad vest og øst

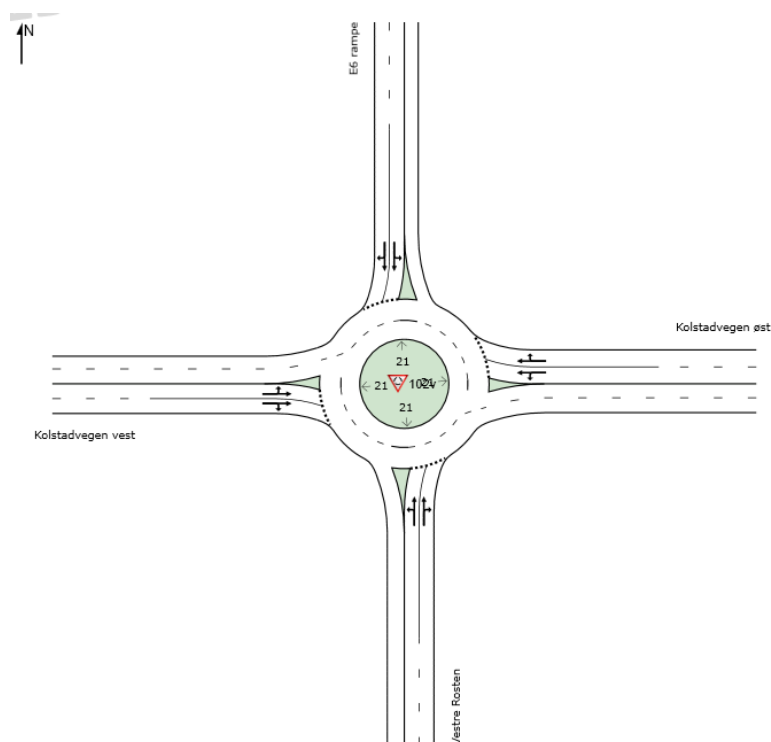
Det ble laget utforminger til separate rundkjøringer for både Tonstadkrysset vest og øst, samt et alternativ med en stor «superrundkjøring» for begge kryssene.

Alternativ 1a for krysset Tonstad øst besto av to felt gjennom hele rundkjøringen, i tillegg til et filterfelt fra Ytre Ringveg til metroholdeplass mot E6 rampen i øst. Utformingen vises i Figur 4.24, og har dimensjoner på 21 meter for indre diameter og 45 meter for ytre diameter.



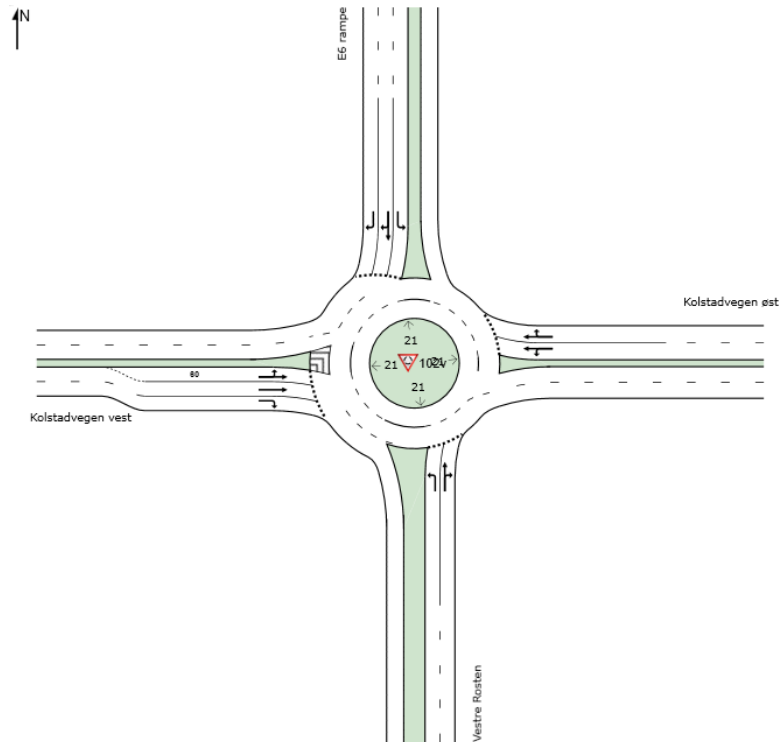
Figur 4.24: Utforming av alternativ 1a - Tonstad øst i SIDRA.

For krysset ved Tonstad vest ble det laget to alternative utforminger for rundkjøring. Den første, alternativ 1a – Tonstad vest, krevde mindre areal, og besto av to felt gjennom hele. Denne er vist i Figur 4.25. Det bør nevnes at feltbruken ikke er optimal fra sør og nord. I og med at mesteparten av trafikkstrømmen fra nord skal mot vest, så bør det vurderes og kun tillate høyresvingende trafikk i dette feltet, slik at trafikk rett frem og til venstre må benytte det venstre feltet mot krysset fra nord. Motsatt er andelen høyresvingende trafikk fra sør nokså høy, mens andelen rett frem er lav. Det bør her heller vurderes en løsning der høyre felt fra sør kun er tillatt for trafikk mot høyre, og at venstre felt gjelder for trafikk rett frem og til venstre.



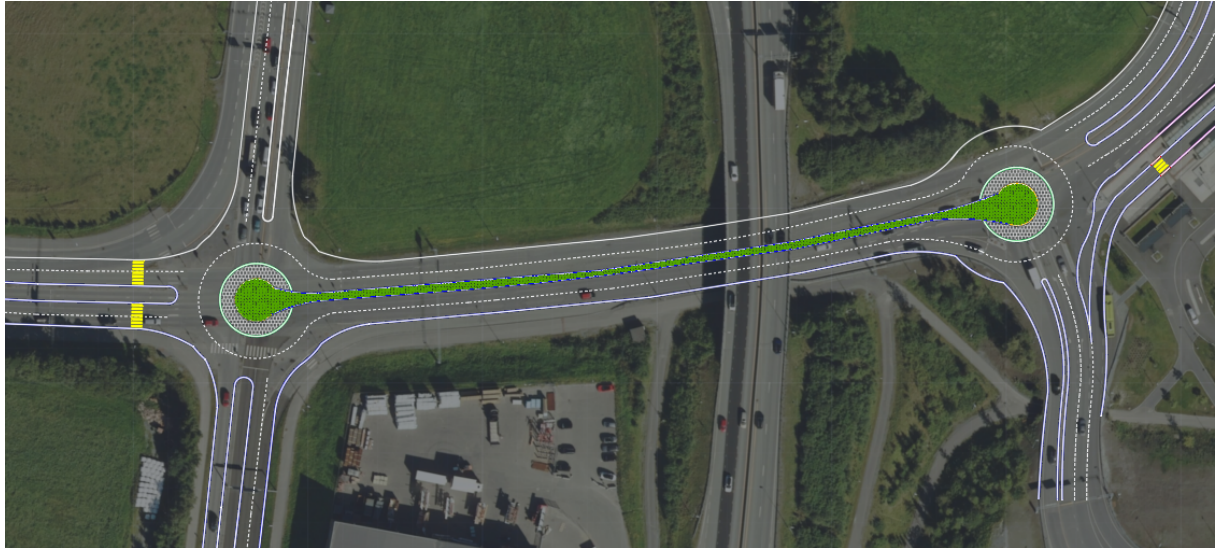
Figur 4.25: Utforming av alternativ 1a - Tonstad vest i SIDRA.

Alternativ 1b – Tonstad vest var noe mer arealkrevende. Denne har tre felt fra nord til sør, og ekstra felt i tilfartene fra nord og vest. Utformingen er vist i Figur 4.26.

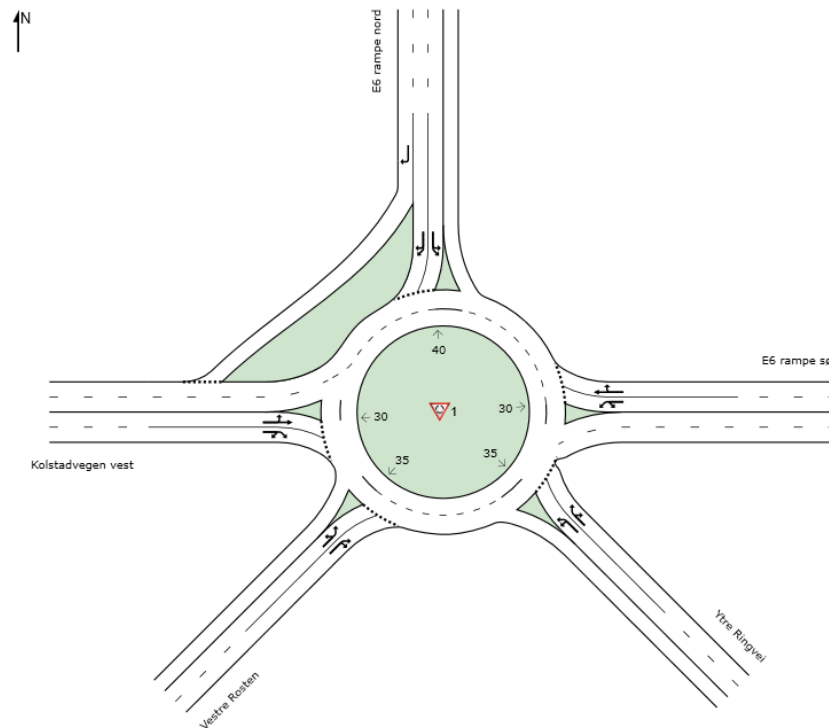


Figur 4.26: Utforming av alternativ 1b - Tonstad vest i SIDRA.

Det ble i tillegg sett på muligheten til å bygge en stor «superrundkjøring» der begge kryssene på Tonstad kombineres til et stort kryss. Tanken bak tiltaket var å se på muligheten for å begrense ventetid og kølengder utenfor krysset, samt å øke kapasiteten for hele området. Ved å koble rundkjøringene sammen vil det bety lengre distanse for en del svingebevegelser, men en bedre trafikkflyt vil ofte gjøre opp for dette. De fleste vil være mer villige til å godta kø så lenge det er fremdrift, som det generelt gjør i en rundkjøring. Løsningen ble modellert i SIDRA, og det ble tatt utgangspunkt i en 5-armet rundkjøring. Denne ble så tilpasset til området så godt som mulig. Rundkjøringen ble utformet med to sirkulasjonsfelt og to tilfartsfelt i alle retninger. I tillegg ble det lagt til et eget høyre svingefelt for trafikken fra E6-rampe fra nord. En overordnet skisse er vist i Figur 4.27.



Figur 4.27: Overordnet skisse av superrundkjøring på Tonstad laget i AutoCAD.

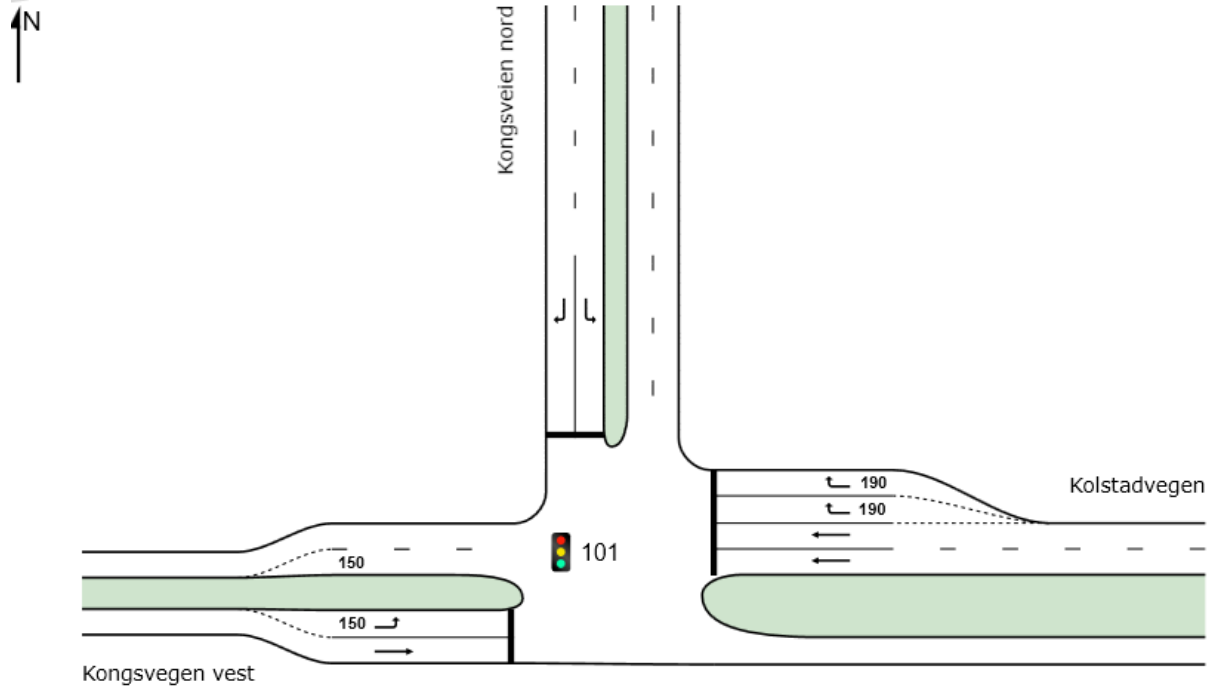


Figur 4.28: Modell for alternativ 1c - Tonstad superrundkjøring laget i SIDRA.

4.4.3 Alternativ 2: endring av feltbruk

Et annet alternativ var å se på endring av feltbruk for de tre hovedområdene. Dette inkluderte blant annet ekstra felt ut av kryss, reversibelt felt og ekstra kollektivfelt. Løsningene for hvert område presenteres under.

4.4.3.1 Flatåsenkrysset



Figur 4.29: Utforming av alternativ 2a - Flatåsenkrysset i SIDRA.

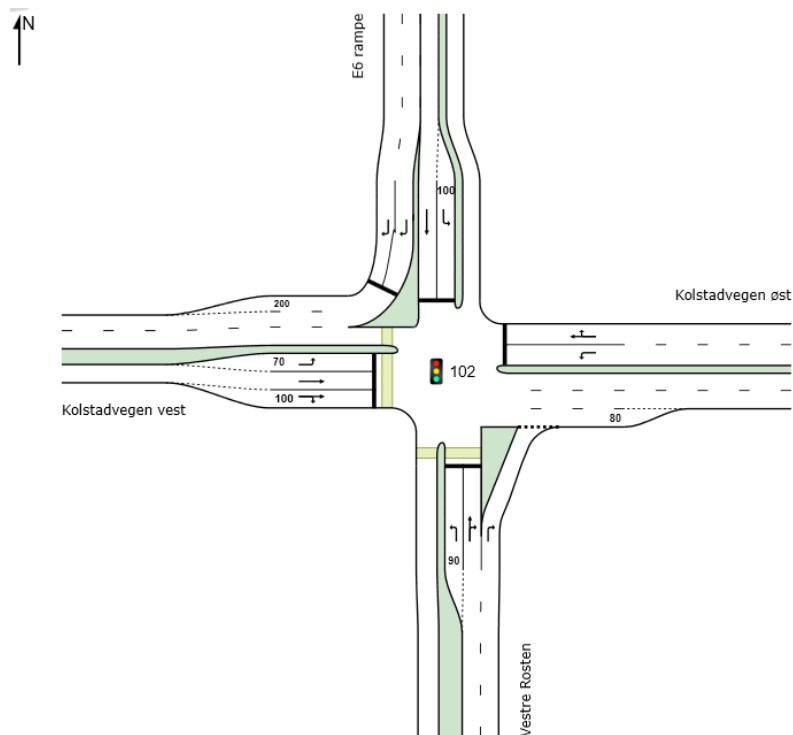
For Flatåsenkrysset ble en løsning med to felt inn i krysset fra øst og to felt ut av krysset mot vest modellert. Dette medførte økt bruk av areal, da dagens løsning består av et felt inn og ut av krysset ved kjøring fra øst til vest. Modellen er vist i Figur 4.29 over, og ble kalt alternativ 2a - Flatåsenkrysset.

4.4.3.2 Bjørndalsbrua

Som nevnt var Bjørndalsbrua et stort problemområde i ettermiddagsrushet, fordi det kun er ett felt i retningen med høyest trafikkmengde. Det ble derfor utarbeidet et forslag med reversibelt felt over brua, der det midtre feltet endrer kjøreretning i løpet av dagen. Dette ble gjort for å øke kapasiteten over brua under ettermiddagsrush, og for å redusere effekten av dagens flaskehals.

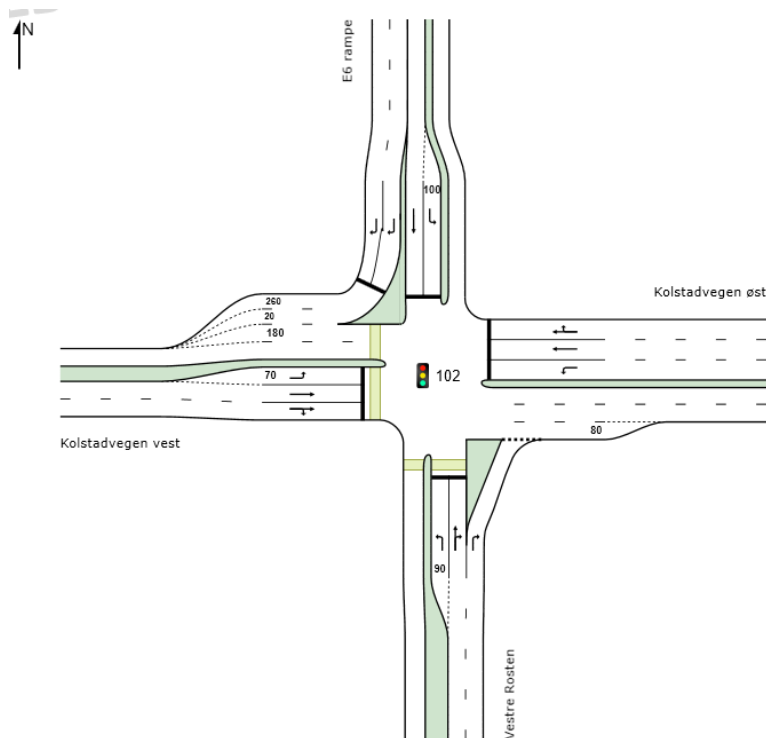
4.4.3.3 Tonstad vest og øst

Utformingen av tiltak 2a – Tonstad vest er vist i Figur 4.30. Det viser hvordan en mulig utforming med reversibelt felt over Bjørndalsbrua vil kunne se ut, og feltbruk i vestlig retning.

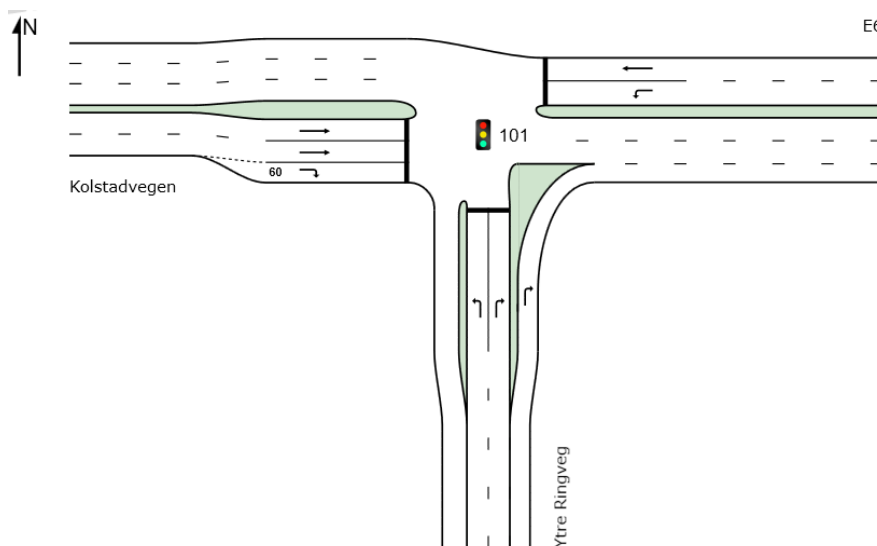


Figur 4.30: Utforming av alternativ 2a - Tonstad vest i SIDRA.

