

Modellering av flaskehalser med utgangspunkt i strekningen Granåsen - Tonstadkrysset

Sindre Lindheim-Minde

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Arvid Aakre, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgava er skrevet av Sindre Lindheim-Minde våren 2018, og har blitt veileda av Arvid Aakre, leder for Trafikkteknisk senter ved NTNU. Oppgava er den skriftlige sluttrapporten i emnet TBA4945 - Transport, masteroppgave, og har et arbeidsomfang på 30 studiepoeng.

Foruten gode råd, hjelp og innspill fra Arvid Aakre, har Maximilian Franz Böhm ved NTNU, Eivind Seim ved NMBU og Jostein Minde også gitt verdifulle bidrag til oppgava, og alle fire rettes herved en stor takk.

Trondheim, juni 2018

Sindre Lindheim-Minde

Sindre Lindheim-Minde

Abstract

This master thesis is firstly identifying bottlenecks within the road network comprising Flatåsenkrysset, Bjørndalsbrua and Tonstadkrysset. Located approximately 7 km south of Trondheim city centre, the study area, connecting Flatåsen to E6, is experiencing unfavourable peak hour congestion and accompanying pollution and traffic delays. Upon problem identification, targeted measures to ease the congestion are suggested.

In order to propose well founded measures, using Aimsun 8.2.0, a microscopic traffic model is developed to help evaluate the effects of different initiatives. Based on traffic counts, turning volumes and travel time data, the model is calibrated to reflect the present situation. Having the model produce a reasonable model output for the current traffic state, different project alternatives are simulated, and their results carefully reviewed.

During morning peak hours, existing capacity constraints are relieved by deregulating current public transport lanes and replacing signalized junction control in Tonstadkrysset by two roundabouts. Present-day congestion and travel times are found to be significantly reduced. In the afternoon peak period a lane management scheme, introducing a centred reversible lane, is found to facilitate increased flow rates and section speeds westwards, mitigating congestion and back blocking of Tonstadkrysset by eliminating the prevailing merge east of the bridge. Safeguarding Flatåsenkrysset from turning into a bottleneck, westward junction capacity is redistributed to better meet westward demand. Being low-cost measures, reversible lane schemes provide a cost-effective approach to increase road capacity. However, traffic safety aspects related to such solutions need to be thoroughly examined prior to implementation.

Due to this thesis' developed microsimulation traffic model carrying a potential of building on even better data, being better checked for errors, calibrated and validated, simulation results should be regarded as indicative of possible outcomes rather than revealing unquestionable traffic performance of the suggested measures.

Sammen drag

Denne masteroppgava identifiserer flaskehals for trafikkavviklinga i vegnettet som omfatter Flatåsenkrysset, Bjørndalsbrua og Tonstadkrysset. Studieområdet, som ligger ca. 7 km sør for Trondheim sentrum, forbinder boligområdet på Flatåsen i vest til E6 i øst. Etter å ha identifisert det som synes å være de sentrale utfordringene for trafikkavviklinga i trafikktoppene, foreslås det målretta endringstiltak for å svare på dette.

For å kunne vurdere og dokumentere effekten av ulike endringstiltak, utvikles det en mikroskopisk trafikkmodell ved hjelp av trafikksimuleringsverktøyet Aimsun 8.2.0. Basert på registrerte volum, svingebevegelser og reisetider blir modellen kalibrert i forsøket på å gjenskape observerte trafikkforløp. Etter at modellen produserer noenlunde tilfredstillende samsvar med registrert trafikk, blir endringstiltak simulert, og deres effekt evaluert.

I morgenrushet forsøkes opptredende kapasitetsbegrensninger å reduseres gjennom å deregulere kollektivfeltene, samt omgjøre Tonstadkryssets to signalregulerte kryss til to rundkjøringer. Registrert kødannelse og reisetider blir i simuleringene, som følge av dette, betydelig redusert. Om ettermiddagen blir det, i tillegg til rundkjøringene, implementert et sentrert reversibelt felt fra og med rett øst for Bjørndalsbrua og helt opp til Flatåsenkrysset. Dette ser ut til å kunne redusere reisetider vestover ned til tilnærma køfrie forhold ved at flettekonflikten vestover inn mot Bjørndalsbrua elimineres. For å forhindre at Flatåsenkrysset aktiviseres som flaskehals, som følge av den økte kapasiteten over Bjørndalsbrua og opp til Flatåsenkrysset, omdistribueres krysskapasiteten vestover ved å gi trafikk i retning Granåsen et av feltene som per tid er tildelt trafikk mot Flatåsen. Siden det er et lavkost-tiltak å implementere et reversibelt felt, er dette en kostnads-effektiv tilnærming til å øke vegkapasiteten på. Aspekter knytta til trafikkikkerheten av et slikt tiltak må imidlertid vurderes innen en eventuell implementasjon.

Trafikksimuleringsmodellen i denne oppgava kunne med fordel bygd på bedre data, hatt færre kodefeil, samt vært bedre kalibrert og validert. Simuleringsresultatene bør således anses som foreløpige, men optimistiske på vegne av de foreslåtte endringene.

Figurer

1.1	Studieområdet ligger omtrent 7 km sør for Trondheim sentrum [1].	2
1.2	Bjørndalsbrua ble åpna sommeren 1976; den gang med to felt og separat gang/sykkel-løsning [3].	3
2.1	Studieområdet: Fra Flatåsenkrysset i vest til Tonstadkrysset i øst [4].	5
3.1	Aimsuns node-editor for et bestemt kryss.	10
3.2	Aimsuns modell for tidsluke-aksept for trafikk med vikeplikt. . . .	11
3.3	Spesifisering av kjøretøytypen <i>Car</i> sin fartsgrenseaksept.	12
3.4	Karakteristika for en spesifikk personbil i et simuleringsforløp. . . .	13
3.5	Skissert eksempel på sammenhengen mellom avvikling og etter-spørsel.	15
4.1	Fiktiv eksempelregistrering av østgående trafikk fra Bjørndalsbrua.	18
4.2	Gjennomsiktig analyse-assistanse-vindu skrevet i <i>Java</i>	19
4.3	Eksempel på bruk av analyse-assistanse-vinduet.	19
4.4	Bjørndalsbrua til Vestre Rosten.	20
4.5	Bjørndalsbrua til Tonstadkryssets østre del.	20
4.6	Bjørndalsbrua til Oslo.	20
4.7	.txt-fil av registreringene i figur 4.1 generert ved hjelp av <i>trafikk-registrering.py</i>	20
4.8	Rød bilmontert lift nedstrøms Flatåsenkrysset. For å finne hvordan reisetidene varierte, ble denne og flere andre karakteristiske kjøretøy gjenkjent på tvers av de ulike kameraene.	21
4.9	Registreringsoversikt for reisetider mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del onsdag 18. oktober 2017.	21
4.10	Registrerte kølengder torsdag 19. oktober 2017 15:30 - 15:59. . . .	22
4.11	Eksempel på trafikkdata for østgående trafikk fra Bjørndalsbrua importert til Excel.	24
4.12	Observerte volum for østgående trafikk fra Bjørndalsbrua torsdag 19. oktober aggregert på 15-minutts-intervaller.	24
4.13	Tom OD-matrise.	25

4.14	Grafisk framstilling av ligningssystemet i tabell 4.4.	27
4.15	Kjente og antatt kjente matriseelementer flytta over på høyresida.	27
4.16	Ekstrapolert gjetning av manglende registreringer onsdag 18. oktober 2017 07:45 - 08:30.	28
4.17	Bruk av Excels problemløser for å finne en matrise som minimerer avviket fra trafikkobservasjonene.	29
4.18	Estimert matrise for onsdag 18. oktober 2017 06:30 - 06:45.	30
4.19	Antatt sammenheng mellom avvikla trafikk og etterspørsel fra Østre Rosten til Granåsen og Flatåsen om ettermiddagen torsdag 19. oktober 2017.	31
4.20	Flyfoto fra norgebilder.no ble brukt som underlag for å bygge geometrien i Aimsun-modellen.	33
4.21	Tonstadkrysset, slik det ble bygd i Aimsun-modellen.	33
4.22	Faseplan og signalgrupper for Tonstadkryssets østre del.	34
4.23	Kontrolltider for signalgruppene i Tonstadkryssets østre del.	34
4.24	Detektorplan for Tonstadkryssets østre del.	35
4.25	Implementasjon av detektorer og signalprogrammet P3 (ukedager 14:00 - 17:00) i Tonstadkryssets østre del. (Konsulter modellfilene for detaljer.)	35
4.26	VBA-kode for reisemiddelfordelt matriseeksport til .txt-fil for etterfølgende import til Aimsun.	37
4.27	Utsnitt fra .txt-fil generert ved hjelp av skriptet i figur 4.26.	38
4.28	Aimsuns API for automatisert matriseimport fra .txt-fil.	38
4.29	Skriptet i figur 4.28 kjøres fra kontekstmenyen til den aktuelle sentroide-konfigurasjonen.	38
4.30	Flatåsenkrysset.	41
4.31	Tonstadkryssets vestre del.	41
4.32	Tonstadkryssets østre del.	41
4.33	Simulerte og registrerte trafikkvolum Trondheim → Bjørndalsbrua om ettermiddagen 19. oktober 2017.	42
4.34	Kødannelse på Kolstadvegen 18. oktober 2017 kl. 07:28.	44
4.35	Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre del for trafikk i retning Bjørndalsbrua 19. oktober 2017 kl. 16:05.	45
4.36	Flatåsenkrysset 19. oktober 2017 kl. 15:47.	45
4.37	Rundkjøring i Tonstadkryssets østre del, samt deregulert østgående kollektivfelt.	47
4.38	Rundkjøring i Tonstadkryssets vestre del, deregulert østgående kollektivgate fra Vestre Rosten, samt deregulert vestgående kollektivfelt fra Trondheim.	47
4.39	Endra feltkonfigurasjon for vestgående trafikk gjennom Flatåsenkrysset.	48
4.40	Rampa fra Huseby tunet møter Kolstadvegen i morgenrushet.	48
4.41	Rampa fra Huseby tunet møter Kolstadvegen i ettermiddagsrushet.	49
4.42	Dagens feltkonfigurasjon over Bjørndalsbrua beholdes om morgenen.	49

4.43	Om ettermiddagen snus det midtre feltet over Bjørndalsbrua, helt opp til Flatåsenkrysset.	49
5.1	Registrerte reisetider (sekunder) onsdag 18. oktober 2017.	52
5.2	Simulerte reisetider (sekunder) i grunnmodellens morgenrush.	53
5.3	Reisetider (sekunder) i morgenrushet gitt endringstiltakene.	54
5.4	Registrerte reisetider (sekunder) torsdag 19. oktober 2017.	56
5.5	Simulerte reisetider (sekunder) i grunnmodellens ettermiddagsrush.	57
5.6	Reisetider (sekunder) i ettermiddagsrushet gitt endringstiltakene.	58
6.1	Antall registrerte grønntider av ulike lengder for signalgruppe G1 i figur 4.22 18. oktober 2017 06:04 - 07:53.	60
6.2	Flettepunktet kl. 07:27.	61
6.3	Minutttopløste flettevolum inn på Kolstadvegen.	62
6.4	Svak innsnevring av kjørebanelen forbi busstoppene på Bjørndalstoppen grunna anleggsarbeid.	63
6.5	Minutttopløste flettevolum vestover inn mot Bjørndalsbrua.	64
6.6	Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre og østre del på grunn av kapasitetsproblemer i flettepunktet før Bjørndalsbrua.	64
6.7	Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre del 15:25.	65
6.8	Faseplan for Flatåsenkrysset.	66
6.9	Destinasjonssone-fordeling 18. oktober 2017 06:30 - 07:45.	69
6.10	Matrise for 18. oktober 2017 06:30 - 0645 som bevarer etterspørselen.	70
6.11	1-1-fletting mellom trafikk fra Husebtyunet og eksisterende trafikk på Kolstadvegen.	73
6.12	Forsøk på å modellere økt friksjon ved hjelp av tilfartskontroll.	73
6.13	Valgmuligheter for <i>Queue Discharge</i> på enkelt-strekningsnivå.	74
6.14	Simulerte reisetider (sekunder) i morgenrushet per minutt.	76
6.15	Simulerte reisetider (sekunder) i morgenrushet gitt uriktig <i>sub-path</i> -definisjon av strekningen Flatåsenkrysset til Tonstadkryssets vestre del.	77
6.16	Simulerte reisetider (sekunder) per minutt mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del for trafikk i retning Oslo	78
6.17	Simulerte reisetider (sekunder) i ettermiddagsrushet per minutt.	79
6.18	Fotgjengerfeltene i Tonstadkryssets vestre del.	82
6.19	Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets østre del for vestgående trafikk.	83
6.20	Urealistisk el-bil-oppførsel (mørkeblå kjøretøy) som resulterer i unødvendig og urealistisk kødannelse.	84
6.21	Busslommer rett vest for Bjørndalsbrua, koda ved hjelp av Aimsuns holdeplastype <i>Bus Bay</i>	85
6.22	Oransje markert el-bil på veg tilbake til kollektivfeltet etter ikke å ha klart å utføre de nødvendige feltskiftene for å nå feltet som leder i retning Vestre og Østre Rosten.	86

Tabeller

3.1	Sammenheng mellom kø-karakteristikk, etterspørsel og avvikling	14
4.1	Oversikt over utført trafikkdatainnsamling.	17
4.2	Kølengder i venstre nordgående felt i Ytre Ringveg 19. oktober.	23
4.3	Definisjon av matriseelementfarger.	26
4.4	Tilgjengelige ligninger for OD-matrise-estimering.	26
4.5	Kølengdejusterte trafikkstrømmer.	32
4.6	Antatt reisemiddelfordeling	36
4.7	Simulerte og registrerte trafikkvolum i morgenrushet.	40
4.8	Simulerte og registrerte trafikkvolum i ettermiddagsrushet.	40
4.9	Endringstiltak for å bedre trafikkavviklinga i studieområdet.	46
5.1	Nøkkeltall for grunnmodellens morgenrush.	53
5.2	Nøkkeltall for morgenrushet gitt endringstiltakene.	54
5.3	Nøkkeltall for grunnmodellens ettermiddagsrush.	57
5.4	Nøkkeltall for ettermiddagsrushet gitt endringstiltakene.	58
6.1	Registrerte kølengder tilbake mot Bjørndalsbrua for venstre østgående felt inn mot Tonstadkrysset.	61
6.2	Minuttoppløste svingeandeler fra Bjørndalsbrua gjennom Flatåsen-krysset.	65
6.3	Registrerte fotgjengerfeltvolum 19. oktober 2017 14:30 - 17:00.	82

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Abstract	iii
Sammendrag	v
Figurliste	ix
Tabelliste	xi
Innholdsfortegnelse	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Historisk bakgrunn	3
2 Forsknings spørsmål	5
3 Teori	7
3.1 Simulering som verktøy	7
3.2 Mikrosimulering i Aimsun	8
3.2.1 Car-Following	8
3.2.2 Lane change	9
3.2.3 Kritiske tidsluker i prioritetsstrømmer	11
3.2.4 Noen viktige parametre	11
3.3 Trafikkavvikling, etterspørsel og kødannelse	14
4 Metode og utførelse	17
4.1 Datainnsamling	17
4.1.1 Registreringer i felt	17
4.1.2 Videoanalyse	18
4.2 Databehandling	24
4.2.1 Volumaggregering og svingebevegelsesortering	24
4.2.2 OD-matriseestimering	24
4.2.3 Kølengdejustere OD-matrisene	31
4.3 Utvikle grunnmodell i Aimsun	32

4.3.1	Vegnettverk	32
4.3.2	Signalkontroll	34
4.3.3	Trafikketerspørsel	36
4.3.4	Føreradferd og kjøretøy-karakteristika	39
4.4	Kalibrering og validering av grunnmodell	39
4.5	Utvikle og implementere endringstiltak	44
4.5.1	Utvikle endringstiltak	44
4.5.2	Implementere endringstiltak i Aimsun-modellen	46
5	Resultat	51
5.1	Morgenrushet	52
5.1.1	Registreringer	52
5.1.2	Grunnmodell	53
5.1.3	Gitt endringstiltak	54
5.2	Ettermiddagsrushet	56
5.2.1	Registreringer	56
5.2.2	Grunnmodell	57
5.2.3	Gitt endringstiltak	58
6	Diskusjon	59
6.1	Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?	59
6.1.1	Morgenrushet	59
6.1.2	Ettermiddagsrushet	63
6.2	Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?	66
6.2.1	Utfordringer ved å registrere trafikkdata	66
6.2.2	Svakheter ved OD-matrise-estimeringa	68
6.2.3	Modellering, kalibrering og validering	71
6.2.4	Reisetider grunnmodell morgenrushet	75
6.2.5	Reisetider grunnmodell ettermiddagsrushet	78
6.3	Hvilke tiltak kan forbedre trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?	80
6.3.1	Forventa og simulert effekt av endringstiltakene	80
6.4	Andre forhold	82
6.4.1	Fotgjengere	82
6.4.2	Modellering av signalregulerte kryss	83
6.4.3	Kodefeil	84
6.4.4	Valget om å gi OD-matrisene 15-minutts-oppløsning	87
6.4.5	Antallet nødvendige simuleringsreplikasjoner	87
6.4.6	Konsekvenser nedstrøms	87
7	Konklusjon	89
8	Videre arbeid	93

Referanser	95
Vedlegg	97

Kapittel 1

Introduksjon

Denne masteroppgava omhandler trafikkavviklinga i et område 7 km sør for Trondheim sentrum der studieområdet forbinder boligområdet på Flatåsen i vest med Tonstadkrysset og E6 i øst. Området har en utstrekning på omtrent 2 km og inneholder 3 signalregulerte kryss, ei ca. 300 meter lang bru, flere busstopp, kollektivfelt og -gater. I tillegg til dette innbefatter studieområdet flere punkter hvor trafikk må flette sammen grunna fysisk opptredende feltreduksjon eller kollektivfeltregulerte partier.

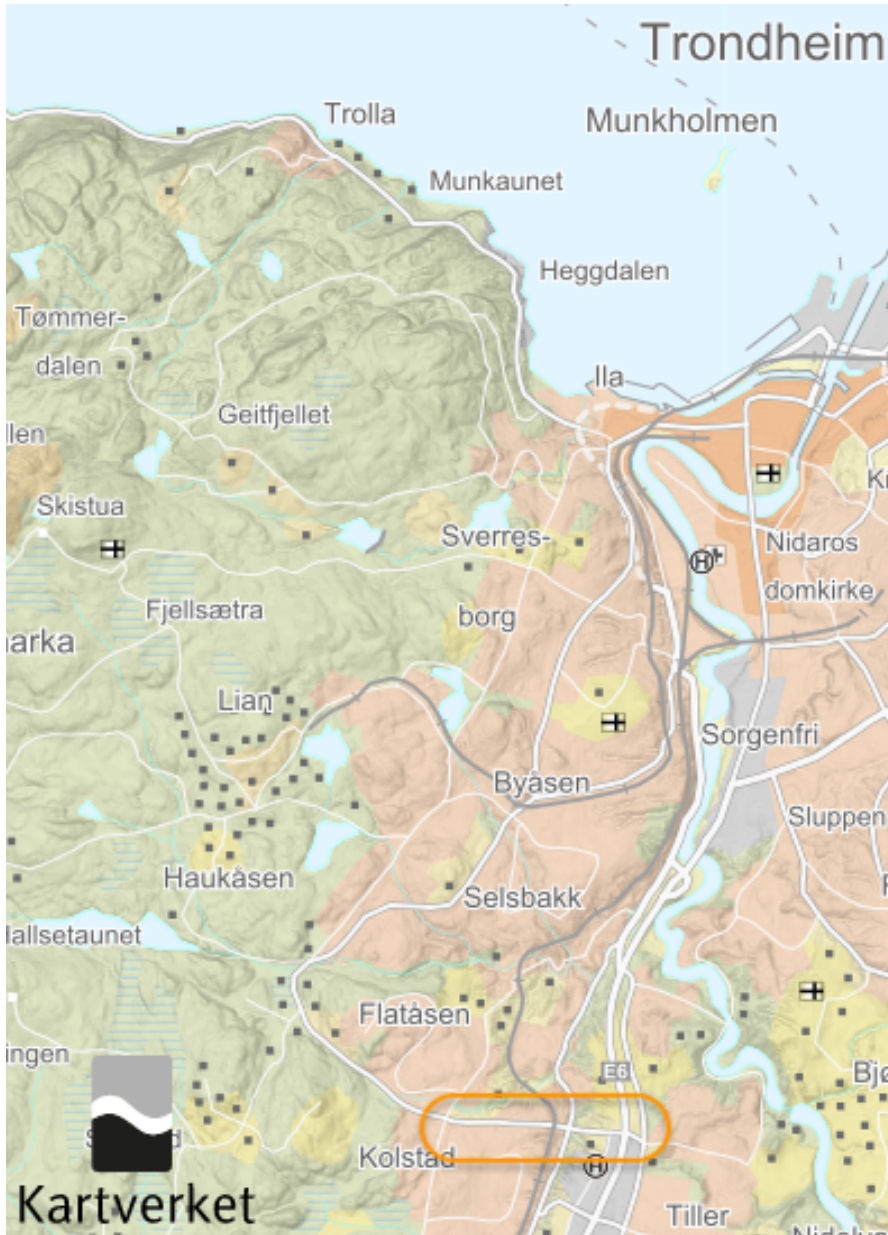
I studieområdet oppviser trafikktoppene om morgenen og ettermiddagen avviklingsproblemer forskjellige steder, relatert til den skiftende retningskjevheten i trafikketerspørselen mellom morgen- og ettermiddagsrushet. Mens det om morgenen observeres kapasitetsproblemer for østgående trafikk, snus dette vestover om ettermiddagen.

Målet med denne oppgava er således å identifisere disse avviklingsproblemene, *flaskehalsene*, og deretter foreslå endringstiltak som kan tenkes å bedre trafikkavviklinga både om morgenen og om ettermiddagen. For å kunne vurdere og dokumentere effekten av ulike endringstiltak, utvikles det en mikroskopisk trafikkmodell ved hjelp av trafikksimuleringsverktøyet Aimsun 8.2.0.

Forarbeidet for masteroppgava ble påbegynt høstsemesteret 2017 i en forberedende prosjektoppgave. I samråd med veileder ble tema, vinkling og studieområde for oppgava fastlagt, og videre ble relevant litteratur oppsøkt og datainnsamling planlagt og gjennomført. Endringstiltak ble foreslått og analyse- og databehandlingsmetoder ble starta utvikla. Gjennomføringa og erfaringer knytta til denne delen av oppgava er beskrevet i prosjektoppgava som ligger vedlagt.

Med det ovenfor beskrevne grunnlaget fra prosjektoppgava, tok arbeidet med masteroppgava først fatt i å videreutvikle analysemetodikk, samt gjennomføre nødvendig videoanalyse og databehandling. I dette arbeidet ble det gjort utstrakt bruk av programmeringsspråkene *Python*, *Java* og Excels *Visual Basic*. Videre

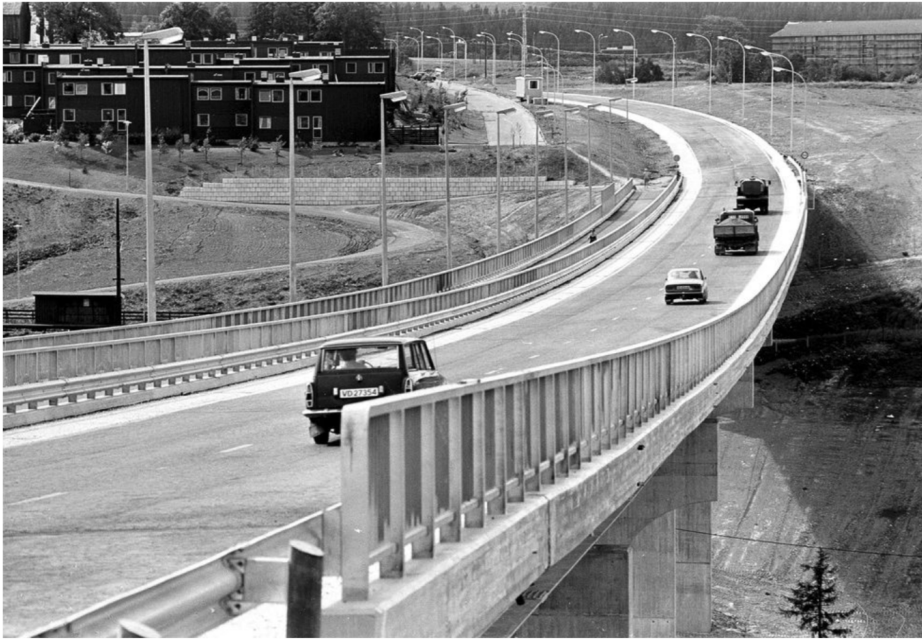
har mye tid gått med til å lære seg å bruke Aimsun 8.2.0, bygge grunnmodell i Aimsun, kjøre simuleringer, utvikle og implementere endringstiltak og vurdere effekten av disse. Denne rapporten er skrevet i L^AT_EX, noe det også har gått med en del tid til å lære seg.



Figur 1.1: Studieområdet ligger omtrent 7 km sør for Trondheim sentrum [1].

1.1 Historisk bakgrunn

Sentralt i studieområdet ligger Bjørndalsbrua som siden midten av 1970-tallet har forbundet Tonstad og E6 i øst med boligbebyggelsen på Flatåsen og omegn i vest. Som bildet fra Adresseavisen viser, hadde brua den gang bare to felt og vesentlig mindre trafikk enn dagens situasjon. I dag er enkelt-felt-bredden over brua redusert for å gi plass til tre felt for motorisert trafikk og en ÅDT på 23020 [2], uten å fortrenge myke trafikanter.



Figur 1.2: Bjørndalsbrua ble åpna sommeren 1976; den gang med to felt og separat gang/sykkel-løsning [3].

Kapittel 2

Forskningsspørsmål

1. Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikk-toppene?
2. Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?
3. Hvilke tiltak kan forbedre trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikk-toppene?



Figur 2.1: Studieområdet: Fra Flatåsenkrysset i vest til Tonstadkrysset i øst [4].

Kapittel 3

Teori

3.1 Simulering som verktøy

Dagens datamaskiners stadig økende beregningskraft har beredt grunnen for å kjøre mer og mer krevende trafikksimuleringsmodeller. Disse tillater analyser av effekten av tiltak og endringer i mellom anna infrastruktur og prioriteringsregimer uten å måtte gjennomføre krevende, dyre og/eller umulige fullskala-eksperimenter. Eksempelvis kan man i planleggingen av et vegkryss enkelt sammenligne en rekke ulike krysskonfigurasjoner og signalplaner uten å fysisk måtte bygge disse for så å observere effekten på trafikkavviklinga. Gitt den stokastiske naturen trafikkavvikling har, ville et enkelt fullskala-eksperiment heller ikke vært nok til å si noe sikkert om hvordan avviklinga over tid kunne sett ut. Dette tillater derimot simuleringsmodeller enkelt å undersøke i det at man kan kjøre en rekke replikasjoner med stokastiske variasjoner for så eksempelvis å finne gjennomsnittsverdier for relevante resultat.

Sammenligna med håndberegninger kan imidlertid simuleringsmodeller i noen tilfeller være for tungt skyts for oppgaver som enklere kan løses med penn og papir. Videre er modeller avhengige av en rekke inn-data og parametre som må kalibreres, og jobben med å skaffe disse til veie kan til tider være mer ressurskrevende enn et oppdrag i en profesjonell sammenheng tillater. På grunn av den store kompleksiteten i det å skulle modellere menneskelige beslutninger og atferd i trafikken, krever simuleringsmodeller at brukerne vurderer simuleringsresultatene kritisk.

3.2 Mikrosimulering i Aimsun

Aimsun er et av de trafikkmotelleringsverktøyene som er i bruk av planleggere i Norge. Programmet gir muligheten til å kjøre trafikkmoteller på alle nivåer: makro, meso og mikro. Der forskjellen i disse motellnivåene ligger i detaljeringsgraden, er den mikroskopiske motellen den mest høyoppløste. Her motelleres enkeltkjøretøy, og disses interaksjoner, på detaljnivå. For hvert motelleringssteg, $t \in (0, 1 \text{ s}, 1, 5 \text{ s})$, blir alle dynamiske attributter, herunder posisjon, hastighet og akselerasjon for alle kjøretøy i motelleringa beregna og oppdatert. For å utføre disse beregningene gjør Aimsun bruk av en rekke delmoteller for føreradferd. De følgende utleggingene baserer seg på Aimsuns brukermanual [5, *Modelling Vehicle Movement*], samt lysark [6] forberedt av Arvid Aakre for emnet *TBA4286 Trafikkavvikling og ITS* våren 2018 ved NTNU.

3.2.1 Car-Following

Aimsuns *car-following*-motell er basert på en motell utvikla av Gipps på 1970-tallet [7]. Kjøretøy i , kjørende på strekning s , vil til en hver tid enten være i en situasjon der det må avpasse farten sin til foranliggende kjøretøy, eller så er det i en fri flyt-tilstand der det selv har anledning til å bestemme fartsnivået sitt. For hvert motelleringssteg, t , beregner Aimsun begge disse hastighetene og setter kjøretøyets hastighet lik minimum av disse to:

$$v(i, s, t) = \min\{v_{forstyrra}(i, s, t), v_{fri}(i, s, t)\} \quad (3.1)$$

Ønska fri flyt-hastighet for kjøretøy i er lik minimum av produktet mellom den aktuelle farts grensa på strekningen s og kjøretøyets (førerens) aksept $\Theta(i)$ for denne farts grensa, og kjøretøyets egen maksimale ønska fart $v_{maks}(i)$:

$$v_{\text{ønske}}(i, s) = \min\{v_{\text{grense}}(s) \cdot \Theta(i), v_{\text{maks}}(i)\} \quad (3.2)$$

Ved fri flyt blir hastigheten i neste motelleringssteg ($t + T$) beregna ved:

$$v_{\text{fri}}(i, s, t + T) = v(i, s, t) + 2,5a(i)T \left(1 - \frac{v(i, s, t)}{v_{\text{ønske}}(i, s)}\right) \sqrt{0,025 + \frac{v(i, s, t)}{v_{\text{ønske}}(i, s)}} \quad (3.3)$$

Som man ser av ligning 3.3, vil $v(i, s, t) = v_{\text{ønske}}(i, s)$ medføre at parantesen summerer til 0, og hastigheten forblir da uendra i neste motelleringssteg. Dersom $v(i, s, t) < v_{\text{ønske}}(i, s)$, vil kjøretøyet akselerere for å nærme seg $v_{\text{ønske}}(i, s)$. I ligninga uttrykker $a(i)$ kjøretøyets maksimale akselerasjon, og T førerens reaksjonstid.

Ved forstyrta flyt blir hastigheten i neste simuleringssteg beregna ved:

$$v_{forstyrta}(i, s, t + T) = d(i)T + \sqrt{d^2(i)T^2 - d(i) \left(2g(i, s, t) - v(i, s, t)T - \frac{v^2(i-1, s, t)}{d'(i-1)} \right)} \quad (3.4)$$

Her er $d(i)$ kjøretøy i sin maksimale ønska retardasjon. $d'(i-1)$ er et estimat på foranliggende kjøretøys ønska retardasjon, og $g(i, s, t)$ uttrykker distanseluka mellom front av kjøretøy i og bakenden på kjøretøy $(i-1)$, korrigert for en minste sikkerhetsavstand kjøretøy i alltid vil holde til foranliggende kjøretøy. Etter å ha beregna gjeldende hastighet ved ligning 3.1 blir kjøretøyets posisjon oppdatert ved henholdsvis:

$$x(i, s, t + T) = x(i, t) + v(i, s, t + T)T \quad (3.5)$$

eller

$$x(i, s, t + T) = x(i, t) + \frac{1}{2} \left(v(i, s, t) + v(i, s, t + T) \right) T \quad (3.6)$$

avhengig av om kjøretøyet til en hver tid henholdsvis akselererer eller bremser.

Aimsun inkluderer også muligheten til å modellere innvirkninga saktegående kjøretøy i nabofeltet måtte ha på kjøretøy i . Dette gjøres ved å beregne en ny hastighet for $v_{\text{ønske}}(i, s)$, basert på hastighetsdifferansen mellom kjøretøy i og et definert antall kjøretøy innenfor en gitt distanse i nabofeltet. Den nye $v_{\text{ønske}}(i, s)$ gis så inn til *car-following*-modellen for kjøretøy i .

