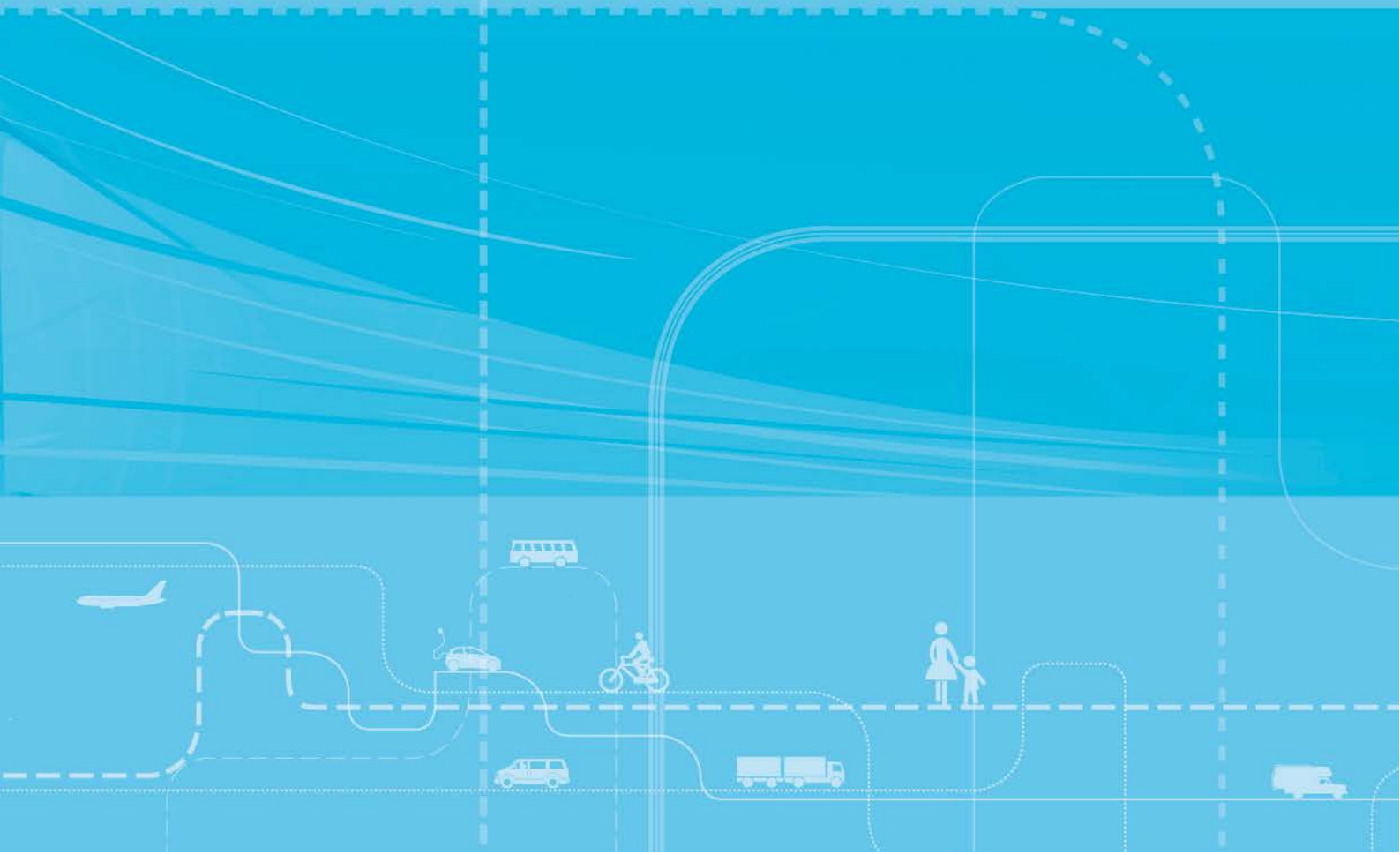


BYTRANS: Hvordan forklarer modellverktøyene endringer i veikapasitet i bytransport?