Det ble også sett på mulighetene for å utvide antall felt mellom kryssene Tonstad øst og Tonstad vest i vestgående retning. Dette for å forbedre kapasiteten gjennom krysset, samt å forbedre kollektivtrafikkens fremkommelighet. Da hovedområdet til kollektivtrafikken i stor grad ligger mellom Tonstad omstigningspunkt og Bjørndalsbrua, så vil et slik tiltak kunne øke kapasiteten for bussene betraktelig. Det vil da også være nødvendig å bygge ut med to felt over krysset, slik vist i Figur 4.31 og Figur 4.32.



Figur 4.31: Utforming av alternativ 2b - Tonstad vest i SIDRA.



Figur 4.32: Utforming av alternativ 2a - Tonstad øst i SIDRA.

For utformingen av ekstra felt gjennom Tonstad vest, så kan denne løsningen kombineres med løsningen for reversibelt kjørefelt. Under modelleringene ble høyre svingefelt fra øst satt til å tillate høyresvingende kjøretøy og busser.

4.4.4 Sensitivitetsanalyse

Det ble gjennomført en sensitivitetsanalyse for å se hvor følsomme resultatene var for endringer i trafikkmengder. En slik analyse kan også kalles en «hva om»-analyse, og går ut på å undersøke hvordan en konklusjon lar seg påvirke av en endring i metodevalg eller en forutsetning (Stavseth, 2020). I dette tilfellet ble trafikkdata endret, for å se på hvilken påvirkning dette hadde for mulige, fremtidige situasjoner med økt trafikkvekst. Det ble derfor gjennomført beregninger for dagens utforming og alternativene med økte trafikkmengder. Trafikkmengdene ble økt med 10 % og 20 % i forhold til de opprinnelige trafikk tallene.

4.5 Begrensninger og utfordringer med metoden

Metoden har noen begrensninger og utfordringer som det er relevant å få frem, fordi de kan ha betydning for nøyaktigheten til resultatene.

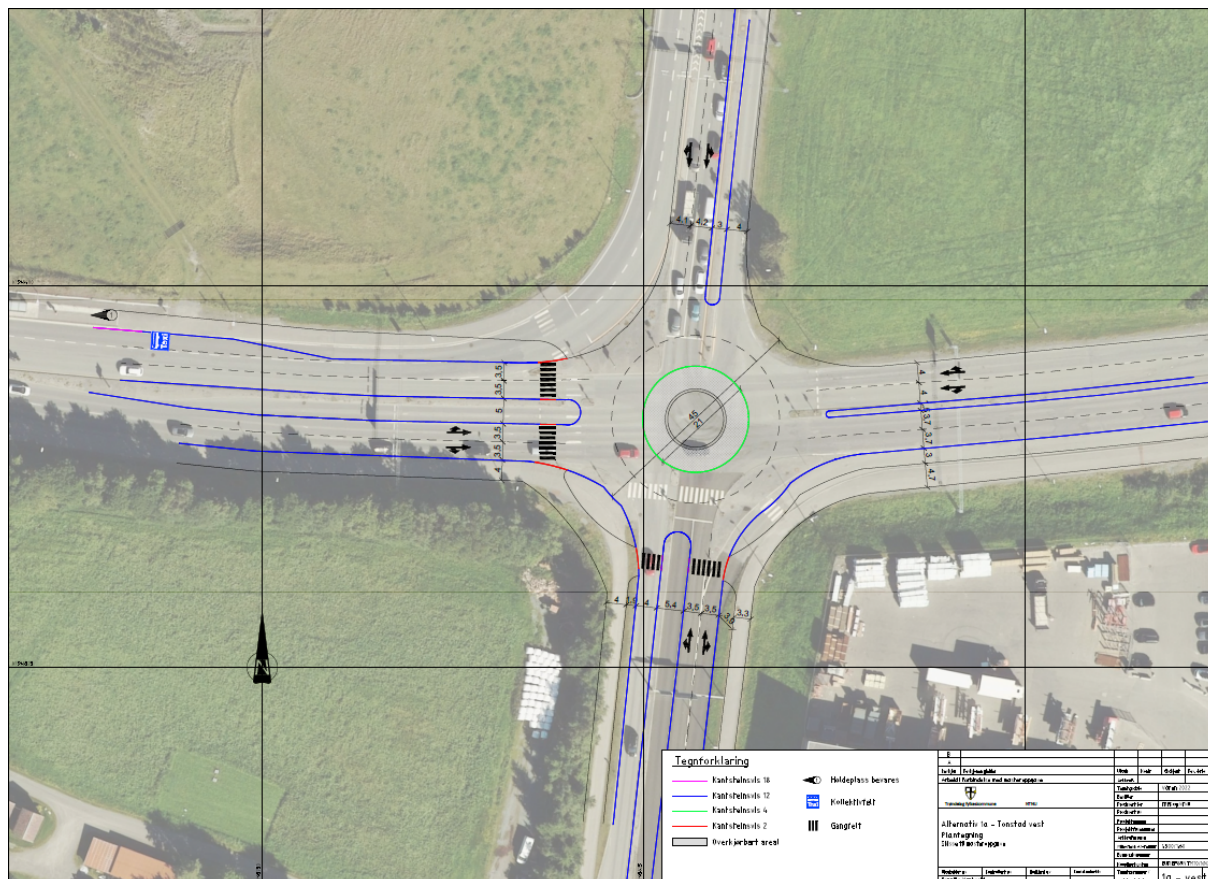
Den første utfordringen er knyttet til hvorvidt trafikk tallene er representative for området. Trafikktellingene ble gjennomført i mars, kun noen få uker etter gjenåpning av landet etter 2 år med COVID-19 pandemi. Det kan dermed diskuteres om trafikkmengden er tilbake til «normalt nivå», men også hva som er normalt nivå nå. I tillegg var Osloveien stengt, som ligger et par kilometer nord for krysset. Dette er en viktig innfartsåre til sentrum for boligstrøk sørvest i Trondheim. Det ble i 2021 anslått av Statens vegvesen at stengingen av Osloveien kunne føre til en økning på 5 % over Bjørndalsbrua og med 6 % på E6 over Kroppan bru (Statens vegvesen, 2021c).

For å kvalitetssikre at trafikkdataene var omtrent på normalnivå, så ble det som tidligere nevnt innhentet data fra andre kilder for å sammenligne. Det ble innhentet data fra detektorene i lyskryssene på samme dag som registreringen og en annen ukedag i en annen uke for å kunne sammenligne. Disse viste ingen store forskjeller, og man kan anta

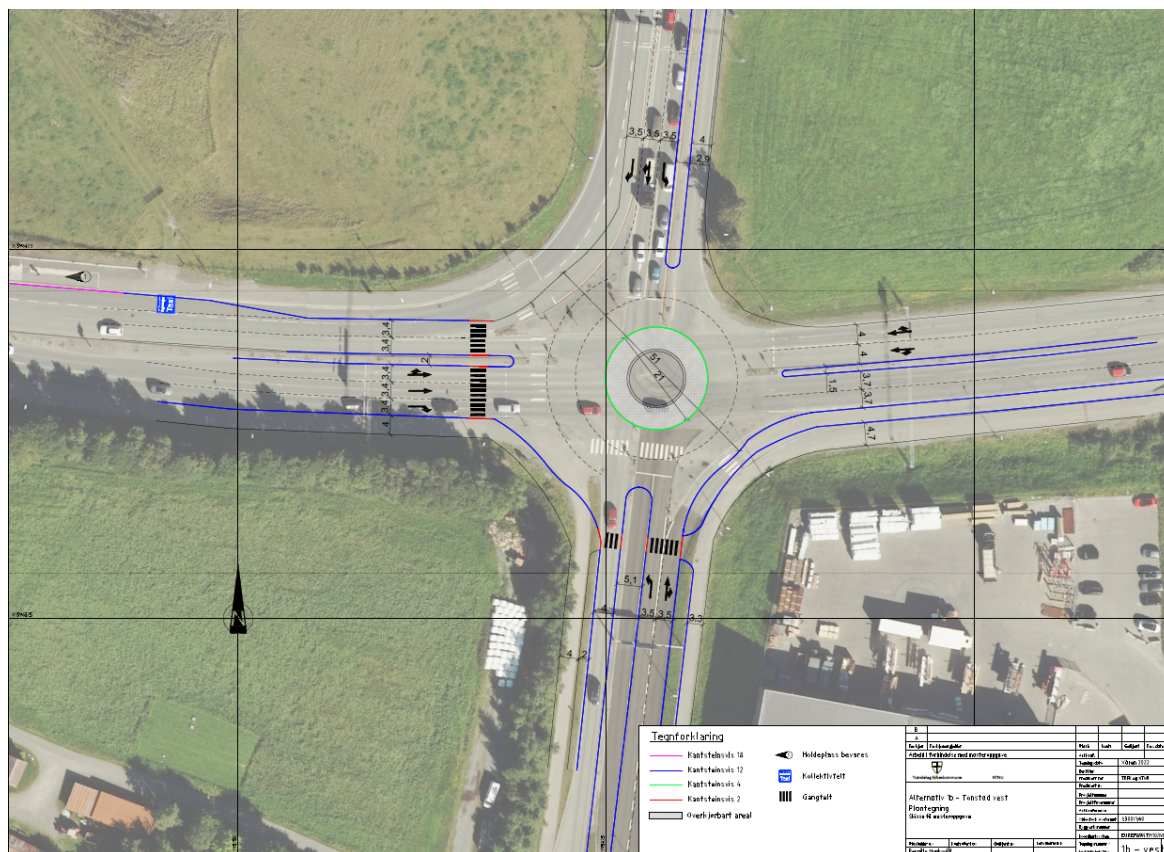
at den valgte registreringsdagen ikke skiller seg ut fra normalnivået i området. I tillegg ble trafikk tallene sammenlignet med trafikk tall på det kontinuerlige tellepunktet rett vest for Bjørndalsbrua. Her ble det sett en liten økning for tall på døgnetrafikk i mars 2022 sammenlignet med mars 2018. Denne økningen kan forklare av årsakene ovenfor, COVID-19 og stenging av Osloveien, men noe kan også komme av en generell vekst i trafikken.

Andre feilkilder som kan ha påvirket resultatet er feil knyttet til kameraene og trafikk tellingene. Under registrering av morgenrush døde ett av kameraene satt opp ved Tonstadkrysset øst etter en time og ett kvarter. Dette medførte at kameravinkelen for noen av retningene ble dårligere enn planlagt, som kan ha hatt en liten innvirkning på tellingene. Det resulterte i tillegg til at den planlagte registreringstiden ble redusert til 1 time og 15 minutter. Dette ble korrigert til ettermiddagsrushet, der alle kameraene ble sjekket regelmessig for batteristatus, og koblet opp med eksterne batterikilder.

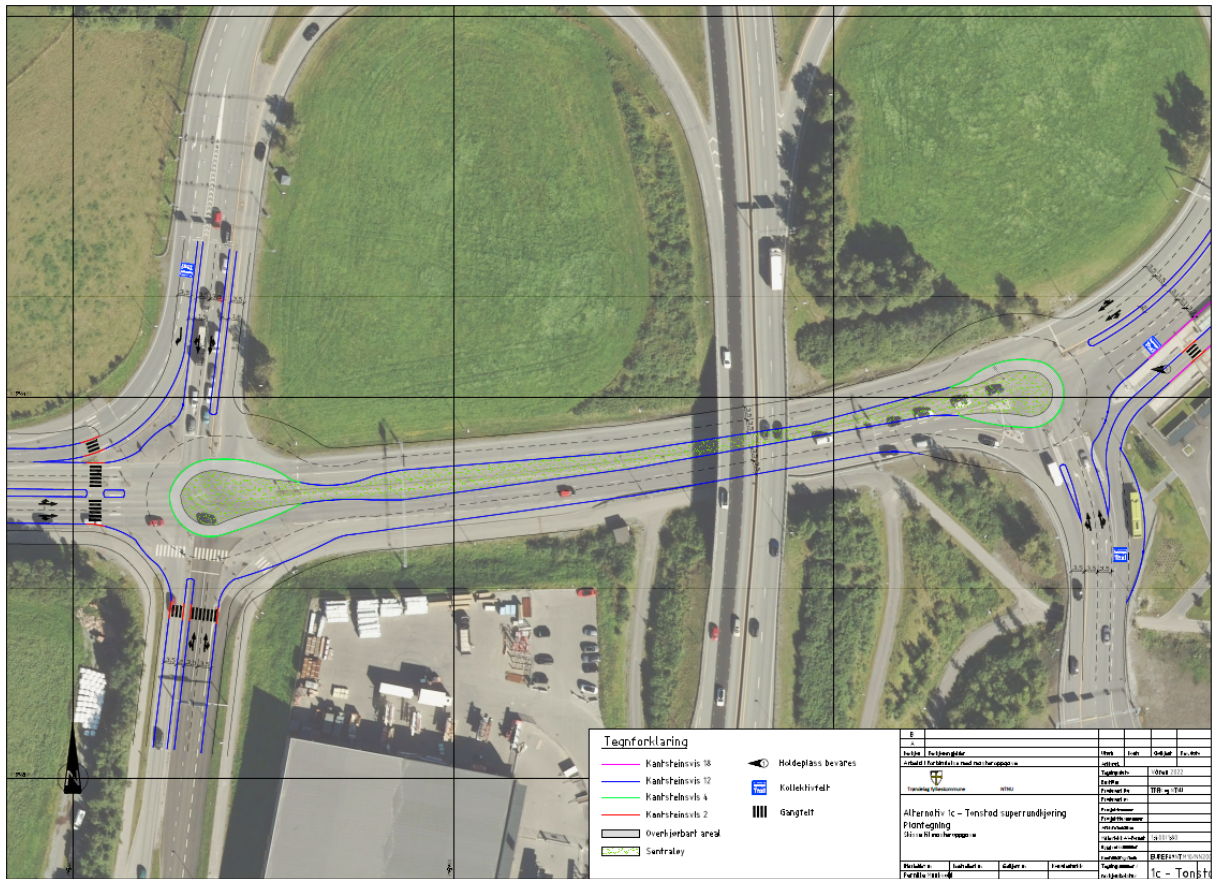
En siste utfordring som nevnes her var hvorvidt SIDRA var det optimale programmet til å beregne de reelle trafikkforholdene på strekningen, og hvor nøyaktig resultatene ble. Dette viste seg spesielt under modellering av ettermiddagsrush, der det under flere perioder ble observert tilbakeblokkeringer gjennom krysset Tonstad vest og bakover til Tonstad øst. Det at SIDRA ikke har en funksjon for å bestemme kapasitet på felt ut av kryss ble en svakhet ved beregningene for ettermiddagsrush på Tonstad. Dette ble til en viss grad løst ved bruk av nettverksfunksjonen, men også denne har en del forenklinger og svakheter som ikke kan sammenlignes med den reelle situasjonen. Dette diskuteres mer i kapittel 7.



Figur 5.4: Skisse over alternativ 1a - Tonstad vest som viser utforming av rundkjøring.



Figur 5.5: Skisse over alternativ 1b - Tonstad vest som viser utforming av rundkjøring.



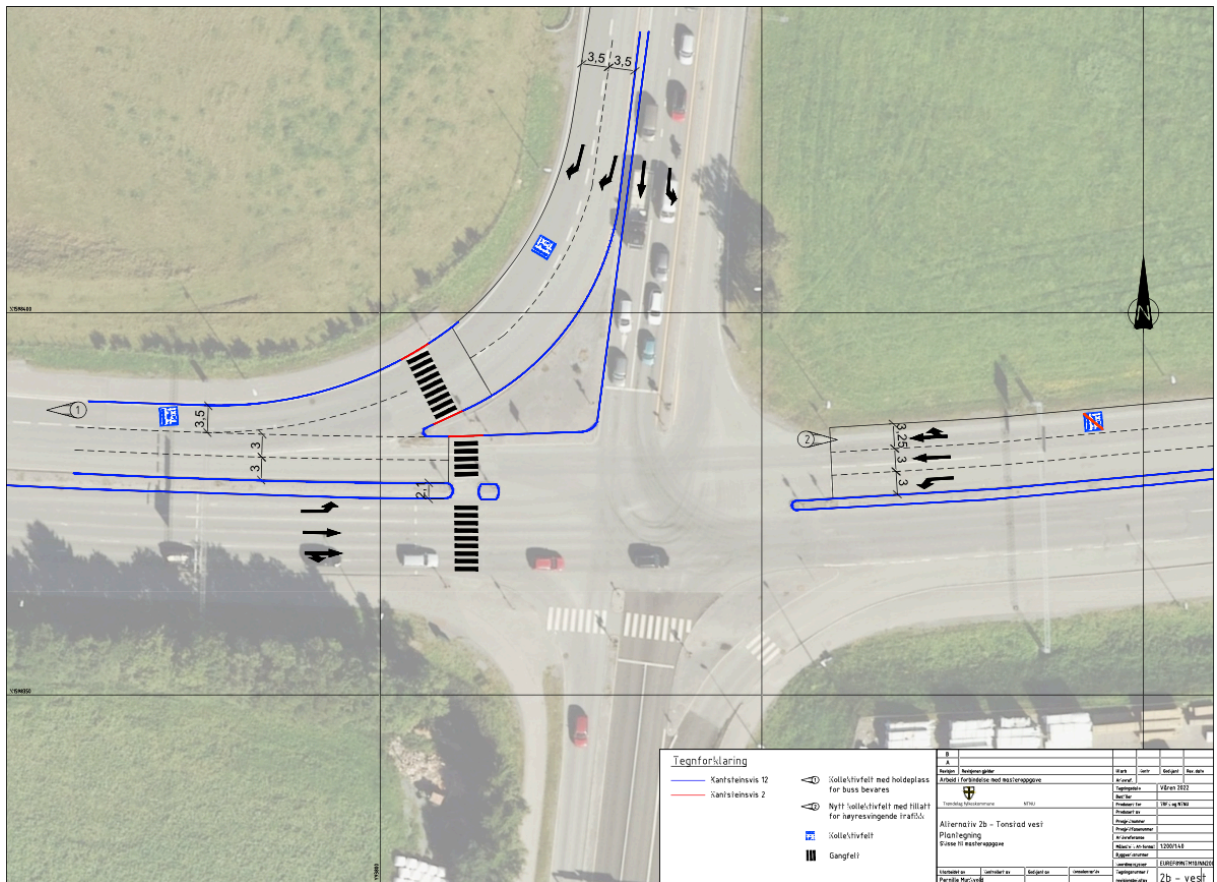
Figur 5.6: Skisse over alternativ 1c - Tonstad som viser utforming av superrundkjøring.