Car-following-modellen blir, i tillegg til å bestemme hvert enkelt kjøretøys hastighet langs en strekning, også benytta i modelleringa av signalregulerte kryss i Aimsun. Dette blir gjort ved at et fiktivt stillestående kjøretøy blir plassert på stopplinja når signalet blir rødt, for så å bli fjerna når signalet blir grønt igjen. *Car-following*-modellens beregning av hastigheten ved forstyrta flyt anser dette fiktive kjøretøyet som sitt forangående kjøretøy, og fører således til at kjøretøyet bremser ned før krysset. [5, *Control Plans*]

3.2.2 Lane change

Aimsuns feltskifte-modell beskriver en beslutningsprosess bestående av følgende vurderinger: Er det nødvendig å skifte felt? Er det ønskelig å skifte felt? Er det mulig å skifte felt? For å beskrive beslutningsprosessen knyttet til det å utføre et feltskifte, definerer Aimsun tre ulike soner hvor kjøretøy i til en hver tid befinner seg i en av disse:

Sone 1

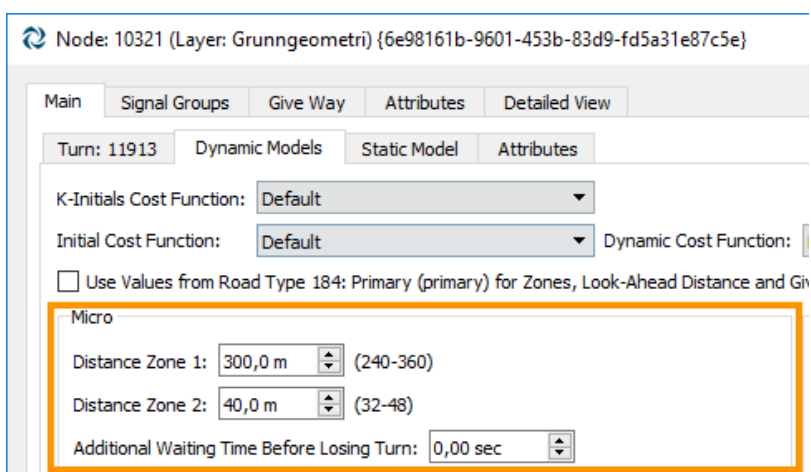
- Her utføres et feltskifte dersom dette forbedrer kjøreforholdene for kjøretøy i , eksempelvis dersom feltskiftet tillater kjøretøyet å holde en høyere hastighet.

Sone 2

- Liggende i denne sona vil kjøretøy *i* aktivt tilstrebe å skifte felt dersom kommende svingebevegelse krever et feltskifte for å kunne utføres. Nødvendig luke for å skifte felt blir søkt framover og til siden for kjøretøyet.

Sone 3

- Her er det tvingende nødvendig for kjøretøyet å skifte felt for å kunne utføre den planlagte svingebevegelsen. Nødvendig feltskifteluke blir nå søkt til sida og oppstrøms ved at kjøretøyet om nødvendig bremses helt ned og venter på den nødvendige luka.



Figur 3.1: Aimsuns node-editor for et bestemt kryss.

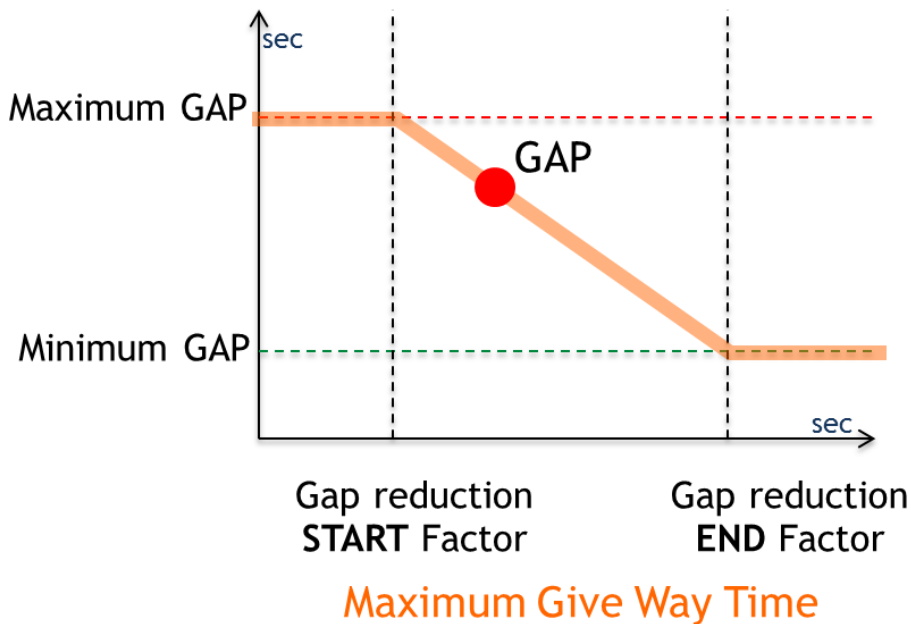
Dersom kjøretøyet stopper opp i sone 3, for å vente på en tilstrekkelig luke for å utføre nødvendig feltskifte, venter kjøretøyet tilsvarende sin maksimale vike-tid (*Maximum Give Way Time*) med et eventuelt påslag definert for den enkelte svingebevegelsen, se figur 3.1. Finner kjøretøyet ingen tilstrekkelig luke i løpet av denne tida, fortsetter det rett fram i sitt gjeldende felt med uforretta sak [5, *Nodes/Turn Dynamic Models Tab*]. Tillater modellgeometrien omkjøring, vil kjøretøyet forsøke dette for å nå destinasjonen sin. Er dette ikke mulig, fortsetter kjøretøyet framover til det når modellgrensa og forsvinner.

Feltskiftesonene defineres for hver enkelt vegtype, men kan overstyres for den enkelte svingebevegelse i node-editoren. For å modellere individuelle forskjeller mellom kjøretøy defineres en *Distance Zone Variability*. Hvert enkelt kjøretøy trekker så sine feltskiftesoner fra en uniform fordeling (alle verdier har like stor sannsynlighet) gitt de definerte sonegrensene og den gitte variabiliteten. I figur 3.1 ses sone 1 definert som: (∞ til 300 m), sone 2: (300 m til 40 m) og sone 3: (40

m til 0 m) før krysset. Med en variabilitet lik 40 % gir dette følgende intervall som de enkelte kjøretøyene trekker sine feltskiftesoner fra: sone 1: (∞ til 360-240 m), sone 2: (360-240 m til 48-32 m) og sone 3: (48-32 m til 0 m) før krysset.

3.2.3 Kritiske tidsluker i prioritetsstrømmer

Aimsun har en egen delmodell som beskriver føreradferden i vikepliktsituasjoner. Parametre som påvirker beslutningen om kjøretøyet skal vike og vente eller kjøre, defineres både for hver enkelt svingebevegelse og for de ulike kjøretøyklassene. Nødvendig tidsluke for at et vikende kjøretøy skal velge å krysse trafikk med høyere prioritet, beregnes basert på prinsippet i figur 3.2. Innledningsvis krever kjøretøyet en tidsluke lik *Maximum GAP*, men etter som det blir stående og vente på en stor nok luke, reduseres kravet til lukestørrelse for å modellere økende utålmodighet hos føreren. Etter en viss tid er nødvendig lukestørrelse redusert til *Minimum GAP* og reduseres ikke ytterligere.

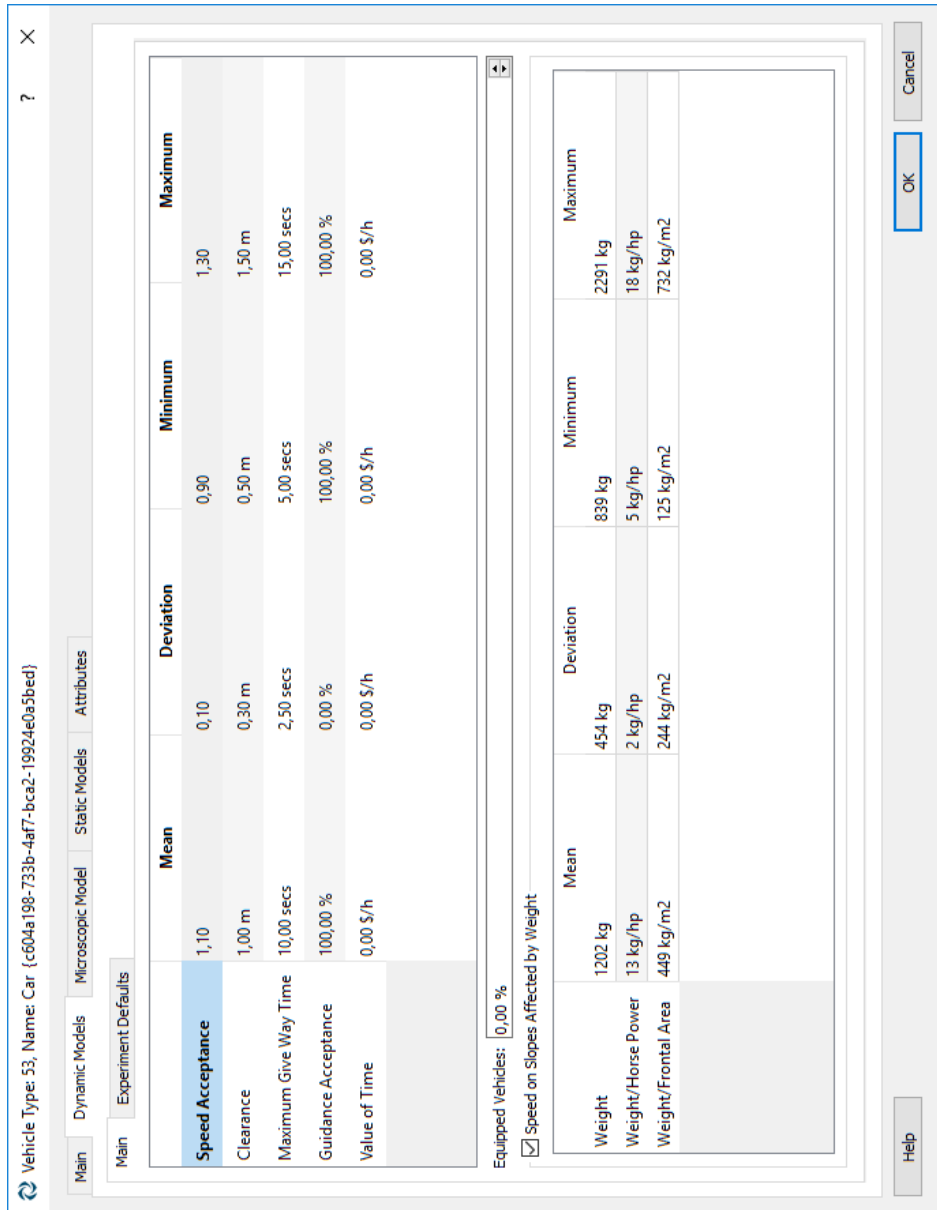


Figur 3.2: Aimsuns modell for tidsluke-aksept for trafikk med vikeplikt.

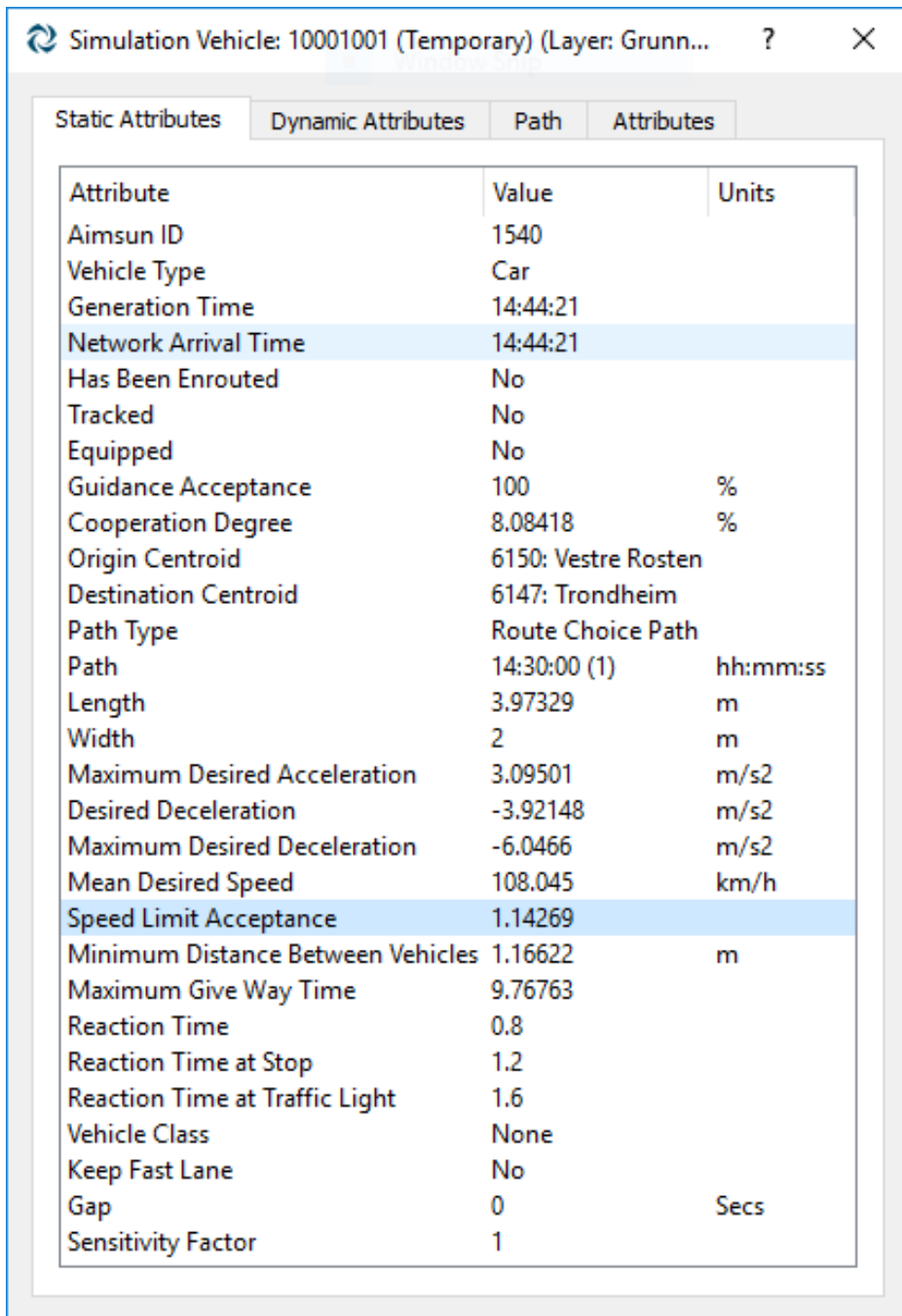
3.2.4 Noen viktige parametre

På kjøretøyklasse-nivå defineres det normalfordelinger med øvre og nedre begrensninger for de fleste ulike karakteristikaene, herunder mellom anna for farts-

grenseaksept, akselerasjon og retardasjon, hvorpå de enkelte kjøretøyene trekker sine karakteristika fra disse fordelingene etter hvert som de blir generert i simuleringforløpet.



Figur 3.3: Spesifisering av kjøretøytypen *Car* sin fartsgrenseaksept.



Attribute	Value	Units
Aimsun ID	1540	
Vehicle Type	Car	
Generation Time	14:44:21	
Network Arrival Time	14:44:21	
Has Been Enrouted	No	
Tracked	No	
Equipped	No	
Guidance Acceptance	100	%
Cooperation Degree	8.08418	%
Origin Centroid	6150: Vestre Rosten	
Destination Centroid	6147: Trondheim	
Path Type	Route Choice Path	
Path	14:30:00 (1)	hh:mm:ss
Length	3.97329	m
Width	2	m
Maximum Desired Acceleration	3.09501	m/s ²
Desired Deceleration	-3.92148	m/s ²
Maximum Desired Deceleration	-6.0466	m/s ²
Mean Desired Speed	108.045	km/h
Speed Limit Acceptance	1.14269	
Minimum Distance Between Vehicles	1.16622	m
Maximum Give Way Time	9.76763	
Reaction Time	0.8	
Reaction Time at Stop	1.2	
Reaction Time at Traffic Light	1.6	
Vehicle Class	None	
Keep Fast Lane	No	
Gap	0	Secs
Sensitivity Factor	1	

Figur 3.4: Karakteristika for en spesifikk personbil i et simuleringsforløp.

I figur 3.3 ses det eksempelvis et oppsett der kjøretøyklassen *Car* er gitt en fartsgrenseaksept definert ved en avgrensa normalfordeling med forventningsverdi 1,10, standardavvik 0,10 og nedre og øvre begrensning på henholdsvis 0,90 og 1,30. I et konkret simuleringsforløp ses det i figur 3.4 en instans av denne kjøretøyklassen der kjøretøyet er gitt en fartsgrenseaksept på 1,14269, samt en *Mean Desired Speed* lik 108,045 km/t. Dette vil si at om en strekning har fartsgrense lik 60 km/t, og kjøretøyet er i en tilstand av uforstyrta fri flyt, vil dette kjøretøyet velge sin ønska friflytsfart lik:

$$\begin{aligned} v_{\text{ønske}} &= \min\{60 \text{ km/t} \cdot 1,14269, 108,045 \text{ km/t}\} \\ &= \min\{68,5614 \text{ km/t}, 108,045 \text{ km/t}\} \\ &= 68,6 \text{ km/t} \end{aligned} \tag{3.7}$$

Andre viktige parametre med innflytelse på trafikkavviklinga er:

Reaksjonstid

- Her kan det defineres tre ulike verdier for reaksjonstid henholdsvis for når kjøretøyet er i bevegelse, er stoppa opp bak et anna kjøretøy eller er først i køen ved et trafikkllys. Standardoppsettet i Aimsun antar verdier for disse lik henholdsvis 0,8, 1,2 og 1,6 sekunder.

Kjøretøylengde og Clearance

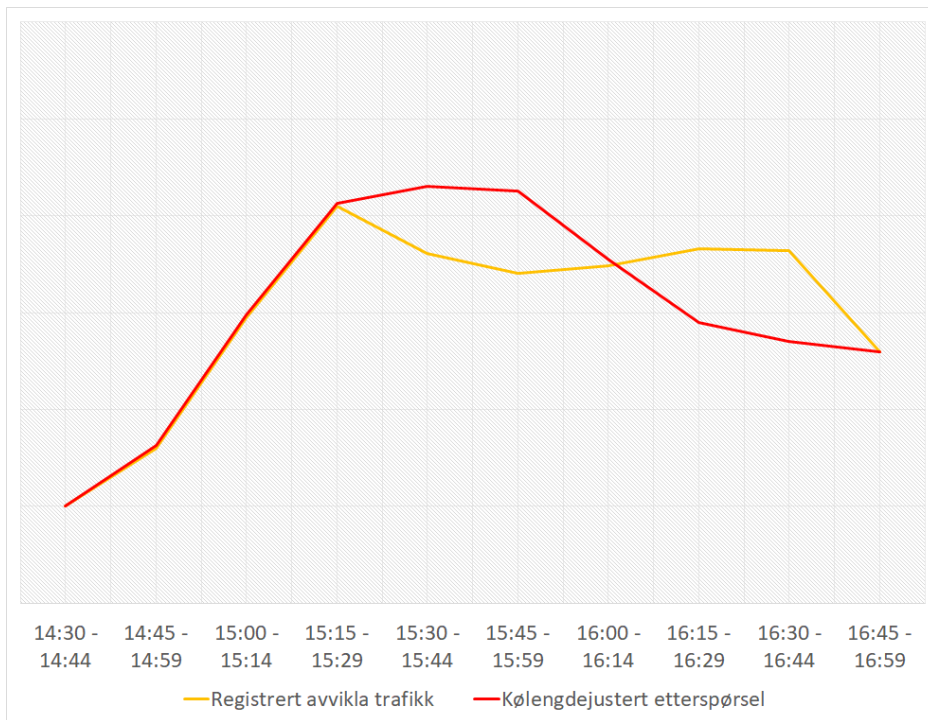
- Kjøretøylengde er det det tilsier, og *clearance* uttrykker distansen mellom kjøretøy som står i ro. Til sammen bestemmer disse to mellom anna tettheten i en kø, og dermed kølengden et gitt antall kjøretøy utgjør. Dette har eksempelvis følger for om nabokryss blir tilbakeblokkert av nedstrøms køoppbygging.

3.3 Trafikkavvikling, etterspørsel og kødannelse

Så lenge det ikke oppstår kødannelse, vil observert avvikling være lik faktisk etterspørsel. I det køer dannes, gjelder imidlertid følgende sammenheng:

Tabell 3.1: Sammenheng mellom kø-karakteristikk, etterspørsel og avvikling

Kølengde				
konstant (= 0)	→	etterspørsel	=	avvikling
voksende	→	etterspørsel	>	avvikling
konstant (> 0)	→	etterspørsel	=	avvikling
avtappende	→	etterspørsel	<	avvikling



Figur 3.5: Skissert eksempel på sammenhengen mellom avvikling og etterspørsel.

Figur 3.5 viser hvordan etterspørsel og avvikla trafikk sammenfaller inntil trafikkmengden når kapasitetsgrensa. Så lenge den røde linja (etterspørselen) ligger over den gule linja (observert avvikling), vokser køen. Når linjene på nytt sammenfaller, har køen sin maksimale utstrekning. Deretter synker køen helt til den på slutten av intervallet er bygd ned igjen til null.

Trafikkanalyser- og simuleringer som bruker observerte volum som inn-data, i stedet for faktisk etterspørsel, kan gi urealistiske resultater siden avvikla trafikk alltid vil være mindre eller lik kapasiteten til et kryss eller en vegstrekning. Følgelig vil de observerte kapasitetesproblemene og kødannelsen ikke kunne gjen-skapes fullt ut, om ikke faktisk etterspørsel blir gitt som inn-data [8, *kap. 4 s. 2-3*]

Kapittel 4

Metode og utførelse

4.1 Datainnsamling

4.1.1 Registreringer i felt

Valg og vurderinger

Da målet med denne oppgava er å vurdere effekten av ulike tiltak i studieområdet, må både effekten på trafikktoppen om morgenen og på trafikktoppen om ettermiddagen vurderes. Gjør man ikke dette, kan man komme til å legge opp til en løsning som fungerer svært godt om morgenen, men som skaper store forsinkelser og kødannelse om ettermiddagen, eller omvendt. Av denne grunn ble det valgt å registrere trafikkdata for både et morgen- og et ettermiddagsrush høsten 2017:

Tabell 4.1: Oversikt over utført trafikkdatainnsamling.

Ukedag	Dato	Tidsrom
Onsdag	18.10.17	06:30 - 08:30
Torsdag	19.10.17	14:30 - 17:00

For å lære med tanke på kamerabetjening og -plassering, ble det i forkant av disse registreringene utført to befaringer, samt to pilotstudier. Basert på disse, ble det valgt å filme studieområdets tre signalregulerte kryss i tillegg til rampa fra Husebytunet busstopp inn på Kolstadvegen. Slik fikk man dekket all trafikk inn og ut av studieområdet, samt alle svingebevegelser. Se vedlagte prosjektoppgave for mer detaljer rundt datainnsamlinga.

4.1.2 Videoanalyse

Avvikla volum og svingebevegelser

I det etterfølgende analysearbeidet av videoregistreringene ble hver enkelt svingebevegelse analysert. Dette ble gjort ved at trafikken langs en og en arm inn i de ulike kryssene ble analysert etter tur. Eksempelvis ble det i en runde sett på østgående trafikk fra Bjørndalsbrua, og hvert kjøretøy som passerte stopplinja i Tonstadkryssets vestre del ble så manuelt tilordna et tidsstempel og sin respektive svingebevegelse ved hjelp av det vedlagte python-skriptet *trafikkregistrering.py*. Python-skriptet skrev så disse registreringene til en .txt-fil som deretter kunne importeres til Excel for videre analyse.

Trafikkregistrering 🚗 🚘 🚙 🚛 🚚 🚝 🚞 🚟
 Copyright © 2018 Sindre Lindheim-Minde. All rights reserved.

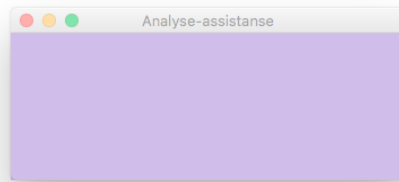
Nytt analyseprosjekt: **Trafikk østover fra Bjørndalsbrua**
 Prosjektdata: Fiktiv registrering
 Start første filmklipp: 06:25:00
 Sum tidligere filmtid: 00:30:00
 Klokkesynkronisering: 00:04:55

Trykk en tast for å utføre klokkesynkronisering

DEL- FILM- TID	TOTAL- FILM- TID	SANN- TID	FELT	KJØRETØY
KLOKKESYNKRONISERING UTFØRT:				
00:04:55	00:34:55	06:59:55		
00:04:56	00:34:56	06:59:56	TKØ	personbil 🚗
00:04:58	00:34:58	06:59:58	TKØ	personbil 🚗
00:05:01	00:35:01	07:00:01	TKØ	personbil 🚗
00:05:05	00:35:05	07:00:05	Vestre Rosten	personbil 🚗
00:05:09	00:35:09	07:00:09	TKØ	større kjøretøy 🚚
00:05:12	00:35:12	07:00:12	TKØ	personbil 🚗
00:05:15	00:35:15	07:00:15	TKØ	taxi 🚕
00:05:18	00:35:18	07:00:18	TKØ	personbil 🚗
00:05:20	00:35:20	07:00:20	Oslo	personbil 🚗
00:05:21	00:35:21	07:00:21	TKØ	personbil 🚗
00:05:23	00:35:23	07:00:23	Vestre Rosten	mc 🏍️
00:05:28	00:35:28	07:00:28	TKØ	personbil 🚗
00:05:31	00:35:31	07:00:31	TKØ	personbil 🚗
00:05:34	00:35:34	07:00:34	TKØ	personbil 🚗
00:05:37	00:35:37	07:00:37	TKØ	personbil 🚗
00:05:38	00:35:38	07:00:38	TKØ	personbil 🚗
00:05:39	00:35:39	07:00:39	TKØ	personbil 🚗
00:05:42	00:35:42	07:00:42	TKØ	personbil 🚗

Figur 4.1: Fiktiv eksempelregistrering av østgående trafikk fra Bjørndalsbrua.

I tillegg til å dokumentere tidspunkt og tilhørende svingebevegelse for de enkelte kjøretøypasseringene, ble også kjøretøytypen registrert. Denne ble senere brukt til å gi et estimat på reisemiddelfordelingen, samt effektivisere arbeidet med å finne reisetider mellom de forskjellige kryssene i studieområdet.

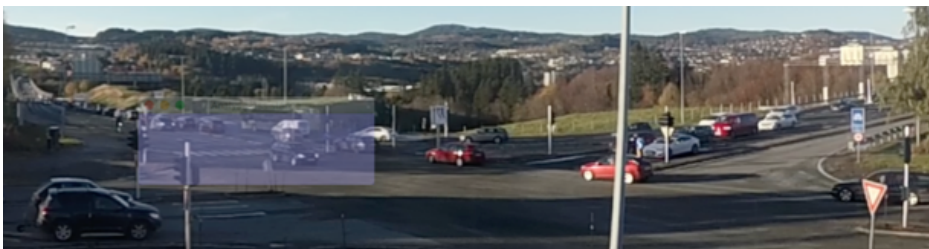


Figur 4.2: Gjennomsiktig analyse-assistanse-vindu skrevet i *Java*.

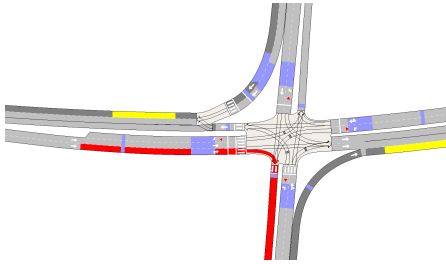
For å lette arbeidet med videoanalysen, ble det utvikla et gjennomsiktig vindu til å legge over videofilene for slik å lage en tellekant til å registrere passerende kjøretøy mot. Vinduet viste seg å være svært nyttig, og da særlig når kjøretøyene kom tett og tidvis kunne være vanskelig å skille fra hverandre. Vinduets kant ble da et fast punkt hvor man kunne fokusere, og slik bevare oversikten.

Selv om *trafikkregistrering.py* ble påbegynt utvikla i prosjektoppgava, forut for masteren, gikk det med mye tid i januar, februar og mars til å videreutvikle og raffinere skriptet. Innledningsvis førte skriptets oppbygning og logikk til at det medgikk mer tid til for- og etterarbeid enn til selve jobben med å se på videoene og registrere trafikk. Etter å ha gjort skriptet objekt-orientert og lettere modifiserbart, samt lagt inn logikk for å kunne fortsette på tidligere analyseprosjekter, økte imidlertid effektiviteten i analysearbeidet betraktelig.

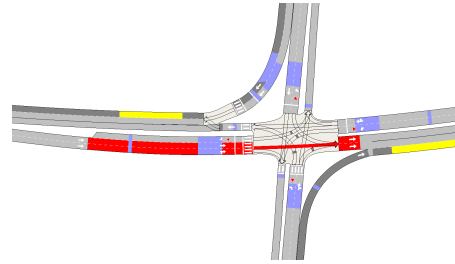
Det bør nevnes at skriptet lar brukeren selv definere hvilke tastaturknapper som skal benyttes for å registrere et valgfritt antall trafikkstrømmer (eksempelvis ulike svingebevegelser i et kryss), samt at det kan knyttes lydfiler til disse slik at man får en hørbar bekreftelse på hva som blir registrert. Slik modifisering fordrer imidlertid noe programmeringskunnskap, siden brukeren da selv må endre skriptets kildekode. Om brukeren velger å legge inn lydfiler og knytte disse til de ulike tastaturknappene, vil dette tillate brukeren av skriptet å ha fullt fokus på videoopptakene til en hver tid i analysearbeidet. Summert reduserer dette risikoen for å gå glipp av kjøretøy, samt feilregistrere kjøretøy.



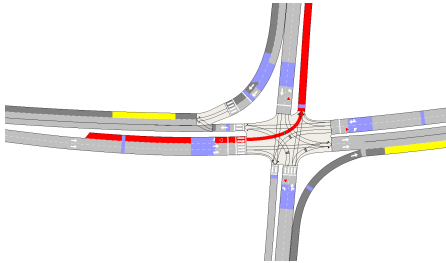
Figur 4.3: Eksempel på bruk av analyse-assistanse-vinduet.



Figur 4.4: Bjørndalsbrua til Vestre Rosten.



Figur 4.5: Bjørndalsbrua til Tonstadkryssets østre del.



Figur 4.6: Bjørndalsbrua til Oslo.

```

DELFILMTID, TOTALFILMTID, SANNTID, FELT, KJØRETØY
00:04:56,00:34:56,06:59:56,TKØ, personbil
00:04:58,00:34:58,06:59:58,TKØ, personbil
00:05:01,00:35:01,07:00:01,TKØ, personbil
00:05:05,00:35:05,07:00:05,Vestre Rosten, personbil
00:05:09,00:35:09,07:00:09,TKØ, større kjøretøy
00:05:12,00:35:12,07:00:12,TKØ, personbil
00:05:15,00:35:15,07:00:15,TKØ, taxi
00:05:18,00:35:18,07:00:18,TKØ, personbil
00:05:20,00:35:20,07:00:20,Oslo, personbil
00:05:21,00:35:21,07:00:21,TKØ, personbil
00:05:23,00:35:23,07:00:23,Vestre Rosten,mc
00:05:28,00:35:28,07:00:28,TKØ, personbil
00:05:31,00:35:31,07:00:31,TKØ, personbil
00:05:34,00:35:34,07:00:34,TKØ, personbil
00:05:37,00:35:37,07:00:37,TKØ, personbil
00:05:38,00:35:38,07:00:38,TKØ, personbil
00:05:39,00:35:39,07:00:39,TKØ, personbil
00:05:42,00:35:42,07:00:42,TKØ, personbil
    
```

Figur 4.7: .txt-fil av registreringene i figur 4.1 generert ved hjelp av *trafikk-registrering.py*.

Reisetider

Langs vegstrekningene som opplevde kødannelse og forsinkelse, ble det i de relevante tidsrommene registrert reisetider. Dette ble gjort ved at karakteristiske kjøretøy ble identifisert på tvers av de forskjellige kameraene. Eksempelvis ble tidspunktene registrert da den røde bilmonterte liftten i figur 4.8 passerte gjennom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre og østre del. Tilsvarende ble utført for en rekke andre kjøretøy for slik å få fram hvordan reisetidene varierte i løpet av morgen- og ettermiddagsrushet.