En gjennomgang av datakilder og case
Brynstunnelen



BYTRANS: Hvordan forklarer modellverktøyene endringer i veikapasitet i bytransport?

En gjennomgang av datakilder og case Brynstunnelen

Trude Tørset
Chi Kwan Kwong
Chaoru Lu
Arvid Aakre

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: BYTRANS: Hvordan forklarer modellverktøyene endringer i veikapasitet i bytransport? En gjennomgang av datakilder og case Brynstunnelen.

Forfattere: Trude Tørset
Chi Kwan Kwong
Chaoru Lu
Arvid Aakre

Dato: 12.2020

TØI-rapport: 1797/2020

Sider: 70

ISSN elektronisk: 2535-5104

ISBN elektronisk: 978-82-480-2318-0

Finansieringskilder: Norges forskningsråd
Oslo kommune Bymiljøetaten
Statens vegvesen Region Øst
Statens vegvesen Vegdirektoratet
Viken fylkeskommune
Vy
Norges Automobil-Forbund

Prosjekt: 4334 – Kunnskap for fremtidens effektive og miljøvennlige bytransportsystem

Prosjektleder: Aud Tennøy

Kvalitetsansvarlig: Anne Madslie

Fagfelt: Byutvikling og bytransport

Emneord: Transportmodell, trafikkavvikling, flaskehals, kapasitetsreduksjon

Sammendrag:

Formålet med BYTRANS-prosjektet var å utnytte midlertidige tiltak i vegnettet i Oslo til å studere effekten på reisevanene til befolkningen. Denne rapporten fokuserer på hvordan dette datagrunnlaget kan benyttes til utvikling av transportmodeller.

Modellering av etterspørsel i rushtimene og trafikkavvikling er komplekst, og modellverktøyet er gjennomgått for å beskrive hvilke forutsetninger som ligger til grunn for beregningene. Den midlertidige kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen er kjørt i RTM23+ for å evaluere hvor godt modellen greier å representere denne situasjonen.

Modellkjøringene og sammenligning mot trafikktegninger viste at maksrushtimen oppstår til forskjellige tider ulike steder, mens den er forhåndsdefinert i modellen. Endring av reisetidspunkt er også dynamisk i virkeligheten, mens dette er statisk i modellen. VDF-kurvene fungerer godt ved moderate trafiksituasjoner, men forklarer ikke virkeligheten ved sammenbrudd i trafikkavviklingen. I virkeligheten vil kø bygges opp oppstrøms en flaskehals og påvirke oppstrøms lenker, mens RTM modellerer forsinkelsene kun på den lenka hvor flaskehalsen er lokalisert.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalléen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Title: BYTRANS: How do the models explain changes in road capacity in urban transport? A review of data sources. Case: the Brynstunnel.

Authors: Trude Tørset
Chi Kwan Kwong
Chaoru Lu
Arvid Aakre

Date: 12.2020

TØI Report: 1797/2020

Pages: 70

ISSN Electronic: 2535-5104

ISBN Electronic: 978-82-480-2318-0

Financed by: The Research Council of Norway
Municipality of Oslo
The Norwegian Public Roads Administration
The Norwegian Public Roads Administration, Eastern Region
Viken County Council
Vy
Norwegian Automobile Federation

Project: 4334 – Efficient and climate friendly urban transport systems for the future

Project Manager: Aud Tennøy

Quality Manager: Anne Madslie

Research Area: Sustainable Urban Development and Mobility

Keywords: Transport model, traffic flow, bottleneck, capacity reduction

Summary:

The purpose of the BYTRANS project was to utilize temporary measures in the road network in Oslo to study the impact on the travel behaviour in the population. This report focuses on how this data can be applied to develop transport models.

Modelling of rush hours and especially queueing is a challenging but important topic when analysing measures in urban areas. This is also becoming increasingly relevant since the overall political objectives are that the increase in private car traffic in the biggest Norwegian cities should be curbed in favour of other transport solutions.

Modelling of traffic demand during rush hours and traffic flow is complex and the modelling tool has been reviewed to describe the assumptions on which the calculations are based. The temporary capacity reduction in the Brynstunnel has been run in RTM23+ to evaluate how well the model manages to represent this situation.