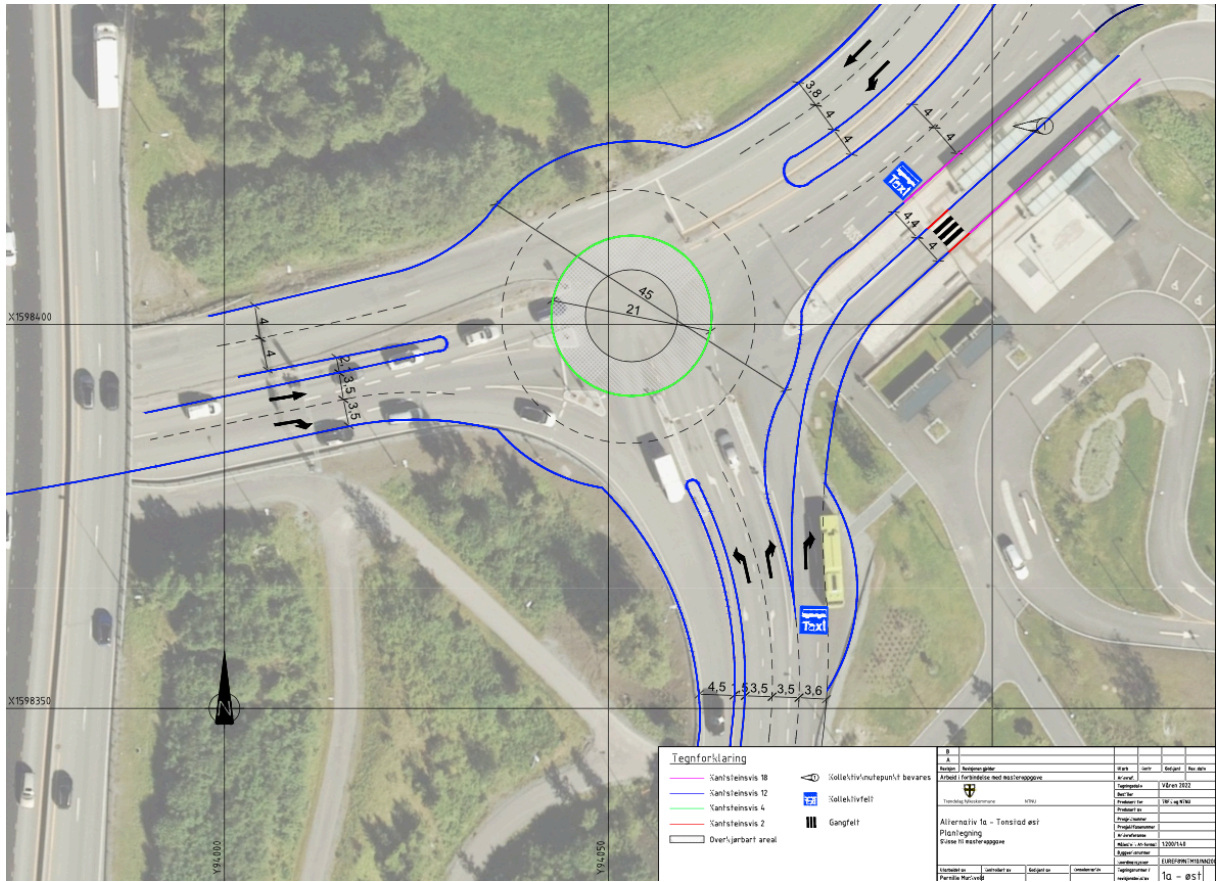
Figur 5.7: Skisse over alternativ 2a - reversibelt felt over Bjørndalsbrua for morgen.



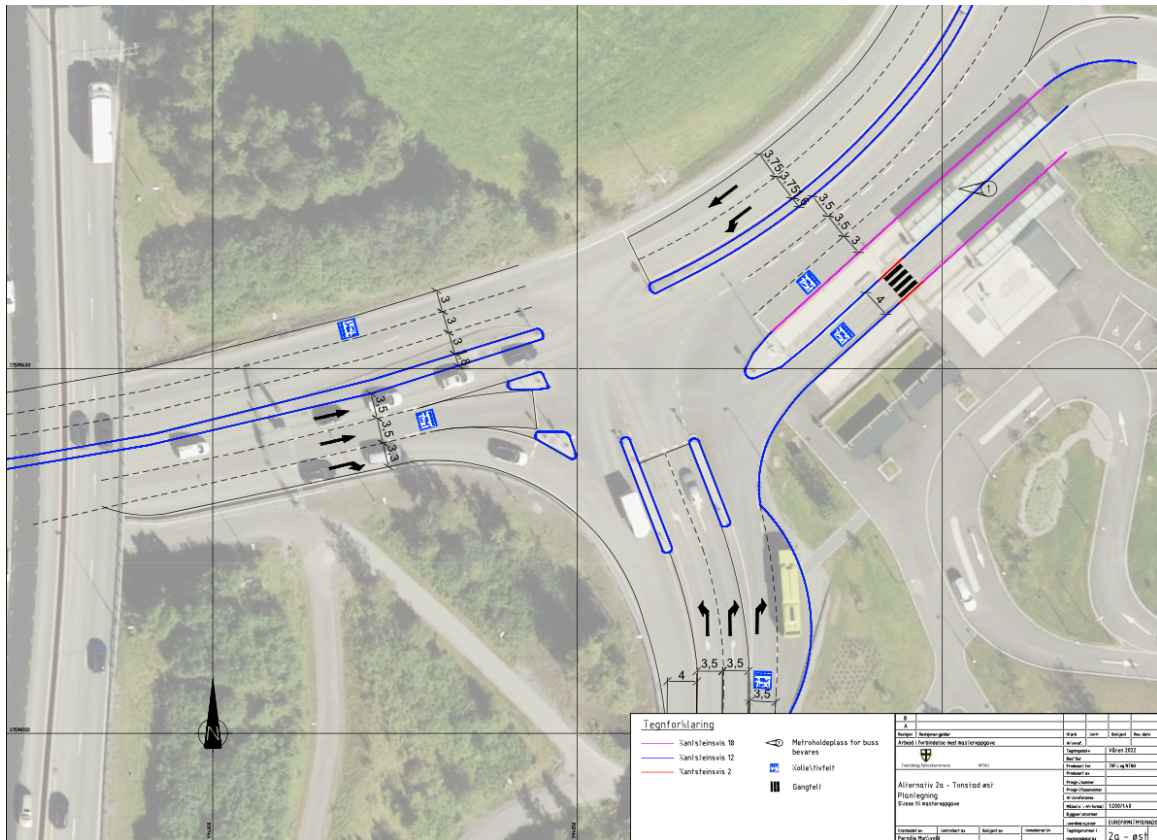
Figur 5.8: Skisse over alternativ 2a - reversibelt felt over Bjørndalsbrua for ettermiddag.



Figur 5.9: Skisse over alternativ 2b - Tonstad vest som viser utforming av 3 felt fra østlig retning.



Figur 5.10: Skisse over alternativ 1a - Tonstad øst som viser utforming av rundkjøring.



Figur 5.11: Skisse over alternativ 2a - Tonstad øst som viser utforming av rundkjøring.

6 Resultater

I denne delen presenteres resultatene av modelleringene og beregningene gjort i SIDRA. Det skilles mellom resultatene for dagens situasjon og alternative tiltak for hvert lyskryss, og mellom morgen- og ettermiddagsrush. Utfyllende resultater er lagt ved som vedlegg i filene *Trafikkdata_tellinger* og *Trafikkberegninger*.

6.1 Reisetider og trafikkmengder

Trafikktellingene ga en oversikt over antall kjøretøy gjennom kryssene og deres svingebevegelser. Disse er vist for hvert kryss med antall kjøretøy under morgenrush (M) og ettermiddagsrush (E) i tabellene under.

Tabell 6.1: Trafikkmengdene i makstimene for Flatåsenkrysset brukt i SIDRA.

	Fra nord		Fra øst		Fra vest	
	Til øst ↗	Til vest ↘	Til vest ↑	Til nord ↘	Til nord ↗	Til øst ↑
M	299	321	403	572	295	599
E	207	397	644	793	351	496

Tabell 6.2: Trafikkmengdene i makstimene for Tonstadkrysset vest brukt i SIDRA.

	Fra nord			Fra øst			Fra sør			Fra vest		
	Ø ↗	S ↑	V ↘	S ↗	V ↑	N ↘	V ↗	N ↑	Ø ↘	N ↗	Ø ↑	S ↘
M	136	271	508	44	364	12	132	18	225	199	952	259
E	260	337	869	37	402	12	249	21	271	193	717	200

Tabell 6.3: Trafikkmengdene i makstimene for Tonstadkrysset øst brukt i SIDRA.

	Fra sør		Fra vest		Fra øst	
	Til vest ↗	Til øst ↘	Til øst ↑	Til sør ↘	Til sør ↗	Til vest ↑
M	219	210	842	454	88	183
E	187	178	647	582	117	266

Videre presenteres reisetider og trafikkmengder hver for seg for morgen- og ettermiddagsrush.

6.1.1 Morgenrush

Følgende reisetider ble funnet under morgenrush, målt fra kjøretøyet ankom køen eller stopplinjen ved første lyssignal dersom ingen kø og til kjørt ut av siste kryss:

Tabell 6.4: Reisetider under morgenrush.

Retning	Reisetid	Omtrentlig tidspunkt på dagen
Vest til øst	3 min, 36 sek	07:00
Vest til øst	5 min, 17 sek	07:30
Øst til vest	2 min, 54 sek	07:30
Øst til vest	3 min, 31 sek	08:00

Summen av trafikktallene fra hver retning og til hver retning i kryssene under makstimen presenteres her. De angis i antall kjøretøy.

Tabell 6.5: Tabellen viser summen av kjøretøy til og fra hver retning i hver av kryssene under morgenerush.

Flatåsenkrysset				Tonstad vest				Tonstad øst			
Fra nord:	620	Til nord:	867	Fra nord:	915	Til nord:	229	Fra vest:	1296	Til vest:	402
Fra øst:	975	Til øst:	898	Fra øst:	420	Til øst:	1313	Fra øst:	271	Til øst:	1052
Fra vest:	894	Til vest:	724	Fra sør:	375	Til sør:	574	Fra sør:	429	Til sør:	542
				Fra vest:	1410	Til vest:	1004				

6.1.2 Ettermiddagsrush

Følgende reisetider ble funnet under ettermiddagsrush, målt fra kjøretøyet ankom køen eller stopplinjen ved lyssignalet dersom ingen kø og til kjørt gjennom krysset:

Tabell 6.6: Reisetider under ettermiddagsrush.

Retning	Reisetid	Omtrentlig tidspunkt på dagen
Vest til øst	3 min, 25 sek	15:00
Vest til øst	3 min, 52 sek	15:30
Vest til øst	3 min, 9 sek	16:00
Øst til vest	5 min, 29 sek	15:00
Øst til vest	6 min, 6 sek	15:30
Øst til vest	17 min, 39 sek	16:00

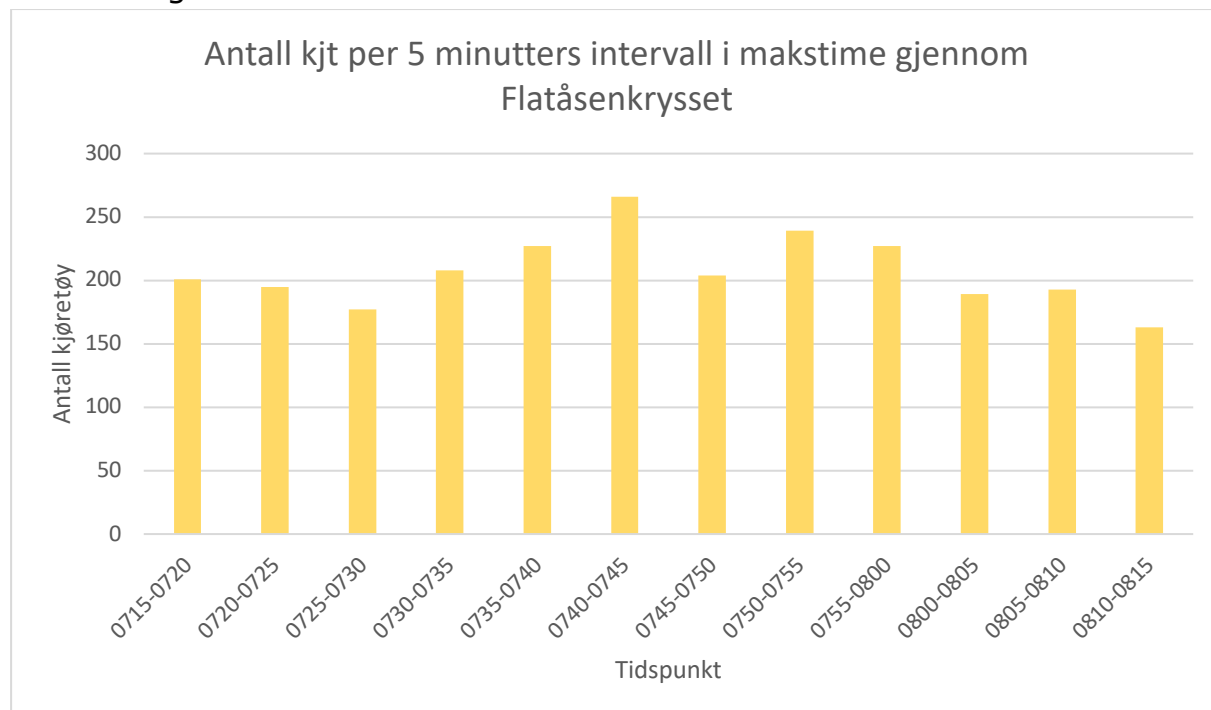
Summen av trafikktallene fra hver retning og til hver retning i kryssene under makstimen presenteres her. De angis i antall kjøretøy.

Tabell 6.7: Tabellen viser summen av kjøretøy til og fra hver retning i hvert av kryssene under ettermiddagsrush.

Flatåsenkrysset				Tonstad vest				Tonstad øst			
Fra nord:	604	Til nord:	1144	Fra nord:	1466	Til nord:	226	Fra vest:	1229	Til vest:	453
Fra øst:	1437	Til øst:	703	Fra øst:	451	Til øst:	1248	Fra øst:	383	Til øst:	825
Fra vest:	847	Til vest:	1041	Fra sør:	541	Til sør:	574	Fra sør:	365	Til sør:	699
				Fra vest:	1110	Til vest:	1520				

6.2 Flatåsenkrysset

6.2.1 Morgenrush



Figur 6.1: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.

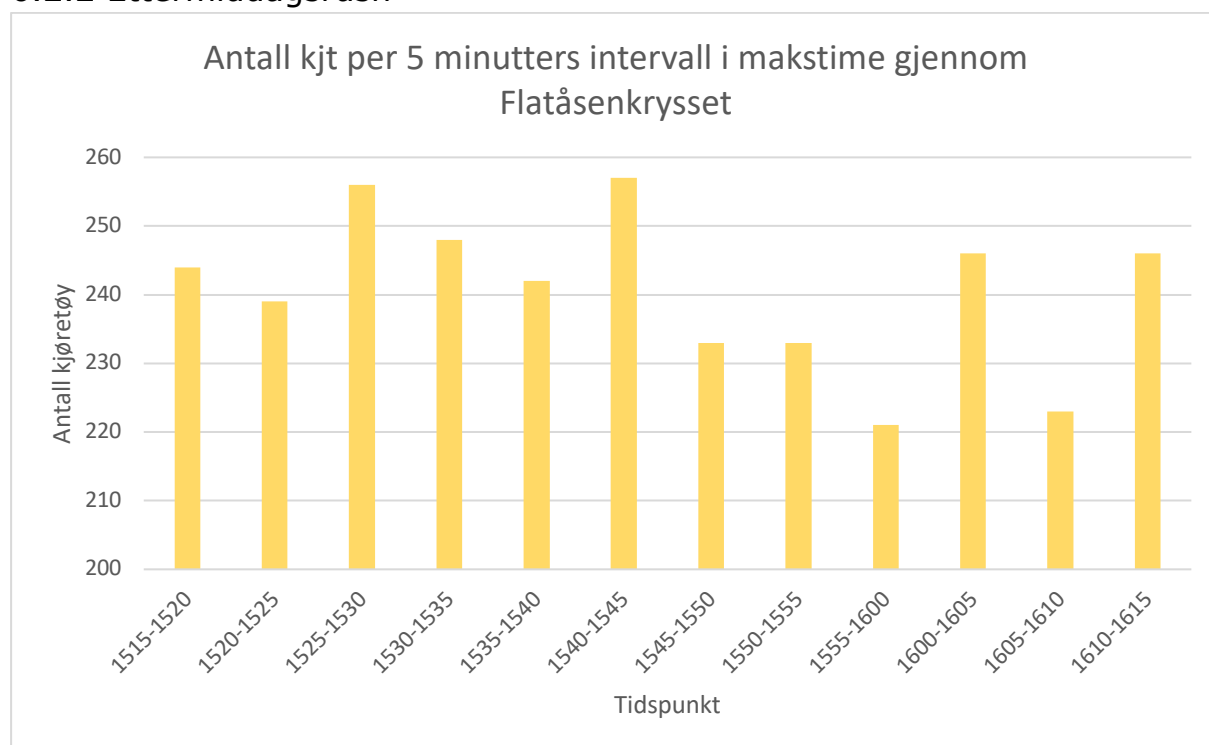
Trafikkmengde gjennom krysset er vist i figuren over per 5 minutters intervall. Tallene kommer fra summen av trafikkmengden inn i krysset fra alle armene. Høyeste antall trafikanter gjennom krysset er registrert i intervallet 0740-0745.

Tabell 6.8: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for alternativene for Flatåsenkrysset.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	0,95 (V)	63 (V)	115 (V)
0.1	1,23 (Ø)	299 (Ø)	427 (Ø)
0.2	0,87 (Ø)	32 (V)	92 (Ø)
0.3	0,85 (N)	34 (V)	86 (Ø)
0.4	0,72 (Ø)	37 (V)	112 (V)
1a	0,55 (V)	11 (V)	31 (V)
1b	0,55 (V)	11 (V)	32 (V)
2a	0,58 (Ø)	32 (V)	110 (V)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under morgenrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

6.2.2 Ettermiddagsrush



Figur 6.2: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.

Trafikkmengden gjennom Flatåsenkrysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush er vist i figuren over. Det er registrert trafikktopper i intervallene 1525-1530 og 1540-1545.

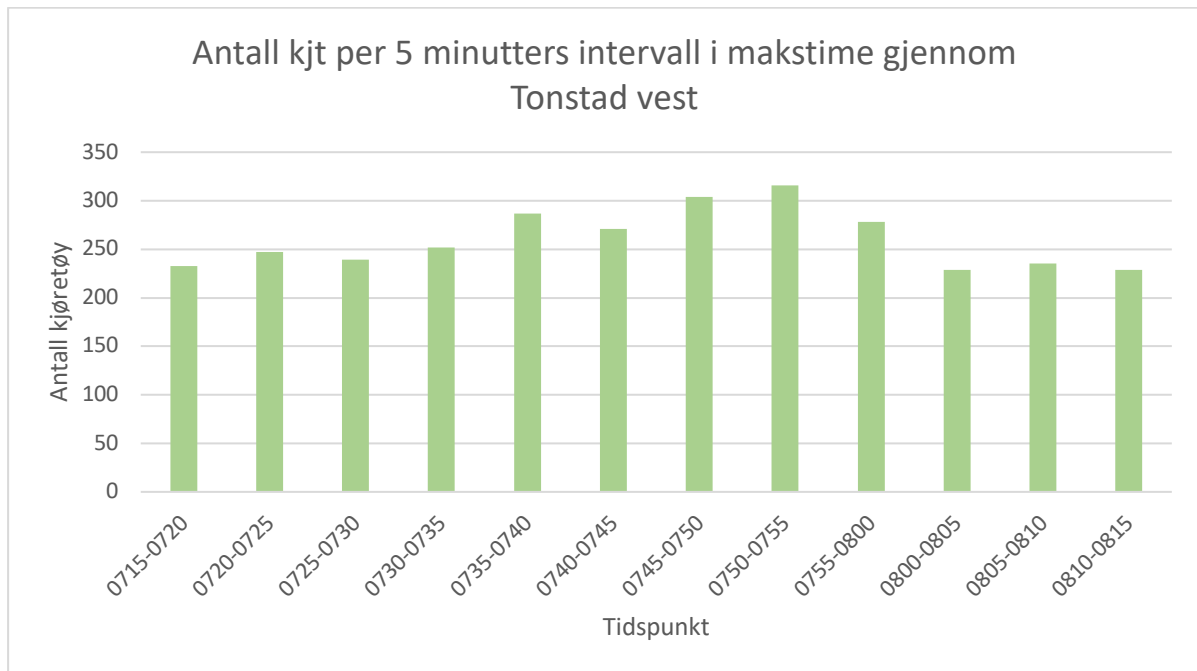
Tabell 6.9: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for alternativene for Flatåsenkrysset.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	1,13 (V)	170 (V)	249 (V)
0.1	2,0 (Ø)	932 (Ø)	1191 (Ø)
0.2	0,89 (N)	48 (N)	187 (Ø)
0.3	0,87 (V)	47 (N)	185 (Ø)
0.4	0,85 (Ø)	48 (N)	196 (Ø)
1a	0,50 (Ø)	12 (N)	29 (N)
1b	0,72 (Ø)	12 (N)	62 (Ø)
2a	0,66 (N)	40 (N)	91 (Ø)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under ettermiddagsrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

6.3 Tonstadkrysset vest

6.3.1 Morgenrush



Figur 6.3: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.