Dette i utgangspunktet tidkrevende arbeidet ble forenkla ved at kjøretøytypen ble registrert sammen med svingebevegelsene i den innledende videoanalysen. Arbeidet med å finne reisetidene tok dermed utgangspunkt i disse registreringene. Ved å filtrere ut vanlige personbiler satt man igjen med en liste over karakteristiske kjøretøy med kjente passeringstider i de ulike kryssene. De forskjellige videofilene kunne så kjapt konsulteres for å dokumentere de ulike kjøretøyenes ferd gjennom studieområdet.



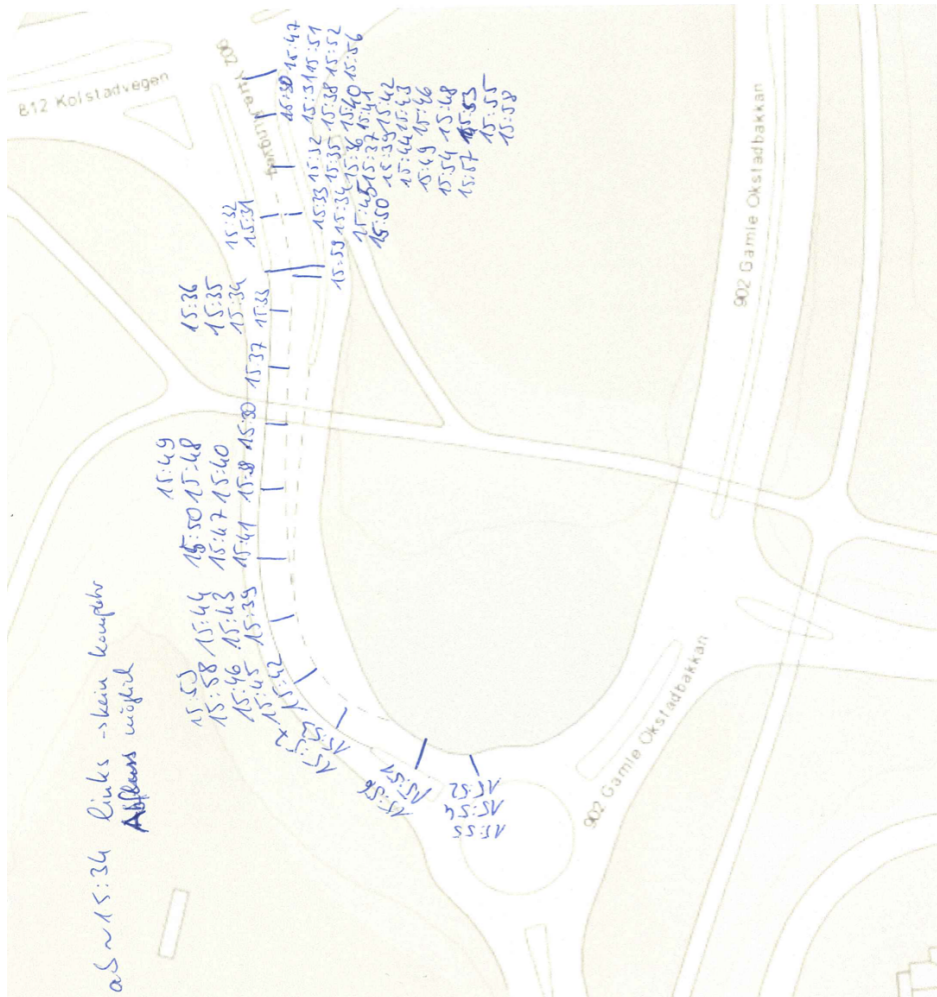
Figur 4.8: Rød bilmontert lift nedstrøms Flatåsenkrysset. For å finne hvordan reisetidene varierte, ble denne og flere andre karakteristiske kjøretøy gjenkjent på tvers av de ulike kameraene.

kamera b			dist. b til e [m]:					
Filmtid	Faktisk tid	Kjøretøy	kamera e Filmtid	1663 Faktisk tid	Δ-tid	Δ-tid [s]	[km/h]	
00:14:10	06:35:15	bil med tilhenger	00:46:28	06:37:16	00:02:01	121	49	
00:15:21	06:36:26	mc	00:47:57	06:38:45	00:02:19	139	43	
00:17:55	06:39:00	liten åpen lastebil	00:50:27	06:41:15	00:02:15	135	44	
00:23:06	06:44:11	hvit åpen lastebil	00:56:49	06:47:37	00:03:26	206	29	
00:24:06	06:45:11	bil med tilhenger	00:58:11	06:48:59	00:03:48	228	26	
00:25:51	06:46:56	lastebil med takstoler	00:59:41	06:50:29	00:03:33	213	28	
00:28:13	06:49:18	varebil med rød skrift	01:01:38	06:52:26	00:03:08	188	32	
00:48:02	07:09:07	liten åpen lastebil	01:21:22	07:12:10	00:03:03	183	33	
00:50:19	07:11:24	lang åpen lastebil	01:23:15	07:14:03	00:02:39	159	38	
00:52:27	07:13:32	mørk åpen lastebil	01:25:18	07:16:06	00:02:34	154	39	
00:55:38	07:16:43	hvit varebil	01:28:33	07:19:21	00:02:38	158	38	
00:57:12	07:18:17	grønn varebil	01:30:23	07:21:11	00:02:54	174	34	
01:00:30	07:21:35	bil med tilhenger	01:35:01	07:25:49	00:04:14	254	24	
01:10:07	07:31:12	rød bilmontert lift	01:47:13	07:38:01	00:06:49	409	15	
01:23:58	07:45:03	hvit varebil	02:01:10	07:51:58	00:06:55	415	14	
01:34:20	07:55:25	gul pickup	02:10:54	08:01:42	00:06:17	377	16	
01:34:48	07:55:53	grå minibuss	02:12:17	08:03:05	00:07:12	432	14	
01:40:36	08:01:41	hvit åpen lastebil	02:17:48	08:08:36	00:06:55	415	14	
01:43:24	08:04:29	grå varebil grønn logo	02:21:02	08:11:50	00:07:21	441	14	
01:53:44	08:14:49	mørk minibuss	02:30:28	08:21:18	00:06:29	389	15	
01:59:14	08:20:19	bil med tilhenger	02:35:21	08:26:09	00:05:50	350	17	

Figur 4.9: Registreringsoversikt for reisetider mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del onsdag 18. oktober 2017.

Kølengder

Som omtalt i teori-kapitlet, er det ikke nok å bare registrere avvikla trafikk. Skal man på en realistisk måte kunne modellere og simulere dagens trafikksituasjon, må det etableres OD-matriser som representerer etterspørsel, ikke bare avvikling.



Figur 4.10: Registrerte kølengder torsdag 19. oktober 2017 15:30 - 15:59.

Av denne grunn ble det, i tillegg til videoregistreringene av selve kryssene, registrert minuttoppløste kølengder der de innledende befaringene hadde identifisert avviklingsproblemer og kødannelse. I Ytre Ringveg ble det registrert kølengder for nordgående trafikk i både morgen- og ettermiddagsrushet, mens det nordover i Vestre Rosten bare ble notert kølengder i ettermiddagsrushet. I morgen-

rushet var det en betydelig tilbakeblokkering av Flatåsenkrysset og videre oppover mot Granåsen. Kølengder ble her registrert på utvalgte tidspunkter ved at veileders bil, utstyrt med et dashbordkamera, kjørte noen runder tur-retur mellom Granåsen og Østre Rosten. Utover disse supplerende registreringene, ble kameraene i Tonstadkrysset konsultert for det de klarte å dokumentere av kølengdevariasjoner for trafikk fra Trondheim. Kølengder for trafikk fra Oslo i retning Tonstadkryssets vestre del ble også dokumentert med et kamera.

Tabell 4.2: Kølengder i venstre nordgående felt i Ytre Ringveg 19. oktober.

Tidsrom	Kølengde _{ved intervallslutt}	Δ Kølengde	Δ Kjøretøy i kø
14:30 - 14:45	45 m	?	?
14:45 - 15:00	45 m	+0 m	+0
15:00 - 15:15	55 m	+10 m	+2
15:15 - 15:30	65 m	+10 m	+2
15:30 - 15:45	110 m	+45 m	+8
15:45 - 16:00	135 m	+25 m	+5
16:00 - 16:15	145 m	+10 m	+1
16:15 - 16:30	145 m	+0 m	+0
16:30 - 16:45	10 m	-135 m	-24
16:45 - 17:00	?	?	?

Kølengdene i tabell 4.2 er funnet utfra registreringene som figur 4.10 er et eksempel på. Da det bare ble registrert kølengder i tidsrommet 14:45 - 16:45, mangler det kølengdedata for 14:30 og 17:00. Kødatabene viser hvordan køen fra og med kl. 14:45 gradvis vokser seg større før den i tidsrommet 16:15 - 16:30 har nådd sin maksimale utstrekning på 145 m. I etterfølgende kvarter bygges køen omtrent helt ned igjen. Dette betyr at for tidsrommet 14:45 - 16:15 er avvikla trafikk mindre enn reell etterspørsel. 16:15 - 16:30 er avviklinga lik etterspørselen, mens 16:30 - 16:45 er avviklinga større enn faktisk etterspørsel. Endringa i antall kjøretøy i kø inneholder noe avrundingsfeil i beregninga, samt er basert på antagelsen om at et kjøretøy pluss avstanden til neste kjøretøy er lik 5,5 m. Denne antagelsen er sannsynligvis litt lav. Konsekvensene av dette blir belyst nærmere i diskusjonskapittelet.

Som blir omtalt senere, valgte jeg å aggregere trafikkvolumene på 15-minuttsintervaller. Av denne grunn er det jeg også ser på kølengde-variasjoner over de samme 15-minuttsintervallene. Med hensyn til forholdet mellom avvikling og etterspørsel, har det ingenting å si hvordan kølengden varierer innafor dette intervallet; så lenge man vet kølengden ved intervallets start og slutt. Etterspørselen over intervallet blir da lik observert avvikla trafikk pluss kølengdeendringa. NB: Kølengdeendringa kan være negativ. Ekstremverdier inneholdt i et 15-minuttsintervall kan imidlertid forårsake avviklingsproblemer. Dette omtales senere.

4.2 Databehandling

4.2.1 Volumaggregering og svingebevegelsesortering

Etter å ha registrert avvikla trafikk, og lagra registreringene i .txt-filer, ble neste steg å importere disse til Excel for videre analyse.

Sanntid	Felt	Kjøretøy	5-min	10-min	15-min	30-min
#	#	#	#	#	#	#
14:46:06	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:06	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:08	Vestre Rosten	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:09	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:10	Vestre Rosten	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:11	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:11	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:13	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:16	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:46:18	Vestre Rosten	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:47:13	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:47:14	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:47:15	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
14:47:16	TKØ	personbil	14:45	14:40	14:45	14:30
#	#	#	#	#	#	#

Figur 4.11: Eksempel på trafikkdata for østgående trafikk fra Bjørndalsbrua importert til Excel.

I arbeidet med å aggregere dataene på ulike nivåer ble Excels VLOOKUP()-funksjon nyttiggjort. Som det framgår av figur 4.11 ble det definert ulike merkelapper som spesifiserte hvilket intervall en registrering tilhørte. Eksempelvis hører registreringen med sanntid 14:46:06 innunder 5-minutts-intervallet 14:45 - 14:50, 10-minutts-intervallet 14:40 - 14:50, 15-minutts-intervallet 14:45 -15:00 og 30-minutts-intervallet 14:30 -15:00. Videre ble så Excels pivot-tabell-funksjonalitet brukt til å aggregere registreringene på ønska intervallengde, samt sortere på svingebevegelse.

	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45
TKØ	150	137	199	147	188	184	147	182	138	125
Oslo	24	19	16	14	10	11	9	11	22	17
Vestre Rosten	41	40	55	48	41	46	31	44	37	50

Figur 4.12: Observerte volum for østgående trafikk fra Bjørndalsbrua torsdag 19. oktober aggregert på 15-minutts-intervaller.

4.2.2 OD-matriseestimering

Da arbeidet med å aggregere og sortere de observerte avvikla trafikkvolumene på sine respektive svingebevegelser i studieområdet var ferdigstilt, var det tid for å

starte arbeidet med å estimere selve OD-matrisene som i sin tur skulle gis inn til Aimsun.

FRA \ TIL	ID	6146	6147	6148	6150	6153	6154
ID	NAVN	Oslo	Trondheim	Østre Rosten	Vestre Rosten	Flatåsen	Granåsen
6146	Oslo	Grå	Grå	Lysegrønn	Bla	Bla	Bla
6147	Trondheim	Grå	Grå	Lysegrønn	Lysegrønn	Bla	Bla
6148	Østre Rosten	Lysegrønn	Lysegrønn	Grå	Bla	Bla	Bla
6150	Vestre Rosten	Lysegrønn	Bla	Bla	Grå	Bla	Bla
6152	Husebytunet	Bla	Bla	Bla	Bla	Grå	Grå
6153	Flatåsen	Bla	Bla	Bla	Bla	Grå	Lysegrønn
6154	Granåsen	Bla	Bla	Bla	Bla	Lysegrønn	Grå

Figur 4.13: Tom OD-matrise.

De grå rutene antas lik 0 gitt antagelsen om at eksempelvis ingen som kommer fra Oslo og skal til Oslo kjører via studieområdet. De lysegrønne rutene bygger på disse antagelsene, og det følger da at observert trafikk fra Tonstadkryssets østre del (trafikk fra Oslo og Østre Rosten) i retning Oslo utelukkende kommer fra Østre Rosten, og videre at observert trafikk fra Trondheim i retning Tonstadkryssets østre del (trafikk til Trondheim og Østre Rosten) utelukkende skal til Østre Rosten. Oslo \rightarrow Trondheim og Trondheim \rightarrow Oslo antas også lik 0 da det

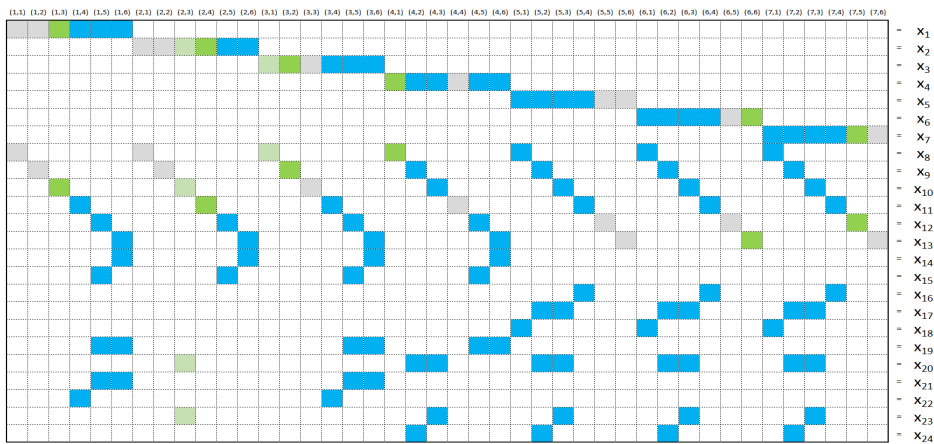
vil være en omveg for disse å ta av fra E6 kun for å kjøre gjennom Tonstadkrysset for så direkte å returnere til E6 igjen. Husebytunet \rightarrow Flatåsen og Husebytunet \rightarrow Granåsen antas også lik 0 da det er ingen mulighet for kjøretøy fra Husebytunet å nå Flatåsen eller Granåsen via studieområdet uten å først forlate det. De mørkegrønne rutene er direkte observasjoner, mens de blå er ukjente. Teller man opp de blå rutene kommer man til at man har 24 ukjente som må bestemmes. For å bestemme matrisa entydig kreves det således 24 ligninger.

Tabell 4.3: Definisjon av matriseelementfarger.

mørkegrønn rute	direkte observasjon
lysegrønn rute	antas kjent basert på antagelse
grå rute	antas lik 0
blå rute	ukjent som må estimeres

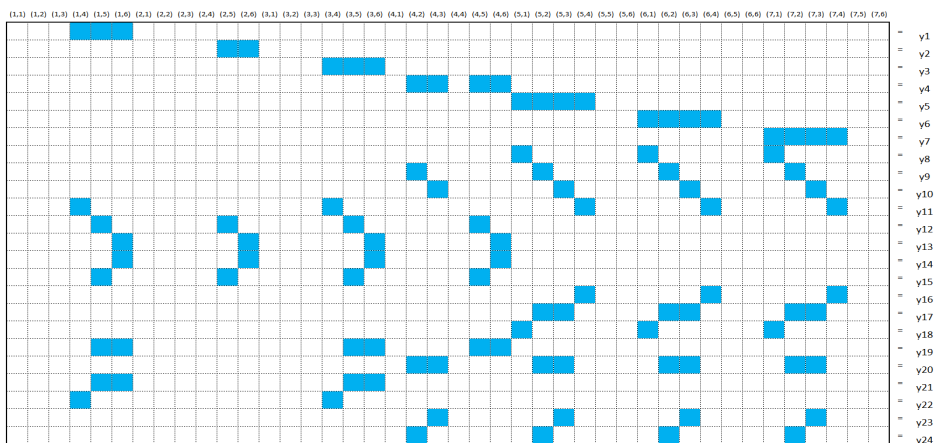
Tabell 4.4: Tilgjengelige ligninger for OD-matrise-estimering.

x_1	$= \sum$	fra Oslo	
x_2	$= \sum$	fra Trondheim	
x_3	$= \sum$	fra Østre Rosten	
x_4	$= \sum$	fra Vestre Rosten	
x_5	$= \sum$	fra Husebytunet	
x_6	$= \sum$	fra Flatåsen	
x_7	$= \sum$	fra Granåsen	
x_8	$= \sum$	til Oslo	
x_9	$= \sum$	til Trondheim	
x_{10}	$= \sum$	til Østre Rosten	
x_{11}	$= \sum$	til Vestre Rosten	
x_{12}	$= \sum$	til Flatåsen	
x_{13}	$= \sum$	til Granåsen	
x_{14}	$= \sum$	fra Bjørndalsbrua	til Granåsen
x_{15}	$= \sum$	fra Bjørndalsbrua	til Flatåsen
x_{16}	$= \sum$	fra Bjørndalsbrua	til Vestre Rosten
x_{17}	$= \sum$	fra Bjørndalsbrua	til Tonstadkryssets østre del
x_{18}	$= \sum$	fra Bjørndalsbrua	til Oslo
x_{19}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets vestre del	til Bjørndalsbrua
x_{20}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets vestre del	til Tonstadkryssets østre del
x_{21}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets østre del	til Bjørndalsbrua
x_{22}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets østre del	til Vestre Rosten
x_{23}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets vestre del	til Østre Rosten
x_{24}	$= \sum$	fra Tonstadkryssets vestre del	til Trondheim



Figur 4.14: Grafisk framstilling av ligningssystemet i tabell 4.4.

Figur 4.14 viser en grafisk framstilling av ligningssystemet i tabell 4.4. Hver kolonne tilsvarende et matriseelement i den tomme OD-matrissa i figur 4.13. Kolonna helt til venstre, (1,1), representerer Oslo \rightarrow Oslo. Neste kolonne, (1,2), tilsvarende Oslo \rightarrow Trondheim, og så videre. I arbeidet med å utvikle matrisene trodde jeg innledningsvis at jeg hadde 24 unike ligninger, men oppdaga da jeg gikk nøyere etter i sømmene at flere av ligningene er redundante. Når de kjente og antatt kjente blir flytta over på høyresida viser det seg at flere av ligningene er duplikater. Den eneste forskjellen mellom noen av de tilsynelatende ulike ligningene er bare kjente observasjoner. Dette betyr at ligningssystemet er underbestemt og ikke kan bestemmes entydig. Konsekvensene av dette belyses nærmere i diskusjonskapittelet.



Figur 4.15: Kjente og antatt kjente matriseelementer flytta over på høyresida.

Første registreringsdag gikk det ene kameraet tomt for batteri undervegs på grunn av manglende tilkobling til det eksterne batteriet som skulle sikre batteritida. Figur 4.16 oppsummerer den nødvendige gjettinga for å kompensere for disse manglende dataene. Tilsvarende ble gjort for manglende registreringer på samme kamera dagen etter, kl. 16:45 - 16:59. Det ble da antatt at dette siste kvarteret så likt ut som det nest siste. Denne dagen var det ikke batterisvikt som førte til datamangelen, men videoregistreringa ble nå avslutta uriktig tidlig grunna dårlig planlegging. Siden avviklingsproblemene i Tonstadkryssets østre del, som kameraet dekket, var borte, ble det valgt å avslutte registreringa selv om det fremdeles var kø over Bjørndalsbrua.

Ligning	Fra	Til	06:30	06:45	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15
			06:44	06:59	07:14	07:29	07:44	07:59	08:14	08:29
x1	Fra Oslo	Totalt	10	22	16	23	23	23	23	16
x3	Fra Østre Rosten	Totalt	63	104	102	125	165	165	125	102
x9	Totalt	Til Trondheim	265	319	285	335	389	389	335	285
x10	Totalt	Til Østre Rosten	65	84	77	108	97	97	108	77
x23	Fra Tonstadkryssets vestre del	Til Østre Rosten	63	82	75	106	94	94	106	75
x24	Fra Tonstadkryssets vestre del	Til Trondheim	235	263	225	273	285	258	273	225

Figur 4.16: Ekstrapolert gjetning av manglende registreringer onsdag 18. oktober 2017 07:45 - 08:30.

Videre framgangsmåte ble nå å estimere OD-matrisene ved hjelp av Excels problemløser. Dette ble gjort ved å kvadrere avviket mellom beregna og registrert verdi for alle ligningene, for å så la Excel finne en løsning som minimerte summen av dette kvadrerte avviket.

			Beregna	≈	Registrert	Avvik	Avvik ²	
Fra Oslo	=	X ₁	=	7,8	≈	10	2,2	4,9
Fra Trondheim	=	X ₂	=	75,0	≈	76	1,0	1,1
Fra Østre Rosten	=	X ₃	=	60,8	≈	63	2,2	4,9
Fra Vestre Rosten	=	X ₄	=	70,9	≈	74	3,1	9,9
Fra Husebytunet	=	X ₅	=	135,1	≈	144	8,9	78,8
Fra Flatåsen	=	X ₆	=	93,1	≈	102	8,9	78,8
Fra Granåsen	=	X ₇	=	142,1	≈	151	8,9	78,8
Til Oslo	=	X ₈	=	56,4	≈	52	-4,4	19,7
Til Trondheim	=	X ₉	=	266,8	≈	265	-1,8	3,2
Til Østre Rosten	=	X ₁₀	=	66,8	≈	65	-1,8	3,2
Til Vestre Rosten	=	X ₁₁	=	56,7	≈	53	-3,7	13,7
Til Flatåsen	=	X ₁₂	=	68,5	≈	68	-0,5	0,3
Til Granåsen	=	X ₁₃	=	69,5	≈	69	-0,5	0,3
Fra Bjørndalsbrua til Granåsen	=	X ₁₄	=	32,5	≈	32	-0,5	0,3
Fra Bjørndalsbrua til Flatåsen	=	X ₁₅	=	47,5	≈	47	-0,5	0,3
Fra Bjørndalsbrua til Vestre Rosten	=	X ₁₆	=	35,2	≈	30	-5,2	26,9
Fra Bjørndalsbrua til Tonstadkryssets østre del	=	X ₁₇	=	230,7	≈	225	-5,7	32,9
Fra Bjørndalsbrua til Oslo	=	X ₁₈	=	46,4	≈	42	-4,4	19,7
Fra Tonstadkryssets vestre del til Bjørndalsbrua	=	X ₁₉	=	41,1	≈	39	-2,1	4,4
Fra Tonstadkryssets vestre del til Tonstadkryssets østre del	=	X ₂₀	=	302	≈	302	0,4	0,2
Fra Tonstadkryssets østre del til Bjørndalsbrua	=	X ₂₁	=	22,1	≈	23	0,9	0,9
Fra Tonstadkryssets østre del til Vestre Rosten	=	X ₂₂	=	5,5	≈	7	1,5	2,2
Fra Tonstadkryssets vestre del til Østre Rosten	=	X ₂₃	=	64,8	≈	63	-1,8	3,2
Fra Tonstadkryssets vestre del til Trondheim	=	X ₂₄	=	236,8	≈	235	-1,8	3,2
			ΣBeregna		ΣRegistrert	v(ΣAvvik)	ΣAvvik ²	
			2233,7		2237	19,8	391,6	

Figur 4.17: Bruk av Excels problemløser for å finne en matrise som minimerer avviket fra trafikkobservasjonene.

FRA \ TIL	ID	6146	6147	6148	6150	6153	6154		
ID	Name	Oslo	Trondheim	Østre Rosten	Vestre Rosten	Flatåsen	Granåsen	Summert	Registrerte kjøretøy FRA
6146	Oslo	0	0	2	0,0	5,8	0,0	7,8	10
6147	Trondheim	0	0	20	16	18,8	20,2	75,0	76
6148	Østre Rosten	9	30	0	5,5	14,2	2,1	60,8	63
6150	Vestre Rosten	1	50,8	0,0	0	8,8	10,3	70,9	74
6152	Husebytnet	23,2	71,9	21,5	18,5	0	0	135,1	144
6153	Flatåsen	3,5	48,7	3,5	0,4	0	37	93,1	102
6154	Granåsen	19,7	65,4	19,7	16,3	21	0	142,1	151
	Summert	56,4	266,8	66,8	56,7	68,5	69,5	584,8	620
	Registrerte kjøretøy TIL:	52	265	65	53	68	69	572	

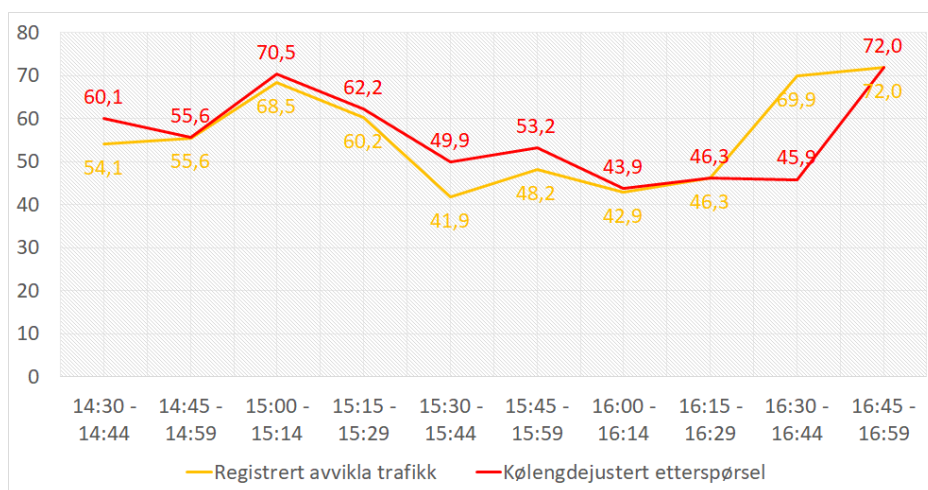
Figur 4.18: Estimert matrise for onsdag 18. oktober 2017 06:30 - 06:45.

Figur 4.18 viser en av mange estimerte matriser. Registreringene viser et avvik mellom observerte kjøretøy inn i (620) og ut av (570) studieområdet. Dette kan, foruten kødannelse, skyldes tidsmessige trafikkvariasjoner. Om det kommer relativt flere kjøretøy inn i studieområdet i de siste minuttene av intervallet enn i første del, vil disse først registreres ut i neste intervall. Dersom flytratene, rute- og destinasjonsvalget er konstante over intervallet, vil imidlertid registrerte kjøretøy inn være lik observert antall kjøretøy ut av studieområdet. Diskusjonskapittelet vil gå nærmere inn på svakheter ved å minimere det totale kvadrerte avviket fra registreringene. Det ville vært riktigere å sikre at estimeringa først gjenspeilte registrerte kjøretøy inn i studieområdet.

4.2.3 Kølengdejustere OD-matrisene

Gitt at de estimerte matrisene ble så riktige som de kunne bli, stod det deretter for tur å justere disse for kødannelse og slik få fram reelle etterspørselsmatriser. Tabell 4.2 er her gjengitt for å vise framgangsmåten for kølengdejusteringa i figur 4.19. Det er antatt at køen vokste med 6 kjøretøy i tidsrommet 14:30 - 14:45, samt at kølengden var lik i 16:45 og 17:00.

Tidsrom	Kølengde _{ved intervallslutt}	Δ Kølengde	Δ Kjøretøy i kø
14:30 - 14:45	45 m	?	?
14:45 - 15:00	45 m	+0 m	+0
15:00 - 15:15	55 m	+10 m	+2
15:15 - 15:30	65 m	+10 m	+2
15:30 - 15:45	110 m	+45 m	+8
15:45 - 16:00	135 m	+25 m	+5
16:00 - 16:15	145 m	+10 m	+1
16:15 - 16:30	145 m	+0 m	+0
16:30 - 16:45	10 m	-135 m	-24
16:45 - 17:00	?	?	?



Figur 4.19: Antatt sammenheng mellom avvikla trafikk og etterspørsel fra Østre Rosten til Granåsen og Flatåsen om ettermiddagen torsdag 19. oktober 2017.

Denne justerte etterspørselen baserer seg på antagelsen om at de kjøretøyene som utgjør *kølengdeendringa* i Ytre Ringveg (fra Østre Rosten) skal i retning Granåsen eller Flatåsen. Noen av kjøretøyene fra Østre Rosten skal imidlertid ikke til Byåsen, men til Vestre Rosten eller Oslo. Da disse volumene, om ettermiddagen, likevel er relativt mindre enn de i retning Byåsen, er det valgt å la

kø lengdeendringa tilfalle etterspørselen i retning Granåsen og Flatåsen. Tilsvarende metodikk for å kø lengdekorrigere observert avvikling til faktisk etterspørsel ble utført for følgende trafikkstrømmer:

Tabell 4.5: Kø lengdejusterte trafikkstrømmer.

	Morgenerushet	Ettermiddagsrushet
Trafikk fra Oslo	o	✓
Trafikk fra Trondheim	o	✓
Trafikk fra Østre Rosten	(✓)	✓
Trafikk fra Vestre Rosten	o	✓
Trafikk fra Husebytnet	✓	o
Trafikk fra Flatåsen	✓	o
Trafikk fra Granåsen	✓	o

På grunn av manglende data, ble det for morgenerushet ikke benytta faktisk registrerte kø lengder, men heller skjønnsmessige vurderinger. Hvordan kø lengdejusteringene på totaltrafikken fordeler seg på på de ulike relasjonene (eksempelvis Oslo → Oslo / Trondheim / Østre Rosten / Vestre Rosten / Husebytnet / Flatåsen / Granåsen) ble også skjønnsmessig vurdert. Detaljene rundt dette kan studeres på vedlagte excelark.

Trafikken fra Østre Rosten i morgenerushet er markert med (✓) da kø lengderegistreringene viste at kø lengdene var tilnærma konstante for alle de registrerte intervallgrensene. Dette betyr at alle eventuelle kø-opp- og -nedbygginger er inneholdt i de enkelte 15-minutts-intervallene. Dette betyr i sin tur at etterspørselen på 15-minutts-intervall-nivå er lik registrert avvikling for de samme intervallene. Det samme er antatt å være tilfelle for trafikkstrømmene markert med o.