Language of report: Norwegian

Institute of Transport Economics
Gaustadalléen 21, 0349 Oslo, Norway
Telephone +47 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Denne rapporten er en leveranse fra BYTRANS-prosjektet, nærmere bestemt Modellarbeidspakken, hvor målet har vært å vurdere datakildene fra BYTRANS til bruk i trafikk- og transportmodeller.

Arbeidet har vært gjennomført i samarbeid mellom NTNU og TØI. Arbeidsgruppen har bestått av Chi Kwan Kwong fra TØI og Trude Tørset fra NTNU. Bidrag knyttet til trafikksimuleringer er gjennomført av Arvid Aakre, Chaoru Lu og Trude Tørset ved NTNU. Anne Madslie ved TØI har kvalitetssikret arbeidet.

Denne rapporten er i hovedsak skrevet av Trude Tørset. Chi Kwan Kwong har gjort beregninger med RTM23+ og skrevet kapittel 4. Chaoru Lu har gjort trafikksimuleringer av E18 med kollektivfelt og har i samarbeid med Arvid Aakre og Trude Tørset skrevet en kort dokumentasjon. Hovedresultater er gjengitt i rapporten, mens hele dokumentasjonen er å finne i vedlegg 1.

Arbeidet er del av prosjektet BYTRANS, som gjennomføres av TØI i nært samarbeid med Oslo kommune Bymiljøetaten (prosjekteier), Statens vegvesen Region Øst, Vegdirektoratet, Akershus fylkeskommune, VY, NAF, Jernbanedirektoratet, LUKS, Oslo Taxi, Telenor og IBM. Norges forskningsråd står for hovedtyngden av finansieringen. Oslo kommune Bymiljøetaten ved Dimos Kyriakou har det formelle prosjektansvaret, mens TØI ved prosjektleder Aud Tennøy har det faglige prosjektlederansvaret. Trude Kvalsvik har bistått med klargjøring av rapporten til publisering.

Det brede og aktive samarbeidet mellom TØI og en rekke offentlige og private aktører har vært avgjørende for gjennomføring av prosjektet. TØI takker partnerne for godt samarbeid. Selv om partnerne har bidratt med data og innspill, er det TØI som står ansvarlig for innholdet. Vi takker også alle som har svart på spørreundersøkelser, stilt opp i intervjuer og bidratt med data og innspill til forskningen.

Oslo, desember 2020

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell Werner Johansen
Ardeingsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for BYTRANS-prosjektet.....	1
1.2	Formål/hypoteser.....	1
1.3	Undersøkellesdesign/forskningsspørsmålene	2
1.4	Organiseringen av rapporten	4
2	Metodetilnærming	5
2.1	Arbeidspakken om modeller som en del av forskningsprosjektet BYTRANS	5
2.2	Hvordan kan data bidra til modellutvikling?	5
2.3	Metodiske avgrensninger.....	6
2.4	Hvilke transportmodeller og trafikkmodeller er anvendt i Norge?.....	6
2.5	Hvilke datakilder er vurdert?.....	7
3	Modellering av kø i Regional transportmodell for personreiser	8
3.1	Introduksjon til RTM.....	8
3.2	Utfordringer ved modellering av kø og forsinkelser i RTM	11
4	Case Brynstunnelen – en modell-messig tilnærming	17
4.1	Test av transportmodellen RTM23+ for et case	17
4.2	Hvilken trafikksituasjon beregnes i en strategisk transportmodell som RTM23+?.....	18
4.3	Kapasitetsreduksjon med RTM23+, referanse og tiltaksscenarioene	22
4.4	Data fra BYTRANS til modellverifisering.....	24
4.5	Oppsummering av resultater fra sammenligningen.....	41
5	Trafikksimulering av køforhold	43
5.1	Modellering av køavvikling i AIMSUN	43
5.2	E18-caset med Aimsun.....	44
5.3	Brynstunnelen med Aimsun	45
5.4	Oppsummering om trafikksimulering	45
6	Datakildene i BYTRANS	46
6.1	Oversikt over data	46
6.2	Spørreundersøkelser.....	47
6.3	Trafikktellinger og reisetidsmålinger.....	48
6.4	Taksameterdata fra drosjeselskap.....	49
6.5	Transportørdata – eksempeldatasett.....	51
6.6	Passeringsdata fra bomstasjoner	52
6.7	Passivregistrering av posisjonsdata via mobiltelefon	52
6.8	Kollektivdata; passasjerdata	52
7	Samlet drøfting og konklusjon	54
7.1	Gir transportmodellen reelle utslag?.....	54