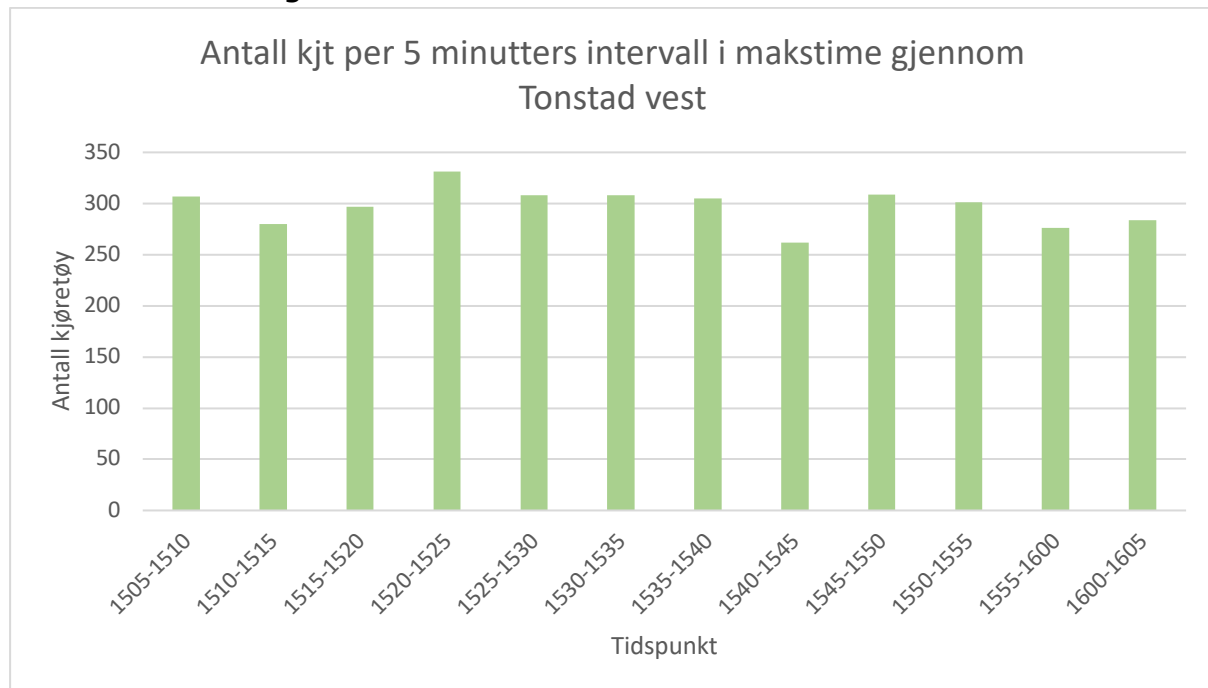
Trafikkmengden gjennom Tonstadkrysset vest per 5 minutters intervall under morgenrush er vist i figuren over. Det er registrert trafikktopper fra intervallene 07:45-07:50 og 07:50-07:55.

Tabell 6.10: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for Tonstadkrysset vest.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	0,92 (V)	51 (V)	287 (V)
1a	0,78 (V)	15 (S)	72 (V)
1b	0,51 (V)	13 (S)	28 (V)
1c	0,80 (V)	16 (Ø)	89 (V)
2b	0,94 (N)	57 (N)	241 (V)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under morgenrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

6.3.2 Ettermiddagsrush



Figur 6.4: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.

Trafikkmengden gjennom Tonstadkrysset vest per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush er vist i figuren over. Det er registrert en trafikktopp i intervallet 1520-1525.

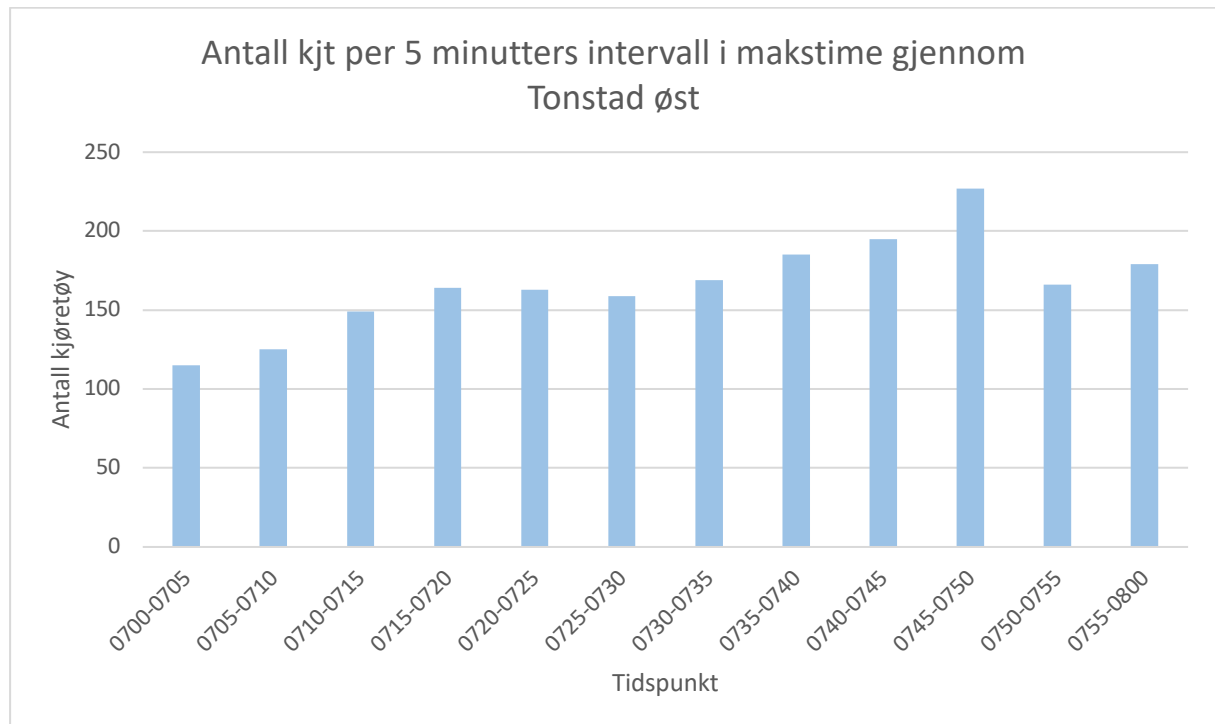
Tabell 6.11: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for Tonstadkrysset vest.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	1,20 (V)	239 (V)	470 (V)
0.1	1,55 (V)	543 (V)	723 (V)
0.2	1,0 (S)	64 (S)	139 (N)
0.3	1,01 (V)	77 (V)	196 (V)
0.4	0,92 (V)	44 (V)	196 (N)
1a	0,90 (N)	17 (V)	99 (N)
1b	0,57 (N)	14 (S)	31 (N)
1c	0,72 (V)	16 (Ø)	51 (V)
2a	0,86 (V)	45 (N)	176 (V)
2b	0,97 (N)	64 (N)	175 (V)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under ettermiddagsrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

6.4 Tonstadkrysset øst

6.4.1 Morgenrush



Figur 6.5: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under morgenrush.

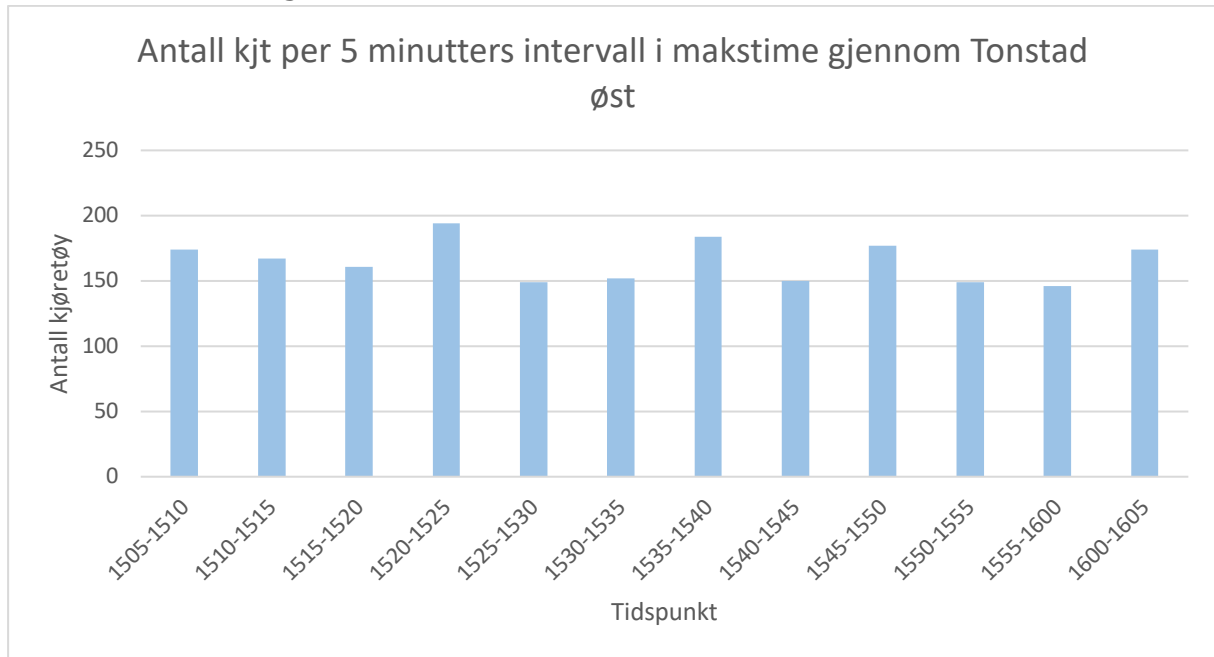
Trafikkmengden gjennom Tonstadkrysset øst per 5 minutters intervall under morgenrush er vist i figuren over. Det er registrert en høy andel trafikanter gjennom krysset i intervallet 0745-0750.

Tabell 6.12: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under morgenrush for Tonstadkrysset øst.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	1,09 (S)	166 (S)	262 (V)
1a	0,60 (V)	13 (Ø)	41 (V)
2a	0,78 (V)	55 (Ø)	201 (V)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under morgenrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

6.4.2 Ettermiddagsrush



Figur 6.6: Oversikt over antall kjøretøy gjennom krysset per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush.

Trafikkmengden gjennom Tonstadkrysset øst per 5 minutters intervall under ettermiddagsrush er vist i figuren over. Det er registrert trafikktopper under makstimen i intervallene 1520-1525 og 1535-1540.

Tabell 6.13: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde under ettermiddagsrush for Tonstadkrysset øst.

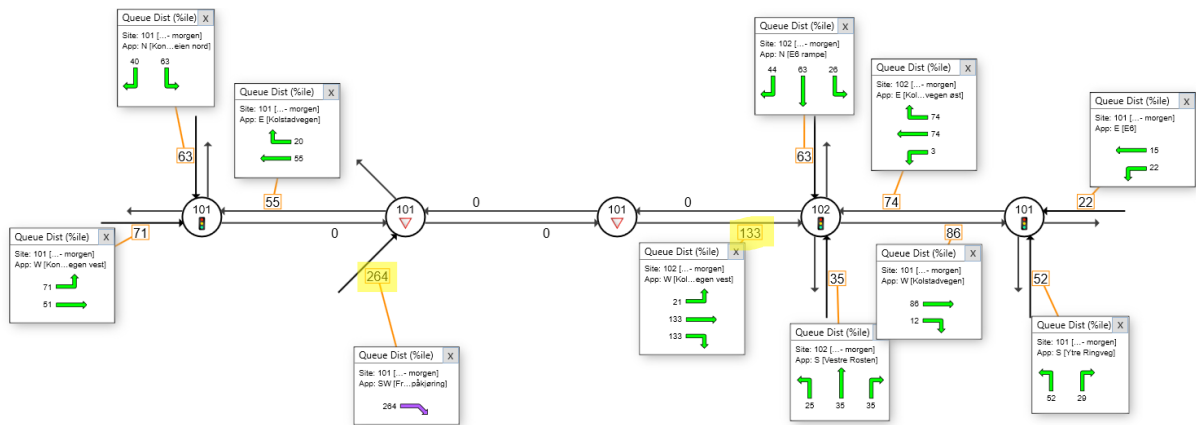
Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0	0,94 (S)	83 (S)	168 (V)
0.1	1,20 (S)	247 (S)	197 (S)
0.2	0,74 (V)	38 (Ø)	117 (V)
0.3	0,67 (V)	48 (Ø)	134 (V)
1a	0,49 (V)	12 (Ø)	27 (V)
2a	0,74 (S)	39 (Ø)	115 (V)

Tabellen viser oversikt over de viktigste trafikkavviklingsparameterne for Flatåsenkrysset under ettermiddagsrush ved ulike alternativer. Bokstaven i parentes viser retningen den høyeste verdien er funnet i.

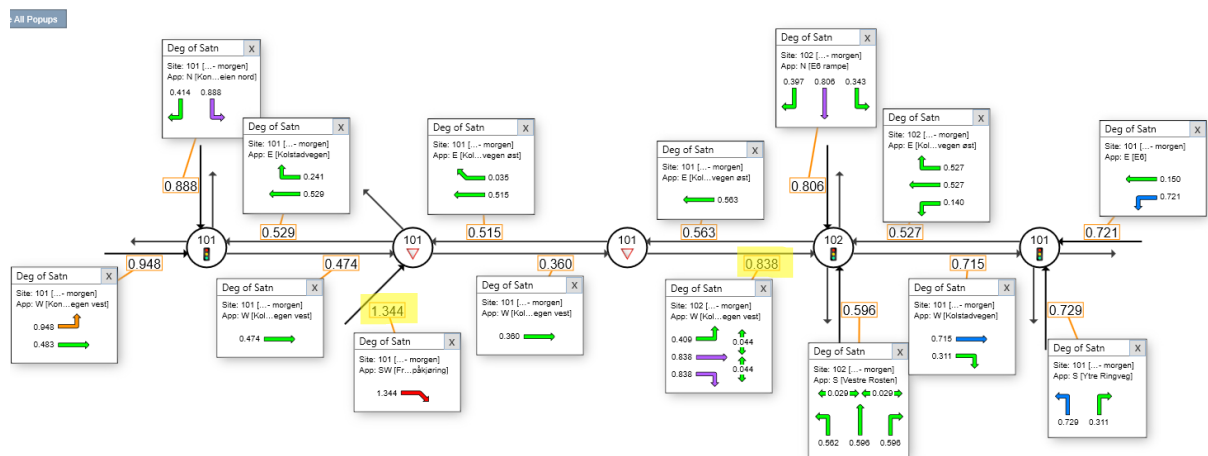
6.5 Nettverksmodell

6.5.1 Morgenrush

Det ble gjennomført en optimalisering av fasetider og omløpstider ved SIDRA sin nettverksfunksjon. For morgenrush ble kritisk kryss Tonstadkrysset vest, og total omløpstid på 90 sekunder.



Figur 6.7: 95-persentil kølengder under morgenrush for nettverksmodell i SIDRA.

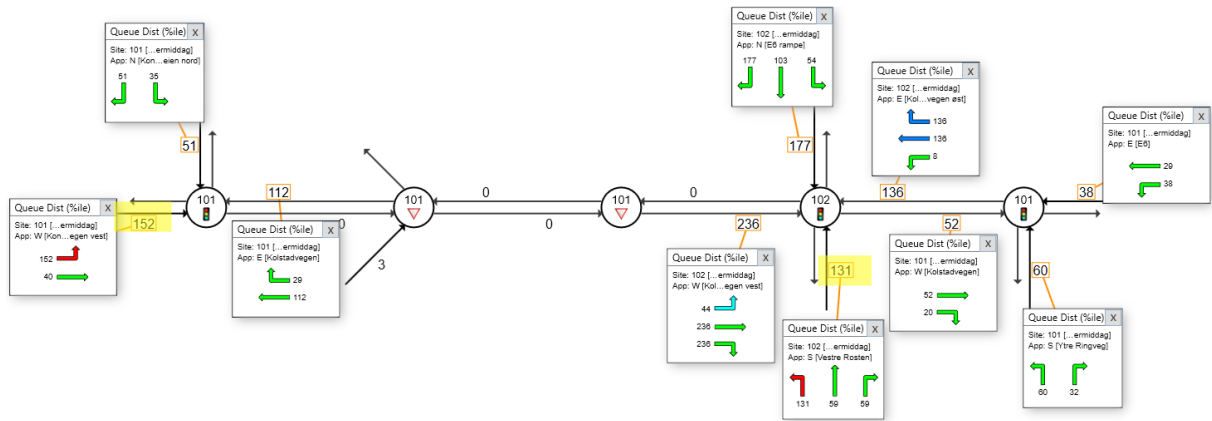


Figur 6.8: Belastningsgrad under morgenrush for nettverksmodell i SIDRA.

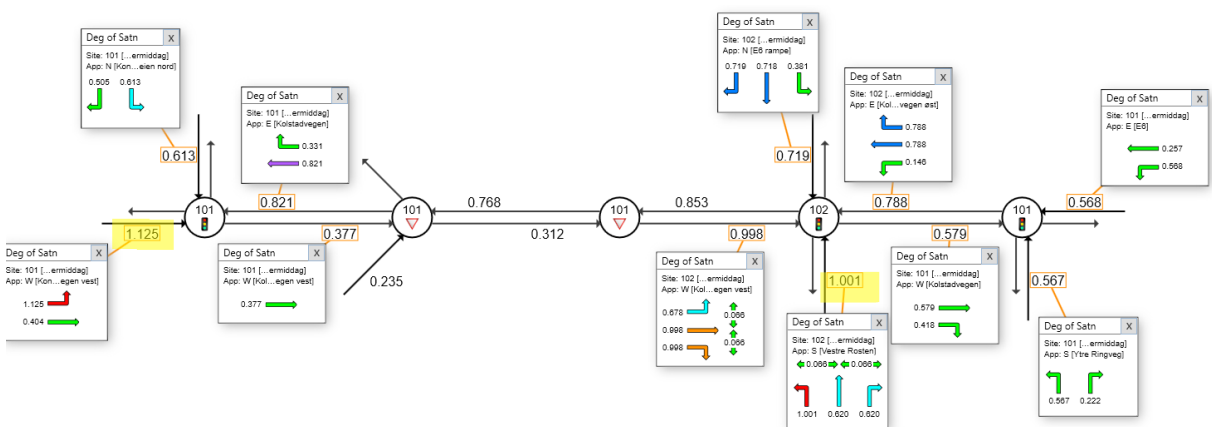
Belastningsgrader og maksimale kølengder for alle retninger er vist i Figur 6.7 og Figur 6.8. Ser av disse at høyeste belastningsgrad under morgenrush er 1,34, og kommer fra påkjøringsrampe fra Saupstad. Der finnes også den høyeste kølengden på maks 264 meter.