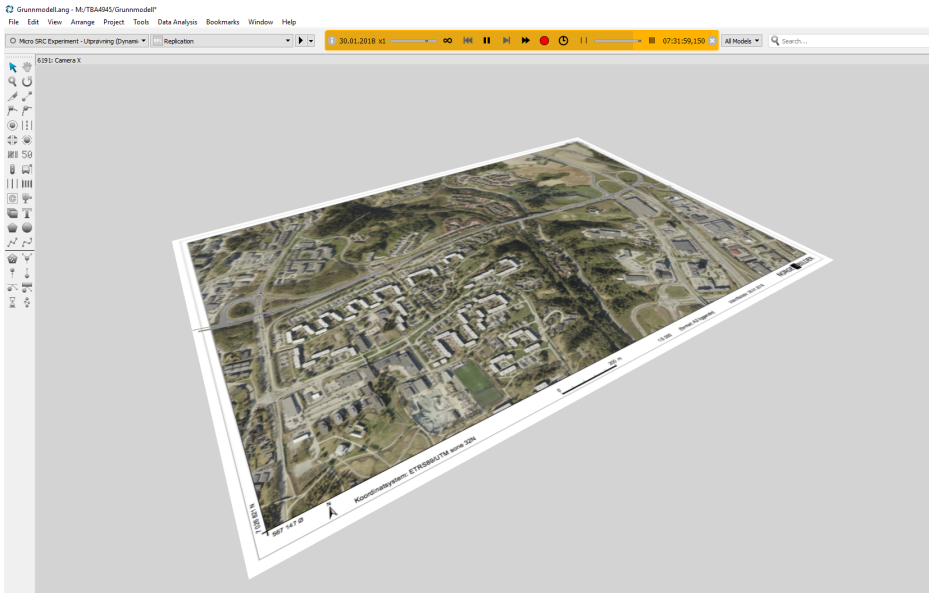
4.3 Utvikle grunnmodell i Aimsun

4.3.1 Vegnettverk

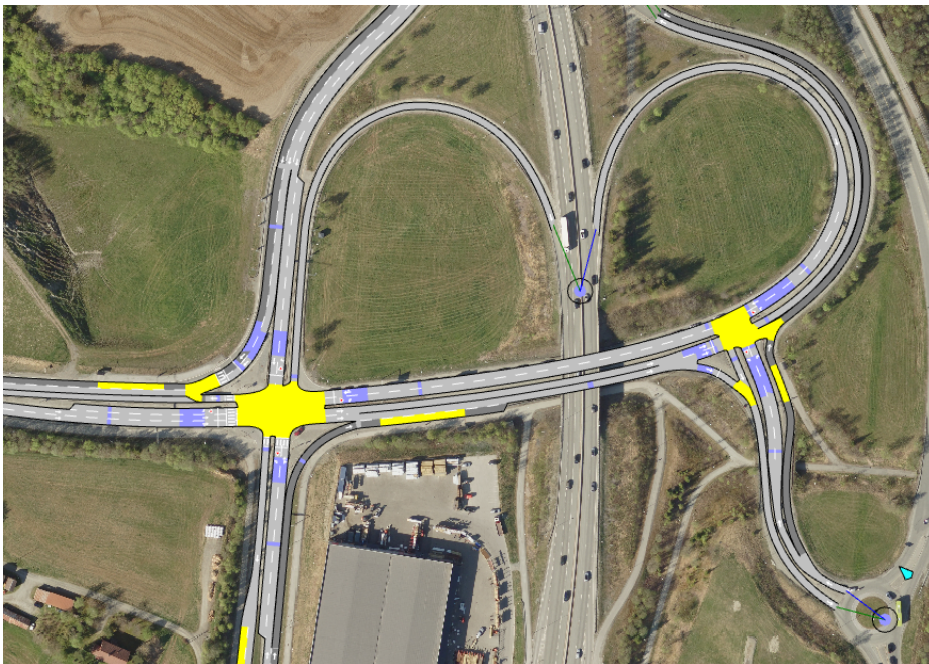
Innledningsvis måtte geometrien i vegnettet konstrueres. Et alternativ var å klippe ut studieområdet fra Statens Vegvesen sin Aimsun-modell for Trondheim, men på grunn av studietområdets relativt begrensa utstrekning ble det foretrukket å bygge opp hele modell-geometrien fra bunnen av. Dette både med tanke på det konkrete læringsutbyttet av å gjøre dette, samt at det muliggjorde en større kontroll med og oversikt over modellen.

Med geometrien på plass, måtte de ulike svingebevegelsene defineres, vikeplikt spesifiseres, busstopp etableres og kollektivfelt reserveres.

4.3 Utvikle grunnmodell i Aimsun



Figur 4.20: Flyfoto fra norgebilder.no ble brukt som underlag for å bygge geometrien i Aimsun-modellen.

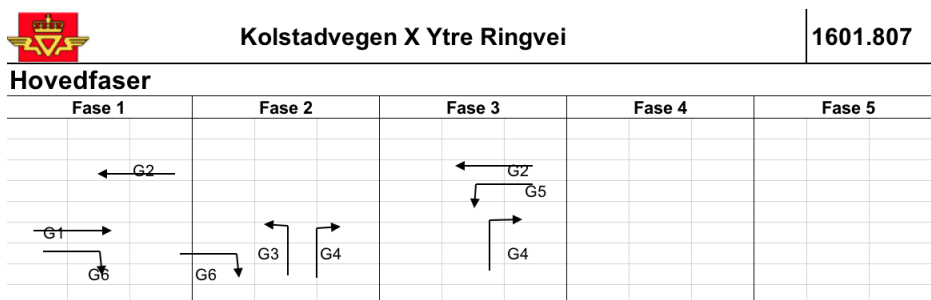


Figur 4.21: Tonstadkrysset, slik det ble bygd i Aimsun-modellen.

4.3.2 Signalkontroll

Det ble gjort et forsøk på å etablere faseplaner, omløpstider og grønttider basert på videoanalyse av registrert trafikk i kryssene i studieområdet. Dette viste seg imidlertid å være utfordrende å få til da det under overbelastning og tilbakeblokkering oppstod situasjoner der kjøretøystrømmer hadde grønt signal uten at disse hadde anledning til å kjøre inn i krysset. Video-opptakene dekket heller ikke alle lyssignalene, slik at det ble vanskelig å få en presis beskrivelse av signallogikken. Da denne tilnærminga ikke førte fram, ble Statens Vegvesen Region Midt kontakta, og de var behjelpelige med å skaffe til veie detektor- og signalplaner for kryssene i studieområdet.

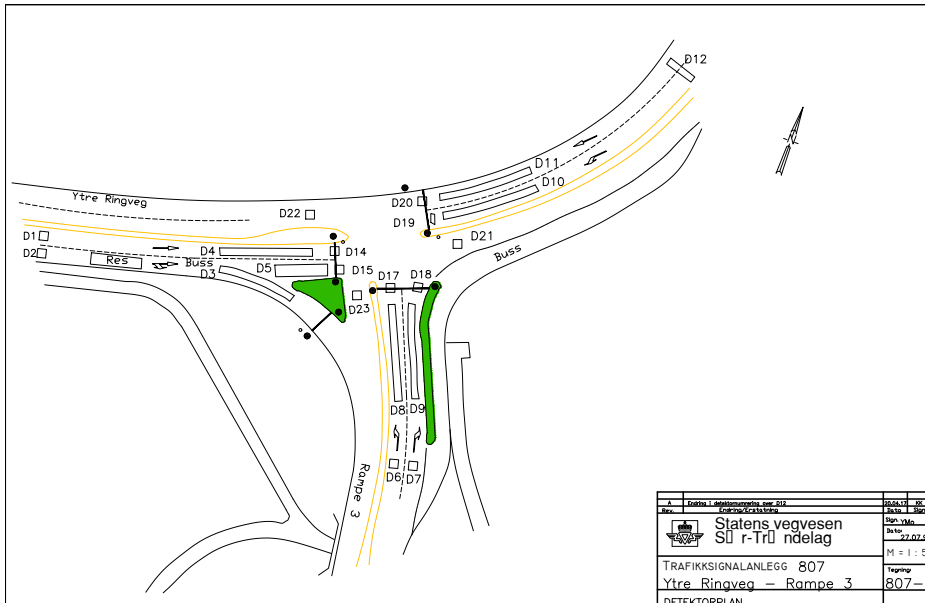
Mens trafikkstyrt signalkontroll var det som ble implementert i modellen, var det et alternativ å modellere kryssene ved å bruke faste tider. Ved lavtrafikk vil dette skape noe uriktig kødannelse siden kjøretøy da kan bli stående og vente uten at det er trafikk i konkurrerende signalgrupper. Bruken av faste tider kan likevel forsvares da krysset under overbelastning stort sett går på makstid siden etterspørselen da er større enn kapasiteten. Dette gjelder imidlertid bare så lenge det ikke er kapasitetsbegrensning ut av krysset. Om det opptrer slik tilbakeblokkering vil signallogikken kunne bryte sammen. Dette omtales i diskusjonskapittelet.



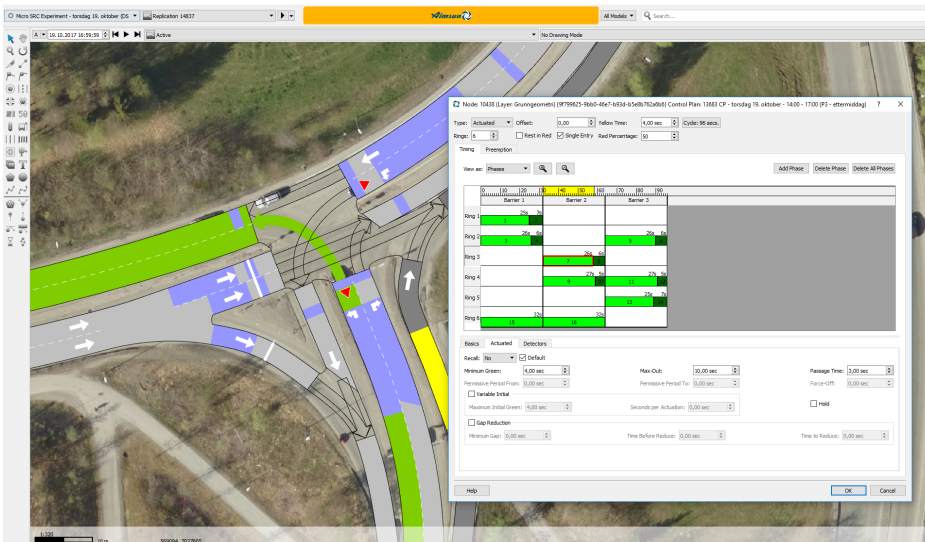
Figur 4.22: Faseplan og signalgrupper for Tonstadkryssets østre del.

Kolstadvegen X Ytre Ringvei		1601.807														
Signaler for kjørende			Siste revisjon:	19/02/2018												
Gruppe	Fase	Min.tid	Gultid	Se merknad					Makstid							
				P1	P2	P3	P4	P15	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15
G 1	1	4	4						75	75	30	30		15	30	15
G 2	1,3	4	4						50	50	30	30		15	30	15
G 3	2	4	4						20	20	10	10		20	20	20
G 4	2	4	4						30	30	10	10		10	10	10
G 5	3	4	4						16	16	8	8		8	8	8
G 6	1,2	4	4						16	16	8	8		8	8	8

Figur 4.23: Kontrolltider for signalgruppene i Tonstadkryssets østre del.



Figur 4.24: Detektorplan for Tonstadkryssets østre del.



Figur 4.25: Implementasjon av detektorer og signalprogrammet P3 (ukedager 14:00 - 17:00) i Tonstadkryssets østre del. (Konsulter modellfilene for detaljer.)

4.3.3 Trafikketerspørsel

Reisemiddelfordeling

Under videoanalysen ble det, i tillegg til å registrere volum på de ulike svingebevegelsene, registrert kjøretøytype. Med ferdig utvikla OD-matriser for totaltrafikkmengden, ble neste steg så å splitte disse opp på de ulike reisemiddelkategoriene. Med utgangspunkt i de fordelingene som kom fram gjennom videoanalysen, ble følgende reisemiddelfordeling antatt:

Tabell 4.6: Antatt reisemiddelfordeling

83 %	personbil
10 %	el-bil
2 %	taxi
2 %	større kjøretøy
1 %	mc
(2 %	buss)

Buss står oppført i parentes da det ikke ble laga egne matriser for busstrafikk, men i stedet ble de aktuelle rutetabellene (busslinje 4, 6, 11, 16, 19, 46, 47, 80, 86 og 90) gitt manuelt inn til Aimsun. Rutetabellene som ble brukt, trådte alle i kraft 14. august 2017, og var således de som gjaldt registreringsdagene. Unntaket fra dette var linje 4 og 6, hvor rutetabellene var datert 4. desember 2017. Disse ble likevel lagt inn i Aimsun under antagelsen om at endringene i forhold til rutetidene på registreringsdagene var minimale, og/eller holdt utenfor selve studieområdet.

Departure Times: Fixed ble valgt, og hver enkelt bussavgang i studietidsrommene ble så lagt inn ved å taime det slik at bussen nådde fram til første holdeplass på ruta inni studieområdet til oppsatt rutetid gitt køfrie forhold. Det ble antatt en normalfordelt oppholdstid på holdeplass med gjennomsnittlig oppholdstid lik 30 sekunder, og med standardavvik lik 15 sekunder.

Reisemiddelfordelt matrise-eksport til .txt-fil

Med en matriseoppløsning på 15 minutter, et totalt studert tidsrom på 4,5 timer (06:30 - 08:30) + (14:30 - 17:00) og 5 reisemiddelkategorier, foruten buss, summerer dette til 90 matriser som må gis inn til Aimsun. For både å effektivisere denne prosessen, samt minimere muligheten for feil på grunn av menneskelig svikt, ble det utvikla et *Visual Basic*-skript i Excels utviklermiljø. Dette skriptet automatiserer skriving til fil av matrisene i Excel. Ved kjøring av skriptet må brukeren se til at desimalseparatoren på datamaskina er satt til punktum (ikke komma). Dette fordi etterfølgende import til Aimsun forutsetter punktum som desimalseparator.

I forkant av matrise-eksporten ble reisemiddelkategoriene *el-bil* og *mc* definert som egne kjøretøyklasser i Aimsun, da disse ikke var definert i Aimsuns standardoppsett.

```

Sub eksporter_reisemiddelfordelte_matriser()
    Dim myFile, fra, til As String, rng As Range, cellValue, fraTil As Variant, i, j, ID As Integer, _
    Sheet As Worksheet, Modes, ModeP, ModeMeta
    myFile = "E:\Aimsunmodell\OD-matriser\alle_matriser\onsdag_18_oktober_15_min.txt"
    fra = "A4"
    til = "C2"
    ID = 10000
    Modes = Array("0 None", "53 Car", "62 Taxi", "13101 Electric vehicle", "56 Truck", "13348 MC")
    ModeP = Array(1, 0.83, 0.02, 0.1, 0.02, 0.01)
    ModeMeta = Array("Total (100%)", "Car (83%)", "Taxi (2%)", _
    "Electric vehicle (10%)", "Truck (2%)", "MC (1%)")
    Open myFile For Output As #1
    For ModeIndex = 0 To UBound(Modes)
        For Each Sheet In ActiveWorkbook.Sheets
            If Sheet.Name <> "template" And Sheet.Name <> "DBId" Then
                Print #1, ID & " 18. okt. " & Left(Sheet.Name, 2) & ":" & Mid(Sheet.Name, 3, 7) _
                & ":" & Mid(Sheet.Name, 10, 2) & " - (15 min) - " & ModeMeta(ModeIndex)
                ID = ID + 1
                Print #1, Modes(ModeIndex)
                Print #1, Left(Sheet.Name, 2) & ":" & Mid(Sheet.Name, 3, 2) & ":00"
                Print #1, "00:15:00"
                Set rng = Sheet.Range("C4:H10")
                For i = 1 To rng.Rows.Count
                    For j = 1 To rng.Columns.Count
                        fraTil = Range(fra).Offset(i - 1, 0).Value & " & Range(til).Offset(0, j - 1).Value & " "
                        cellValue = rng.Cells(i, j).Value * ModeP(ModeIndex)
                        Print #1, fraTil & Format(cellValue, "Standard")
                    Next j
                Next i
                Write #1,
                End If
            Next
        Next ModeIndex
    Close #1
End Sub

```

Figur 4.26: VBA-kode for reisemiddelfordelt matriseeksport til .txt-fil for etterfølgende import til Aimsun.

```

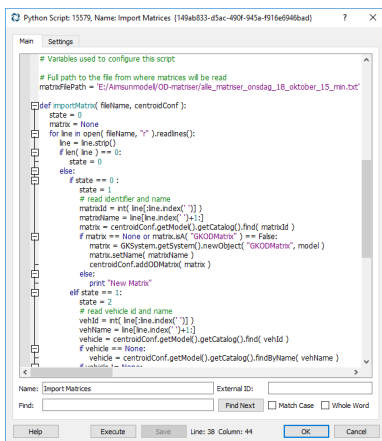
10024 18. okt. 06:30 - 06:44 - (15 min) - Electric vehicle (10%)
13101 Electric vehicle
06:30:00
00:15:00
6146 6146 0.00
6146 6147 0.00
6146 6148 0.20
6146 6150 0.00
6146 6153 0.58
6146 6154 0.00
6147 6146 0.00
6147 6147 0.00
6147 6148 2.00
6147 6150 1.60
6147 6153 1.88
6147 6154 2.02
    
```

Figur 4.27: Utsnitt fra .txt-fil generert ved hjelp av skriptet i figur 4.26.

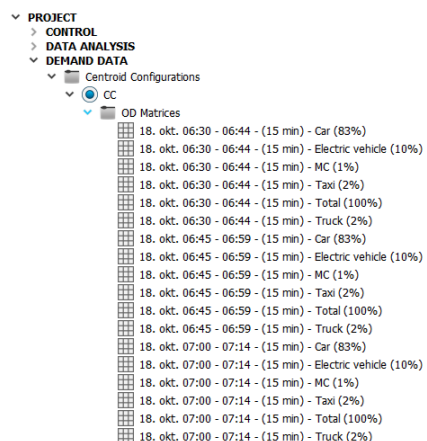
I figur 4.27 ses deler av el-bil-matrisa produsert fra total-etterspørselsmatrisa i figur 4.18. Gitt en el-bil-andel lik 10% av total etterspørsel, og total etterspørsel mellom 6147 og 6148 (Trondheim → Østre Rosten) lik 20 kjøretøy, utgjør dette således 2 el-biler i tidsrommet 06:30 - 06:44(:59).

Matriseimport til Aimsun

Etter å ha fått alle matrisene skrevet til fil, ble de importert til Aimsun ved hjelp av Aimsuns eget Python-API.



Figur 4.28: Aimsuns API for automatisert matriseimport fra .txt-fil.



Figur 4.29: Skriptet i figur 4.28 kjøres fra kontekstmenyen til den aktuelle sentroide-konfigurasjonen.

4.3.4 Føreradferd og kjøretøy-karakteristika

Av hensyn til begrensa tid og ressurser, ble det ikke forsøkt å gjøre feltregistreringer av føreradferd-parametre eller kjøretøy-karakteristika.

4.4 Kalibrering og validering av grunnmodell

Formålet med å kalibrere grunnmodellen er å sikre tilstrekkelig samsvar mellom registrert og simulert trafikk før det implementeres endringer; hvor effekten av disse så skal simuleres og vurderes. I arbeidet med å kalibrere grunnmodellen ble tidspunkt for feltskiftebeslutninger forsøkt gjenskapt, og simulerte og registrerte reisetider mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkrysset, samt avvikla trafikkvolum gjennom alle tre kryssene i studieområdet, sammenligna. I denne sammenheng ble den såkalte *GEH*-verdien beregna, både for summen av trafikken sett under ett, og for hver enkelt svingebevegelse brutt ned på 15-minutts-intervaller.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(S - R)^2}{S + R}} \quad (4.1)$$

der S er simulerte, og R er registrerte trafikkvolum. Amerikanske retningslinjer for modellkalibrering [9, s. 64] anser en *GEH*-verdi < 5 for $> 85\%$ av tilfellene som et tilfredstillende samsvar mellom simulerte og registrerte volum.

GEH-verdien beregnes vanligvis i forbindelse med å vurdere simulerte rutevalg gjennom et studieområde. Denne verdien sier da i hvilken grad simulerte lenkevolum samsvarer med registrerte lenkevolum, og dette igjen sier noe om hvordan kjøretøyene fordeler seg på de ulike rutevalgene. Da det i studieområdet i denne oppgava kun finnes et rutevalg mellom hvert OD-par, burde da *GEH*-verdien teoretisk sett bli 0, og slik sett være uten interesse. Når *GEH*-verdier likevel er oppgitt, er dette bare ment som en dokumentasjon på at matrisene som er gitt inn til Aimsun faktisk i tilfredstillende grad representerer registrert trafikk; ikke bare for tidsrommet som helhet, men også brutt ned på 15-minutts-intervaller.

Tabell 4.7: Simulerte og registrerte trafikkvolum i morgenrushet.

Flatåsenkrysset	
$\sum S$	3348,45
$\sum R$	3459,00
$\sum(S - R)$	-110,55
$\sum \sqrt{(S - R)^2}$	207,25
$GEH_{\text{sum alle kryssarmer}}$	1,89
$GEH_{\text{maks 15-minutts-intervall og svingebevegelse}}$	1,68

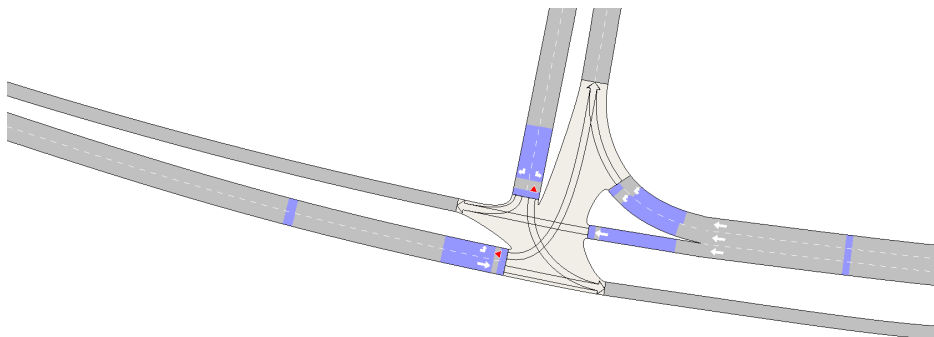
Tonstadkryssets vestre del	
$\sum S$	5241,55
$\sum R$	5260,00
$\sum(S - R)$	-18,45
$\sum \sqrt{(S - R)^2}$	435,95
$GEH_{\text{sum alle kryssarmer}}$	0,25
$GEH_{\text{maks 15-minutts-intervall og svingebevegelse}}$	2,92

Tabell 4.8: Simulerte og registrerte trafikkvolum i ettermiddagsrushet.

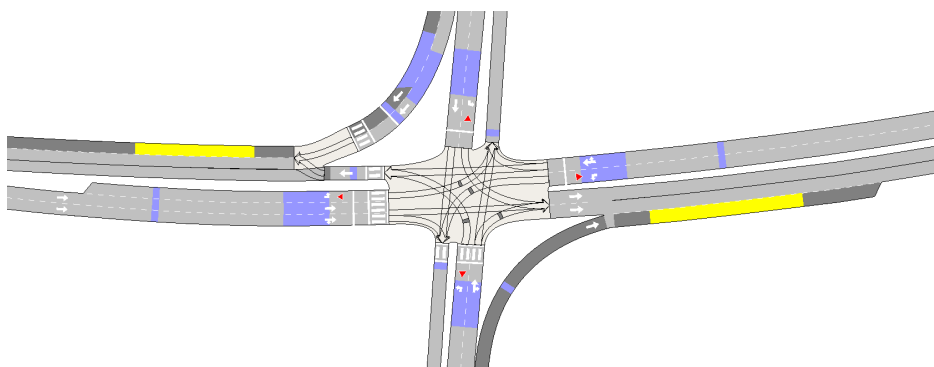
Flatåsenkrysset	
$\sum S$	6036,70
$\sum R$	6224,00
$\sum(S - R)$	-187,30
$\sum \sqrt{(S - R)^2}$	336,70
$GEH_{\text{sum alle kryssarmer}}$	2,39
$GEH_{\text{maks 15-minutts-intervall og svingebevegelse}}$	2,50

Tonstadkryssets vestre del	
$\sum S$	8084,80
$\sum R$	8163,00
$\sum(S - R)$	-78,20
$\sum \sqrt{(S - R)^2}$	882,20
$GEH_{\text{sum alle kryssarmer}}$	0,87
$GEH_{\text{maks 15-minutts-intervall og svingebevegelse}}$	7,67
$GEH_{\text{nest største intervall og svingebevegelse.}}$	4,64

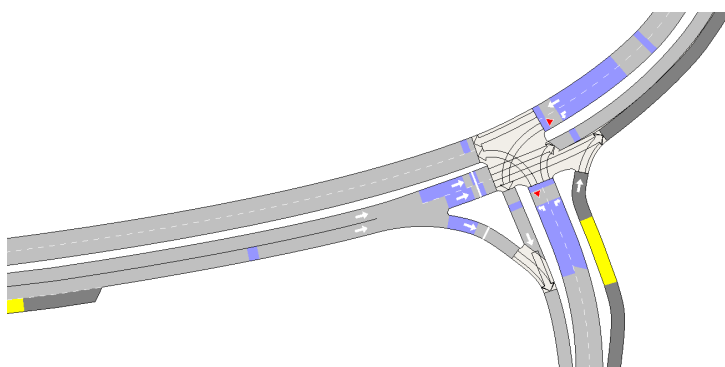
Tonstadkryssets østre del	
$\sum S$	4856,95
$\sum R$	4891,00
$\sum(S - R)$	-34,05
$\sum \sqrt{(S - R)^2}$	352,05
$GEH_{\text{sum alle kryssarmer}}$	0,49
$GEH_{\text{maks 15-minutts-intervall og svingebevegelse}}$	4,12



Figur 4.30: Flatåsenkrysset.

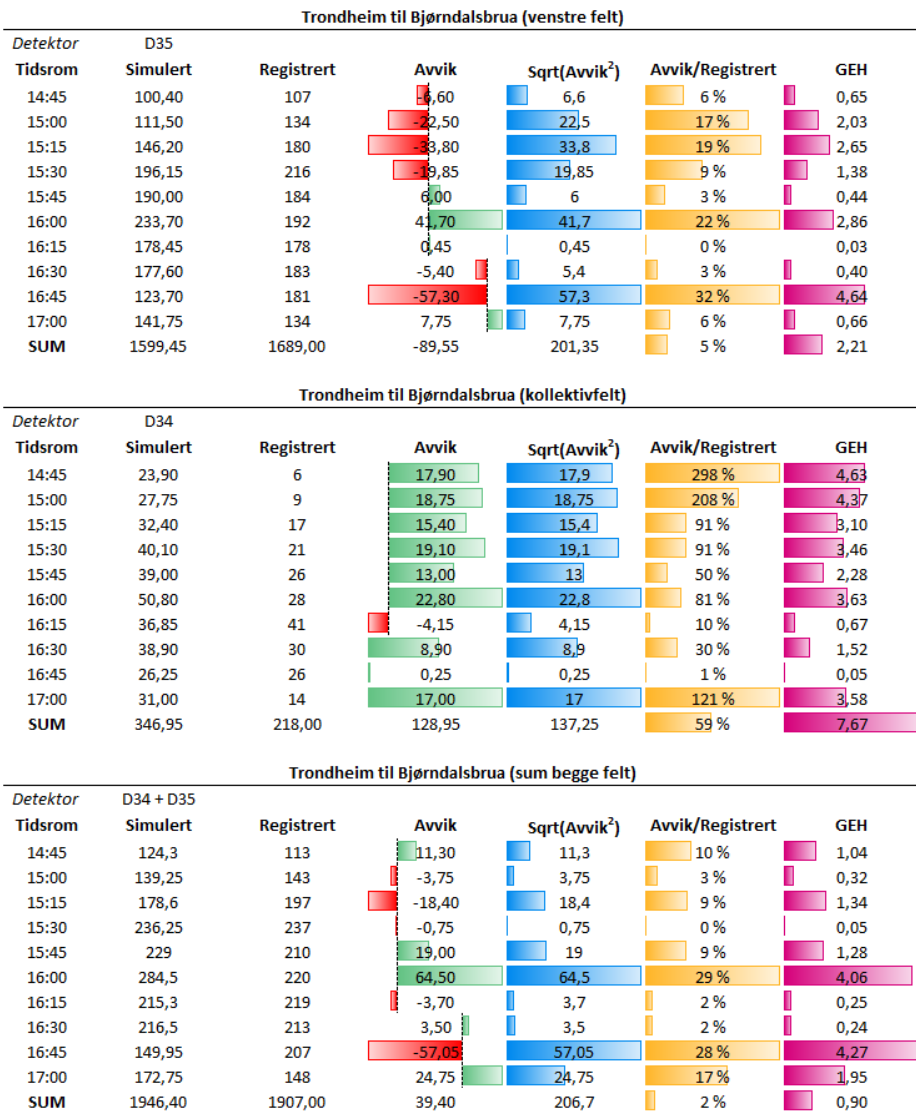


Figur 4.31: Tonstadkryssets vestre del.



Figur 4.32: Tonstadkryssets østre del.

Som det framgår av tabell 4.7 og 4.8, er det som forventa, godt samsvar mellom simulerte og registrerte volum. Brutt ned på hver enkelt svingebevegelse og 15-minutts-intervall, opptrer det bare en eneste *GEH*-verdi > 5 . Denne opptrer for ettermiddagstrafikk fra Trondheim liggende i kollektivfeltet i retning Bjørndalsbrua. Ser man imidlertid på kollektivfeltet og nabofeltet under ett, er *GEH* lik 0,90, se figur 4.33.



Figur 4.33: Simulerte og registrerte trafikkvolum Trondheim → Bjørndalsbrua om ettermiddagen 19. oktober 2017.

Det høye avviket skyldes altså ikke trafikkmengden gjennom svingebevegelsen per se, men at den antatte reismiddelfordelinga antar en noe uriktig el-bil-andel (eventuelt også mc- og/eller taxi-andel).

På grunn av den tidligere nevnte kamerasvikten i morgenrushregistreringa, foreligger det ikke registrerte trafikkvolum for hele morgenrushet i østre del av Tonstadkrysset. De tallene som fins, det vil si for tidsrommet 06:30 - 07:45, viser imidlertid godt samsvar mellom simulerte og registrerte volum, med en maksimal *GEH*-verdi på 3,40; se vedlagte excelark for detaljer. De eneste kjøretøyene i østre del som ikke blir fanga opp av tallene for vestre del av Tonstadkrysset, er relasjonene Oslo → Østre Rosten og Østre Rosten → Trondheim. I tidsrommet 06:30 - 07:45 ble det for Oslo → Østre Rosten totalt registrert 11 kjøretøy, Østre Rosten → Trondheim hadde 312 kjøretøy, mens 1280 kjøretøy kjørte Tonstadkryssets vestre del → Trondheim. Trafikkstrømmen Oslo → Østre Rosten er således ubetydelig, og av alle kjøretøy i retning Trondheim utgjør de fra Østre Rosten bare omtrent 20%. Siden tallene for Tonstadkryssets vestre del stemmer godt for hele tidsrommet 06:30 - 08:30, antas det derfor at det samme er tilfelle for østre del.

For å kalibrere feltvalgsbeslutningene i modellen, ble feltskiftesonene for de ulike svingebevegelsene i kryssene skrudd på. Et eksempel på ønska oppførsel var å få østgående kjøretøy over Bjørndalsbrua i retning Oslo og Trondheim, til å holde seg i venstre felt over brua selv når det oppstod kødannelse inn mot Tonstadkryssets vestre del. Ukalibrert starta sone 2 for nærme krysset, og dette medførte da at kjøretøyene brukte begge feltene over brua; for så å presse seg inn i køen i venstre felt når de kom nærme nok krysset. Det hendte også at kjøretøy bytta felt på strekningen mellom vestre og østre kryssdel. Ved å øke distansen mellom krysset og starten på sone 2, stilte kjøretøyene seg tidligere i kø. Feltskifter mellom vestre og østre kryssdel ble unngått ved å legge inn to separate kjørefelt der.

Kalibreringsarbeidet og vurderingene rundt hvorvidt reisetidene i modellen og registreringene samsvarer, er gjort skjønnsmessig. Se diskusjonskapittelet for dette.

Validering av modellen mot uavhengige data er viktig for å kunne kvalitetssikre modellens treffsikkerhet gitt ulike trafikforhold. Om validering ikke utføres, kan man komme i skade for å overtilpasse modellen til kalibreringsdataene på en urealistisk måte. For å kunne avdekke slikt, må valideringsdataene således være uavhengige av dataene brukt i kalibreringa. Dette ble forsøkt oppnådd ved å kalibrere modellen mot datamaterialet for morgen- og ettermiddagsrushet samtidig. Da disse oppviste svært ulike trafikforløp, ble det tenkt at en uriktig ensidig tilpasning til eksempelvis ettermiddagsrushet ville kunne avsløres ved å se på effekten av dette på morgenrushet, og omvendt. Hadde mer data og tid vært tilgjengelig, kunne det imidlertid vært fordelaktig å validere modellen mot et tredje, helt uavhengig, datasett. I tillegg til dette burde det ha blitt gjennomført en følsomhetsanalyse for modellens respons på små endringer i parameterverdier og inn-data [10, s. 43-44].