7.2	Gir transportmodellen riktige avviklingsforhold?	54
7.3	Er kombinasjon av AIMSUN og RTM en god ide?	55
7.4	Sammenligningsgrunnlaget, hva er riktig «dagens situasjon»?	55
7.5	Utviklingsbehov for modellverktøyene.....	55
7.6	Krav til datakildene for bruk i modellverktøyene.....	56
7.7	Potensialet for forbedring av transportmodellene	56
7.8	Avsluttende refleksjon.....	57
8	Referanser.....	58
	Vedlegg 1 Kollektivfelt på E18 i Aimsun.....	61
	I Introduction.....	62
	The live experiment project BYTRANS.....	62
	The E18 westbound bus lane, previous tests.....	62
	Related work on Bus lanes.....	63
	Traffic simulation approach.....	63
	II Problem statement	64
	III Model.....	64
	Results.....	66
	Conclusions.....	69
	Discussion	69
	Reference	70

Sammendrag

BYTRANS: Hvordan forklarer modellverktøyene endringer i veikapasitet i bytransport?

En gjennomgang av datakilder og case Brynstunnelen

TØI rapport 1797/2020

Forfattere: Trude Tørset, Chi Kwan Kwong, Chaoru Lu og Arvid Aakre

Oslo 2020 70 sider

Sammendrag

Formålet med BYTRANS-prosjektet var å utnytte midlertidige tiltak i vegnettet i Oslo til å studere effekten på reisevanene til befolkningen. Denne rapporten fokuserer på hvordan dette datagrunnlaget kan benyttes til utvikling av transportmodeller.

Datagrunnlaget som er benyttet er hovedsakelig trafikktegninger og reisetidsmålinger, men vi har også hatt nytte av resultater fra spørreundersøkelsen som ble gjennomført blant arbeidstakere som ville bli berørt av midlertidige kapasitetsreduksjoner i tunneler. Vi har sammenlignet modellresultater mot data og beskrevet problemområder, men ikke løsninger på disse.

Modellering av rushtimene og spesielt køavvikling er et utfordrende men viktig tema ved analyser av tiltak i byområder. Dette er noe som også blir mer og mer aktuelt siden de overordnede politiske målsetningene er at økningen i den private biltrafikken i de store byene i Norge skal bremses til fordel for andre transportløsninger.

Modellering av etterspørsel i rushtimene og trafikkavvikling er komplekst, og modellverktøyet er gjennomgått for å beskrive hvilke forutsetninger som ligger til grunn for beregningene. Den midlertidige kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen er kjørt i RTM23+ for å evaluere hvor godt modellen greier å representere denne situasjonen.

Modellkjøringene og sammenligning mot trafikktegninger viste at maksrushtimen oppstår til forskjellige tider ulike steder, mens den er forhåndsdefinert i modellen. Endring av reisetidspunkt er også dynamisk i virkeligheten, mens dette er statisk i modellen. VDF-kurvene fungerer godt ved moderate trafikk situasjoner, men forklarer ikke virkeligheten ved sammenbrudd i trafikkavviklingen. I virkeligheten vil kø bygges opp oppstrøms en flaskehals og påvirke oppstrøms lenker, mens RTM modellerer forsinkelsene kun på den lenka hvor flaskehalsen er lokalisert.