6.5.2 Ettermiddagsrush

Optimaliseringen av fasetider og omløpstider i SIDRA for ettermiddagsrush førte til en total omløpstid på 150 sekunder med Tonstadkrysset vest som kritisk kryss.



Figur 6.9: 95-persentil kølengder under ettermiddagsrush for nettverksmodell i SIDRA.



Figur 6.10: Belastningsgrad under ettermiddagsrush for nettverksmodell i SIDRA.

Belastningsgrader og kølengder er vist i Figur 6.9 og Figur 6.10. Lengste maksimale kølengde under ettermiddagsrush var på 236 meter for vestlig arm i Tonstadkrysset vest, og største belastningsgrad var 1,13 for venstre svingefelt fra Kongsvegen i Flatåsenkrysset.

6.6 Sensitivitetsanalyse

Resultatet fra sensitivitetsanalysen for hvert lyskryss presenteres i tabellene nedenfor. Retningen med de høyeste målte verdiene er skrevet i parentes bak tallene. Det skiller mellom morgen- og ettermiddagsrush ved bokstavene M og E.

6.6.1 Flatåsenkrysset

Sensitivitetsanalyse med 10 % økning av trafikk tallene for alle retningene:

Tabell 6.14: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktall for Flatåsenkrysset.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,04 (V)	109 (V)	175 (V)
0.0 E	1,24 (V)	264 (V)	359 (V)
1a M	0,62 (V)	12 (V)	43 (V)
1b E	0,82 (Ø)	14 (Ø)	96 (Ø)
2a E	0,72 (N)	41 (N)	104 (Ø)

Sensitivitetsanalyse med 20 % økning av trafikktallene:

Tabell 6.15: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktall for Flatåsenkrysset.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,14 (V)	180 (V)	261 (V)
0.0 E	1,35 (V)	361 (V)	473 (V)
1a M	0,69 (V)	12 (V)	58 (V)
1b E	0,92 (Ø)	24 (Ø)	172 (Ø)
2a E	0,79 (N)	43 (N)	121 (Ø)

6.6.2 Tonstadkrysset vest

Sensitivitetsanalyse med 10 % økning av trafikktallene:

Tabell 6.16: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktall for Tonstadkrysset vest.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,01 (V)	91 (V)	428 (V)
0.0 E	1,32 (V)	341 (V)	630 (V)
1a E	1,03 (N)	52 (N)	300 (N)
1b E	0,65 (N)	17 (S)	42 (N)
1c M	0,91 (V)	30 (SØ)	124 (V)
1c E	0,83 (V)	20 (SØ)	76 (V)
2a E	0,95 (V)	61 (N)	239 (V)
2b E	1,07 (N)	119 (N)	265 (V)

Sensitivitetsanalyse med 20 % økning av trafikktallene:

Tabell 6.17: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktall for Tonstadkrysset vest.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,1 (V)	155 (V)	613 (V)
0.0 E	1,44 (V)	445 (V)	793 (V)
1a E	1,16 (N)	163 (N)	798 (N)
1b E	0,73 (N)	21 (S)	56 (N)
1c M	1,03 (V)	67 (SØ)	342 (V)
1c E	0,96 (V)	32 (V)	158 (V)
2a E	1,03 (N)	102 (N)	309 (N)
2b E	1,16 (N)	457 (N)	381 (V)

6.6.3 Tonstadkrysset øst

Sensitivitetsanalyse med 10 % økning av trafikktallene:

Tabell 6.18: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 10 % økning av trafikktall for Tonstadkrysset øst.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,24 (S)	281 (S)	317 (V)
0.0 E	1,03 (S)	124 (S)	195 (V)
1a M	0,67 (V)	14 (S)	52 (V)
2a M	0,86 (Ø)	63 (Ø)	274 (V)
2a E	0,82 (S)	40 (Ø)	144 (V)

Sensitivitetsanalyse med 20 % økning av trafikktallene:

Tabell 6.19: Oversikt over høyeste belastningsgrad, gjennomsnittlig forsinkelse og kølengde for beregninger med 20 % økning av trafikktall for Tonstadkrysset øst.

Alternativ	Belastningsgrad	Høyeste gj.snittlige forsinkelse [sek]	Maks kølengde [m]
0.0 M	1,35 (S)	376 (S)	440 (V)
0.0 E	1,13 (S)	192 (S)	225 (V)
1a M	0,74 (V)	16 (S)	65 (V)
2a M	0,97 (S)	72 (S)	391 (V)
2a E	0,89 (S)	43 (S)	186 (V)

7 Diskusjon

I denne delen vil de tre forskningsspørsmålene besvares og diskuteres. Oppgavens fokus har hovedsakelig vært på å bedre trafikkavviklingen for alle kjøretøy generelt, noe også denne diskusjonsdelen fokuserer på. Andre viktige forhold blir nevnt der det er nødvendig, som trafiksikkerhet, trafikkforståelse og prioritering av kollektivtrafikk, men det er ikke hovedfokuset i denne oppgaven. Disse oppsummeres til slutt i diskusjonsdelen, der det settes fokus på øvrige forhold som vil være viktige ved videre vurdering.

7.1 Hva er hovedårsakene til at flaskehalser oppstår på denne strekningen?

Det første som ble sett på i arbeidet med oppgaven, var å prøve og lokalisere hvor det oppsto flaskehalser på strekningen under trafikktoppene. Dette ble kort presentert under kapittel 4.4, der problemområdene under morgen- og ettermiddagsrush ble presentert. Denne delen bygger videre på det som ble presentert der.

7.1.1 Morgenrush

Under morgenrush ble det ikke observert store trafikkavviklingsproblemer, og heller ikke betydelige flaskehalser. Det var stort sett grei flyt gjennom alle kryssene, med lite tilbakeblokkeringer og opphopninger av kø. Man så allikevel en tydelig tendens til at hovedandelen av trafikken skulle i retning øst i alle kryssene, og at den største trafikkmengden kom fra vest i alle kryssene slik vist i Tabell 6.5. I Tonstadkrysset øst ble det registrert 1296 kjøretøy fra vest inn mot krysset, og 1052 kjøretøy mot øst ut fra krysset som høyeste mengder under makstimen. For Tonstadkrysset vest lå høyeste antall kjøretøy inn mot krysset på 1410 kjøretøy fra retning vest og 1313 kjøretøy som høyeste antall kjøretøy ut av krysset i retning øst. Gjennom Flatåsenkrysset var fordelingen inn mot krysset noe jevnere, men høyest fra retning øst på 975 kjøretøy. Det var også en jevn fordeling ut av krysset, med nesten lik mengde for retning øst og nord. De registrerte reisetidene under morgenrushet er vist i Tabell 6.4. Ser fra tabellen at reisetidene er nokså jevne, men noe høyere i retning fra vest til øst. Dette samsvarer med den observerte skjevfordelingen av trafikken.

Det ble ikke observert store trafikkavviklingsproblemer under morgenrushet, og ingen betydelige flaskehalser. Dette kan ha å gjøre med at det er tilstrekkelig kapasitet på hele strekningen for de observerte trafikkmengdene, og at etterspørselen ikke overgikk kapasiteten for noen av kryssene. Faseplanene så ut til å fungere godt, spesielt for de to lyskryssene på Tonstad. Her var koordineringen god, og det var ingen betydelige tilbakeblokkeringer mellom kryssene. Dette skilte seg ut fra resultatene fra Lindheim-Mindes masteroppgave fra 2018, der det tidvis ble observert tilbakeblokkeringer fra flettepunktet inn på Kolstadvegen fra påkjøringsrampa fra Saupstadområdet. Disse førte til tilbakeblokkeringer av Flatåsenkrysset og videre tilbake til omtrent 1 km mot Granåsen fra lyskrysset. Funnene fra vårens videoopptak viste ingen tegn til tilbakeblokkering av Flatåsenkrysset, som antageligvis skyldes etablering av kollektivfelt på rampa og langs strekningen.

Ut ifra resultatene fra beregningene gjort med nettverksmodellen i SIDRA, så kan det være antydning til en flaskehals der påkjøringsrampen fra Saupstadområdet kommer inn på Kolstadvegen i retning mot Bjørndalsbrua. Dette vises på kølengdene i Figur 6.7 fra denne retningen. Modellen er en forenkling av virkeligheten, som ikke tar hensyn til fletting av trafikk. I praksis vil trafikken flettes sammen, slik at køen blir fordelt bakover på rampa og mot Flatåsenkrysset. I perioder med mye trafikk fra Flatåsenkrysset og Saupstad ble det observert en fartsreduksjon som følge av nedbremsing ved fletting. Det kan dermed argumenteres for at det oppstår en flaskehals her, fordi man får en reduksjon av antall felt og derfor en kapasitetsreduksjon. Flaskehalsen førte likevel ikke til stor opphopning av kø. Dette løste seg opp igjen da trafikkstrømmen ankom Bjørndalsbrua, da vejen i denne retningen ble utvidet til to felt.

7.1.2 Ettermiddagsrush

Under ettermiddagsrush endret retningskjevheten i trafikken seg. Den ble snudd slik at hovedretningen av trafikken nå gikk fra øst mot vest. Dette medførte betydelige problemer over Bjørndalsbrua, som i denne retningen kun har ett felt. Videoopptakene og andre observasjoner fra befaringer og registreringsdagen viste tydelig en flaskehals over Bjørndalsbrua. Denne oppsto som følge av en reduksjon fra tre felt ut av krysset, til ett felt over brua i løpet av en 250 meter lang strekning. Trafikkstrømmen fra E6-rampa nord i krysset kom i tillegg nesten uavbrutt, siden den kun ble stoppet ved fotgjengersignal. Dette betydde en kontinuerlig strøm av kjøretøy som måtte flettes sammen med trafikkstrømmene fra de to andre armene i krysset. Trafikken gikk derfor mye saktere gjennom krysset ved Tonstad vest under ettermiddagsrushet mot det den gjorde under morgenrushet.

Trafikkmengdene inn og ut av kryssene under ettermiddagsrushet viste at trafikken var påvirket av retningskjevheten, slik vist tidligere i Tabell 6.7. Den største trafikkmengden inn i Flatåsenkrysset under makstimen var på 1437 kjøretøy fra retning øst, og den høyeste mengden ut av krysset var nokså jevnt fordelt mot vest og nord med 1144 kjøretøy mot nord. For Tonstadkrysset vest var den høyeste trafikkmengden inn til krysset 1466 kjøretøy fra nord og høyeste ut av krysset var 1520 kjøretøy mot vest. Antall kjøretøy fra øst inn til krysset var kun en tredjedel av antallet kjøretøy fra nord. Årsaken kan skyldes en kombinasjon av at trafikken fra nord kom tilnærmet uavbrutt inn til krysset, mens trafikken fra øst ikke kom seg gjennom krysset i perioder som følge av tilbakeblokkeringer. Denne tendensen så man også i Tonstadkrysset øst. Der var høyeste trafikkmengde inn mot krysset 1229 kjøretøy fra vest, som var nesten fire ganger så høyt som trafikkmengdene fra øst og sør inn til krysset. Under makstimen var disse retningene stort sett svært begrenset av tilbakeblokkeringer gjennom krysset, og det kom sjeldent mange biler gjennom krysset under grøntidene. Dette vises tydelig på mengden trafikk ut av krysset, der høyeste andel var mot øst med 825 kjøretøy.



Figur 7.1: Utsnitt over Tonstad øst og vest som viser tilbakeblokkeringer fra fletting ved Bjørndalsbrua under ettermiddagsrush.

Flaskehalsen ved Bjørndalsbrua viste seg å ha stor innvirkning på reisetidene gjennom strekningen. I Tabell 6.6 ser man at lengste reisetid var på over 17 minutter, og at reisetidene fra øst mot vest i snitt var over 2 minutter lengre enn reisetidene fra vest mot øst under ettermiddagsrush. Dette tydet på en nokså stor forsinkelse på strekningen og lange kølengder. Forsinkelsene kom av den svært høye etterspørselen ved flettepunktet før Bjørndalsbrua, som etter hvert overgikk kapasiteten til punktet. Dette førte til kødannelse oppstrøms flettepunktet, som ga lange køer gjennom begge kryssene på Tonstad slik vist i Figur 7.1. Omtrent ved kl. 16:00 var kryssene så overbelastet at køen sto langt opp på E6 rampa øst i Tonstadkrysset øst. Ved grøntid for denne retningen kom det kun 2-3 biler gjennom for hvert omløp, som resulterte i de høye reisetidene på over 17 minutter på dette tidspunktet.



Figur 7.2: Utsnitt fra videoopptak som viser problematikk med blokkering ut i krysset.

Flaskehalsen ved Bjørndalsbrua bidro som nevnt til at kryssene på Tonstad ble overbelastet. Dette førte til at logikken ved de trafikkstyrte lyskryssene brøt sammen, og de fungerte ikke lenger like optimalt for trafikksituasjonene. Konsekvensen av dette virket å være to lyskryss som ikke fungerte som de skulle, noe som bidro til å øke køene

fra proppen ved Bjørndalsbrua. Ved krysset på Tonstad øst ble det i perioder observert tilbakeblokkeringer langt tilbake på rampa fra E6 og langs hele Ytre Ringveg. Kryssene på Tonstad skal være koordinerte, men under makstimen brøt systemet sammen. Som regel vil retningen fra øst ha grønt samtidig i begge kryssene, men dette forskyves av kollektivprioriteringene i kryssene. Flere busser fra sør skulle vestover, men de ble ofte nødt til å vente gjennom grønttidene eller måtte stå delvis ut i krysset som vist i Figur 7.2.

Det kan konstateres at hovedårsaken til at det oppsto flaskehals på strekningen var reduksjonen av felt før Bjørndalsbrua under ettermiddagsrushet. Dette ble også pekt på som hovedproblemet i Lindheim-Mindes oppgave, og problemene som ble observert da var i stor grad de samme som ble observert i år. Det er ikke gjort store endringer på utformingen av Bjørndalsbrua og Tonstadkrysset vest siden den gang, og det antas at avviklingen på strekningen er tilnærmet lik da som nå under ettermiddagsrush. Selv om det ble etablert kollektivfelt i østgående retning på strekningen mellom Bjørndalsbrua og Flatåsenkrysset, så vil nok hovedårsaken til bussenes forsinkelser på strekningen komme fra før Bjørndalsbrua. Tiltaket kan i midlertidig ha en effekt dersom man eliminerer dagens flaskehals, og trafikkmengden over Bjørndalsbrua øker.

7.2 Hvordan kan SIDRA benyttes for å modellere dagens løsning og aktuelle tiltak på strekningen?

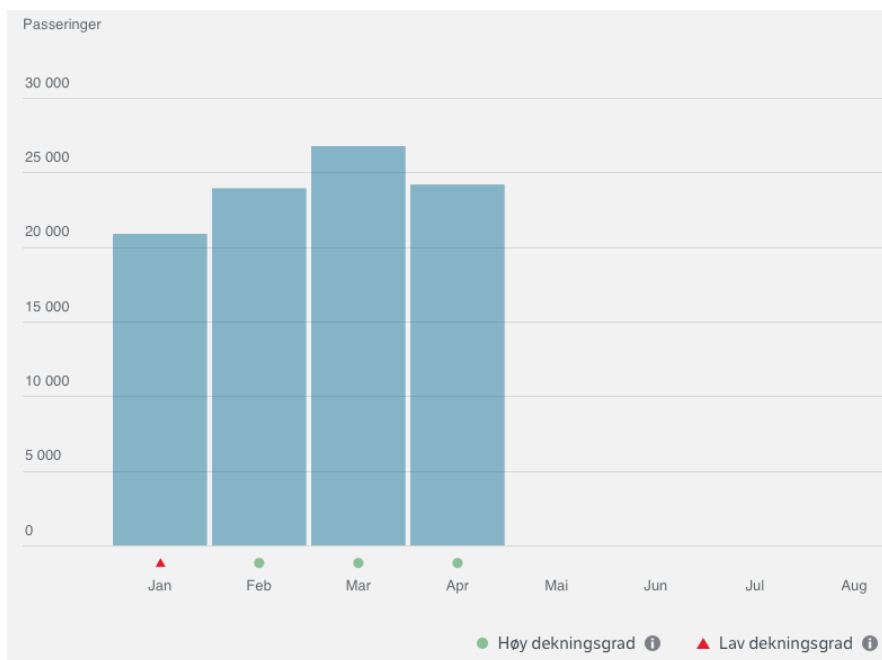
7.2.1 Fysisk utforming og trafikkdata

SIDRA ble valgt som modelleringsverktøy fordi det var et relativt enkelt verktøy å håndtere, og det egnet seg godt når man så på individuelle kryss. Det hadde mange muligheter når det kom til valg av utforming av kryss, som gjorde det enkelt å tilpasse utformingen til ønsket resultat. Modelleringene av dagens situasjoner ble utformet tilnærmet eksisterende utforming, med noen få forenklinger. Dette ga en nøyaktig modellering av områdene, og SIDRA sine funksjoner når det gjaldt utforming ble ansett som svært gode. I tillegg ble det mulig å modellere de alternative utformingene nokså like de utarbeidede skissene til løsningene.

Det at det var mulig å bygge opp modellene i SIDRA etter flere ulike maler, gjorde arbeidet med å tilpasse de ønskede utformingene lettere. Malene var enkle å forandre både når det kom til antall armer inn og ut av kryssene, men også antall felt og typer felt. Alle feltene kunne i tillegg justeres for å få korrekte bredder, lengder og stigninger på vegen. I de gjennomførte modelleringene ble det ikke lagt inn noen endring på stigningene, så alle kryssene fikk 0 % stigning for alle armene. Det er et nokså flatt område, så det ble antatt at denne forenklingen var ok.

På grunn av begrenset tid og ressurser i arbeidet med oppgaven, så ble datasettet med trafikkdata noe magert. Selv om trafikkdataene ble sjekket opp med tall for andre ukedager og uker, samt sammenlignet med tidligere år, så ble det innhentet begrenset med trafikkdata. Hadde det vært mer tid tilgjengelig, så ville det vært naturlig å hente inn mer data, både fra flere dager og fra et større tidsintervall gjennom dagene. Resultatene fra modelleringene ble kun basert på én trafikkregistrering, og viste derfor ikke et fullstendig bilde av trafikkforholdene i området. Resultatene kan sies å være gode nok for å gjenskape situasjonen på den gitte registreringsdagen, men for beregningene av alternative løsninger er det viktig å merke seg at trafikksituasjonen kan endres. Vurderingene gjort med annen tilgjengelig data for trafikkmengder ble derfor desto

viktigere for gyldigheten av beregningene for de alternative løsningene, da disse ikke kan sammenlignes med de observerte forholdene. Av den vurderingen som ble gjort, både med detektordata og med døgntrafikk fra tellepunkt så fremsto trafikktallene fra trafikk tellingen som representative for strekningen. Det ble i tillegg lagt vekt på å forsøke og velge en representativ dag for trafikkregistreringene, som det å velge en ukedag midt i uka (torsdag) og å unngå ferier og helg.