4.5 Utvikle og implementere endringstiltak

4.5.1 Utvikle endringstiltak

Problembeskrivelse morgenrushet

Forsinkelse og kødannelse grunna tidvis utilstrekkelig kapasitet gjennom Tonstadkrysset sine signalregulerte kryss, samt flettekonflikt mellom trafikk på Kolstadvegen og trafikk på rampa fra Husebytunet busstopp, synes å være hovedutfordringene for morgenrushet.



Figur 4.34: Kødannelse på Kolstadvegen 18. oktober 2017 kl. 07:28.

Da videoregistreringene ble gjennomført i oktober var det byggearbeider ved busstoppene på Bjørndalstoppen. I sammenheng med dette var østgående kollektivfelt forbi busstoppene stengt, og all trafikk i retning Bjørndalsbrua ble nødt til å flette inn på et felt på Kolstadvegen, se figur 4.34. Det ser ut til at anleggsarbeidet og feltreduksjonen gjorde bilførerene litt ekstra defensive, og slik intensiverte fletteproblemene med tilhørende tilbakeblokkering av Flatåsenkrysset.

Problembeskrivelse ettermiddagsrushet

Dagens feltkonfigurasjon over Bjørndalsbrua, med to felt østover og et felt vestover, er godt tilpassa trafikkstrømmene i morgenrushet, men er med på å strupe avviklinga vestover om ettermiddagen.



Figur 4.35: Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre del for trafikk i retning Bjørndalsbrua 19. oktober 2017 kl. 16:05.



Figur 4.36: Flatåsenkrysset 19. oktober 2017 kl. 15:47.

Videre synes Flatåsenkryssets utforming, med et felt vestover i retning Granåsen og to felt i retning Flatåsen, å samsvare noe dårlig med etterspørselen. Bjørndalsbrua → Flatåsen har stort sett grønt, og kommer bare i konflikt med svingebeve- gelsen Granåsen → Flatåsen. Bjørndalsbrua → Granåsen må derimot, i tillegg

til å krysse Granåsen → Flatåsen, også koordinere med trafikk fra Flatåsen i retning Bjørndalsbrua.

Endringstiltak

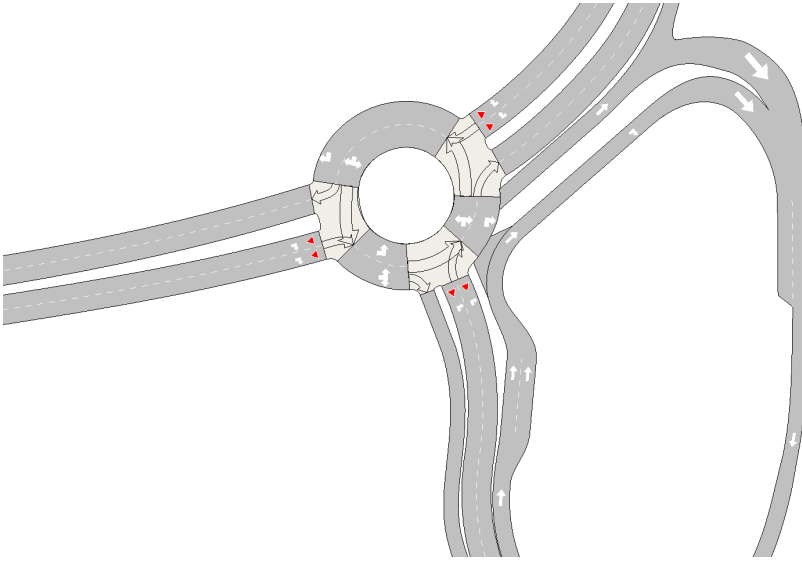
Basert på de identifiserte avviklingsproblemene tenkes følgende endringstiltak å kunne bedre trafikkavviklinga i studieområdet:

Tabell 4.9: Endringstiltak for å bedre trafikkavviklinga i studieområdet.

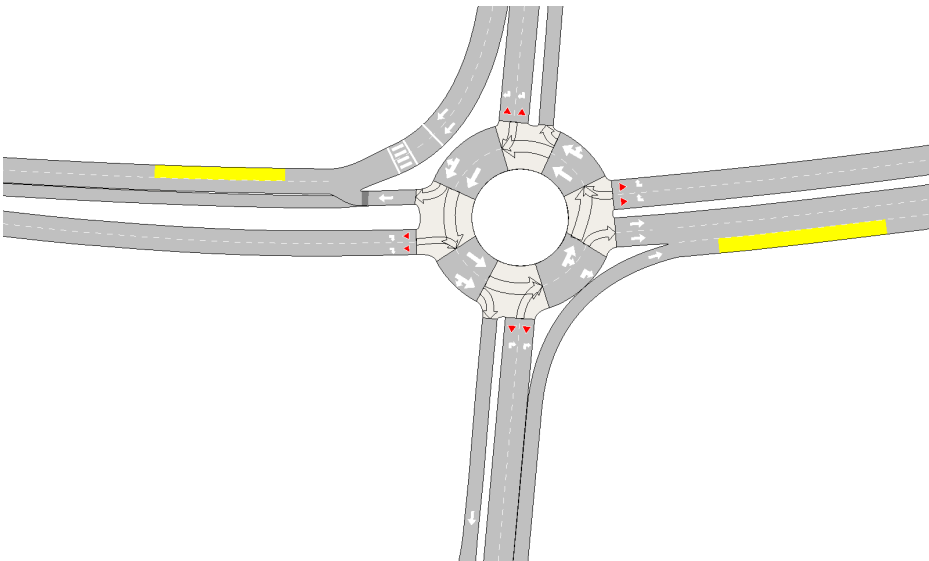
<i>Hva</i>	<i>Hvor</i>
■ <i>Implementere rundkjøringer</i>	i Tonstadkrysset
■ <i>Deregulere østgående kollektivgate</i>	fra Vestre Rosten
■ <i>Deregulere kollektivfeltet</i>	østover fra Tonstadkryssets østre del østover fra Bjørndalstoppen vestover fra Trondheim
■ <i>Omprioritere feltbruken</i>	i Flatåsenkrysset ved å gi: 2 felt til Bjørndalsbrua → Granåsen 1 felt til Bjørndalsbrua → Flatåsen
■ <i>Implementere et reversibelt felt</i>	mellom Tonstad- og Flatåsenkrysset

4.5.2 Implementere endringstiltak i Aimsun-modellen

Figur 4.37 og 4.38 viser hvordan rundkjøringer i Tonstadkrysset kan se ut. Begge rundkjøringene er gitt en ytre diameter lik 45 meter, samt et sirkulasjonsareal på $2 \cdot 5,5$ meter [11, s. 112-113]. Omrisset av det planlagte Tonstad omstigningspunkt for Metrobuss-trasé linje 1 og 2 er også lagt inn i modellen for å vise hvordan rundkjøringa i østre del av Tonstadkrysset forholder seg til dette [12].

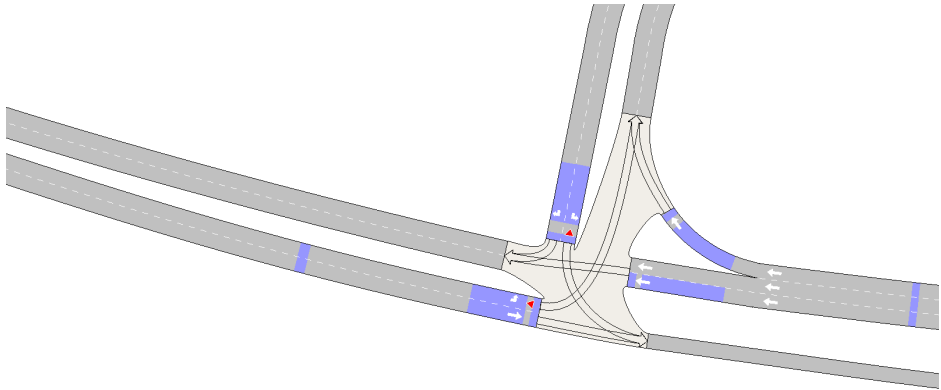


Figur 4.37: Rundkjøring i Tonstadkryssets østre del, samt deregulert østgående kollektivfelt.



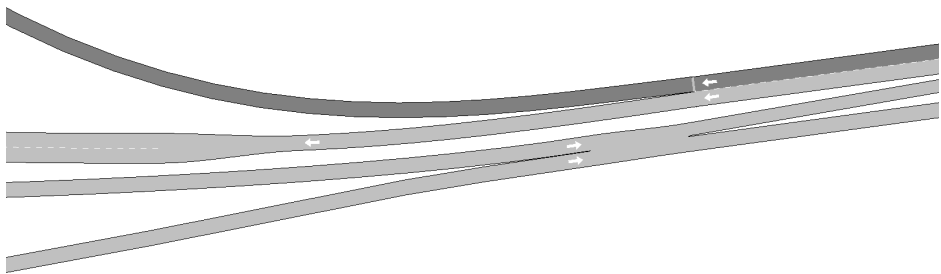
Figur 4.38: Rundkjøring i Tonstadkryssets vestre del, deregulert østgående kollektivgate fra Vestre Rosten, samt deregulert vestgående kollektivfelt fra Trondheim.

I Flatåsenkrysset tas et av de to feltene fra Bjørndalsbrua som per tid går til Flatåsen, og tildeles trafikk i retning Granåsen. Feltet videreføres i 200 meter langsmed eksisterende felt på vestsida av krysset, før disse flettes sammen til ett felt for videre reise i retning Granåsen.



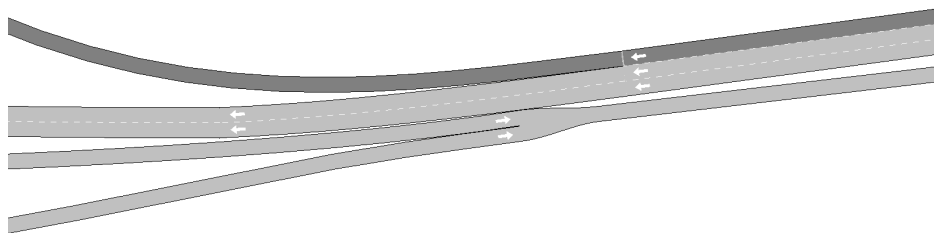
Figur 4.39: Endra feltkonfigurasjon for vestgående trafikk gjennom Flatåsenkrysset.

Morgenrushets flettekonflikt der rampa fra Husebytunet møter Kolstadvegen, elimineres ved å åpne østgående kollektivfelt for trafikk fra rampa.

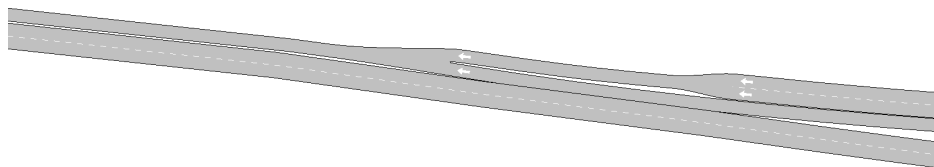


Figur 4.40: Rampa fra Husebytunet møter Kolstadvegen i morgenrushet.

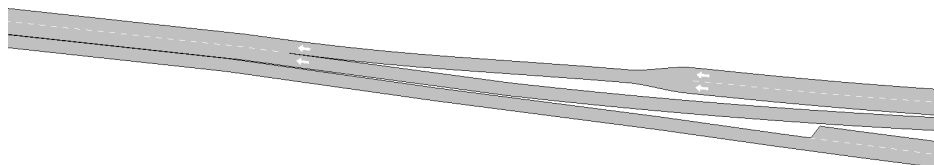
Om ettermiddagen er det kapasitetsproblemer vestover. Dette kan løses ved å reversere midtre felt fra Bjørndalsbrua til Flatåsenkrysset. Østgående trafikk flettes nå sammen inn på det deregulerte kollektivfeltet.



Figur 4.41: Rampa fra Husebytunet møter Kolstadvegen i ettermiddagsrushet.



Figur 4.42: Dagens feltkonfigurasjon over Bjørndalsbrua beholdes om morgenen.



Figur 4.43: Om ettermiddagen snus det midtre feltet over Bjørndalsbrua, helt opp til Flatåsenkrysset.

Kapittel 5

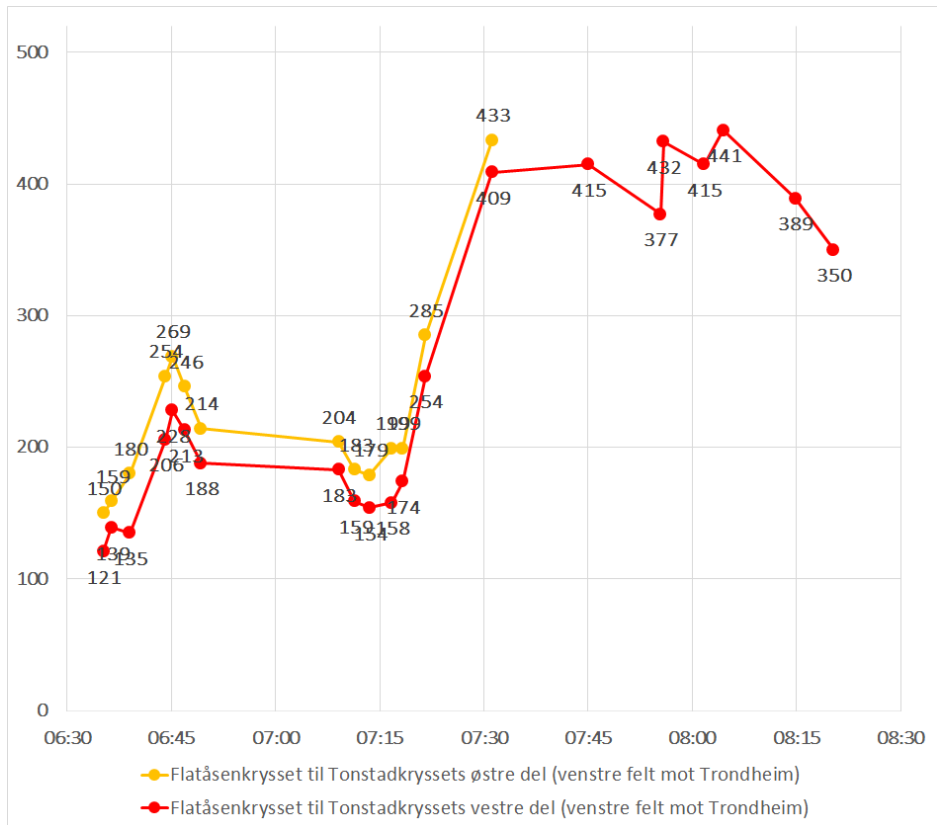
Resultat

I det følgende presenteres simulasjonsresultat gitt endringstiltakene, sammenstilt med grunnmodellen og de utførte feltregistreringene. Simulasjonsresultatene er alle gjennomsnittet av hver sine 20 simulasjonsreplikasjoner.

Som omtalt i diskusjonen lenger bak, er de simulerte resultatene aggregert over 15-minutts-intervaller. Dette betyr eksempelvis at datapunktene 06:45 i figur 5.2 er gjennomsnittet over tidsrommet 06:30 - 06:45. Konsekvenser av dette valget blir omtalt i diskusjonen.

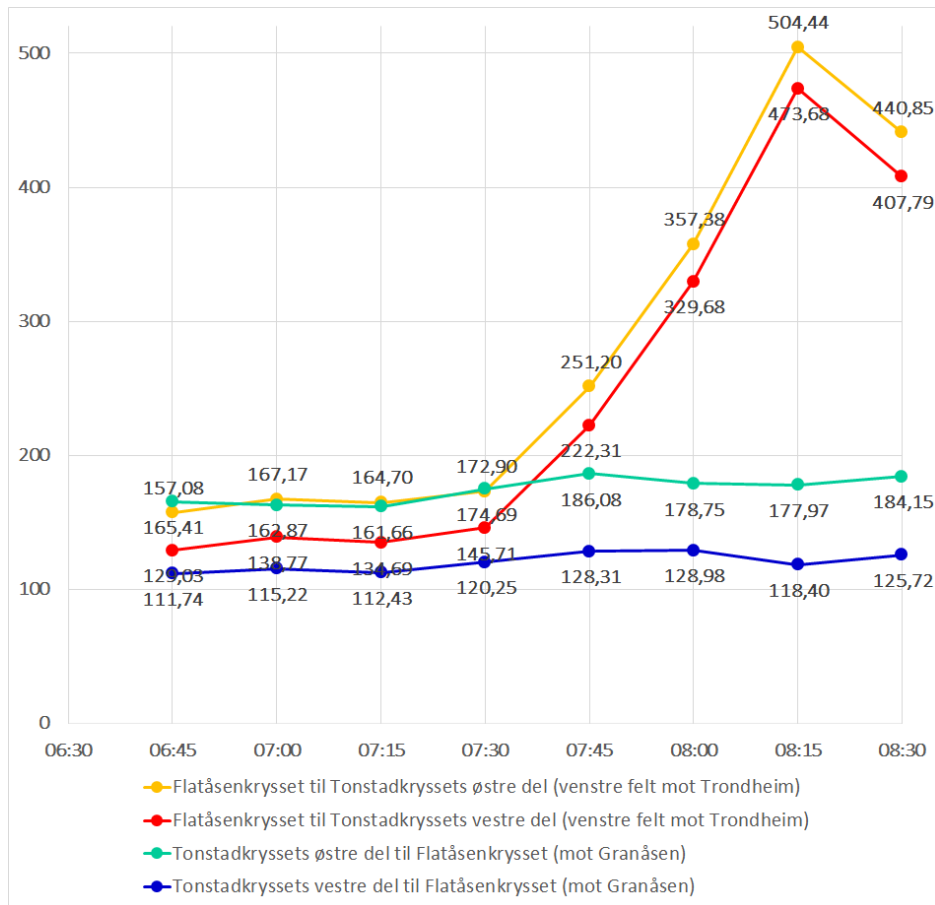
5.1 Morgenrushet

5.1.1 Registreringer



Figur 5.1: Registrerte reisetider (sekunder) onsdag 18. oktober 2017.

5.1.2 Grunnmodell

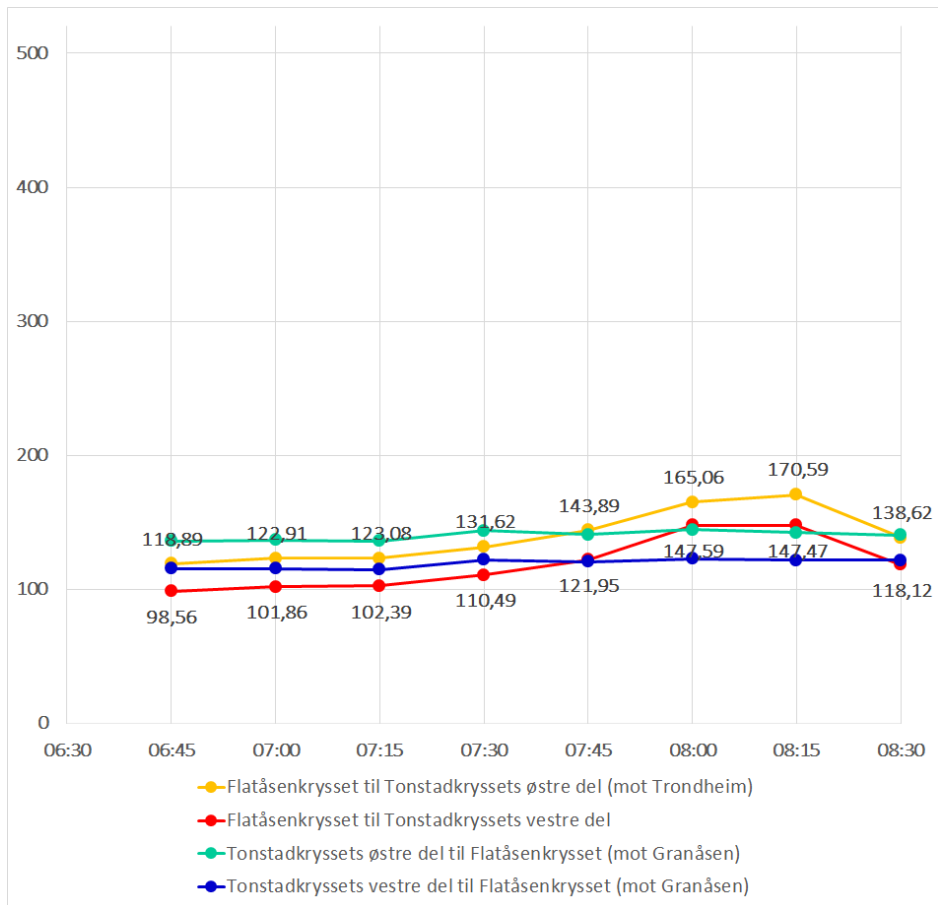


Figur 5.2: Simulerte reisetider (sekunder) i grunnmodellens morgenrush.

Tabell 5.1: Nøkkeltall for grunnmodellens morgenrush.

Hva	Verdi	σ
<i>Delay Time - All</i>	65,77 s	5,96 s
<i>Harmonic Speed - All</i>	29,45 km/t	0 km/t
<i>Missed Turns - All</i>	91,50	9,95
<i>Missed Turns - Taxi</i>	14,30	3,88
<i>Missed Turns - Electric Vehicle</i>	72,45	8,53

5.1.3 Gitt endringstiltak



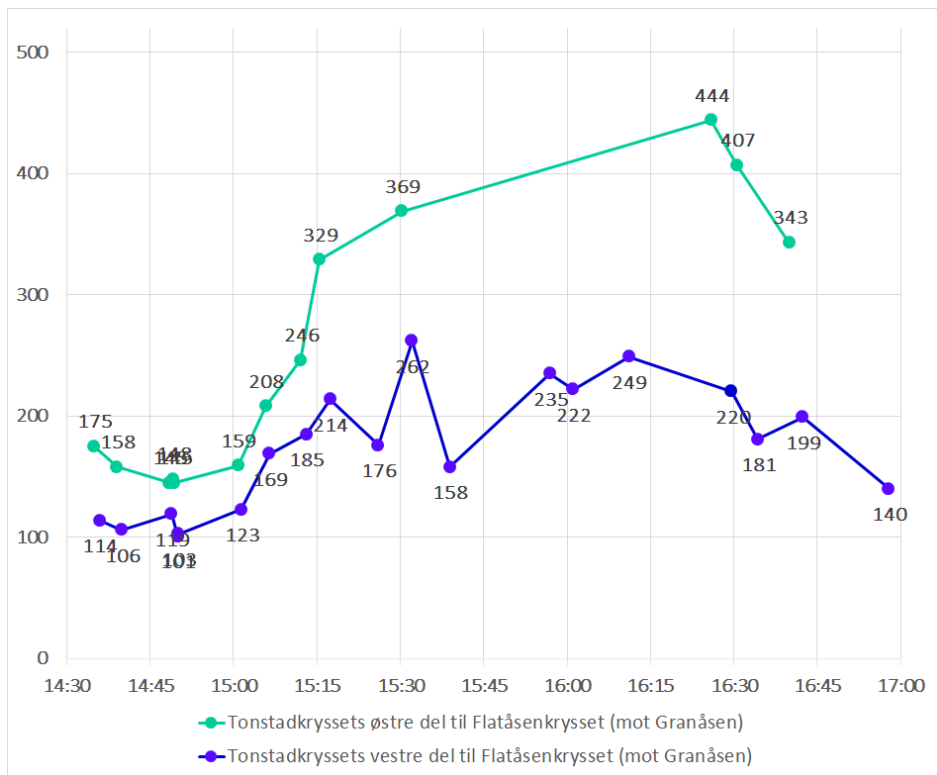
Figur 5.3: Reisetider (sekunder) i morgenrushet gitt endringstiltakene.

Tabell 5.2: Nøkkeltall for morgenrushet gitt endringstiltakene.

Hva	Verdi	σ
<i>Delay Time - All</i>	24,07 s	1,68 s
<i>Harmonic Speed - All</i>	44,27 km/t	0 km/t
<i>Missed Turns - All</i>	16,80	4,27
<i>Missed Turns - Taxi</i>	2,40	2,64
<i>Missed Turns - Electric Vehicle</i>	12,25	3,68

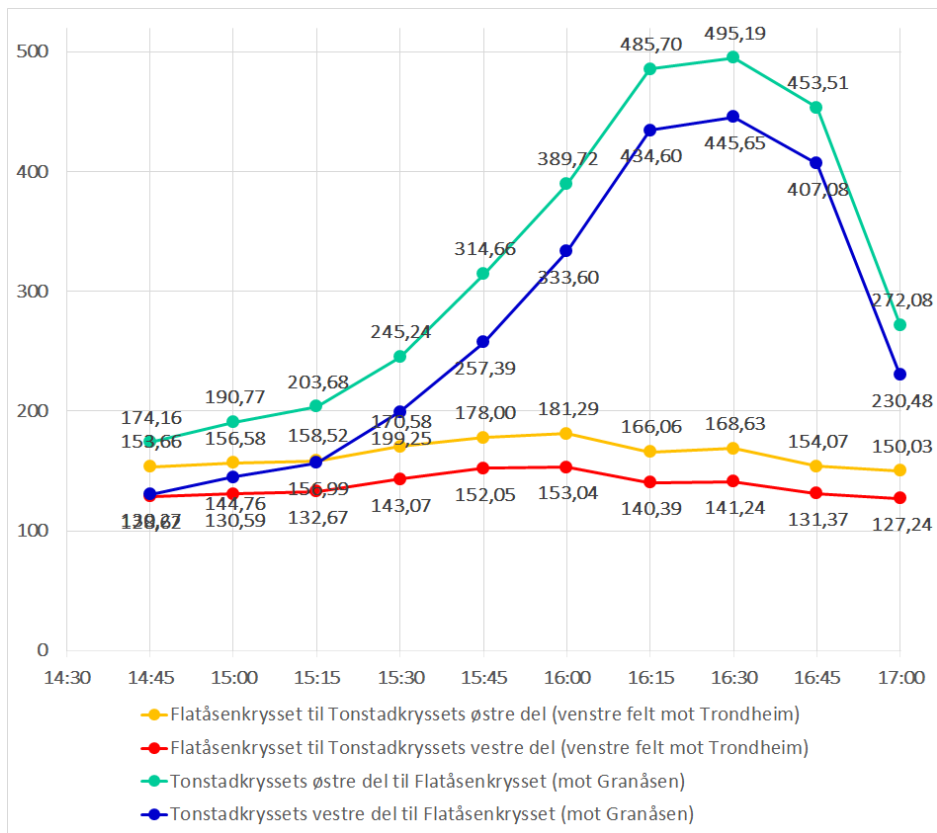
5.2 Ettermiddagsrushet

5.2.1 Registreringer



Figur 5.4: Registrerte reisetider (sekunder) torsdag 19. oktober 2017.

5.2.2 Grunnmodell

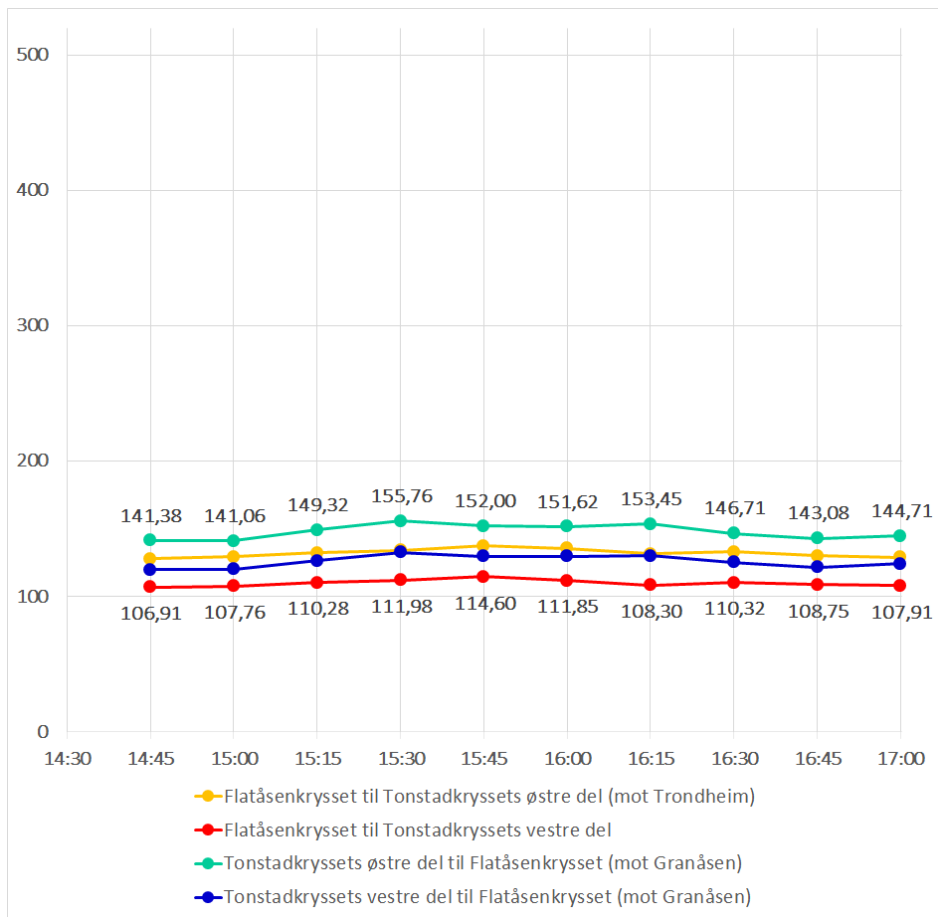


Figur 5.5: Simulerte reisetider (sekunder) i grunnmodellens ettermiddagsrush.

Tabell 5.3: Nøkkeltall for grunnmodellens ettermiddagsrush.

Hva	Verdi	σ
<i>Delay Time - All</i>	74,78 s	7,27 s
<i>Harmonic Speed - All</i>	27,43 km/t	0 km/t
<i>Missed Turns - All</i>	245	23,61
<i>Missed Turns - Taxi</i>	36,10	5,51
<i>Missed Turns - Electric Vehicle</i>	181,35	18,82

5.2.3 Gitt endringstiltak



Figur 5.6: Reisetider (sekunder) i ettermiddagsrushet gitt endringstiltakene.

Tabell 5.4: Nøkkeltall for ettermiddagsrushet gitt endringstiltakene.

	Hva	Verdi	σ
	<i>Delay Time - All</i>	30,34 s	2,38 s
	<i>Harmonic Speed - All</i>	41,28 km/t	0 km/t
	<i>Missed Turns - All</i>	44,10	9,70
	<i>Missed Turns - Taxi</i>	6,20	3,12
	<i>Missed Turns - Electric Vehicle</i>	32,50	7,03

Kapittel 6

Diskusjon

Denne diskusjonen kommer etter tur til å ta for seg hvert av de tre formulerte forskningsspørsmålene. Noen momenter er allerede nevnt i tidligere kapitler der det ble funnet hensiktsmessig. Det vil bli henvist dit der dette er relevant.

6.1 Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

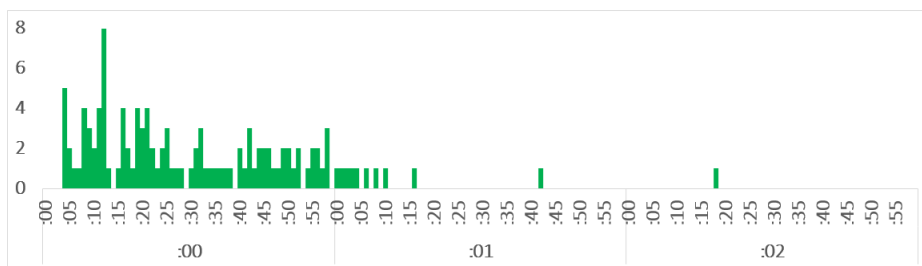
Som grunnlag for å utvikle endringsforslagene beskrevet i kapittelet *Metode og utførelse*, ble det der gitt en kort beskrivelse av det som synes å være hovedutfordringene for trafikkavviklinga i både morgen- og ettermiddagsrushet.

6.1.1 Morgenrushet

I morgenrushet ble det observert en tydelig retningsskjevhet i trafikken over Bjørndalsbrua. Mens det i tidsrommet 06:30 - 08:30 ble registrert 2691 østgående kjøretøy, var antallet vestover bare 1128 kjøretøy. Disse tallene består av avvikla trafikk gjennom Flatåsenkrysset, samt på rampa fra Husebytunet. Tellinger i Tonstadkryssets vestre del for samme tidsrom gav 2665 østgående kjøretøy. Østgående differanse på 26 kjøretøy kan, foruten tellefeil, skyldes at noen ble registrert gjennom Flatåsenkrysset eller på rampa fra Husebytunet like før, men uten å nå gjennom Tonstadkrysset innen 08:30. Dette kan ha blitt delvis utligna ved at noen ble registrert gjennom Tonstadkrysset som passerte tellepunktene i vest like før 06:30. Kø og forsinkelse mellom registreringspunktene internt i studieområdet kan også spille inn.