Figur 7.3: Månedsdøgntrafikk for tellepunkt Bjørndalsbrua i 2022 (Statens vegvesen, u.å.).

Som tidligere nevnt ble trafikkregistreringene noe utsatt i forhold til opprinnelig plan, for å vente på lettelse av korona-restriksjoner i landet. En ulempe med dette var at Oslovegen ble stengt fra januar 2022, og dette har mest sannsynlig hatt innvirkning på trafikkmengden over Bjørndalsbrua. Det kan derfor diskuteres om trafikknivået var noe høyere enn normalt på registreringsdagen. Ved sammenligning av trafikkdata fra tellepunktet Bjørndalsbrua, så lå tall for månedsdøgntrafikk i mars 2022 på 26 770, mens det i mars 2018 lå på 22 091. Tallene for mars 2022 skilte seg noe ut fra de andre månedene dette året, som vist i Figur 7.3. Det finnes flere mulige årsaker til dette, blant annet at landet åpnet opp igjen i midten av februar og at mange hadde gått fra å reise med kollektivtrafikk til privatbil i løpet av pandemien.

7.2.2 Faseplaner og signalanlegg

SIDRA sine mange muligheter til valg av faseplan og signalregulering ble godt brukt under analysene. Som nevnt tidligere i kapittel 4.3.2 ble det brukt en del tid på å tilpasse faseplanene i kryssene til modellen. Alle kryssene var trafikkstyrte, men det ble antatt at de under makstimen hadde såpass mye trafikk at fasene vil gå til makstid. De tilsendte signal- og faseplanene for kryssene ble derfor brukt som utgangspunkt for modelleringen, der det ble antatt at kryssene kunne modelleres som tidsstyrte med maksimal grønttid for hver fase. Dette ga et noe avvikende resultat for modellene i forhold til de observerte kølengdene på strekningen, og var spesielt et problem under ettermiddagsrushet og ved kryssene på Tonstad.

På grunn av kameraenes plassering i kryssene var det ikke mulig å se de faktiske fasetidene per syklus på videoopptakene. Det ble derfor vanskelig å tilpasse de trafikkstyrte lyskryssene nøyaktig i modelleringene, og dette bidro til forenklingen med å anta tidsstyrte lyskryss i SIDRA. Det viste seg under analysen at denne forenklingen ikke var helt optimal for de valgte kryssene. Det ble derfor jobbet videre med flere alternativer for både omløpstider og fasetider i SIDRA. En del av disse resultatene viste seg å være nyttige for endringer som kunne gjøres i kryssene, og de ga store forskjeller på trafikkavviklingen i forhold til faseplanen som ble benyttet i alternativ 0.0. I flere av alternativene ga SIDRA sine optimaliseringer av fasetider og omløpstider en god forbedring av trafikkavviklingen for dagens utforming. SIDRA fungerte godt til å modellere mulige forbedringer av dagens signalplaner.

I noen tilfeller passet de mulige forbedringene av faseplane bedre til de faktisk observerte forholdene for dagens utforming. Et eksempel på dette var alternativ 0.4 – Flatåsenkrysset, som beregnet fasetidene basert på en gitt omløpstid på 80 sekunder. Det viste seg at fordelingen av fasetidene som SIDRA gjorde ga en bedre belastningsgrad enn hva som ble resultatet av å legge inn makstidene fra den eksisterende faseplanen. Det samme gjaldt for alternativ 0.3 – Flatåsenkrysset, der SIDRA optimaliserte både omløpstid og fasetider. Under perioder der ikke lyskrysset gikk til makstidene for fasene kan det tenkes at omløpstiden lignet mer på den optimaliserte omløpstiden på 51 sekunder under morgenrush. Under ettermiddagsrush ble den optimaliserte omløpstiden på 75 sekunder, som ikke var langt ifra maks omløpstid på 80 sekunder i eksisterende faseplan.

7.2.3 Kapasitet og nettverksfunksjon

En utfordring med bruk av SIDRA var at det ikke var mulig å legge inn kapasitet på veiene ut av kryssene. Dette gjorde det vanskelig med modelleringen av kryssene på Tonstad under ettermiddagsrushet, fordi trafikken til tider sto nærmest stille i vestgående retning. Dette ble vanskelig å modellere uten mulighet for å legge inn begrenset kapasitet. Det ble gjort beregninger med økt rødtid for fasen med stillestående trafikk for både Tonstad øst og vest, som ga høyere kølengder og forsinkelser for trafikken fra øst, men også fra andre retninger. Resultatet ble derfor ikke en god modell av virkeligheten, og SIDRA passet dårlig til å modellere kryssene på Tonstad under svært overbelastede forhold.

Hovedgrunnen til at SIDRA ikke har en egen funksjon for å velge kapasitet ut av kryssene selv, er at dette kan beregnes ved hjelp av nettverksfunksjonen deres. Ved bruk av denne funksjonen så bestemmes trafikkoppbøpninger bakover som kører på nedstrøms felt som blokkerer oppstrøms felt, og det innføres kapasitetsbegrensninger på overbelastede oppstrøms felt. Dette begrenser igjen flyten som entrer nedstrøms felt. En iterativ prosess brukes så for å finne den løsningen som balanserer disse effektene. Dette betyr at SIDRA reduserer kapasiteten på krysset som blir blokkert bakover. Det at SIDRA reduserer kapasiteten nokså likt på armene som blokkeres av kø er ikke sammenlignbart med det som faktisk skjer i kryssene. På grunn av til dels koordinerte lyskryss, så hadde retningen fra E6-rampa grønt lys i Tonstad øst da den samme retningen hadde grønt lys i Tonstad vest. Det ble derfor en forskjell i trafikkstrømmen fra de to armene i Tonstad øst som ikke kom frem i modelleringene. Dette var en begrensning ved SIDRA som gjorde det utfordrende å modellere trafikkforholdene under ettermiddagsrushet for kryssene på Tonstad.

I tillegg ble trafikkmengdene som ble lagt inn i SIDRA basert på tellinger over stopplinjen for hver arm i krysset, og ikke hvor mange kjøretøy som ankom køen. Det ble altså ikke registrert etterspørselen for trafikkmengdene under overbelastede forhold, fordi etterspørselen under slike forhold må observeres bak køen. Videoopptakene filmet i hovedsak kryssene, og ikke utstrekningen av køene. Ved nærliggende kryss som blir tilbakeblokkert er det i tillegg utfordrende å finne etterspørselen til krysset nedstrøms. Dette gjør at SIDRA sine beregninger på blant annet forsinkelse og kølengder blir problematiske og lite presise, fordi man i de overbelastede retningene registrerer den faktiske avviklede kapasiteten. I og med at kryssene på Tonstad var såpass overbelastede i vestgående retning, så var kapasiteten i krysset nådd. Trafikken fra de andre retningene gjennom krysset opplevde ikke slike overbelastede forhold, og etterspørselen var derfor lavere enn kapasiteten for disse tilfellene. SIDRA kan derfor ha underestimert kølengder og forsinkelser, siden de registrerte trafikkvolumene var lavere enn den faktiske etterspørselen. Dette kan ha vært en grunn til at de beregnede kølengdene fra vest generelt ble lengre enn kølengdene fra øst.

Det ble også kjent at ved beregning av nettverk med kryss som ikke blir påvirket av nærliggende kryss, så beregner SIDRA kryssene hver for seg. Dette ble tilfellet med nettverksfunksjonen for hele strekningen, fordi Flatåsenkrysset ikke var påvirket av verken rettstrekke mellom krysset og brua eller kryssene på Tonstad. I og med at det er såpass lange strekker mellom Flatåsenkrysset og Tonstad vest, så ble ikke tilbakeblokkeringer fra det ene et problem for noen av kryssene. For Flatåsenkrysset var det derfor tilstrekkelig å benytte kun den individuelle modellen, da beregningene med nettverksmodellen ikke ga store forskjeller. Det ble observert forskjeller i maks kølengde, men dette kan forklares med endret omløpstid på modelleringen med nettverksmodellen. Høyeste belastningsgrad for krysset var den samme.

7.3 Hvordan kan alternative utforminger og tiltak påvirke trafikkavviklingen på strekningen?

Endring av dagens utforming og tiltak viste seg å gi store forskjeller for trafikkavviklingen på strekningen. Nedenfor diskuteres først virkningen for hvert kryss individuelt, før det blir diskutert den totale virkningen på strekningen. Det legges hovedvekt på endringen av den totale trafikkavviklingen for alle kjøretøy, men også andre faktorer som trafiksikkerhet, myke trafikanter og kollektivtrafikk blir nevnt avslutningsvis.

7.3.1 Flatåsenkrysset

For Flatåsenkrysset ble det gjort beregninger for mulige endringer av faseplan med eksisterende utforming, omgjøring til rundkjøring og utbygging av dagens utforming med flere felt. Det ble ikke tatt hensyn til verken gående eller kollektivtrafikk for dette krysset, fordi det ikke er aktuelt for krysset.

For alternativene med endrede faseplaner ble det sett på hvilke virkninger dette hadde på parameterne forsinkelse, kølengder og belastningsgrad sammenlignet med alternativ 0.0 som benyttet maksimal grøntid fra eksisterende faseplan. Det beste resultatet totalt sett for både morgen- og ettermiddagsrush var alternativ 0.3. Her ble SIDRA sin funksjon «optimum cycle time» benyttet for begge trafikktoppene. Det ga en total omløpstid på 51 sekunder for morgenrush og 75 sekunder for ettermiddagsrush. Tabell 6.8 og Tabell 6.9 viser belastningsgrader, maksimal forsinkelse og 95-persentil kølengde.

Denne 95-persentil kølengden er den verdien som kølengden ligger under i 95 % av alle observerte køer i omløpene i modelleringen. Tallene på disse parameterne viste seg å gi et godt resultat med ikke alt for lange forsinkelser eller kølengder. Belastningsgradene var på over 0,8 for begge trafikktoppene, som er på grensen til akseptable belastningsgrader i kryss. Ved de fleste trafikkberegninger i Norge er det ønskelig med en belastningsgrad på maks 0,8 for å unngå at etterspørselen overstiger kapasiteten. Det kan diskuteres om alternativet ga en bedre modell for den observerte trafikksituasjonen under dagens forhold, fordi en trafikkstyrt signalregulering i stor grad ville forsøkt å optimalisere fase- og omløpstider. Resultatet for alternativ 0.3 var i tillegg mer samsvarende med observasjonene fra videoopptakene når det kom til kølengder og forsinkelser.

Det ble sett på to ulike alternativ for rundkjøring, alternativ 1a og 1b. Utformingene ble vist i del 5, og de krevde ikke store arealutslag i forhold til dagens løsning. Det var store muligheter for forbedringer når det gjaldt trafikkavviklingen. Resultatene viste en tydelig reduksjon i både forsinkelse og kølengde for begge alternativene, og også en lavere belastningsgrad enn dagens løsning. Under morgenrush fungerte alternativ 1a og 1b like godt, mens 1a ga den beste trafikkavviklingen under ettermiddagsrushet. Her var trafikkmengden fra øst mot vest større, og det ekstra feltet fra øst mot nord hjalp betraktelig på å redusere forsinkelsen. En annen fordel med omgjøring til rundkjøring var at dette som regel reduserer risikoen for ulykker, siden det senker hastigheten i området og det reduserer antall konfliktpunkter. Det lå en rundkjøring kun 150 meter nord for krysset, så krysstypen ville sannsynligvis ikke ført til overraskelse for trafikantene. Avstanden var tilstrekkelig lengde mellom to rundkjøringer.

Det siste alternativet, alternativ 2a, krevde en utbygging av krysset. Som vist ville krysset på denne måten blitt utvidet med et ekstra felt i vestgående retning. Beregningene viste en god forbedring i belastningsgraden både ved morgen- og ettermiddagsrush. Belastningsgradene for alternativ 2a lå på 0,58 for morgenrush og 0,66 for ettermiddagsrush, med reduserte estimerte kølengder og forsinkelser. Fasetidene ble optimalisert av SIDRA basert på en gitt omløpstid, og fasene ble bevart slik som i opprinnelig faseplan. Alternativet forbedret trafikkavviklingen, spesielt under morgenrush. Her var krysstypen allerede kjent, så det anses ikke som en problematisk endring for trafikantene. Dette alternativet minnet om løsningen Lindheim-Minde forslo i sin oppgave. Der ble det sett på endring av feltbruken fra øst i krysset ved å endre ett av de to svingefeltene mot Flatåsen til den vestgående trafikken.

Ved å se på resultatene fra sensitivitetsanalysen så ble en fremtidig situasjon med økte trafikkmengder sammenlignet med dagens løsning og de nevnte alternativene. Det ble funnet ut at trafikkavviklingen for alternativene fortsatt ga bedre resultater enn dagens løsning med økte trafikkmengder. Analysen viste at selv med en økning på 20 % av dagens trafikkmengder, så ville trafikkavviklingen fortsatt fungert godt for spesielt alternativ 1a og 2a. Her ble belastningsgradene holdt under 0,8 for både morgen- og ettermiddagsrush, som vist i Tabell 6.15. For dagens situasjon så lå disse verdiene på 1,14 for morgenrush og 1,35 for ettermiddagsrush. Beregningene viste at både alternativ 1a og 2a ga en bedre trafikkavvikling med 20 % økt trafikkmengde sammenlignet med dagens utforming og dagens trafikkmengder. Alternativene som ble foreslått kan dermed konstateres å fungere godt, også i fremtiden. Dette er spesielt viktig dersom tiltak for å fjerne flaskehalsen i flettepunktet ved Bjørndalsbrua innføres, da dette kan påvirke trafikkstrømmen på strekningen frem mot Flatåsenkrysset. Dersom ingenting gjøres med

utformingen for Flatåsenkrysset samtidig, så vil det kunne vise seg å bli en aktiv flaskehals.

7.3.2 Bjørndalsbrua

For Bjørndalsbrua så ble det kun regnet på ett spesifikt tiltak knyttet til brua. Her ble en løsning med reversibelt felt utformet, som vist i del 5. Dette ble utformet for å bedre kapasitetsproblemene ved reduksjonen av felt før brua, uten å måtte ha behov for utbygging av brua. En eventuell utbygging av brua ville blitt kostbart, og ville krevd mer kompetanse og ressurser enn det var tilgjengelig ved arbeidet med masteroppgaven. I tillegg var det heller ikke ønskelig å fjerne gang- og sykkelvegen over brua, da dette ville ført til store negative konsekvenser for gående. Resultatene fra beregningene viste at ved å øke antall felt før Bjørndalsbrua under ettermiddagsrushet, så ble estimert kølengde og forsinkelse redusert i forhold til dagens situasjon 0.0. Kølengdene og forsinkelsene ble i tillegg redusert for alle trafikkstrømmene mot vest i Tonstadkrysset vest. Det så heller ikke ut til å forverre kølengden fra vestlig retning, der det ble redusert til ett felt over Bjørndalsbrua for østgående trafikk. Tiltaket så altså ut til å bidra positivt for trafikkavviklingen gjennom krysset, og det kan tenkes at dette vil eliminert flaskehalsen slik at man kunne unngått kø tilbake til Tonstad øst. En slik positiv effekt ble også funnet i Lindheim-Minde sin oppgave, der det ble simulert en reduksjon i reisetidene for vestgående trafikk under ettermiddagsrushet. Effektene fra hans oppgave samsvarer med de forventede effektene funnet i denne oppgaven.

Det ble også her gjennomført en analyse for hvordan løsningen fungerte med 10 % og 20 % økning av trafikkmengdene. Ved økning til 10 % økte belastningsgraden fra 0,86 til 0,95 som medførte at krysset sannsynligvis ville nærmet seg en overbelastet tilstand. Denne økte ytterligere ved 20 % økning av trafikkmengden, og belastningsgraden ville da vært 1,03. Kølengdene ville vært spesielt lange for trafikken fra nord mot vest, med høyeste 95-persentil kølengde på 309 meter fra nord ved 20 % trafikøkning.

Reversible kjørefelt vil kunne øke fremkommeligheten for vestgående trafikk under ettermiddagsrushet. Dette vil også gi positive effekter for kollektivtrafikken, som lettere vil komme seg fra holdeplassen Tonstadkrysset 4 og over Bjørndalsbrua. Samtidig vil det kunne bli aktuelt å se på muligheten for å regulere ett av feltene over brua som kollektivfelt, for å øke fremkommeligheten for kollektivtrafikken. Det ble ikke gjort beregninger i SIDRA på en slik løsning, men det antas at et kollektivfelt ville bidratt til å redusere forsinkelsene for bussene på strekningen. Ved etablering av eget kollektivfelt over brua vil det potensielt bli behov for vekslingsstrekning før og etter brua, noe som kan bli utfordrende med det relativt korte strekket over brua. Det bør derfor vurderes om den økte fremkommeligheten ved to kjørefelt er tilstrekkelig for kollektivtrafikken, og om det vil være behov for etablering av kollektivfelt i tillegg.

En annen utfordring som kan påvirke trafikkavviklingen er hvor forståelig en slik løsning vil være for trafikantene. Reversible felt er generelt lite brukt i Norge på rette, åpne vegstrekninger, og kan dermed virke uforståelig og forvirrende for enkelte sjåførere. Dersom løsningen skal fungere på Bjørndalsbrua vil det kreve at skilt og signaler merkes tydelig og forståelig for alle trafikanter, for å unngå misforståelser. I og med at flettefeltet før det reversible feltet kommer nokså tett opp mot krysset ved Tonstad vest, så kan det fort bli mye som skjer på en gang. Det vil potensielt bli mange feltendringer, som kan medføre en reduksjon av hastigheten i området og økte køer som følge av dette. Det blir dermed helt essensielt å utføre skilting og varsling om innføring av reversibelt felt så forståelig og oversiktlig som mulig. I tillegg vil det kreve en passende

overgangsperiode midt på dagen med god nok tid til å endre kjøreretning for feltet på en trafiksikker måte. Her kan det f.eks. tenkes at en periode på 1-2 timer vil være tilstrekkelig for å sikre at ingen benytter seg av feltet i endringsperioden. Tidspunktet når skiftet skal skje på bør settes til det tidspunktet på dagtid med lavest trafikkmengder, for ikke å påvirke trafikkavviklingen mest mulig.

For å hjelpe til med å gjøre varslingen så forståelig og oversiktlig som mulig, kan det benyttes ulike ITS-tiltak. Disse vil sikre god informasjonsflyt til både fører og kjøretøy for å unngå uønskede situasjoner. Bedre flyt i trafikken vil igjen gi en bedre avvikling, og trafikkforholdene rundt Bjørndalsbrua vil kunne bedres. Det er likevel uvisst hvor stor denne effekten faktisk vil være, da det er vanskelig å modellere eksakt. I tillegg vil dette tiltaket kreve at kjøretøyene kan kommunisere med hverandre, noe som varierer veldig avhengig av hvilket kjøretøy man har og alderen på det. Per dags dato er bruken av en rekke ITS-verktøy knyttet til autonome kjøretøy begrenset på grunn av manglende lovverk. Det kan derfor ikke forventes at kombinasjonen av reversible felt og enkelte ITS-tiltak vil kunne innføres enda, men at det vil kunne bli en mulighet på sikt.

7.3.3 Tonstad øst og vest

Området på Tonstad hadde generelt dårlig trafikkavvikling, og det ble derfor sett på som et viktig punkt å forbedre. Trafikkavviklingen med dagens signalregulerte lyskryss fungerte stort sett dårlig, med høye belastningsgrader for begge kryssene og lange forsinkelser og kølengder både for personbiler og kollektivtrafikk. Som nevnt i diskusjonen om hvorvidt det var mulig å modellere dagens situasjon i SIDRA og nøyaktigheten av denne, så var det utfordrende å få resultatene til å stemme overens med observasjonene fra videoopptak og befaringer. Det ble likevel gjort beregninger av kryssene hver for seg, samt prøvd ut en løsning der området ble samlet til et stort kryss.

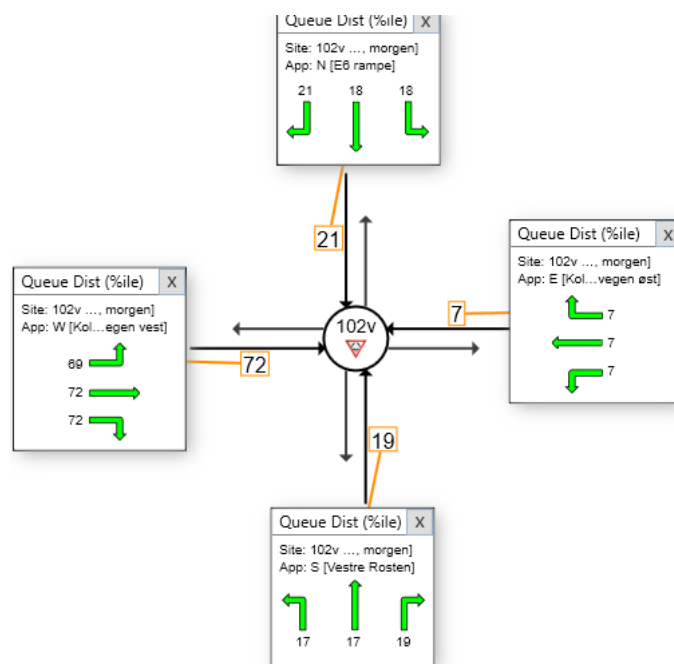
Alternativ 1a – Tonstad øst endret utformingen fra signalregulert kryss til rundkjøring med to felt gjennom hele. Dette førte til lave kølengder og forsinkelser, og belastningsgrader på 0,6 for morgenrush og 0,49 for ettermiddagsrush. Dette viste igjen at en omgjøring til rundkjøring som regel vil forbedre trafikkavviklingen. En potensiell utfordring med løsningen var at dersom trafikken ble avviklet bedre gjennom krysset i Tonstad vest, så ville trafikkstrømmene fra øst øke som en følge av at den nærmest stillestående køen ble løst opp. Dette ville da kunne øke mengden trafikk fra øst, som kunne bidratt til økte kølengder og forsinkelser fra denne retningen. Resultatene fra beregningene gjort med rundkjøring og dagens trafikk tall tydet ikke på at det ville blitt et stort problem, fordi kølengdene og belastningsgraden fra øst var lavest av armene. Dersom trafikkmengden hadde økt fra øst, så tydet de innhentede trafikk tallene på at største andelen av trafikkmengden skulle vestover og dermed kunne ha kjørt rett gjennom rundkjøringen. Det ville derfor vært begrenset hvor mye den økte trafikkmengden påvirket trafikken fra de andre armene. Beregninger gjort med økte trafikk tall støttet dette, og rundkjøringen fungerte greit med både 10 % og 20 % økning i trafikk tall. Belastningsgradene ved økning av trafikk tall for rundkjøring var redusert til nesten halvparten sammenlignet med de for dagens situasjon 0.0 med økte trafikk tall.

Alternativ 1a – Tonstad øst ville ikke gitt den samme graden av prioritet for kollektivtrafikken. Ved omgjøring til rundkjøring ville muligheten for aktiv prioritering i lyskrysset forsvunnet ved at både lysreguleringen og kollektivfeltet for bussene fra vest mot øst ble fjernet. De estimerte kølengdene og forsinkelsene for modellen med

rundkjøringen tydet likevel på en reduksjon av disse, noe som ville betydd at også kollektivtrafikken ville fått fordeler med en slik utforming. Det ville nok ha hatt størst effekt for bussene fra sør mot vest, som ved dagens løsning opplevde store forsinkelser. Løsningen ble utformet med filterfelt for kollektivtrafikken fra sør mot øst inn til kollektivknutepunktet, som bidro til å bevare prioriteringen inn til denne. Den totale effekten for bussene i krysset kan tenkes at ikke blir noe verre enn ved dagens løsning, selv med en liten økning i forsinkelse for bussene fra vest.

En annen mulig løsning for Tonstadkrysset øst var alternativ 2a, der det ble bygget ut med tre felt i retning vest. Det ytterste feltet settes da som kollektivfelt med mulighet for høyresvingende trafikk ved Tonstad vest. Utformingen ble kombinert med optimalisering av omløps- og fasetider av SIDRA, og ga en noe bedre trafikkavvikling enn dagens løsning. Både estimert forsinkelse og belastningsgrad ble redusert for begge trafikktoppene, og også kølengdene. Det kan diskuteres om forbedringen skyldes det ekstra kjørefeltet ut av krysset, eller om det skyldes den optimaliserte faseplanen. Sammenlignet man beregningene her med alternativ 0.2, så ble resultatet nesten identisk. Mye tydet derfor på at forbedringen i trafikkavviklingen skyldtes bedre optimalisering av signalreguleringen. Kollektivtrafikken vil kunne få stor nytte av denne løsningen, fordi den i stor grad prioriterer kollektivtrafikkens fremkommelighet. Løsningen kan enkelt skiltes med skilt for kollektivfelt og tillatt høyresving, slik at feltbruken blir forståelig for trafikantene. Ved en trafikkøkning ble trafikkavviklingen forverret, og løsningen ville ikke fungert like godt. Belastningsgraden lå på over 0,8 under både morgen- og ettermiddagsrush med både 10 % og 20 % økning av trafikkmengden. Løsningen ga likevel en bedre trafikkavvikling enn dagens løsning ved økte mengder, og ville potensielt gitt bedre trafikkflyt for spesielt kollektivtrafikken. Samtidig tydet tallene på at løsningen under morgenrush med økte trafikkmengder ville gitt køer helt tilbake til Tonstad vest. Dette ville ført til en ny flaskehals her.

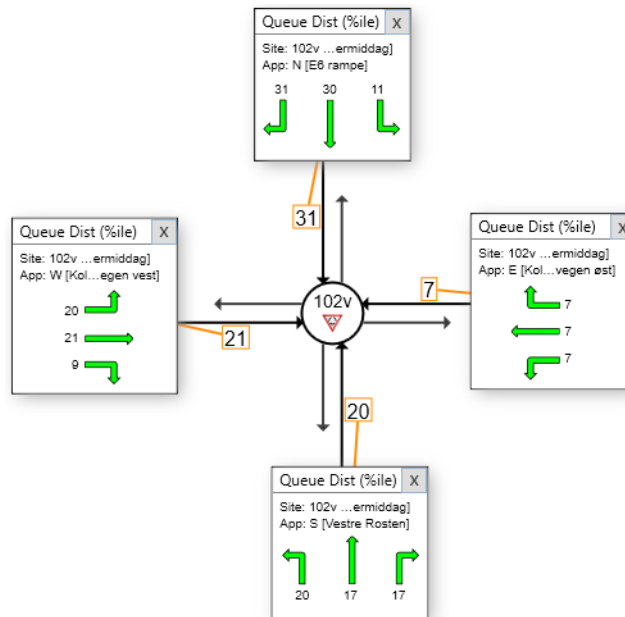
Et tiltak som kunne gjøres for krysset Tonstad vest, var alternativ 1a – Tonstad vest som presentert i del 5. I likhet med de to andre kryssene så ville en ombygging til rundkjøring på Tonstad vest forbedret trafikkavviklingen i forhold til dagens lysregulerte kryss. Flyten i rundkjøringen ble forbedret, som medførte mindre forsinkelse og kortere kølengder enn ved dagens løsning. Kølengdene under morgenrushet viste tydelig skjevfordelingen av trafikkmengdene, med 10 ganger så lange køer fra vest som det var fra øst, slik vist i Figur 7.4. 95-persentil kølengdene var likevel mye lavere enn ved dagens løsning, og det samme gjaldt for de gjennomsnittlige forsinkelsene. For ettermiddagsrush ga løsningen ganske høye kølengder fra spesielt nord, og belastningsgraden var 0,9. Feltbruken for rundkjøringen kunne med fordel vært endret. I og med at den største trafikkmengden fra nord skulle mot vest, så hadde det vært mer gunstig med kun høyresvingende trafikk i høyre felt fra nord. Da hadde man også unngått fletteproblemer for trafikk fra nord mot sør, som måtte ha blitt flettet sammen før utfarten mot sør. Den samme endringen burde vært gjort for trafikken fra sør mot nord. Her skulle trafikkmengden med den minste andelen mot nord, og denne svingebevegelsen kunne blitt redusert til ett av feltene.



Figur 7.4: 95-persentil kølengder under morgenrush for alternativ 1a - Tonstad vest.

Ved en økning av trafikkmengdene for alternativ 1a – Tonstad vest, så ble ikke resultatene akseptable med tanke på trafikkavviklingen. Belastningsgrad ved 20 % økning av trafikkmengder under ettermiddagsrush lå på 1,16, som ga et meget overbelastet kryss. Det samme tydet den største kølengden på, som var på 798 meter. Dette ville gitt en for dårlig trafikkavvikling, og ville derfor ikke vært en spesielt god løsning verken for kollektivtrafikk eller kjøretøy generelt.

Det ble prøvd å forbedre trafikkavviklingen for rundkjøring ved å øke antall felt fra nord og vest, samt en bedre utnyttet feltbruk. Dette ble presentert i alternativ 1b – Tonstad vest, og resulterte i en mye jevnere trafikkavvikling i rundkjøringen under både morgen- og ettermiddagsrush. Økningen av felt gjorde i midlertidig løsningen mindre egnet for myke trafikanter, fordi det ble flere felt å krysse over. Dette blir diskutert nærmere senere i dette kapitlet. Den største kølengden under ettermiddagsrushet var fra nord, slik vist i Figur 7.5. Det var også herifra hovedandelen av trafikken kom fra, men som vist i Tabell 6.2 så skulle hovedandelen av trafikken mot høyre. Ved økning på 10 % trafikk så økte belastningsgraden til 0,65 for høyresvingende trafikk fra nord. Den gjennomsnittlige forsinkelsen for hele krysset var likevel på kun 9,2 sekunder og kølengdene var akseptable. Det kunne blitt vurdert å legge inn et eget filterfelt fra nord for å forbedre trafikkavviklingen for rundkjøringen totalt, men som nevnt skulle trafikken fra nord stort sett til høyre i krysset og ville i liten grad hindret trafikken fra vest i å komme inn i rundkjøringen. Filterfeltet kan begrenses til å være et kollektivfelt, slik at bussens prioritet og fremkommelighet i denne retningen ville blitt bevart. Ved økning på 20 % av trafikkmengdene ville belastningsgraden fortsatt vært under 0,8 og verdiene for kølengder og forsinkelser var lave. Ved problemer knyttet til skjevheten i trafikkmengdene kunne dette blitt kontrollert ved tilfartskontroll, som ville gitt trafikkstrømmene fra mindre veger økt prioritet.



Figur 7.5: 95-persentil kølengder under ettermiddagsrush for alternativ 1b - Tonstad vest.

Det siste alternativet for Tonstad vest, alternativ 2b var en økning i antall felt fra øst. Det bygget på alternativ 2a – Tonstad øst, der det ytre feltet ble satt som kollektivfelt med tillatt høyresving for alle. Denne løsningen viste seg å ikke gi store forskjeller totalt sett i forhold til dagens situasjon, men medførte noe lavere forsinkelser og kølengder. For høyresvingende trafikk fra øst så ble kølengdene redusert til null, og det kan antas at løsningen også vil medført store forbedringer for kollektivtrafikken. Løsningen kunne i tillegg blitt kombinert med reversibelt felt over Bjørndalsbrua for å kunne øke kapasiteten ytterligere under ettermiddagsrushet. Ved økning i 10 % trafikkvolum så økte den høyeste gjennomsnittlige ventetiden til nesten 2 minutter. Belastningsgraden økte i tillegg til 1,07. Sammenlignet med økning av trafikkmengdene for dagens løsning så ga alternativ 2a fortsatt et bedre resultat.

7.3.4 Hele strekningen

Alle de nevnte alternativene kunne isolert sett fungert godt, men de ville også påvirket hverandre. Det ble sett på et tiltak der kryssene på Tonstad ble koblet sammen til en stor rundkjøring. Dette ble presentert i alternativ 1c – Tonstad, der alle de fem armene ble koblet sammen. Løsningen viste seg å gi grei trafikkavvikling, spesielt med tanke på kølengder og gjennomsnittlig forsinkelse. Selv om kjørelengden for en del svingebevegelser økte med denne løsningen, så kan det tenkes at den reduserte forsinkelsen og kølengden ville gjort opp for dette. De fleste trafikanter er mer villige til å godta kø dersom de er i bevegelse, noe som beregningene tyder på vil skje. En utfordring med løsningen er at det kan bli vanskelig å skaffe seg oversikt over hele rundkjøringen for nye trafikanter, og den kan lett fremstå som stor og uoversiktlig. Utformingen av skissen viser to felt gjennom hele rundkjøringen, og det kan lett bli vanskelig å vite hvilket felt man skal ligge i til enhver tid. Dette kan medføre trafikkfarlige situasjoner, så god nok varsling i god tid vil være viktig for at en slik løsning skal fungere godt.

Beregningene gjort for denne løsningen tydet også på at det kunne vært nødvendig med tilfartskontroll for noen retninger. Dette ville spesielt vært viktig dersom trafikkmengdene økte, da det førte til belastningsgrader på opptil 1,03. Tilfartskontroll ga i tillegg økt

sikkerhet for gående som krysset gangfeltene ved de vestre og sørvestre armene for å komme til og fra bussholdeplassen ved Bjørndalsbrua. Dette var spesielt viktig siden fotgjengerne måtte krysse flere felt. Tilfartskontroll kunne i tillegg vært et nyttig verktøy å benytte dersom trafikkmengdene inn og ut av rundkjøringen var skjevfordelt, og spesielt under rushperioder.

Med bakgrunn i beregningene av de alternative tiltakene og utformingene på kryssene isolert sett, så ville en innføring av tiltakene ført til en endring i trafikkavviklingen for hele strekningen. Hovedmålet med å endre utformingen for problempunktene var å bedre trafikkavviklingen for hele strekningen, og det var derfor viktig å se på hvordan den totale virkningen for hele strekningen. Hovedårsakene til problemene på strekningen ble diskutert tidligere i dette kapittelet, så målet ble å finne kombinasjonen av tiltak som løste disse problemene på best mulig måte.

Området med størst behov for forbedring ble identifisert som Tonstadkryssene og Bjørndalsbrua. Løsningene presentert over ser alle ut til å kunne forbedre kapasiteten gjennom kryssene. For kryssene på Tonstad trekkes ombygging til rundkjøring i hvert kryss eller til en superrundkjøring frem som gode løsninger for å bedre trafikkavviklingen generelt. Effekten disse tiltakene vil ha for kollektivtrafikken er ikke estimert, men det kan forventes at også bussene vil få de positive effektene av den reduserte forsinkelsen gjennom kryssene. Denne løsningen ble også foreslått i Lindheim-Minde sin oppgave som en mulig god løsning for avviklingen på Tonstad-området. Ved innføring av rundkjøringer ble det der funnet en redusert reisetid på strekningen, også for trafikken i østgående retning som under ettermiddagsrush kun hadde ett kjørefelt mellom Flatåsen og Bjørndalsbrua i 2018.

Alternativene med utbygging av ekstra kollektivfelt med høyresvingende trafikk mellom kryssene i vestlig retning vil være en god løsning dersom det er ønskelig å bevare prioriteringen av kollektivtrafikken med lysregulering. I tillegg vil løsningen med reversibelt kryss forbedre kapasiteten ut av krysset, som vil forbedre forholdene på hele strekningen betraktelig. Det kan likevel tenkes at ved å fjerne dagens flaskehals, så kan en ny flaskehals oppstå på et annet punkt på strekningen. Om flyten blir så god gjennom hele området på Tonstad og over Bjørndalsbrua, så kan det tenkes at flaskehalsen forflyttes mot Flatåsenkrysset under ettermiddagsrushet. Beregningene og observasjonene fra dagens løsning viste relativt grei flyt gjennom krysset i dag. Et mulig problem som kan oppstå i Flatåsenkrysset vil være at mengden trafikk fra øst blir så stor at forsinkelsene og kølengdene fra øst vil bli større. Armen fra nord i Flatåsenkrysset er kort, med kun 150 meter til neste rundkjøring. Dette kan føre til avviklingsproblemer her, og problemet ved Bjørndalsbrua kan ende opp å bli flyttet til Flatåsenkrysset. Det er ikke gjort beregninger på at dette faktisk vil være tilfellet, og det er presentert mulige løsninger for forbedring av trafikkavviklingen i Flatåsenkrysset som løsning på dette.

7.4 Andre forhold

Som nevnt innledningsvis i diskusjonen, så har hovedfokuset ved utviklingen av tiltak og utforminger vært å bedre trafikkavviklingen. Det finnes likevel andre viktige aspekter ved valg av kryssløsninger som det er verdt å diskutere. De blir tatt med kort her, men vil kunne kreve mer utredning ved endelig valg av løsninger.

7.4.1 Trafikksikkerhet

Trafikksikkerhet er en av de viktigste faktorene for valg av kryssløsninger, og det stilles i dag strenge krav til trafikksikkerhet. Generelt anses rundkjøringer som et tiltak som

reduserer antall trafikkulykker blant kjøretøy, fordi det reduserer konfliktpunktene. Dagens signalanlegg har flere konfliktpunkter, spesielt for venstresvingende trafikk og trafikk som blir stående i kjørebanelen for andre kjøreretninger under overbelastede perioder. Disse reduseres ved ombygging til rundkjøring.

For alternativene med økt eller endret feltbruk, så vil dette kunne medføre en økt risiko for ulykker. Som regel vil risikoen for ulykker øke dersom behovet for endring av felt øker, slik man kan se ved innføring av kollektivfelt. En løsning med reversible kollektivfelt vil kreve strenge krav til trafikksikkerheten, og benyttes svært sjeldent på norske veger i dag på grunn av hensyn til trafikksikkerhet.

7.4.2 Myke trafikanter

Det er kun krysset på Tonstad vest som kommer i direkte kontakt med myke trafikanter, foruten kollektivknutepunktet rett ved Tonstad øst. Det ble i størst mulig grad prøvd å bevare dagens GS-løsninger her, med noen tilpasninger i de tilfellene der det var nødvendig. Løsningene med bevaring av signalanlegget på Tonstad vest vil sannsynligvis være den tryggeste løsningen for de myke trafikantene. Selv om det gir en høyere forsinkelse for gående enn usignaliserte gangfelt, så vil det likevel for mange oppleves som en tryggere løsning. Mye tyder på at signalregulerte gangfelt kan redusere antall fotgjengerulykker, og spesielt ved kryssing av flere enn to felt. Det vil være viktig å bevare dagens trafikkøyer, slik at fotgjengerne kan krysse i flere etapper dersom det er nødvendig.

For løsningene med rundkjøring som alternativ så kan det vurderes å innføre tilfartskontroll i de armene med mest trafikk, og samtidig legge inn lysregulert kryssing. Da vil man kunne kontrollere trafikkmengden inn i rundkjøringen, samtidig som det gir myke trafikanter muligheten til å krysse vegen trygt.