Angående forholdet mellom kapasitet og etterspørsel i østre del av Tonstadkrysset er trafikkstrømmen vestfra gjennom Tonstadkryssets østre del i retning Trond-

heim, signalgruppe G1, i signalplanene gitt en maksimal grønttid lik 75 sekunder av omløpstida. Registreringene i figur 6.1 viser imidlertid at det var sjelden grønttidene kom opp i dette på registreringsdagen. Tilstrekkelig kapasitet i østre del, eventuelt at førerene følger for dårlig på i østre kryss, gjør at grønttidene i all hovedsak holder seg under minuttet før de blir avløst av en konkurrerende fase. Registreringene i figur 5.1 viser da heller ingen økende reisetid mellom vestre og østre del, men en tilnærma konstant reisetid mellom disse på ca. 30 sekunder.



Figur 6.1: Antall registrerte grønttider av ulike lengder for signalgruppe G1 i figur 4.22 18. oktober 2017 06:04 - 07:53.

Under maks kryssbelastning tildeler signalreguleringa i Tonstadkryssets vestre del østgående strøm fra Bjørndalsbrua 45 sekunder av en omløpstid på 110 sekunder. Ved 2 sekunder gjennomsnittlig tidsluke medfører dette en kapasitet på 736 kjøretøy per time for hvert av de to feltene østover fra brua. De to utvides imidlertid til tre felt like før krysset, med en oppstillingskapasitet på ca. 9 kjøretøy i retning Oslo. I tillegg til å være inkludert i østgående signalfase (med vikeplikt for møtende vestgående trafikk), har denne trafikkstrømmen også en egen prioritert fase på 15 av de maksimalt 110 sekundene. Teoretisk øker dette østgående krysskapasitet med $15 / 110 \cdot 1800 = 245$ kjøretøy per time. Dersom alle omløp er på 110 sekunder, gir dette 32,7 omløp per time. Om oppstillingsfeltet fylles før 45-sekundersfasen, vil dette øke kapasiteten med $9 \cdot 32,7$ kjøretøy per time. Den prioriterte fasen for trafikk i retning Oslo kommer imidlertid rett før østgående 45-sekunders-fase. Med 9 plasser og 15 sekunder til å tømme de, vil det ved 2 sekunders gjennomsnittlig tidsluke maksimalt være 1,5 kjøretøy igjen i oppstillingsfeltet før 45-sekunders-fasen. Summert østgående krysskapasitet, når signalanlegget går på makstider for alle signalfaser, blir således $2 \cdot 736 + 245 + 1,5 \cdot 32,7 = 1766$ kjøretøy per time = 3532 kjøretøy per 120 min.

Grunna tidvis mindre etterspørsel på noen svingebevegelser i krysset, blir imidlertid ikke alle signalfasene alltid inkludert i hvert omløp. Dette øker østgående kapasitet ved at de 45 sekundene da blir en større andel av omløpstida. Betrakta over studietidsrommet på 2 timer er kapasiteten tilstrekkelig til å betjene de 2665 registrerte østgående kjøretøyene fra Bjørndalsbrua. De representerer jo da også observert avvikla trafikk. Avviklingsproblemer oppstår imidlertid ikke på grunn av gjennomsnittsverdier, men når etterspørselen i løpet av kortere tidsrom

6.1 Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

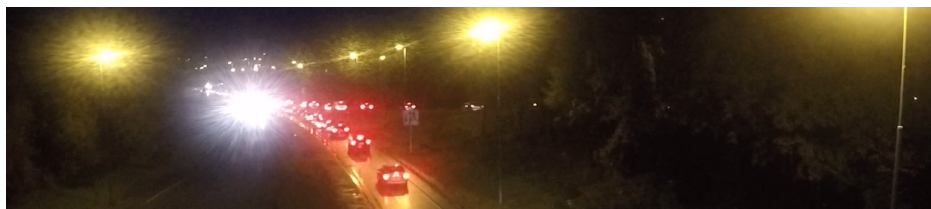
overstiger kapasiteten for det samme tidsrommet.

Tabell 6.1: Registrerte kølengder tilbake mot Bjørndalsbrua for venstre østgående felt inn mot Tonstadkrysset.

Tid	Kølengde [m]
06:56:27	0
07:14:08	200
07:25:41	500
07:57:14	80
08:17:47	170
08:31:13	90

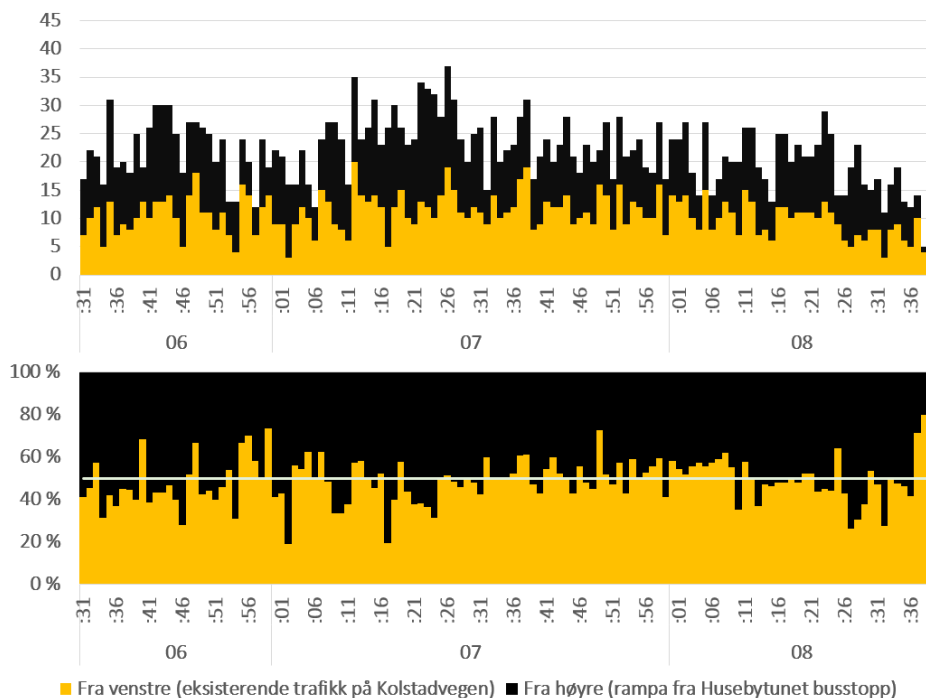
Kølengdene i tabell 6.1 er registrert på et dashbordkamera i flytende trafikk. Den varierende utstrekninga sier noe om graden av kapasitetsproblemer på registreringstidspunktet, men vil i tillegg være påvirkta av når i signalomløpet registreringa er gjort. Teoretisk vil kølengden ha henholdsvis maksimal og minimal utstrekning ved start og slutt for grønntida i et signalomløp, men ved lange køer vil de bakerste kjøretøyene fremdeles stå i ro, og køen fortsette å bygges selv en stund etter å ha fått grønt signal. Dette siden hele køen ikke akselererer simultant, men at akselerasjonen heller gradvis forplanter seg fra køfronten og bakover. Videoregistreringene viser at det er grønt for denne køen i de 45 sekundene mellom 07:13:38 og 07:14:23, hvilket betyr at kølengden registrert 07:14:08 er registrert 30 sekunder ut i grønntida. Dashbordkameraet, liggende i høyre felt med høyere hastighet enn køen i venstre felt, dokumenterer således bevegelsen i køen i venstre felt. Der øker akselerasjonen og avstandslukene mellom kjøretøyene jo lenger fram man kommer i køen. Gitt en gjennomsnittlig tidsluke på 2 sekunder vil en grønntid på 45 sekunder kunne betjene 22,5 kjøretøy av denne køen. Om man antar 8 meter okkupert feltlengde per kjøretøy, vil kølengdene registrert 07:14:08 og 07:25:41 utgjøre henholdsvis 25 og 63 kjøretøy. Alle disse vil ikke kunne betjenes i løpet av en grønntid, og for disse tidsrommene overstiger da etterspørselen krysskapasiteten.

Som tidligere nevnt var kollektivfeltet stengt forbi busstoppet ved Bjørndalstoppen på registreringsdagen, og all østgående trafikk på Kolstadvegen og på rampa fra Husebytnet ble derfor nødt til å flette sammen inn på ett felt forbi anleggsarbeidet.



Figur 6.2: Flettepunktet kl. 07:27.

Figur 6.3 viser registrerte feltopppløste flettevolum mellom 06:31 og 08:39. Maksimalt flettevolum på 37 kjøretøy opptrer i minutt 07:26. Kvartret før dette er det også fluktuerende høye flettevolum, men disse reduseres etter 07:26. Fra da av er flettinga noenlunde 1-1.



Figur 6.3: Minuttopppløste flettevolum inn på Kolstadvegen.

Figur 6.2 viser kødannelse inn mot flettepunktet kl. 07:27. Denne kødannelse vedvarer hele den neste timen. Etter hvert tilbakeblokkerer den Flatåsenkrysset og vokser seg tilbake mot Granåsen. Dashbordkameraet viser at det registreringsdagen 07:39 var kødannelse omtrent en 1 km tilbake mot Granåsen fra Flatåsenkrysset. I samme tidsrom ses det av tabell 6.1 at kølengdene inn mot Tonstadkrysset fra Bjørndalsbrua avtar. Gitt antagelsen om 8 meter okkupert feltlengde per kjøretøy, tilsvarer de registrerte kølengdene på 80, 170 og 90 meter henholdsvis 10, 21 og 11 kjøretøy. Disse lar seg alle avvikle i løpet av en grønttid. Nå er det mulig at kølengden på Bjørndalsbrua var av større utstrekning på tidspunkter mellom disse registreringene, men de tilgjengelige dataene synes å peke på flettepunktetskapasiteten på Kolstadvegen som hovedproblemet for trafikkavviklinga denne morgenen, ikke utilstrekkelig kapasitet gjennom Tonstadkrysset.

Stenginga av kollektivfeltet forbi Bjørndalstoppen førte til at trafikanter som ellers ville benytta dette (el-biler, taxier, motorsykler og busser) nå måtte flette

6.1 Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

sammen med vanlig trafikk på Kolstadvegen. Gitt den estimerte reisemiddelfordelinga i tabell 4.6, utgjør disse $(10 + 2 + 1 + 2) \% = 15 \%$ av total trafikk. Venstre felt måtte således betjene 100 % av østgående trafikk mot 85 % i normalsituasjonen. I tillegg til dette feltets økte etterspørsel, er det mulig at kapasitetsproblemene gjennom flettepunktet også hadde andre grunner. Figur 6.4 viser hvordan feltbredden forbi busstoppene ble noe innsnevra av sikkerhetsgjerdet satt opp i forbindelse med anleggsarbeidet. Det kan tenkes at dette var med på å gjøre førerne noe mer reserverte, og slik begrense gjennomstrømningskapasiteten her.



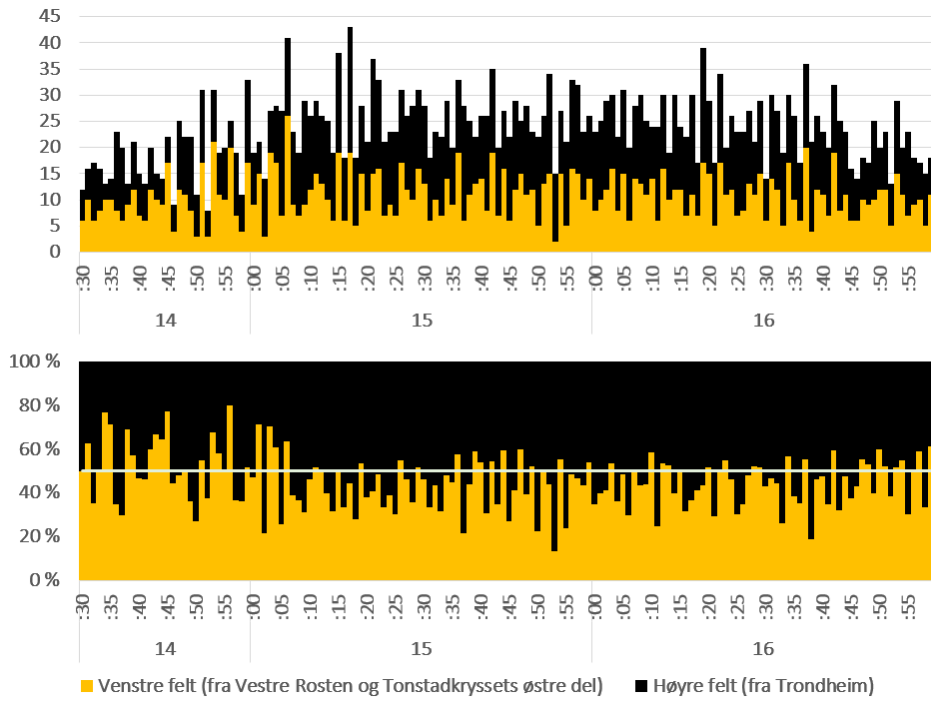
Figur 6.4: Svak innsnevring av kjørebanelen forbi busstoppene på Bjørndalstoppen grunna anleggsarbeid.

6.1.2 Ettermiddagsrushet

I ettermiddagsrushet observeres det også en tydelig retningsskjevhet. Denne gangen i motsatt retning. Vestover gjennom Flatåsenkrysset registreres det 3447, mens det østover telles 2196 kjøretøy. De samme trafikkstrømmene registrert i Tonstadkrysset summerer til 3536 vestover og 2183 østover. Differansen mellom tellepunktene for østgående trafikk er på 13 kjøretøy, mens den vestover utgjør 89 kjøretøy. Som for morgenrushet kan dette foruten registreringsfeil, skyldes relative trafikkvariasjoner mellom like før begynnelsen og slutten på det studerte tidsrommet, samt kø og forsinkelse mellom registreringspunktene.

Gitt rådende feltkonfigurasjon, kan vestgående trafikkstrøm bare benytte det ene av de tre feltene over Bjørndalsbrua, til tross for at vestgående volum er 1,6 ganger så stort som det østgående. Øst for brua må da kollektivfeltet fra E6 først flette sammen med nabofeltet sitt, før dette igjen fletter sammen med vestgående felt fra Tonstadkrysset. Dette feltet entrer deretter brua.

Etter hvert blir etterspørselen større enn kapasiteten til flettepunktet, og det oppstår kødannelse og tilbakeblokkering; først av Tonstadkryssets vestre del og etter hvert også av østre. På rampa med trafikk fra Trondheim i retning Bjørndalsbrua er det kø så langt kameraet ser, og vestgående trafikk i retning Bjørndalsbrua står i stampe tilbake langs både Vestre og Østre Rosten, se figur 6.6.



Figur 6.5: Minutttopløste flettevolum vestover inn mot Bjørndalsbrua.



Figur 6.6: Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre og østre del på grunn av kapasitetsproblemer i flettepunktet før Bjørndalsbrua.

6.1 Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

Tilbakeblokkeringa av Tonstadkryssets vestre del starter omtrent 15:25. Figur 6.7 viser en bil fra østre del av Tonstadkrysset som har kryssa stopplinja, men blir nødt til å stoppe uten å komme gjennom krysset på grunn av tilbakeblokkering fra flettepunktet før Bjørndalsbrua. Tilbakeblokkeringa av vestre del varer mer eller mindre sammenhengende fram til 16:45. Etter dette tar det enda litt tid før hastigheten gjennom flettepunktet inn mot Bjørndalsbrua tar seg opp igjen til nivået før sammenbruddet.



Figur 6.7: Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets vestre del 15:25.

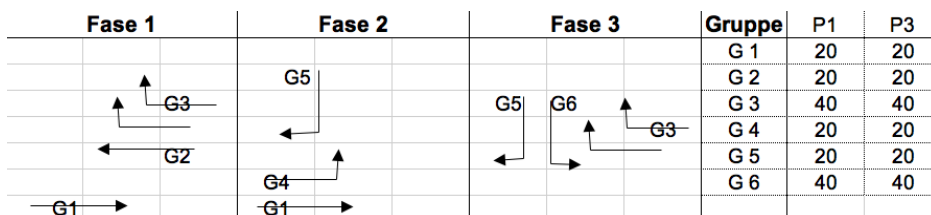
Tabell 6.2: Minutttoppløste svingeandeler fra Bjørndalsbrua gjennom Flatåsenkrysset.

	Til	Gjennomsnitt	Standardavvik
06:30 - 08:30	Granåsen	37,5 %	21,5 %
	Flatåsen	62,5 %	21,5 %
14:30 - 17:00	Granåsen	40,2 %	10,0 %
	Flatåsen	59,8 %	10,0 %

Tabell 6.2 viser hvordan trafikken, etter å ha forsert Bjørndalsbrua, fordeler seg mellom Granåsen og Flatåsen gjennom Flatåsenkrysset. Flatåsen mottar størst andel av trafikken i både morgen- og ettermiddagsrushet. At trafikk i retning Flatåsen er tildelt to felt, mens trafikk i retning Granåsen bare har ett, er imidlertid ikke nødvendigvis berettiga.

Signalplanen i figur 6.8 viser at ukeautomatikken er lik for både morgen- og ettermiddagsrushet (P1: ukedag 07:00 - 10:00. P3: ukedag 14:00 - 17:00). Signalgruppe G3 (Bjørndalsbrua → Flatåsen) er inkludert i to av tre faser og må bare vike i maksimalt 20 sekunder for signagruppe G4. Signalgruppe G2 (Bjørndalsbrua → Granåsen) må derimot vike for både G4 og G6 i potensielt 60 sekunder av omløpstida. Videoregistreringene om ettermiddagen viser tidvis

noe svak kødannelse i retning Granåsen. Om man eliminerer flaskehalsen over Bjørndalsbrua vil Flatåsenkryssets feltkonfigurasjon kunne vise seg å bli en ny flaskehals.



Figur 6.8: Faseplan for Flatåsenkrysset.

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

6.2.1 utfordringer ved å registrere trafikkdata

Trafikksimuleringsmodeller er bygd opp av en rekke delmodeller som beskriver føreradfærd og kjøretøyinteraksjon. Noen av disse som er sentrale for denne oppgava, er omtalt i teori-kapittelet tidligere i oppgava. Under antagelsen om at selve logikken i disse modellene i tilstrekkelig grad beskriver virkeligheten, gjenstår det fremdeles et betydelig arbeid med å samle inn de nødvendige inn-dataene modellene krever, både for koding av grunnmodell, samt kalibrering og validering av denne.

For å beskrive et trafikkforløp avgrensa i tid og rom så presist som mulig, skulle man ideelt sett hatt *floating car data*. Aller best hadde det vært om man hadde dette for hvert enkelt kjøretøy i studieområdet, men et representativt utvalg av kjøretøyene ville også kunne være tilstrekkelig. Da ville man med stor grad av nøyaktighet kunne beskrive mellom anna reisetider, punkthastigheter og traverserte ruter mellom OD-par. Det byr imidlertid på utfordringer å skulle samle inn slike data da en slik innsamling ville krevd å utstyre kjøretøyene som traverserer studieområdet i det aktuelle tidsrommet med det nødvendige tekniske utstyret for å samle inn, samt distribuere denne informasjonen til trafikk-ingeniøren.

Foruten den monetære kostnaden forbundet med dette, vil det være en krevende oppgave å oppsøke de aktuelle førerene, samt antageligvis vanskelig å få disse til å samtykke i at slike data blir samla inn. Et alternativ til dette vil være å utstyre buss- eller taxi-flåter med slik teknologi. Dette vil i større grad kunne være gjennomførbart, men disse dataene vil ikke nødvendigvis kunne brukes direkte, da busser og taxier gjerne oppfører seg noe annerledes enn andre kjøretøy langs vegen. For busser vil reisetider mellom to punkter eksempelvis måtte korrigeres for oppholdstid ved holdeplasser, samt retardasjon og akselerasjon i forbindelse

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

med slike stopp. I likhet med busser, benytter taxier også eventuelle kollektivfelt. Dette vil det også måtte korrigeres for dersom et studieområde inneholder slike, og det er hastigheter i den øvrige trafikken som er av interesse for analysen. Om man studerer kødannelse og dens virkning på rutevalg i et studieområde, vil *floating car data* fra busser egne seg særlig dårlig. Dette siden busser følger faste oppsatte ruter.

På grunn av begrensa tid og ressurser, er datamaterialet som ligger til grunn for grunnmodellen i denne oppgava, noe magert. Trafikkdata for morgenrushet baserer seg utelukkende på ett morgenrush, og ettermiddagrushet bygger også bare på registreringer fra en spesifikk dag. Dette er ikke noe problem så lenge målsettinga for oppgava er å forsøke å gjenskape de registrerte trafikkforløpene, men om resultatene skal være gyldige utover dette, burde det vært gjort vurderinger rundt hvorvidt datagrunnlaget er representativt for den normale trafikksituasjonen i studieområdet. I valget av registreringsdager ble representativitet forsøkt oppnådd ved å velge dager midt i uka (onsdag og torsdag), samt ved å unngå ferier og spesielle arrangementer som kunne tenkes å generere trafikkforløp avvikende fra normalsituasjonen. Anleggsarbeidet ved busstoppene på Bjørndalstoppen ble imidlertid ikke unngått. Som omtalt spilte nok dette en viktig rolle for det registrerte trafikkforløpet, og særlig i morgenrushet.

I datainnsamlinga i forbindelse med oppgava, ble det samla inn noe data i flytende trafikk, ved at veileders bil ble utstyrt med et dashbordkamera, samt satelittposisjoneringsteknologi, for deretter å kjøre noen runder gjennom studieområdet samtidig med at de resterende video- og kølengderegistreringene pågikk. Slik kunne køenden tilbake mot Granåsen observeres i det veileders bil passerte i motsatt retning. I tillegg ble tidspunktet registrert når bilen, etter å ha vært oppom Granåsen, på veg østover igjen, møtte på køenden vest for Flatåsenkrysset. Hastighetsprofiler med punkthastigheter der hvor bilen kjørte, ble også registrert. Disse ble imidlertid ikke direkte anvendbare da kjøretøyet benytta høyre felt over Bjørndalsbrua, for så å kjøre til Østre Rosten, mens feltet av interesse var venstre felt over Bjørndalsbrua for trafikk i retning Trondheim. Bedre koordinering og enighet om kjørerute i forkant av registreringene kunne vært med på å unngå dette.

For å finne etterspørselen som trafikkmodellens OD-matriser bygger på, skulle man helst hatt et registreringspunkt like bak køenden til en hver tid. Etter hvert som køenden bevega seg, skulle så dette registreringspunktet flytte etter. Et alternativ til dette, som var det som ble forsøkt gjort i denne oppgava, er å registrere avvikla trafikk på utvalgte punkter, for deretter å justere disse tallene for eventuell kødannelse oppstrøms registreringspunktet. Finner man gode tall for avvikla volum og kølengder, vil man da i teorien kunne korrigere avvikla volum med kølengdeendringa og finne den faktiske etterspørselen for de ulike intervallene. Ved lange køer og OD-matriser oppløst på korte tidsintervaller vil man i tillegg til dette måtte ta med i beregninga avstanden fra køenden og fram til registreringspunktet. Et kjøretøy som stiller seg i en svært lang kø vil ikke nødvendigvis tilhøre etterspørselen for det tidsintervallet det ankom køenden. I stedet vil man

måtte beregne antatt tidsbruk fra køenden fram til registreringspunktet under fri-flyt-hastighet, og så inkludere kjøretøyet i det tidsintervallet det ville nådd fram til registreringspunktet gitt at det ikke var kø.

Angående de utførte kølengderegistreringene, kunne disse med fordel vært bedre planlagt og instruert. De aggregerte trafikkvolumene forholder seg ikke til lyskryssenes signalfaser, men ble valgt rigid oppløst på 15-minutts-intervaller. Skal kølengdejusteringa bli riktig, er det da viktig at kølengderegistreringstidspunktene nøyaktig sammenfaller med intervallgrensene for OD-matrisene. Siden kølengden i Ytre Ringveg delvis også ble dekket av kameraet med oversikt over Tonstadkryssets østre del, har stikkprøver vist at de registrerte kølengdene ikke nødvendigvis ble registrert på tidspunkter helt sammenfallende med intervallgrensene for OD-matrisene, men kanskje et halvt minutt før eller etter. Dette medfører at den utførte kølengdejusteringa av avvikla volum, tidvis er noe uriktig her. En annen svakhet ved kølengderegistreringene er at det ikke er antallet kjøretøy i kø som er blitt registrert, men køutstrekninga i meter. For å finne etterspørselen, må de avvikla volumene korrigeres med differansen kjøretøy stående i kø mellom intervallstart og intervallslutt. Det ville da vært enklere om det var dette som ble registrert, og ikke kølengder i meter. Kølengder i meter kan i og for seg regnes om til antall kjøretøy, men denne omregninga er noe usikker da den inkluderer antagelser om kjøretøylengder og avstander mellom kjøretøyene i kø. Omregninga som ble utført i denne oppgava brukte 5,5 meter okkupert feltlengde per kjøretøy. Dette er trolig noe lavt.

6.2.2 Svakheter ved OD-matrise-estimeringa

Som tidligere beskrevet, ble OD-matrisene i denne oppgava estimert ved å først telle avviklinga over stopplinjene i de ulike kryssene i studieområdet. Deretter ble Excels problemløser brukt til å finne OD-matriser som minimerte avviket fra disse registreringene, og til slutt ble så OD-matrisene korrigert for kødannelse ved at de (antatt) relevante matriseelementene ble påført den registrerte kølengdeendringa mellom intervallstart og intervallslutt. Om man ser bort fra at lignings-systemet er underbestemt, grunna for få uavhengige ligninger sammenligna med ukjente, er det fremdeles problemer knytta til denne framgangsmåten. Framfor å minimere det kvadrerte avviket fra alle registreringspunktene, burde OD-matrise-estimeringsprosessen først sikre å bevare antallet registrerte kjøretøy inn i studieområdet. Videre må dette korrigeres for opptredende kølengdeendring over det aktuelle tidsintervallet. Kølengdeendringa burde slik brukes til å justere etterspørselen før man forsøker å finne en løsning på matrisa; ikke etterpå.

OD-matriser er etterspørselsmatriser. Disse beskriver et reise-ønske; ikke gjennomførte reiser [8, *kap. 3 s. 5*]. Ønsket knyttes således til tidspunktet kjøretøyene ønsker å entre, ikke forlate, studieområdet. Så i stedet for å lage matriser som minimerer avviket til registrert trafikk ut av studieområdet, kan disse dataene derimot brukes som et estimat på destinasjonssone-fordelinga for tidsintervallet.

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

Matrisene vil fremdeles være underbestemte, men total etterspørsel vil (teoretisk sett) bli riktig. Figur 6.10 viser hvordan dette kunne blitt gjort.

Tidsrommet 07:45 - 08:30 mangler som nevnt data for trafikk til Trondheim og Østre Rosten. Den prosentvise destinasjonssone-fordeling er derfor ukjent i dette tidsrommet. I mangel på bedre data kunne man ha antatt at fordelinga i dette tidsrommet er lik det aritmetiske gjennomsnittet for den kjente perioden forut. Figur 6.9 viser da også at den prosentvise destinasjonssone-fordeling er noenlunde konstant for hele det registrerte tidsrommet. Antagelsen om trafikktoppens ensarta destinasjonssone-fordeling synes å støttes av data fra ettermiddagsrushet. Der har gjennomsnittlig destinasjonssone-fordeling et enda mindre standardavvik enn det som ble registrert i morgenrushet, se vedlegg.

Registrert til	Oslo	Trondheim	Østre Rosten	Vestre Rosten	Flatåsen	Granåsen	Totalt
06:30-06:45	9,1 %	46,3 %	11,4 %	9,3 %	11,9 %	12,1 %	100 %
06:45-07:00	3,7 %	41,6 %	11,0 %	15,3 %	14,7 %	13,8 %	100 %
07:00-07:15	4,4 %	40,2 %	10,9 %	16,9 %	13,7 %	14,0 %	100 %
07:15-07:30	3,8 %	38,9 %	12,5 %	16,6 %	14,2 %	14,0 %	100 %
07:30-07:45	1,9 %	40,6 %	10,1 %	16,9 %	16,1 %	14,3 %	100 %
Aritmetisk gjennomsnitt	4,6 %	41,5 %	11,2 %	15,0 %	14,1 %	13,6 %	100 %
Standardavvik	2,4 %	2,6 %	0,8 %	2,9 %	1,4 %	0,8 %	4,9 %

Figur 6.9: Destinasjonssone-fordeling 18. oktober 2017 06:30 - 07:45.

Name	Oslo	Trondheim	Østre Rosten	Vestre Rosten	Flatåsen	Granåsen	Summert	Registrerte kjøretøy FRA	Kølgendjustert
Oslo	0	0	2	0,1	7,9	0,0	10,0	10	10
Trondheim	0	0	20	16	13,1	26,9	76,0	76	76
Østre Rosten	9	30	0	0,2	21,8	1,9	63,0	63	63
Vestre Rosten	1	54,2	0,0	0	9,8	9,0	74,0	74	74
Huseby-tunet	22,2	75,1	23,4	23,3	0	0	144,0	144	144
Flatåsen	3,6	57,6	3,4	0,4	0	37	102,0	102	102
Granåsen	20,6	70,4	21,6	17,4	21	0	151,0	151	151
Summert	56,4	287,2	70,5	57,4	73,7	74,8	620	620	620
Registrerte kjøretøy TIL:	52	265	65	53	68	69	572		
Prosentfordeling	9,1 %	46,3 %	11,4 %	9,3 %	11,9 %	12,1 %	100 %		
Estimerte kjøretøy TIL	56,4	287,2	70,5	57,4	73,7	74,8	620		

Figur 6.10: Matrise for 18. oktober 2017 06:30 - 0645 som bevarer etterspørselen.

Som man ser i figur 4.18, ble ikke registrert etterspørsel inn i modellen ivaretatt i estimeringsprosessen. I løpet av dette 15-minutts-intervallet ble 620 kjøretøy registrert inn i studieområdet, mens den estimert OD-matrisa bare inneholder 584,8 kjøretøy. Etterspørselen skulle ha vært 620 + kølgendendringa ved alle registreringspunktene inn i studieområdet fra 06:30 til 06:45. Siden estimert etterspørsel er uriktig lav, vil den etterfølgende utførte kølgendjusteringa heller ikke gjøre matrisa riktig; dette selv om kølgendendringene skulle være korrekt registrerte.

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

(NB: Da det ikke ble registrert noen kølengdeendring fra 06:30 til 06:45 inn i studieområdet, er denne korreksjonen lik 0 for denne matrisa).

Grunnen til differansen mellom registrerte kjøretøy inn (620) og ut (572) av studieområdet i løpet av tidsintervallet kan, som omtalt tidligere, skyldes en kombinasjon av tidsmessig trafikkvariasjon, samt kø og forsinkelse internt i studieområdet. De første kjøretøyene som registreres ut av studieområdet i løpet av dette 15-minutts-intervallet vil kunne ha kommet inn i studieområdet like før intervallet startet, og således ikke være registrert inn. Analogt vil de kjøretøyene som ble registrert inn i studieområdet like før intervallslutt, ikke bli registrert ut før i neste tidsintervall. Deler av differansen kan dermed skyldes at det kom relativt flere kjøretøy inn i studieområdet like før 06:45, enn det gjorde like før 06:30. Ser man tallene i sammenheng med de registrerte reisetidene i figur 5.1, ser man at det i tidsrommet 06:30 - 06:45 opptrer en markant økning, nesten en dobling i reisetida fra Flatåsenkrysset til Tonstadkrysset. I løpet av tidsintervallet oppstår det altså kødannelse og forsinkelse internt i studieområdet. Siden den estimerte OD-matrisa ikke bevarer etterspørselen inn i studieområdet, er det ventelig å anta at dette vil redusere muligheten for å gjenskape denne registrerte forsinkelsen, som når sitt toppunkt rundt 06:45. De simulerte reisetidene for grunnmodellen i morgenrushet klarer da heller ikke å gjenskape dette, men viser ingen særlig forsinkelse før senere i morgenrushet, se figur 5.2.

Betydninga av at ligningssystemet er underbestemt, vil for studieområdet i denne oppgava være av mindre betydning. Sonene i vestre del av modellen ligger omtrent på samme sted, og sonene i østre del av modellen ligger også relativt tett samla. Siden det bare finnes et rutevalg for hvert OD-par i studieområdet, og denne ruta i stor grad overlapper for de ulike OD-parene, er det viktigst for matrisene at total trafikk inn og ut av de ulike sonene stemmer. De 13 første ligningene i ligningssettet i tabell 4.4 sørger for dette. Tabell 4.7 og 4.8 viser da også godt samsvar mellom registrerte og simulerte volum for alle kryssene, både i morgen- og ettermiddagsrushet. Samsvaret ville antageligvis ha blitt enda bedre om matrise-estimeringsprosessen hadde blitt utført som diskutert i det foregående.

6.2.3 Modellering, kalibrering og validering

I kalibreringsprosessen har for det meste Aimsuns standardverdier blitt benytta da disse gav noenlunde tilfredstillende resultater. Reaksjonstider er beholdt lik 0,8 sekunder (kjøretøy i bevegelse), 1,2 sekunder (stillestående kjøretøy) og 1,6 sekunder (første stillestående kjøretøy ved rødt signal). Kjøretøylengder er beholdt lik standardoppsettet for de ulike kjøretøyklassene, med unntak av at kjøretøylengden for personbiler er økt fra 4,00 m til 4,40 m. Denne verdien baserer seg på funnene i en tidligere masteroppgave [13, s. 52].

Da personbiler i denne oppgava er gitt kjøretøylengde $N(4,4, 0,5^2)$ m og *clearance* $N(1,0, 0,3^2)$ m, kan dette medføre en urimelig tett oppstilling når kødannelsen etter hvert får stor utstrekning. Notasjonen $N(\mu, \sigma)$ betyr at disse karakteristika-

ene er trukket fra en normalfordeling med forventningsverdi μ og standardavvik σ . Normalfordelingene er i tillegg gitt øvre og nedre begrensninger for å unngå verdier som ikke gir mening, eksempelvis negative eller umulig små kjøretøylengder.

Observasjoner om morgenen 18. oktober, gjort med dashbordkamera i flytende trafikk, viser at når køen bygger seg tilbake gjennom Flatåsenkrysset og opp mot Granåsen, stiller ikke kjøretøyene seg opp så tett som *clearance*-verdien i Aimsun antar. De første kjøretøyene står gjerne relativt tett oppstilt, mens lengre bak i køen opptrer det etter hvert store lommer på mange meter mellom ulike grupper av saktegående/stillestående kjøretøy. Dette burde vært bedre modellert i Aimsun. Et alternativ kunne vært å øke *clearance*-verdien noe for å nærme seg den gjennomsnittlige avstanden mellom kjøretøy i køen. Dette vil imidlertid kunne skape problemer ved at de fremste kjøretøyene i køen da stiller seg opp med urealistisk stor avstand, som i sin tur kan minske krysskapasiteten uriktig.

Den lave *clearance*-verdien kan være med på å gi modellen en for høy *post breakdown*-kapasitet. Etter hvert som kødannelsen øker i utstrekning, blir førerne i registreringene noe mer passiviserte enn i modellen. I modellen blir avviklinga litt for god, ved at kjøretøyene følger bedre på i det køen oppløser seg enn det ser ut til at de gjør i virkeligheten. Lange saktegående køer burde bli modellert på en bedre måte i modellen ved at eksempelvis reaksjonstider og minste kjøretøyluker kunne vært en funksjon av mellom anna differansen mellom punkthastighet og fartsgrense, hvor lenge fartsdifferansen har vedvart, samt avstand fra kjøretøy til køfront. Aimsun implementerer noe logikk for å imøtekomme dette, ved at man på kjøretøynivå kan krysse av for valget *Favors Stop And Go* under valg for *car-following*-modellen. Dette medfører i så fall at det vil oppstå større luker mellom kjøretøy ved akselerasjon enn nedbremsing. Det er mulig at dette kunne ha gitt en noe bedre grunnmodell dersom dette hadde blitt benytta i simuleringene.

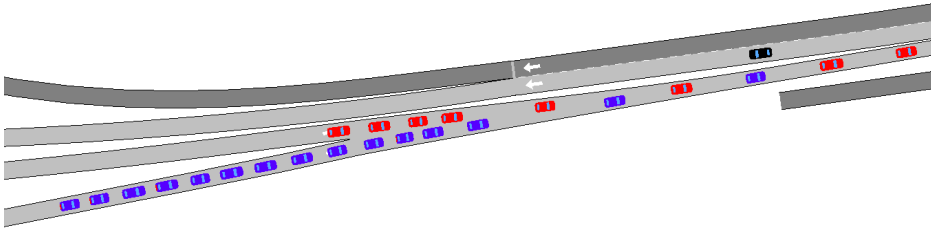
For å modellere fletting i modellen, har flere tilnærminger vært utprøvd. Østover fletter trafikk fra rampa fra Husebytunet sammen med trafikken på Kolstadvegen, og vestover inn mot Bjørndalsbrua fletter først kollektivfeltet sammen med det midtre feltet, før dette igjen fletter sammen med det venstre feltet ved inngangen til brua.

Et forsøk var å gi de to flettende trafikkstrømmene gjensidig vikeplikt, og så finjustere viketidene for de to feltene. Dette førte ikke fram, men resulterte i at kjøretøyene, selv ved små volum og høy hastighet stoppa helt opp i fletteprosessen, og slik skapte urealistisk forsinkelse gjennom flettepunktet. I et anna forsøk på å modellere 1-1-fletting ble Aimsuns *Turn Cooperation Model*, omtalt i [14], forsøkt benytta. Denne ansatsen fungerte heller ikke da kjøretøyene ikke lot til å ville veksle på å inneha prioritet. Grunnene til dette ble ikke forfulgt.

For å klare å få flettinga til å skje i fart, ble løsninga ikke å regulere flettepunktet, men la *car-following*-modellen bestemme forløpet. Figur 6.11 viser hvordan kjøretøyene fletter 1-1 under overbelastning av flettepunktet. Vegstumpen til høyre i figuren, uten tilknytning til vegnettet, representerer det stengte kollektivfeltet forbi Bjørndalstoppen på registreringsdagen.

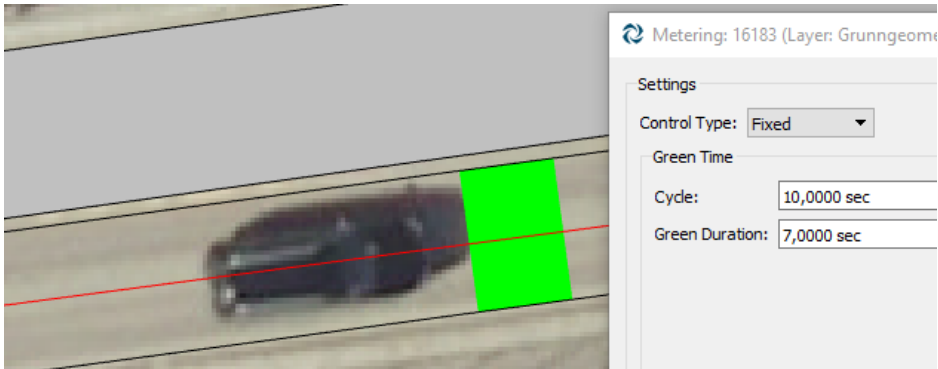
6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

Flettinga skjer nå ved at kjøretøyene i de to flettende feltene etter tur blir det foranliggende kjøretøyet for neste kjøretøy i det andre feltet. *Car-following*-modellen justerer så på vanlig måte det bakenforliggende kjøretøyet's fart begrensa av foranliggende kjøretøy. Da dette skjer noe plutselig inni noden, opptrer det til tider litt urealistiske rykk og napp, samt tidvis noe usannsynlig små marginer i fletting under høy fart. Flettinga kunne blitt enda bedre om de flettende kjøretøyene tidligere kunne ha oppdaga hverandre og gjensidig tilpassa hastighe-ten sin før de ankom flettepunktet.



Figur 6.11: 1-1-fletting mellom trafikk fra Husebtyunet og eksisterende trafikk på Kolstadvegen.

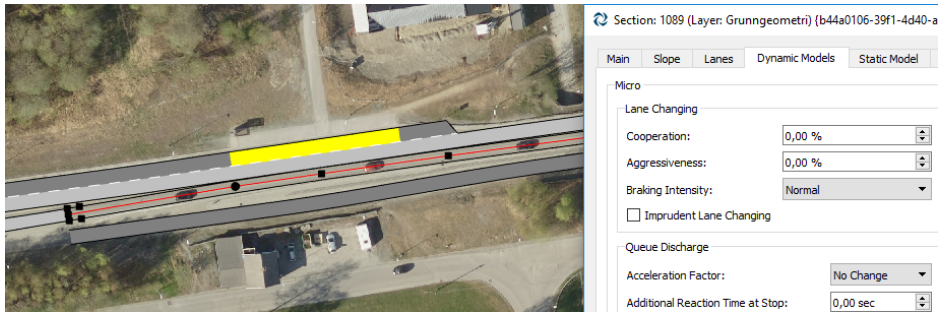
Feltbreddeinnsnevringa av østgående felt forbi busstoppene på Bjørndalstoppen synes som omtalt, å ha redusert østgående kapasitet der. For å modellere den nedsatte kapasiteten, ble det forsøkt å implementere en tilfartskontroll med faste tider, hvor eksempelvis 7 av 10 sekunder var grønne; se figur 6.12. Da dette ikke førte fram, ble denne tilnærmingen forkasta.



Figur 6.12: Forsøk på å modellere økt friksjon ved hjelp av tilfartskontroll.

Et alternativ som ikke ble utprøvd, men burde ha vært det, er å skru på parametre for *Queue Discharge* for selve vegstrekningen forbi busstoppene. Akselerasjonsfaktoren kunne eksempelvis blitt redusert til 0,5. Siden kjøretøyene fletter sammen like før feltinnsnevringa, har disse da redusert hastighet. Om akselera-

sjonsfaktoren for strekningen like etter flettepunktet blir redusert, vil kjøretøyene følgelig bruke lengre tid på å akselerere opp i hastighet igjen. Dette kunne vært med på å modellere friksjonen her bedre. Eventuelt kunne selve fartsgrensa forbi anleggsarbeidet ha blitt redusert i modellen.



Figur 6.13: Valgmuligheter for *Queue Discharge* på enkelt-strekningsnivå.

Grunna datamangel, har validering mot uavhengige data ikke kunnet bli utført utover det at kalibreringsprosessen har måttet optimalisere mot både trafikksituasjonen om morgenen og ettermiddagen samtidig. Ved å øke *clearance*-verdien for personbiler, stemte eksempelvis reisetida i ettermiddagsrushet bedre overens med registreringene. Da dette imidlertid medførte at reisetidene i morgenrushet avvek i enda større grad fra registreringene enn de opprinnelig gjorde, ble denne endringa forkasta. Det kan være at den endra *clearance*-verdien burde blitt beholdt, og ved å skru på en annen parameter kunne det simulerte morgenrushet igjen nærma seg registreringene. Gipps' artikkel [7] antar for øvrig at personbiler har en effektiv lengde, s_i ($= vehicle\ length + clearance$), trukket fra en normalfordeling med forventningsverdi lik 6,5 m og et standardavvik lik 0,3 m. Dette er en drøy meter mer enn det modellen i denne oppgava tok utgangspunkt i.

Hadde jeg hatt mer tid og erfaring, kunne nok kalibreringa av modellen ha blitt bedre enn den ble. En tydelig kalibreringsstrategi burde ha blitt utvikla og fulgt. Flettevolumene i figur 6.3 og 6.5 burde for eksempel ha blitt brukt i kalibreringsarbeidet, ved å sammenligne simuleringene med disse. Likeledes kunne registrerte kølengder blitt brukt. Kalibreringa tok imidlertid bare utgangspunkt i å forsøke å gjenskape reisetidene mellom Flatåsen- og Tonstadkrysset.

Det finnes potensielt sett flere kombinasjoner av parameterverdier og inn-data som til sammen resulterer i noenlunde samme simuleringresultater. Man bør imidlertid tilse at parametre ikke antar usannsynlige verdier for best å tilpasse en modell gitte registreringer. Bli det nødvendig å bruke opplagt uriktige verdier for noen parametre, kan dette indikere at det finnes feil av ulike typer andre steder i modellen [9, s. 45].

6.2.4 Reisetider grunnmodell morgenrushet

Mens tabell 4.7 viser at det er tilfredstillende samsvar mellom registrerte og simulerte trafikk tall over stopplinjene i modellen, er det derimot større utfordringer knyttet til å gjenskape de registrerte reisetidene mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkrysset. I morgenrushet registreres det innledningsvis en reisetid østover fra Flatåsenkrysset til Tonstadkryssets vestre del (venstre felt mot Trondheim) på 2-3 minutter; se figur 5.1. Reisetida østover er beregna til differansen mellom passeringstidspunktet over stopplinja i Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del. 2 minutter reisetid tilsvarer en strekningshastighet på 50 km/t, og ved 3 minutter er gjennomsnittlig hastighet lik 33 km/t. Da fartsgrensa i hele studieområdet er 60 km/t, og kjøretøyene gjerne må stoppe for rødt signal i Tonstadkrysset, er en reisetid på 2-3 minutter å forvente.

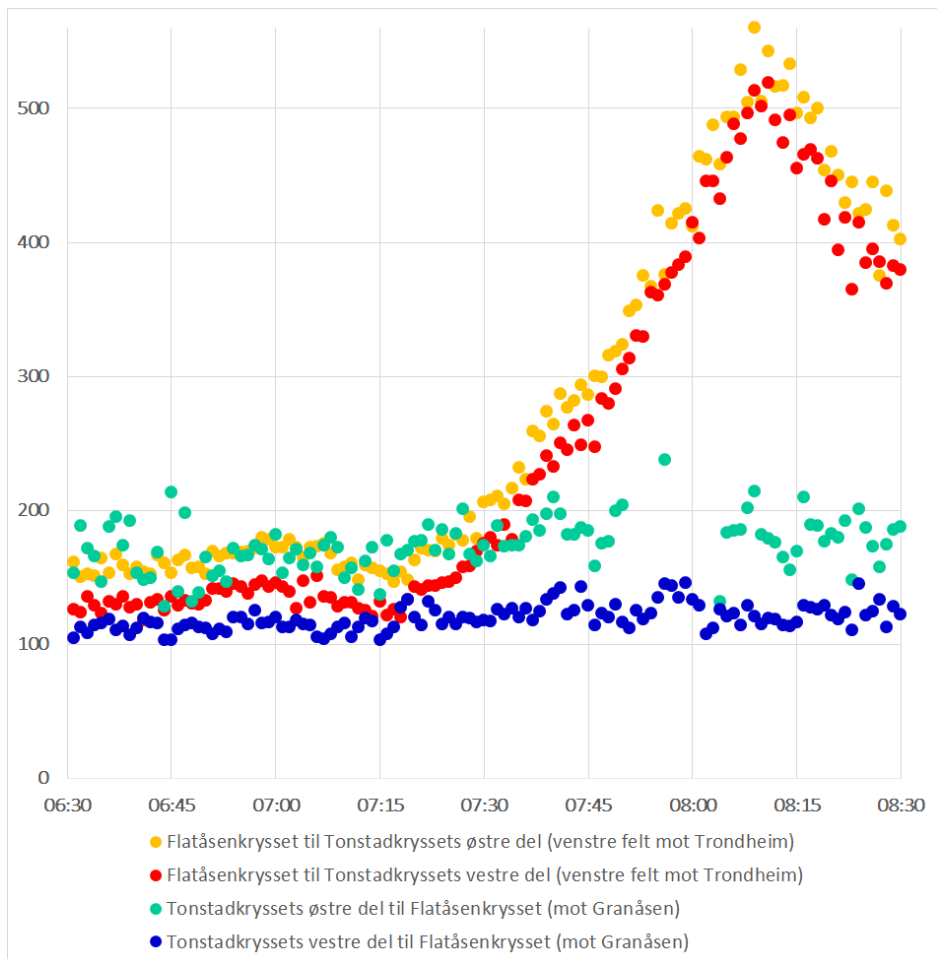
Etter den tidligere nevnte forhøya reisetida rundt 06:45 som modellen ikke klarer å gjenskape, synker reisetida igjen ned mot rundt 2,5 minutter fram mot 07:15. Etter dette øker den på ny fram til den rundt 07:30 kommer opp i nærmere 7 minutter. I de neste 45 minuttene holder reisetida mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkrysset seg slik, før den gradvis synker, og videoregistreringene viser at tilbakeblokkeringa av Flatåsenkrysset endelig opphører rundt 08:28:30. Registreringene kunne med fordel vært forlenga slik at all kø inni studieområdet også hadde fått bygd seg ned før registreringene ble avslutta. Grunna manglende karakteristiske kjøretøy rundt 08:30, er siste registrerte reisetid observert 08:20.

De simulerte reisetidene i figur 5.2 viser en maksimal reisetid på 474 sekunder (nesten 8 minutter), ca. 1 minutt høyere enn det registrerte maksimumet. Sammenligna med registreringene, opptrer dette toppunktet 45 min for seint (08:15), og det vedvarer heller ikke over lengre tid, slik forsinkelsen derimot gjorde på registreringsdagen. Dette kan mellom anna skyldes potensielt uriktige modell-parameter-verdier og mangler ved OD-matrisene. I tillegg til dette er studieområdet utstrekning av betydning. Siden det ikke oppnås tilstrekkelig kødannelse i flettepunktet mellom Kolstadvegen og rampa fra Huseby tunet, blir ikke dette flaskehalsen i simuleringsmodellen. I modellen er det derimot kapasiteten gjennom Tonstadkryssets vestre del som blir begrensende. Når simulert forsinkelse på strekningen mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkrysset således blir større i modellen enn i registreringene, kan dette henge sammen med at mer av kødannelsen og forsinkelsen nå skjer over Bjørndalsbrua og inni studieområdet. På registreringsdagen strakte køen seg imidlertid ut av studieområdet, og langt tilbake mot Granåsen.

Videre har aggregeringsnivået for simuleringsstatistikken noe å si. I resultatkapittelet viser grafene for de simulerte reisetidene gjennomsnittet av bolker à 15 minutter. Om man tar gjennomsnittet av reisetidene over perioder på 15 minutter, vil dette kunne redusere, samt tidsforskyve simuleringenes ekstremverdier. Figur 6.14 viser simulerte reisetider i morgenrushet per minutt. Maksimal reisetid mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del (venstre felt mot Trondheim) oppstår her rundt 08:10. I tillegg til å opptre 5 minutter tidligere

enn toppunktet i figur 5.2, er toppunktet nå noe høyere også. Nå blir maksimal reisetid over 500 sekunder, 30 sekunder mer enn da denne toppen ble skjult i et 15-minutts-gjennomsnitt. Med tanke på reisetid, gjenskerer altså grunnmodellen morgenrushet enda dårligere enn det først så ut til.

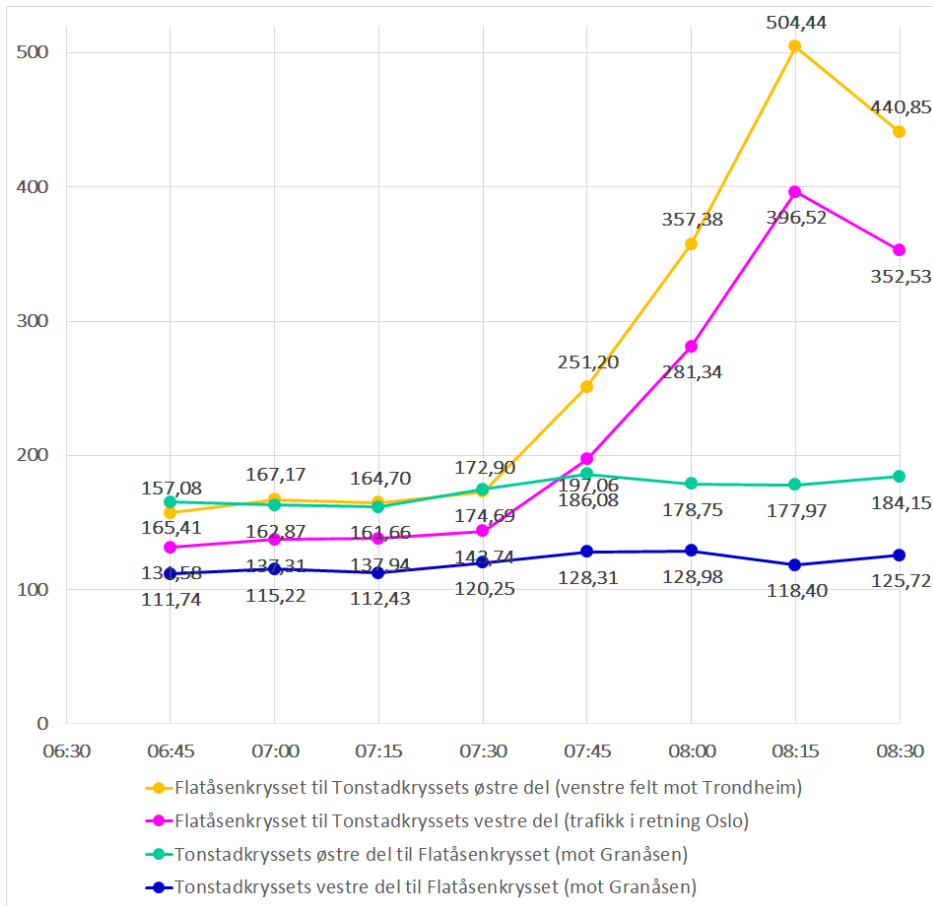
I arbeidet med å kalibrere modellen så det i starten imidlertid ut til å bli bedre samsvar mellom simuleringene og registreringene. Maksimal reisetid ble da i underkant av 400 sekunder, noe som stemte bra med registreringene. Etter hvert viste det seg imidlertid at dette skyldtes en feil i oppsettet av *subpathen* som ble brukt til å beregne reisetidene. I stedet for å se på kjøretøyene i retning Trondheim (midtre felt over stopplinja i Tonstadkryssets vestre del, for så å fortsette i venstre felt mot Tonstadkryssets østre del og videre mot Trondheim), ble reisetidsstatistikk samla for trafikk i retning Oslo.



Figur 6.14: Simulerte reisetider (sekunder) i morgenrushet per minutt.

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

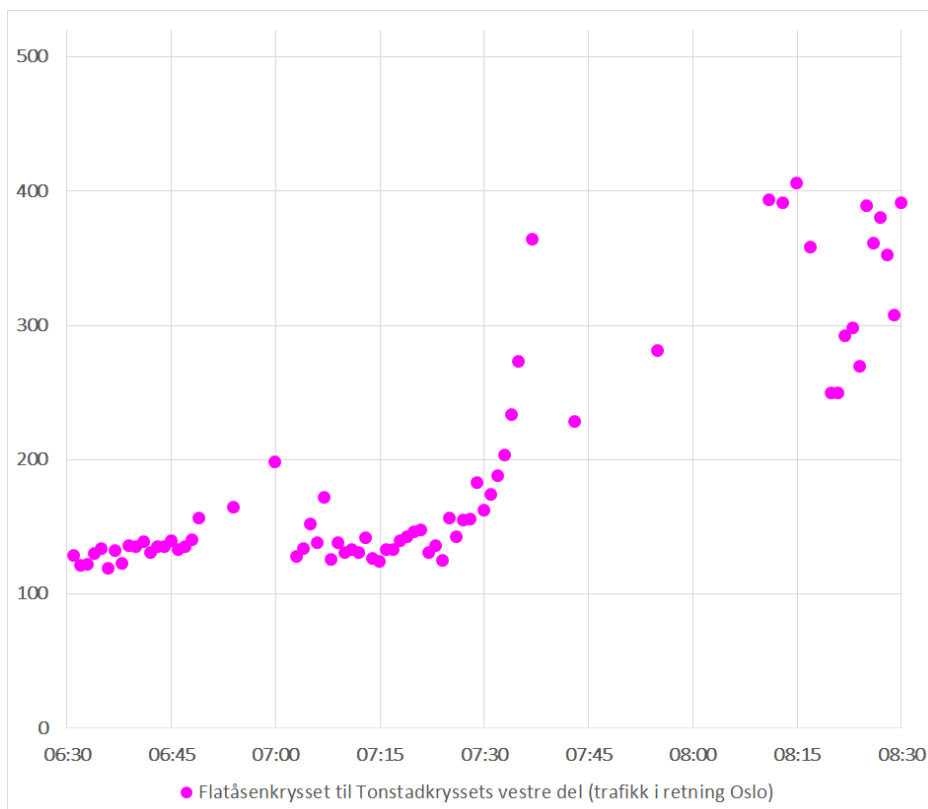
Grunnen til å ikke samle reisetid for de i retning Trondheim direkte var problemer med å isolere statistikken til disse kjøretøyene uten å samtidig inkludere de i retning Østre Rosten. Trafikk i retning Østre Rosten ligger i høyre felt over Bjørndalsbrua. Her er det mindre kø, og høyere hastigheter. Om de hadde blitt inkludert i reisetidsstatistikken mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del, ville gjennomsnittlige reisetider blitt uriktig lave. De registrerte reisetidene i figur 5.1 inkluderer bare kjøretøy i retning Trondheim som ligger i venstre felt over Bjørndalsbrua, og disse må følgelig finnes igjen i Aimsun-modellen for å kunne sammenlignes. Kjøretøy i retning Oslo ligger også i venstre felt over Bjørndalsbrua, og legger seg først ut i eget felt like før krysset. Det ble derfor tenkt at disse ville ha noenlunde samme reisetid som trafikk i retning Trondheim.



Figur 6.15: Simulerte reisetider (sekunder) i morgenrushet gitt uriktig *subpath*-definisjon av strekningen Flatåsenkrysset til Tonstadkryssets vestre del.

Da denne antagelsen medførte uriktig lave reisetider, kan dette mellom anna

henge sammen med det nevnte 15-minutts-aggregeringsnivået for reisetidsstatistikken. Som figur 6.16 viser, er det mange hull i grafen; minutter hvor det ikke finnes reisetider mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del for trafikk i retning Oslo. Gjennomsnittet over 15 minutter vil således kunne bli enda mer misvisende grunna datamangelen enn om det hadde funnes reisetider for hvert minutt.



Figur 6.16: Simulerte reisetider (sekunder) per minutt mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkryssets vestre del for trafikk i retning Oslo

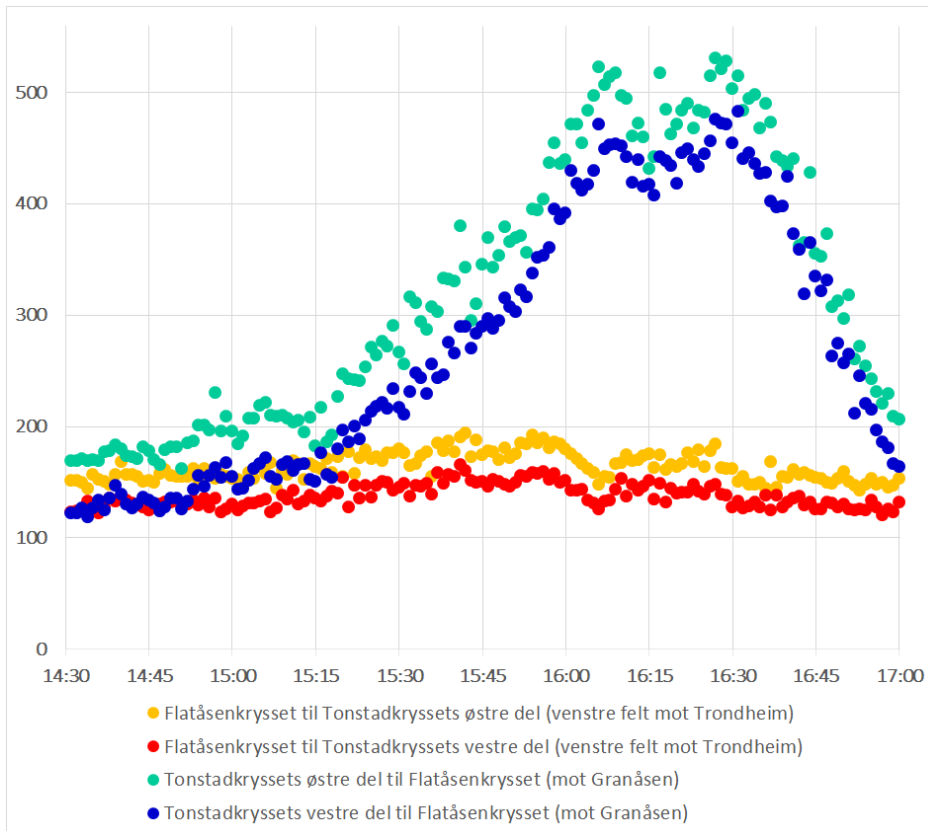
6.2.5 Reisetider grunnmodell ettermiddagsrushet

Også for ettermiddagsrushet produserer grunnmodellen akseptabelt samsvar mellom simulerte og registrerte trafikkvolum; se tabell 4.8. I likhet med morgenrushet er imidlertid reisetidene om ettermiddagen også noe i utakt med registreringene. Fram til 15:00 er det greit samsvar, og registreringene i figur 5.4 viser noenlunde stabile reisetider, mens de registrerte reisetidene deretter øker raskere på enn de gjør i simuleringene. Rundt 15:15 begynner spriket mellom reisetidene registrert mellom henholdsvis østre og vestre del av Tonstadkrysset til Flatåsenkrysset å

6.2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

vikse. Denne økende differansen indikerer tilbakeblokkering fra Bjørndalsbrua av Tonstadkryssets vestre del for vestgående trafikk, hvilket også ble observert på registreringsdagen. Trafikken fra østre del må nå vente flere grøntider før de endelig kommer gjennom vestre del og kan fortsette i retning Bjørndalsbrua. På det meste er denne forsinkelsen på 3-4 minutter.

De simulerte reisetidene klarer imidlertid ikke å gjenskape denne tilbakeblokkeringa, men lar all forsinkelse skje vest for Tonstadkrysset. Analogt med morgenerushet opptrer reisetidstoppen i det simulerte ettermiddagsrushet, i tillegg til å være for høy, også for sent. Utstrekninga i tid er derimot noe riktigere ved at denne høye reisetida vedvarer i nærmere 40 minutter; se figur 6.17. Sammenligna med registreringsdagen kommer dette likevel til kort, siden reisetidstoppen da varte i rundt 90 minutter.



Figur 6.17: Simulerte reisetider (sekunder) i ettermiddagsrushet per minutt.

Simuleringsmodellens høyere reisetid kan på samme måte som for morgenerushet delvis forklares ved at modellen ikke gjenskaper tilstrekkelig dårlig avvikling gjennom flettepunktet. Flettinga rett før Bjørndalsbrua blir bedre i modellen enn

i registreringene og bidrar til å flytte mer av køen og forsinkelsen inn i studieområdet.

6.3 Hvilke tiltak kan forbedre trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

6.3.1 Forventa og simulert effekt av endringstiltakene

Endringstiltakene forsøker å bedre trafikkavviklinga ved å omgjøre Tonstadkryssets vestre og østre del til rundkjøringer, fjerne konfliktpunkter der trafikkstrømmene per tid må flette, samt omprioritere feltbruk for å bedre imøtekomme ettersørselen.

Grunna begrensa tid og ressurser, inkluderer ikke denne oppgava et nullalternativ. Et slikt alternativ beholder dagens infrastruktur, men inkluderer prognoser for framtidig trafikketerspørsel basert på trendlinjer for trafikkvekst eller ved hjelp av en etterspørselsmodell. Skal man utrede framtidige prosjektalternativer, bør et slikt nullalternativ etableres [9, s. 73]. I mangel på dette ble det sett på hvordan dagens trafikk kunne blitt avvikla gitt endringstiltakene.

Morgenrushet

Ved å deregulere kollektivfeltet fra Bjørndalstoppen til Bjørndalsbrua, og kollektivfeltet nordøstover fra østre del av Tonstadkrysset, øker dette kapasiteten i retning Trondheim om morgenen. Trafikk fra Husebytunet i retning Trondheim unngår slik å måtte flette med trafikk fra Granåsen og Flatåsen, men kan i stedet bruke de tidligere kollektivfeltene, samt høyre felt over Bjørndalsbrua.

Rundkjøringene forventes å øke krysskapasitetene da de lar kjøretøyene unngå tapt tid assosiert med lysregulering. Grunna store volum østover fra Bjørndalsbrua i morgenrushet, kan det hende det tidvis vil bli vanskelig for trafikk fra Vestre Rosten å slippe til i rundkjøringa i vestre del av Tonstadkrysset. For å svare på dette, åpnes østgående kollektivgate fra Vestre Rosten for vanlig trafikk. Om det i østre rundkjøring skulle oppstå tilsvarende problematikk for trafikk fra Østre Rosten, kan det eventuelt vurderes å implementere tilfartskontroll for trafikk fra vestre del.