7.4.3 Kollektivtrafikk

Kollektivtrafikken blir i stor grad påvirket av trafikkforholdene på Tonstad, men påvirkes i liten grad av forholdene mellom Bjørndalsbrua og Flatåsenkrysset. AtB har selv konkludert med at strekningen mellom Tonstad øst og vest er en flaskehals for kollektivtrafikken, og at denne bidrar til store forsinkelser for kollektivtrafikk i vestgående retning. Løsningene bør derfor utformes slik at de tar hensyn til kollektivtrafikken på best mulig måte, uten at det nødvendigvis trenger å gå ut over andre trafikanter. For kollektivtrafikken vil en bygging av ekstra kollektivfelt på strekningen mellom Tonstadkryssene i vestgående retning kunne medføre reduksjon av forsinkelsene. Det vil bevare prioriteringen av kollektivtrafikken, og samtidig øke kapasiteten gjennom Tonstad vest ved å bygge to felt mot vest gjennom krysset. Kombinert med reversibelt felt over Bjørndalsbrua vil øvrig trafikk komme seg over brua mer effektivt, slik at bussen kommer raskere over brua og til kollektivfeltet her. Det vil samtidig være mulig å bevare kollektivfeltet øst for Tonstadkrysset øst, der kollektivknutepunktet ligger.

Løsningene med rundkjøring viser en generell forbedring av trafikkavviklingen, og det kan antas at en slik forbedring også vil gagne kollektivtrafikken. Dette fordi alle trafikkstrømmene vil få en forbedret kapasitet. En av fordelene med å bevare det signalregulerte krysset er muligheten til å prioritere kollektivtrafikken gjennom krysset. Ved omlegging til rundkjøring fjernes denne prioriteringen, og bussene må følge resten av biltrafikken. Ved behov kan det tilføres tiltak som filterfelt for kollektivtrafikk og tilfartskontroll for å gi prioritet til retninger med høy andel kollektivtrafikk. Disse

justeringene er det ikke gjort beregninger på, men det antas at det kan innføres uten for store forsinkelser for den resterende trafikken.

8 Konklusjon

I dette kapitlet oppsummeres resultatene og diskusjonen for de formulerte forskningsspørsmålene. Disse besvares i samme rekkefølge som i diskusjonskapitlet.

Hva er hovedårsakene til at flaskehalsen oppstår på denne strekningen?

Det ble under arbeidet med trafikktegn og videoopptakene registrert en skjevhet i retningsfordelingen under både morgen- og ettermiddagsrush. Andelen trafikk var høyest i retning øst under morgenrush, mens denne var snudd i motsatt retning under ettermiddagsrushet. Denne skjevheten i retningsfordelingen viste seg å ha mye å si for kapasiteten på vegstrekningen under trafikktoppene.

Under morgenrushet ble det ikke observert like store kapasitetsproblemer som antatt før registreringene. Trafikken så ut til å flyte greit fra Flatåsen og ved flettingen med påkjøringsfeltet fra Saupstad/Flatåsen. Det ble i perioder registrert noen køer og nedbremsing som følge av denne flettingen, men disse løste seg fort opp. Fra denne flettingen var det minst to felt helt til krysset Tonstad øst, med perioder med kollektivfelt før Bjørndalsbrua og før krysset Tonstad øst. Kapasiteten var derfor stort sett tilstrekkelig, og det ble ikke registrert problematiske forsinkelser eller kølengder på strekningen.

Ved endring i retnings-skjevheten under ettermiddagsrush, så ble kapasiteten på strekningen betydelig redusert. Hovedproblemet oppsto i flettingen før Bjørndalsbrua, der feltene ut fra Tonstadkrysset vest ble redusert til kun ett i vestgående retning. Det oppsto kødannelse på dette punktet allerede rundt kl. 15:20 som varte i godt over en time. Fra rundt 16:00 var krysset Tonstad vest så overbelastet at køene gikk helt tilbake til Tonstad øst, og videre oppover på rampa fra E6. Dette varte i omtrent en halvtime, før trafikkmengden avtok noe og belastningen på krysset ble redusert. Disse tilbakeblokkeringene førte til at signallogikken i Tonstad øst brøt sammen under denne perioden, som bidro til ytterligere dårlig avvikling gjennom krysset. Den fasen med grønt samtidig som det var grønt for trafikken i køen mot vest var dermed den eneste som fikk utnyttet sin grønntid. Selv om busstrafikken hadde prioritet i begge kryssene på Tonstad, så ble det observert at ikke alle bussene fra Ytre Ringveg kom seg gjennom krysset på grunn av tilbakeblokkeringene. Det ble ikke observert store avviklingsproblemer rundt Flatåsenkrysset, og trafikken fløt for det meste godt etter Bjørndalsbrua der antall felt ble utvidet med ett kollektivfelt.

Hvordan kan SIDRA benyttes for å modellere dagens løsning og aktuelle tiltak på strekningen?

SIDRA ble benyttet for alle de tre kryssene og til en nettverksmodell over hele strekningen. Det viste seg å gi noen ulike utfordringer for de observerte problemområdene, spesielt ved modellering av faseplanene og ved beregning av kapasitet i kryssene.

SIDRA fungerte godt for å tilpasse modellene til dagens løsninger, og det var enkelt å endre og justere utformingene for de ulike alternativene. Det var et godt program for enkle modelleringer av kryssene uten påvirkning av nærliggende kryss. Det fungerte

også godt for å se på hvordan endringer av kryssutforminger forandret trafikkavviklingen, og det ble mulig å sammenligne med resultatene fra dagens løsninger.

Den største utfordringen med å modellere dagens løsninger og aktuelle tiltak var knyttet til kapasitet i nærliggende kryss og tilbakeblokkering av kryss. SIDRA sin manglende evne til å legge inn begrenset kapasitet ut av kryss ga utfordringer knyttet til modellene for kryssene på Tonstad under ettermiddagsrush. Ved bruk av nettverksfunksjonen ble noe av dette løst, men justeringene som SIDRA gjorde ved beregning av begrenset kapasitet stemte ikke helt overens med de virkelige forholdene. Det var derfor betydelig vanskeligere å modellere dagens situasjon så eksakt som mulig under ettermiddagsrush enn det var under morgenrush, der det var mindre kapasitetsproblemer i de nærliggende kryssene.

Hvordan kan alternative utforminger og tiltak påvirke trafikkavviklingen på strekningen?

Det ble presentert flere ulike tiltak og tall på utvalgte parametere for vurdering av deres virkning på trafikkavviklingen på strekningen i resultat- og diskusjonsdelen. Funnene oppsummeres her.

For Flatåsenkrysset ble det påpekt at det ikke var store problemer med trafikkavviklingen under verken morgen- eller ettermiddagsrushet. Det ble likevel sett på mulige endringer av kryssutformingen som kunne implementeres, for å hindre aktivering av en skjult flaskehals ved fjerning av en annen. De alternativene med best estimert trafikkavvikling i beregningene ble alternativ 1a med rundkjøring og alternativ 2a med ekstra felt gjennom krysset i vestgående retning og tilpasset faseplan. Resultatene fra sensitivetsanalysen viste også gode resultater med tanke på trafikkavviklingen under økte trafikkmengder.

Reduseringen til ett felt over Bjørndalsbrua i vestgående retning ble tidlig sett på som hovedproblemet på strekningen, spesielt under ettermiddagsrush. Problemene under morgenrushet var betraktelig mindre enn under ettermiddagsrushet, og dette skyldtes den skjeve retningsfordelingen. Det meste av trafikken bevegde seg mot vest under ettermiddagsrushet, og skapte problemer ved Bjørndalsbrua. På grunn av utfordringer og høye kostnader knyttet til å utvide brua med ett ekstra felt, så ble det sett på en løsning med et midtstilt reversibelt kjørefelt over brua. På denne måten ble det mulig å utnytte kjørefeltene over brua i større grad enn ved dagens løsning, for å kunne minske flaskehalsens negative effekt. Løsningen viste seg å fungere bedre enn dagens løsning med tanke på trafikkavviklingen gjennom Tonstadkrysset vest og mot brua. Det ble likevel nevnt at dette er en løsning som ikke er mye brukt i Norge, og det er generelt en skepsis om hvor trafiksikker løsningen er. Det finnes tiltak for å gjøre løsningen så forståelig og trafiksikker som mulig, blant annet gjennom bruk av ITS-tiltak og skilting.

For det siste problemområdet ble det sett på tiltak rettet mot hvert kryss hver for seg og tiltak som slo sammen de to kryssene til ett stort kryssområde. For Tonstad øst ble det sett på ett alternativ med ombygging til rundkjøring og ett alternativ med utbygging av kjørefeltene ut av krysset i vestgående retning. Alternativet med ombygging til rundkjøring ga en forbedret trafikkavvikling, også med økte trafikkmengder. Resultatet viste forbedring på både belastningsgrad, kølengder og forsinkelser under begge trafikktoppene, noe som samsvarte med teorien ved ombygging fra signalregulert kryss til rundkjøring. For alternativet med utvidet felt til bruk for kollektivtrafikk og høyresvingende trafikk, så ga også dette en forbedring i trafikkavviklingen. Forbedringen skyldes nok i stor grad en optimalisering av signalanlegget, i forhold til at det går til makstidene i eksisterende faseplan. Det vil antageligvis ikke gi store utslag for

biltrafikken, men vil kunne gi store fordeler for høyresvingende trafikk og kollektivtrafikken sin fremkommelighet. Signalreguleringen gjør det i tillegg mulig å bevare den aktive prioriteringen av kollektivtrafikk gjennom krysset, i motsetning til alternativet med rundkjøring.

På Tonstad vest ble det sett på to ulike alternativ med rundkjøring som krysstype, og et alternativ med to felt gjennom krysset i vestgående retning. Sistnevnte ga nokså like resultater for morgenrush sammenlignet med dagens tilstand i alternativ 0.0. Ved ettermiddagsrush ble de maksimale kølengdene og forsinkelsene mer enn halvert. Dette kan skyldes en kombinasjon av optimaliserte fase- og omløpstider og bedre fremkommelighet for bussene og høyresvingende trafikk. Alternativene med rundkjøring ga generelt bedre flyt i trafikken enn det signalregulerte krysset. Alternativ 1b med 3 felt inn i rundkjøringen fra nord og vest fikk best resultat ved økte trafikkmengder, og ga under normale og økte trafikkmengder en belastningsgrad på under 0,8. Ingen av alternativene med rundkjøring ga store forsinkelser, og kølengdene var mer enn halvert sammenlignet med dagens løsning 0.0.

Tiltaket med en løsning som kombinerte de to kryssene sammen til et stort kryssområde ga en grei trafikkavvikling, spesielt med tanke på kølengder og forsinkelser. Beregningene tydet på at løsningen fungerte best under ettermiddagsrushet. Denne typen løsning er ikke veldig utbredt i Norge, og vil kreve ytterligere beregninger og tilpasninger. Det vil kunne bli aktuelt å innføre tilfartskontroll på en slik løsning for å hindre for store forsinkelser i de retningene med færrest tidsluker. Tilfartskontroll og filterfelt kan være nødvendige tiltak for å øke prioriteten til kollektivtrafikken. I tillegg vil det kunne bli aktuelt med signalregulert kryssing for fotgjengere, som igjen kan påvirke avviklingen for kjøretøyene i rundkjøringen.

Videre arbeid

Selv om de foreløpige beregningene og planskissene ser ut til å ha positive effekter på trafikkavviklingen på strekningen, så gjenstår det fortsatt en del arbeid før tiltakene kan gjennomføres. De presenterte løsningene vil kreve ytterligere vurderinger og beregninger før avgjørelser om å gjennomføre de best egnede tiltakene kan tas.

Det finnes som nevnt flere fordeler og ulemper ved alle tiltakene, som varierer avhengig av hvilket synspunkt man ser på løsningene fra. Hovedfokuset i denne oppgaven har vært på den totale trafikkavviklingen gjennom strekningen. I videre arbeid bør det fokuseres enda mer på myke trafikanter, kollektivtrafikkens fremkommelighet og trafiksikkerhet ved de ulike løsningene. Løsningen med den beste trafikkavviklingen totalt sett trenger ikke nødvendigvis være den beste for alle trafikantene på strekningen, og dette bør det jobbes videre med før en endelig beslutning tas.

Utfordringene og begrensningene med bruk av SIDRA for denne strekningen bør det tas hensyn til ved videre arbeid. De ulike delene langs strekningen kunne med fordel blitt modellert mer nøyaktig, og det kan ved fremtidig arbeid vurderes å benytte en annen trafikkmodell som f.eks. Aimsun.

Arbeidet med å tilpasse signalplanene i SIDRA for å få modellene til å passe med de observerte forholdene på strekningen skapte usikkerhet i om signalplanene er tilpasset trafikkmengdene på strekningen. Det kan tenkes at stengingen av Oslovegen og de påfølgende økte trafikkmengdene kan påvirke hvor godt signalplanene fungerer. Dette kunne vært interessant å sett mer på i et videre arbeid.

Referanser

Akcelik & Associates (2020) *SIDRA INTERSECTION User guide*. (Hentet: 03.02.22).

Appel, K., Aakre, A. og Kronborg, P. (2018) *ITS Terminology - Terms & Definitions*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/trafikk/its-portalen/its-terminology-2018-web-version.pdf> (Hentet: 01.06.22).

Brissach, I. (2014) *Veien frem til Bjørndalsbrua, Adresseavisen* Tilgjengelig fra: https://www.adressa.no/nyheter/adressa_noogda/article9636537.ece (Hentet: 26.05.22).

Elvik, R. (2015) *1.6 Rundkjøringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc622/> (Hentet: 16.12.21).

Fremstad, E. og Thingstad, P. G. (2008) *Nidelva, Trondheims hjerte*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/271925> (Hentet: 17.02.22).

Gao, X., Zhao, J. og Wang, M. (2020) Modelling the saturation flow rate for continuous flow intersections based on field collected data, *PloS one*, 15(8), s. e0236922-e0236922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236922>

Granum, N. (2020) *FKB*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/FKB> (Hentet: 25.05.2022).

Høye, A. (2003) *3.18 Framkommelighetstiltak for kollektivtrafikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc667/> (Hentet: 10.05.22).

Høye, A. (2018) *3.17 Reversible kjørefelt*. Tilgjengelig fra: <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc666/> (Hentet: 12.12.21).

ITS Norway (u.å.) *Hva er egentlig ITS?* Tilgjengelig fra: <https://its-norway.no/its-norge-intelligente-transportssystemer/hva-er-its/> (Hentet: 02.05.22).

Kartverket (2022) *Diverse kartutsnitt fra norgeskart.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1003&zoom=13&lat=7035358.75&lon=268371.73> (Hentet: 04.06.22).

Kröger, W. (2021) Automated vehicle driving: background and deduction of governance needs, *Journal of risk research*, 24(1), s. 14-27. <https://doi.org/10.1080/13669877.2020.1750465>

Lindheim-Minde, S. (2018) *Modellering av flaskehalsar med utgangspunkt i strekningen Granåsen-Tonstadkrysset*. Masteroppgave, NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2565286> (Hentet: 19.11.21).

Miljøpakken (u.å.-a) *Knute- og omstigningspunkt for metrobuss*. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/storeprosjekter/knute-og-omstigningspunkt-for-metrobuss> (Hentet: 25.05.22).

Miljøpakken (u.å.-b) *Metrobuss: Tiltak i prosjektet*. Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/wp-content/uploads/2018/07/Kart-over-de-tre-hovedlinjene.pdf> (Hentet: 24.11.21).

Miljøpakken (u.å.-c) *Kollektivfelt i Kolstadvegen* Tilgjengelig fra: <https://miljopakken.no/prosjekter/kolstadvegen-kollektivfelt> (Hentet: 26.05.22).

SINTEF (u.å.) *Kooperative intelligente transportsystemer (C-ITS)*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/ekspertise/community/anvendelse-av-its-er-et-av-de-viktigste-tiltakene/> (Hentet: 10.05.22).

Statens vegvesen (2014a) *V123 Kollektivhåndboka*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v123.pdf> (Hentet: 23.05.22).

Statens vegvesen (2014b) *V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf> (Hentet: 16.12.21).

Statens vegvesen (2019) *Detaljregulering Rv. 80 Hunstadmoen-Bodøelv*. Tilgjengelig fra: <https://bodo.kommune.no/getfile.php/1325545-1576218893/Plan%2C%20bygg%20og%20eiendom/Kart%20og%20arealplaner/Arealplaner/Planprosesser/2019/Detaljregulering%20for%20RV80-trefelten/H%C3%B8ring/Planbeskrivelse.pdf> (Hentet: 17.02.22).

Statens vegvesen (2021a) *Hvem kan kjøre i kollektivfelt?* Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/trafikkregler/kollektivfelt/> (Hentet: 23.05.22).

Statens vegvesen (2021b) *N100 Veg- og gateutforming*. Tilgjengelig fra: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859922/nb#id-f6c5d18d-c65b-4cef-fde8-71f0e8ff9075> (Hentet: 16.12.21).

Statens vegvesen (2021c) *To faser med stenging på Osloveien*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/riksveg/rv706nydalsbrua/nyhetsarkiv/stenging-pa-osloveien/> (Hentet: 10.12.22).

Statens vegvesen (2021d) *N302 Vegoppmerking* Tilgjengelig fra: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859926/nb> (Hentet: 17.12.21).

Statens vegvesen (2022) *N303 Trafikksignaler*. Tilgjengelig fra: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859927/nb> (Hentet: 16.03.22).

Statens vegvesen (u.å.) *trafikkdata.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/start/utforsk?datatype=averageDailyMonthVolume&daytype=ALL&display=chart&from=2022-03-03#trpids=14772V41375> (Hentet: 23.05.22).

Statistisk Sentralbyrå (2020) *Nasjonale befolkningsframskrivninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/folkfram> (Hentet: 24.11.21).

Stavseth, M. R. (2020) Sensitivitetsanalyser - hvor robust er resultatet?, *Den norske legeförening*. <https://doi.org/10.4045/tidsskr.20.0099>

Store norske leksikon (2021) *flaskehals*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/flaskehals> (Hentet: 24.11.21).

Vegdirektoratet (2018) *ITS-strategi for Statens vegvesen 2018-2023*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/trafikk/its-portalen/its-strategi-2018-2023.pdf> (Hentet: 17.12.21).

Wu, J. J. *et al.* (2009) Reversible lane-based traffic network optimization with an advanced traveller information system, *Engineering optimization*, 41(1), s. 87-97. <https://doi.org/10.1080/03052150802368799>

Wu, Z., Qiu, K. og Gao, H. (2020) Driving policies of V2X autonomous vehicles based on reinforcement learning methods, *IET intelligent transport systems*, 14(5), s. 331-337. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0457>

Aakre, A. (2021a) Traffic signals - part 1. *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 01.06.22).

Aakre, A. (2021b) Priority intersections (including roundabouts). *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 25.11.21).

Aakre, A. (2021c) Basic traffic terms and relations. *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 26.11.21).

Aakre, A. (2021d) Traffic signals - part 2. *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 01.06.22).

Aakre, A. (2021e) Traffic flow theory - part 1. *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS*. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 25.11.21).

Vedlegg

Alle vedlegg er lagt ved elektronisk i en samlet zip-fil. Øvrige vedlegg ligger i en egen mappe merket med navnet *Øvrige vedlegg* i denne filen.

Hovedvedlegg:

- Trafikkdata_ tellinger.xlsx
- Trafikkberegninger - .pdf
- Sammenstilling_trafikkresultater.xlsx

Øvrige vedlegg:

- SIDRA_kryssberegninger.sip9
- Planskisser
 - o *PDF-filer med planskissene for alle alternativene skissert*
- Signalplaner: Signalplan Flatåsen, Signalplan Tonstad øst, Signalplan Tonstad vest
- Detektordata – Tonstad øst (fra TRFK)
- Detektordata – Flatåsen (fra TRFK)
- Prosjektoppgave – TBA4541.pdf