Med to kontinuerlige felt i retning Trondheim fra Bjørndalstoppen gjennom Tonstadkrysset er det ventelig at dette vil redusere forsinkelsen på denne strekningen. Kapasitetsøkninga oppnås uten særlig ulempe for andre trafikanter. Kollektivfeltene blir riktignok deregulerte, men når trafikken nå kan fordele seg 50-50 framfor 85-15 på de to feltene, vil dette kunne redusere behovet for kollektivfeltene i utgangspunktet. De simulerte endringstiltakene framstår da også optimistiske.

Foruten å redusere køfri reisetid med 30 sekunder, går simulert reisetidsmaksimum ned fra 474 til 148 sekunder, en reduksjon på 5,4 minutter. Gjennomsnittlig harmonisk hastighet i modellen øker fra 29 til 44 km/t, og total gjennomsnittlig forsinkelse i modellen reduseres.

Ettermiddagsrushet

Til tross for at østgående trafikk nå bare er tildelt et felt mellom Bjørndalstoppen og Bjørndalsbrua, reduseres gjennomsnittlig reisetid østover mellom Flatåsenkrysset og Tonstadkrysset med ca. 20 sekunder, sammenligna med den simulerte grunnmodellen. Ved å innføre rundkjøringer i Tonstadkrysset, avvikles trafikken mer effektivt, køene inn mot krysset minskes, og de simulerte reisetidene kommer ned i ca. 110 sekunder. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig strekningshastighet på 54 km/t.

Ved å gi vestgående trafikk over Bjørndalsbrua to felt helt opp til Flatåsenkrysset, fjernes flettepunktet øst for brua som var med på å strupe avviklinga på registreringsdagen. Simuleringsresultatene er da også svært optimistiske. Reisetida fra Tonstadkryssets vestre del til Flatåsenkrysset (i retning Granåsen) ligger gjennom hele simuleringstidsrommet rundt 130 sekunder. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig strekningshastighet på 46 km/t. I registreringene opptrer det køfrie reisetider helt ned i 101 sekunder. For å klare å holde en slik gjennomsnittlig hastighet på 59 km/t, må kjøretøyet enten ankomme Flatåsenkrysset på grønt signal og/eller tidvis ligge mer eller mindre over fartsgrensa. Siden simuleringresultatene er aggregert på 15-minuttsintervaller, vil disse i gjennomsnitt oppleve noe forsinkelse gjennom Flatåsenkrysset.

Hadde imidlertid ikke vestgående trafikk i retning Granåsen blitt prioritert med to felt i Flatåsenkrysset, kunne det ha vist seg å bli en ny flaskehals. Et alternativ kunne vært å tildele trafikken mer grøntid, men det ville ha gått på bekostning av konkurrerende faser. Ved å gi trafikk i retning Granåsen to felt, doubles krysskapasiteten for denne strømmen uten å gå noe særlig på bekostning av andre strømmer. Trafikk i retning Flatåsen får riktignok noe mindre kapasitet, men den hadde i utgangspunktet mer enn nødvendig.

Når kjøretøyene i retning Granåsen fletter sammen vest for Flatåsenkrysset, er dette mindre problematisk enn den opprinnelige flettinga ved inngangen til Bjørndalsbrua; dette siden trafikkvolumet i retning Granåsen bare utgjør i underkant av halvparten av volumet over Bjørndalsbrua; se tabell 6.2. Avgjørende blir det å legge flettepunktet langt nok vest til at flettinga ikke forårsaker tilbakeblokering av Flatåsenkrysset, men at eventuell fletteproblematikk fortløpende klarer å oppløses mellom hver gang det slippes kjøretøy gjennom krysset.

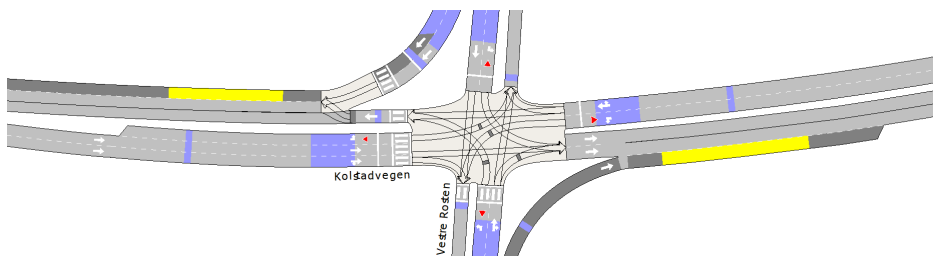
6.4 Andre forhold

6.4.1 Fotgjengere

Fotgjengerstrømmer i Tonstadkryssets vestre del er ikke inkludert i simuleringene. Busstoppet nord for Kolstadvegen er det eneste målpunktet for fotgjengere som krysser denne, og fotgjengerne her antas derfor utelukkende å være bussreisende som krysser vegen konsentrert rundt bussenes rutetider. Registreringene i ettermiddagsrushet, tabell 6.3, viser at det i gjennomsnitt går 3-4 minutter mellom hver gang fotgjengerfeltet blir benytta. Fotgjengerfeltet som krysser Vestre Rosten betjener i tillegg til bussreisende, brukere av østgående gang- og sykkelveg. Her er det 2-3 minutter mellom hver gang noen krysser vegen. Således inkluderes fotgjengerfeltene sjeldnere enn hvert omløp i signalreguleringa. Innvirkninga på den øvrige trafikken antas derfor å være av mindre betydning.

Tabell 6.3: Registrerte fotgjengerfeltvolum 19. oktober 2017 14:30 - 17:00.

Fotgjengerfelt	Totalt	Inneholdt i
Kolstadvegen	70	40 av 150 minutter
Vestre Rosten	122	62 av 150 minutter



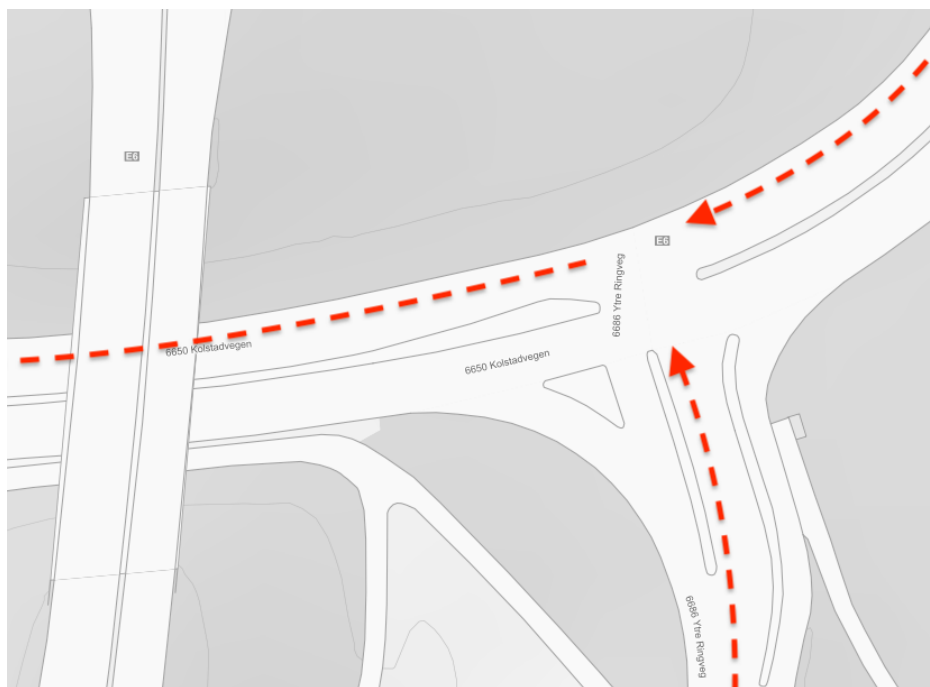
Figur 6.18: Fotgjengerfeltene i Tonstadkryssets vestre del.

Fotgjengerfeltvolum ble kun registrert i ettermiddagsrushet; ikke om morgenen. Basert på at hovedmålpunktene antas å være busstoppene, og at dette konsentrerer volumene rundt bussenes avgangstider, ble det antatt at fotgjengerfeltvolumene også om morgenen spiller en mindre rolle i forhold til trafikken ellers gjennom krysset.

Selv om denne oppgava valgte å neglisjere fotgjengernes betydning for trafikkavviklinga, burde dette egentlig blitt nøyere vurdert. Behovet for å bygge fotgjengerunderganger, for slik å eliminere konfliktpunktene mellom kjørende og gående helt, kunne med fordel vært analysert.

6.4.2 Modellering av signalregulerte kryss

Som omtalt i kapittelet *Metode og utførelse* var det et alternativ å modellere lyskryssene med faste tider, framfor faktisk trafikkstyring. Det ble argumentert med at et kryss under overbelastning likevel stor sett går på makstider, men dette stemmer bare så lenge det ikke er kapasitetsbegrensning ut av krysset. Om et kryss blir tilbakeblokkert, vil kjøretøy som står i kø tidvis ikke kunne kjøre ut i krysset selv om de har grønt signal. Dette siden køen på den andre sida gjør at det ikke er noe sted å gjøre av seg, og de da risikerer å bli stående fast midt uti krysset etter at grøntida er over. Når kjøretøy må vente på at det skal bli ledig rom på andre sida av krysset før de selv får kjøre, vil detektor- og signallogikken tolke de resulterende høye tidslukene mellom kjøretøyene som at etterspørselen er lav. Grøntida vil følgelig ikke forlenges til maks, men avsluttes tidligere. Av denne grunn bør trafikkstyrte kryss ikke modelleres med faste tider, men heller nettopp som trafikkstyrte.



Figur 6.19: Tilbakeblokkering av Tonstadkryssets østre del for vestgående trafikk.

Figur 6.19 viser tilbakeblokkering av Tonstadkryssets østre del. På grunn av tilbakeblokkering fra Tonstadkryssets vestre del får både trafikk sørfra og østfra problemer med å komme gjennom krysset. I denne situasjonen bryter signalreguleringa sitt prioriteringsregime sammen. Hvor mange som får komme gjennom

krysset på en grøntid bestemmes nå ikke av etterspørsel og makstider, men av hvem som får grønt i det det åpner seg opp nok rom på motsatt side til at det er mulig å kjøre. Fra videoopptakene synes dette å favorisere trafikken fra rampa fra E6; til ulempe for køen i Ytre Ringveg.

6.4.3 Kodefeil

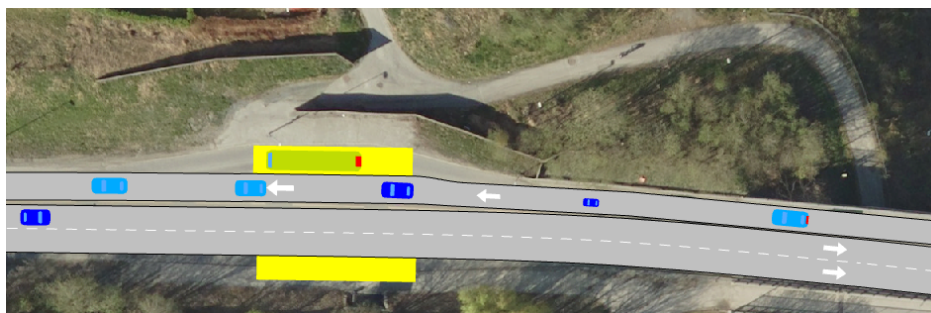
Busslommer

I arbeidet med å kode en trafikksimuleringsmodell kan mange feil oppstå. Mens noen kan være vanskeligere å finne, vil andre feil kunne avdekkes ved å studere animasjoner av simuleringene. Figur 6.20 viser konsekvensene av en ugjennomtenkt busslomme-modellering. I forsøket på å lage en geometritro modell, ble asfaltkanten på ortofotoet forsøkt fulgt. Busslomma ble således koda ved å utvide vegstrekningen med et ekstra kjørefelt, reservere dette for kollektivtransport og så plassere et busstopp oppå dette. Til å begynne med så dette ut til å fungere fint, men når el-bil, taxi, og mc også ble tillatt i kollektivfeltet førte dette til uforutsette problemer.



Figur 6.20: Urealistisk el-bil-oppførsel (mørkeblå kjøretøy) som resulterer i unødvendig og urealistisk kødannelse.

De mørkeblå kjøretøyene, el-biler, ser at det kommer et kollektivfelt og legger seg således ut i retning dette. Om det står en buss på holdeplassen blokkerer denne imidlertid for el-bilene, som i sin tur da blokkerer for kjøretøy som kommer bakfra. Denne urealistiske oppførselen kunne vært unngått ved å kode busslomma annerledes. I stedet for å følge framgangsmåten beskrevet ovenfor, kunne man helt enkelt brukt Aimsuns holdeplassestype *Bus Bay*; se figur 6.21. Denne unngår problemet i figur 6.20 i bytte mot at geometrien avviker noe fra ortofotoet. Et geometriavvik utgjør imidlertid ikke noe problem så lenge modelloppførselen blir riktig.



Figur 6.21: Busslommer rett vest for Bjørndalsbrua, koda ved hjelp av Aimsuns holdeplassestype *Bus Bay*.

Siden denne kodefeilen først ble oppdaga helt mot slutten av arbeidet med denne oppgava, er den dessverre inkludert i grunnmodellen. Den kan dermed være ansvarlig for deler av forsinkelsen vestover i simuleringene i figur 5.5. Det er imidlertid relativt langt mellom bussene, så betydninga antas å være av mindre grad. I endringstiltakene ble holdeplassestypen endra i forbindelse med det reversible feltet, så denne feilkilden er ikke inkludert der. Endringa var imidlertid ikke motivert av feilen siden den på det tidspunktet ikke var oppdaga.

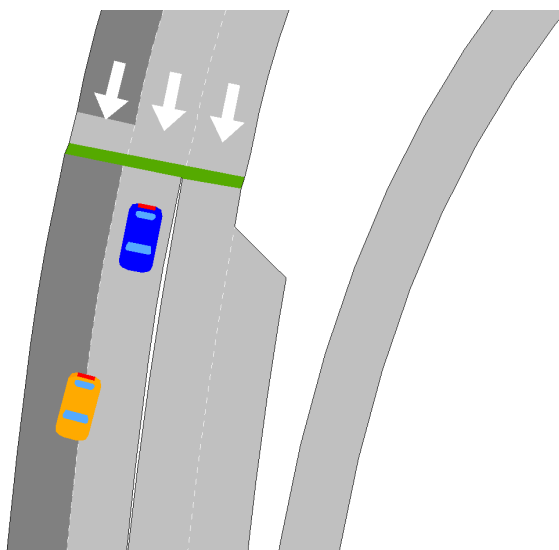
I de simulerte endringstiltakene er for øvrig østgående busstopp ved Bjørndalsbrua utilsikta også gjort om til en busslomme. Dette kan ha medvirka til de lave reisetidene østover om ettermiddagen. Hadde eksisterende kantstopp blitt beholdt om ettermiddagen mens det midtre feltet er reversert, vil dette kunne skape noe forsinkelse østover siden buss på holdeplass da blokkerer for øvrig trafikk. En eventuell implementering av et reversibelt felt må forholde seg til denne problemstillinga, og vurdere hvorvidt det er ønskelig med kantstopp eller busslommer.

Missed turns

I resultatkapittelets nøkkeltall-tabeller gis det en oversikt over antallet *missed turns*: antallet kjøretøy som ikke klarer å utføre en ønska svingebevegelse. Tallene viser at dette i all hovedsak angår el-biler og taxier. Etter å ha studert en simuleringssimulering synes dette å skyldes en konflikt mellom feltskiftemodellen og kollektivfeltet som gjør at kjøretøy der går rett fra sone 1 til sone 3, uten å komme innom sone 2. Liggende i kollektivfeltet, krever svingebevegelsen i figur 6.22 at man utfører to feltskifter. Om det da ligger et kjøretøy og sperrer i nabo-feltet, blir kjøretøyet som ønsker å utføre disse feltskiftene, nødt til å fortsette rett fram i kollektivfeltet mens det bremses ned i forsøket på å finne en ledig luke. Når sone 3 for denne svingebevegelsen er definert til å være mellom 32 og 48 meter lang, blir det da en del kjøretøy som ikke klarer å redusere hastigheten raskt nok til å klare å utføre feltskiftene.

Antallet *missed turns* kan være med på å forklare noe av de høye kollektivfeltvolumene i figur 4.33; utover den nevnte sannsynligheten for at reisemiddelfordelinga er delvis feil. Manuell inspeksjon av simuleringene har vist at mange av kjøretøyene som ikke klarer sin planlagte svingebevegelse kommer fra Trondheim med destinasjon Vestre Rosten eller Østre Rosten. Kommende fra Trondheim blir de liggende for lenge i kollektivfeltet, forsøker så å nå svingen like før siste mulighet, og når de ikke når det, blir de i stedet kjørende vestover over Bjørndalsbrua,

De simulerte endringstiltakene, hvor kollektivfeltene er fjerna, viser betydelig færre *missed turns*, med en reduksjon på over 80 %. For å få feltskiftene til å fungere med kollektivfeltet til stede, kunne man forsøkt å øke distansen for sone 3 for svingebevegelsen.



Figur 6.22: Oransje markert el-bil på veg tilbake til kollektivfeltet etter ikke å ha klart å utføre de nødvendige feltskiftene for å nå feltet som leder i retning Vestre og Østre Rosten.

Signalreguleringa

Signallogikken, slik den er blitt implementert i Aimsun-modellen, kunne med fordel ha blitt verifisert riktigheten av. Siden modellen oppviser tilfredstillende samsvar mellom simulerte og registrerte volum i de ulike kryssene, kan ikke implementeringa være helt feil, men stikkprøver fra animasjonene synes å vise tidvis urealistisk regulering; se vedlagte animasjoner og kommentarer til disse.

6.4.4 Valget om å gi OD-matrisene 15-minutts-oppløsning

Som tidligere nevnt vil aggregerte data kunne skjule trafikkvariasjoner som ellers ville forårsaka avviklingsproblemer. For best mulig å kunne gjenskape et registrert trafikkforløp, burde man tilstrebe et så lavt aggregeringsnivå som mulig. Siden videoanalysen sekundfesta de ulike kjøretøypasseringene forbi registreringspunktene, kunne man i teorien produsert svært finopløste OD-matriser, hadde man visst hvor de ulike kjøretøyene var på veg i det de ble registrert. Dette var imidlertid ikke kjent. Ved å se på litt større intervaller kan man derimot som omtalt tidligere i diskusjonen, gjøre noen gode antagelser om den prosentvise destinasjonsone-fordelinga, og bruke dette i estimeringsprosessen.

Dette lå imidlertid ikke til grunn for valget om 15-minutts-oppløste matriser. Det tok heller utgangspunkt i at et 15-minutts-intervall er mindre følsomt for om det inkluderer pluss/minus en grønttid enn det et 5-minutts-intervall er. Tanken var således at ved å aggregere dataene på 15-minutts-nivå, ville innvirkninga av antallet inkluderte grønttider i intervallet bli mindre enn ved 5-minutts-intervaller. Som omtalt tidligere ville imidlertid dette ikke vært et problem om den registrerte avvikla trafikken hadde kunnet bli korrekt justert for kølengdeendringa over intervallet.

6.4.5 Antallet nødvendige simuleringsreplikasjoner

Hver simuleringsreplikasjon vil produsere litt ulike simuleringsresultater avhengig av hvilke pseudo-tilfeldige tall, *Random Seed*, som ligger til grunn for de stokastiske elementene i simuleringen (kjøretøy-karakteristiska, føreratferds-parametre, med mer). For å redusere noe av denne usikkerheten, bør flere simuleringsreplikasjoner kjøres og gjennomsnitt og standardverdier beregnes. Det finnes formler for antallet nødvendige replikasjoner som kreves for å oppnå et gitt presisjonsnivå. Disse har imidlertid ikke blitt brukt i denne oppgava. For å fjerne noe usikkerhet knytta til tilfeldig variasjon, har det blitt valgt å kjøre 20 replikasjoner av hvert scenario. Hvert simuleringsresultat i resultatkapittelet er da gjennomsnittet av 20 slike replikasjoner.

Når man øker antallet replikasjoner reduserer dette usikkerheten knytta til stokastiske variasjoner i simuleringene, men det er viktig ikke å forveksle reduserte standardavvik med modellens evne til å gjenskape realistiske trafikkforløp. Til tross for mange replikasjoner og små standardavvik, kan modellen likevel inneholde feil som gjør at simuleringene produserer urealistiske resultater.

6.4.6 Konsekvenser nedstrøms

Om trafikkavviklinga gjennom studieområdet bedres, kan dette medføre at passive flaskehalser nedstrøms studieområdet blir aktivert. God planlegging vil forsøke å se slike sammenhenger, og finne total-løsninger som fungerer.

Kapittel 7

Konklusjon

Analogt med diskusjonen vil konklusjonen etter tur besvare de tre formulerte forskningsspørsmålene:

1 Hva er flaskehalsene for trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

I diskusjonen ble det argumentert for og beskrevet hvordan trafikktoppen om morgenen og ettermiddagen har hver sine utfordringer når det kommer til å sikre god trafikkavvikling gjennom studieområdet.

I morgenrushet ble det til å begynne med observert noe kapasitetsproblemer østover gjennom Tonstadkryssets vestre del. I deler av tidsrommet 06:30 - 07:30 ble det der registrert kølengder som strakk seg tilbake fra krysset og ut på Bjørndalsbrua. Det ble vist hvordan krysskapasiteten ikke var i stand til å betjene hele etterspørselen, og hvordan dette resulterte i at kjøretøy tidvis måtte vente flere grøntider før de kom seg gjennom krysset. Etter 07:30 så det imidlertid ut til at kapasitetsproblemene østover gjennom Tonstadkrysset mer eller mindre opphørte. Dette ble forklart ved at flaskehalsen nå hadde flytta seg vestover til flettepunktet på Bjørndalstoppen hvor trafikk fra rampa fra Huseby-tunet busstopp fletter sammen med eksisterende trafikk på Kolstadvegen. Den neste timen medførte dette tilbakeblokkering av Flatåsenkrysset og kødannelse minst 1 km tilbake mot Granåsen. Det ble pekt på hvordan anleggsarbeidet på busstoppene kunne være skyldig i deler av kapasitetsproblemene. Den midlertidige stenginga av kollektivfeltet tvinga all østgående trafikk til å flette sammen, og samtidig ble kjørefeltet de måtte inn på svakt innsnevra av sikkerhetsgjerdet satt opp i forbindelse med anleggsarbeidet. Hadde ikke dette vært tilfelle, antas det at fletteproblemene ville blitt redusert. Mer av etterspørselen og avviklingsproblemene ville da blitt flytta østover til Tonstadkrysset, med tilhørende kapasitetsproblemer der lik de som ble observert i tidsrommet 06:30 - 07:30.

Om ettermiddagen synes Bjørndalsbrua å være flaskehalsen for trafikkavviklinga. Hovedvekta av trafikken skal nå vestover, men har til tross for dette bare ett felt disponibelt over brua. Etter hvert oppstår det kødannelse inn mot punktet hvor vestgående trafikk fletter sammen før brua. 15:25 tilbakeblokkerer denne køen Tonstadkryssets vestre del, og snart også østre. Denne kødannelsen vedvarer mer eller mindre de neste 90 minuttene. I østre del fører tilbakeblokkeringa til at prioriteringsregimet til signalreguleringa der bryter sammen. Kjøretøyene får således ikke anledning til å benytte grøntida si fullt ut, men det blir den køen som får grønt i det det er bevegelse gjennom vestre del av krysset som oppnår best avvikling. Dette synes å være trafikken fra rampa fra E6, mens køen nordover i Ytre Ringveg opplever relativt mindre avsetning per grøntid. Tilbakeblokkeringa av vestre del av Tonstadkrysset forårsaker også stor kødannelse i Vestre Rosten. I Flatåsenkrysset avvikles trafikken for det meste godt; med noe svak kødannelse observert i retning Granåsen. Krysskonfigurasjonen, med to felt i retning Flatåsen og et til Granåsen, vil kunne være med på øke avviklingsproblemene her om flaskehalsen over Bjørndalsbrua elimineres.

2 Hvor realistisk kan man modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet?

Det er mange utfordringer knytta til å modellere dagens trafikksituasjon i studieområdet. Store mengder parameterverdier og inn-data kreves, hvor disse er mer eller mindre mulig å registrere i felt. Om man ikke har *floating car data*, vil eksempelvis produksjon av nødvendige OD-matriser uløselig ha noe usikkerhet knytta til seg så lenge studieområdet er av en viss kompleksitet. Mens parameterverdier som kjøretøylengde vil kunne registreres og beskrives noenlunde ved hjelp av statistiske fordelinger, vil andre parameterverdier, eksempelvis ulike reaksjonstider og føreres aggresivitet, være vanskeligere å verifisere riktigheten til. Videre er modellogikken tidvis mangelfull i sin evne til å beskrive virkeligheten. Dette kan resultere i at modellen, til tross for rimelig gode inn-data, likevel ikke klarer å gjenskape registrerte trafikkforløp fullt ut. Et modelleringsarbeid vil således kreve at trafikkingeniøren kalibrerer modellen, ved å skru på parameterverdier, for å oppnå best mulig samsvar mellom registrerte og simulerte prestasjonsmål. Slike mål kan være avvikla volum, reisetider og kølengder. I hvilken grad en modell er realistisk, kan da forstås som i hvilken grad den gjensker bestemte prestasjonsmål. Mens modellen i denne oppgava gir tilfredstillende avvikla volum gjennom de ulike kryssene, avviker simulerte og registrerte reisetider i større grad. Simulerte og registrerte kølengder har ikke blitt sammenligna, men ville også kunne si noe om graden av realisme i modellen. Det er grunn til å anta at bedre inn-data, i kombinasjon med grundigere kalibrering av modellen, ville kunne gi enda bedre samsvar mellom registrerte og simulerte prestasjonsmål.

3 Hvilke tiltak kan forbedre trafikkavviklinga gjennom studieområdet i trafikktoppene?

Basert på de identifiserte avviklingsproblemene ble en rekke endringstiltak foreslått og implementert i modellen. Når diskusjonen har avdekket svakheter og feil i modellen, svekker dette imidlertid tilliten man kan feste til den. Likevel, de foreløpige resultatene tyder på at endringstiltakene vil kunne ha en positiv effekt på avviklingsproblemene i studieområdet, og det synes da også rimelig å anta at den foreslåtte kapasitetsøkninga vil kunne ha positive følger.

I morgenrushet tenkes kapasitetsproblemer østover å lempes ved å deregulere kollektivfeltene og implementere rundkjøringer i Tonstadkrysset. Slik unngås både flettekonflikten på Bjørndalstoppen og tapt tid forbundet med signalreguleringa i Tonstadkrysset. Annen trafikk blir i liten grad berørt av dette, med unntak av at det muligens tidvis kan bli vanskelig for trafikk fra Vestre og Østre Rosten å komme inn i rundkjøringene. Om den kontinuerlige trafikkstrømmen østover fra Bjørndalsbrua ikke blir tilstrekkelig avbrutt av trafikk fra Trondheim, kan behovet for tilfartskontroll vurderes. Dette synes imidlertid ikke å være et problem i simuleringene.

Om ettermiddagen vil det reverserbare feltet over Bjørndalsbrua, og opp til Flatåsenkrysset, eliminere behovet for å flette inn på brua østfra. Flettepunktets kapasitet ble identifisert som hovedproblemet i ettermiddagsrushet. Ved å fjerne dette vil det kunne fjerne tilbakeblokkeringa av Tonstadkryssets vestre og østre del. Kryssenes økte kapasitet grunna rundkjøringene, vil imidlertid, sammen med at flettepunktet blir borte, kunne medføre at større volum raskere entrer Bjørndalsbrua på veg vestover. Dette vil kunne føre til at Flatåsenkrysset blir en ny flaskehals. Ved å gi et av de to feltene som per i dag går til Flatåsen, til trafikk mot Granåsen, vil dette trolig kunne avhjelpest. Disse to feltene mot Granåsen må da flette sammen en gang vest for krysset. Skal dette fungere, vil det være viktig å legge flettepunktet tilstrekkelig langt vest for krysset for å unngå at Flatåsenkrysset skulle bli tilbakeblokkert av kødannelse bakover fra dette nye flettepunktet.

Kapittel 8

Videre arbeid

De foreløpige resultatene av endringstiltakene virker svært optimistiske med tanke på å bedre trafikkavviklinga i studieområdet. Skal man tro simuleringene, vil en implementering av tiltakene bortimot kunne eliminere dagens erfarte kø og forsinkelse.

Når Aimsun-modellen som resultatene stammer fra, inneholder en del identifiserte feil, og sannsynligvis en del som ikke har blitt avdekket også, kunne både modellen og de foreslåtte løsningene med fordel blitt grundigere utredet i et framtidig prosjekt.

Foruten å forbedre inndataene til modellen og kalibrere den bedre, er det en rekke momenter i tilknytning til de foreslåtte endringstiltakene som burde blitt nøyer gjennomgått før man eventuelt tar det videre og vurderer å implementere disse: Hvilke trafikkikkerhetsmessige utfordringer kan innføringen av et slikt midtstilt reversibelt felt bringe med seg? Finnes det erfaringer man kan dra nytte av fra andre steder hvor lignende løsninger er utprøvd? Hvilke effekter kan det forventes nedstrøms studieområdet og hva for konsekvenser vil kunne oppstå for kollektivtrafikken, fotgjengere og syklistene som følge av tiltakene? Vil foreslåtte løsninger fungere sammen med Miljøpakkens metrobuskonsept etter at det starter opp høsten 2019? Finnes det andre løsninger som på en bedre og rimeligere måte møter behovene i studieområdet?

Referanser

- [1] Kartverket (Norges Geografiske Oppmåling). *Oversikt over studieområdet*. Henta 6. juni 2018. URL: <https://www.norgeskart.no>.
- [2] Statens vegvesen. *ÅDT på vegreferanse 5000 FV6650 HP2 m8667 - 10571*. Henta 8. juni 2018. URL: <https://www.vegvesen.no/vegkart>.
- [3] Adresseavisen. *Veien frem til Bjørndalsbrua*. Henta 17. desember 2017. URL: https://www.adressa.no/nyheter/adressa_noogda/article9636537.ece.
- [4] Norge i bilder. *Oversikt over studieområdet*. Henta 25. mai 2018. URL: <https://www.norgeibilder.no>.
- [5] TSS-Transport Simulation Systems. *Aimsun 8.2 Help*. 2014-2017.
- [6] Arvid Aakre. *2018-03-20 Traffic Simulation and AIMSUN*. NTNU. 2018.
- [7] P. G. Gipps. «A Behavioural Car-Following Model For Computer Simulation». I: *Transportation Research Part B: Methodological* 15.2 (apr. 1981), s. 105–111.
- [8] *Highway Capacity Manual, Sixth Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2016.
- [9] Federal Highway Administration. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. U.S. Department of Transportation. 2004.
- [10] Karl-Lennart Bång m.fl. *Handbok för kapacitetsanalys med hjälp av simulering*. Trafikverket. 2014.
- [11] Statens vegvesen. *Håndbok N100 Veg- og gateutforming*. Vegdirektoratet. 2014.

REFERANSER

- [12] Statens vegvesen. *Tegning C630 05, sist revidert 27.04.18*. Henta 23. mai 2018. URL: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/metrobuss/nyhetsarkiv/reguleringsplan-for-tonstad-omstigningspunkt-til-offentlig-ettersyn>.
- [13] Torbjørn H Birkeland. «Mesosimulering i Aimsun». Masteroppg. NTNU, jun. 2016.
- [14] Erlend Aakre. *Samarbeidsmodellen Turn Cooperation Model i Aimsun*. NTNU Trafikkteknisk senter. 2015.

Vedlegg

1. TBA4542 - Transport, fordypningsprosjekt, Sindre Lindheim-Minde, høsten 2017.pdf
2. Trafikkregistrering.zip
 - *Python-skript brukt til manuelle trafikkregistreringer fra video*
3. Analyse-assistanse.zip
 - *Java-applikasjon brukt som assistanse under videoanalysen*
4. Trafikkdata onsdag 18. oktober 2017.zip
5. Trafikkdata torsdag 19. oktober 2017.zip
6. Diverse dokumentasjon.zip
7. Modellfiler og inndata til Aimsun.zip
8. Animasjoner fra simuleringene.zip