Data om reisemønster og trafikkforhold er nødvendig for å evaluere modellresultater og for å videreutvikle modellene slik at de gjenskaper trafikken på en realistisk måte. Noen datatyper som hadde vært nyttige var ikke tilgjengelige for oss i prosjektperioden, men vi har reflektert over hvordan de kunne bidratt til bedre modellverktøy.

Summary

BYTRANS: How do the models explain changes in road capacity in urban transport?

A review of data sources. Case: the Brynstunnel

TOI Report 1797/2020

Authors: Trude Torset, Chi Kwan Kwong, Chaoru Lu & Arvid Aakre

Oslo 2020 70 pages Norwegian language

Summary

The purpose of the BYTRANS project was to utilize temporary measures in the road network in Oslo to study the impact on the travel behaviour in the population. This report focuses on how this data can be applied to develop transport models.

The data used are mainly traffic counts and travel time measurements, but we have also benefited from results from a survey conducted among employees who would be affected by temporary capacity reductions in tunnels. We have compared model results against data and described problem areas, but not solutions to these.

Modelling of rush hours and especially queueing is a challenging but important topic when analysing measures in urban areas. This is also becoming increasingly relevant since the overall political objectives are that the increase in private car traffic in the biggest Norwegian cities should be curbed in favour of other transport solutions.

Modelling of traffic demand during rush hours and traffic flow is complex and the modelling tool has been reviewed to describe the assumptions on which the calculations are based. The temporary capacity reduction in the Brynstunnel has been run in RTM23+ to evaluate how well the model manages to represent this situation.

The model runs and comparisons against traffic counts showed that the maximum rush hour occurs at different times in different places, while it is predefined in the model. Changing travel time is also dynamic in reality, while this is static in the model. The VDF curves work well in moderate traffic situations, but do not explain the reality of breakdowns in traffic flow. In reality, queues will build upstream of a bottleneck and affect upstream links, while RTM models the delays only on the link where the bottleneck is located.

Data on travel patterns and traffic conditions are necessary to evaluate model results and to further develop the models so that they represent the traffic in a realistic way. Some data types that had been useful were not available to us during the project period, but we have reflected on how they could have contributed to better model tools.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for BYTRANS-prosjektet

Transportsystemet i Oslo har de siste årene vært igjennom store endringer. Utgangspunktet for dette forskningsprosjektet har vært endringer som følge av krav til oppgradering av tunneler, men også opprusting av banenettet for skinnegående transportmidler. I perioder har enkelte tunneler vært stengt eller hatt lavere kapasitet. Behovet for midlertidige avbøtende tiltak og omfattende informasjonstiltak er dermed også en del av disse endringene.

Slike store endringer i transporttilbudet, gir muligheter for å studere konsekvenser for trafikantene og hvordan trafikantene tilpasser seg situasjonen, før, under og etter endring. BYTRANS-prosjektets hovedhensikt er å samle inn data ved hjelp av spørreundersøkelser, trafikktegninger og registreringer, gjennom hele perioden for å høste kunnskap om virkninger av tiltak i transportsystemet. Kunnskapen kan videre benyttes av planleggere både i og utenfor Oslo for å utvikle transporttilbudet i tråd med de politiske målsettingene. Planleggere benytter trafikk- og transportmodeller for å analysere virkninger av tiltak i transportsystemet. Modellene er bygget på kunnskap om hvordan trafikksystemet fungerer, hvordan trafikantene agerer og hvordan trafikantene tilpasser seg endringer i tilbudet. Trafikkmodellene er hovedsakelig brukt for å analysere trafikkavvikling i vegnettet, mens forholdet mellom transporttilbud og etterspørsel etter transporttjenester analyseres i transportmodeller.

Spørsmålet vi reiser i denne rapporten er: Kan data og kunnskap fra BYTRANS-prosjektet benyttes for å forbedre trafikk- og transportmodellene?

Det kan være ulike måter å forbedre modellene på, og vi har analysert potensialet for å benytte nye datakilder til validering, kalibrering og estimering av delberegninger i modellene. Modellene er designet med en rekke forutsetninger om hvilke faktorer som påvirker reisemønsteret til trafikantene, og hvordan vridningene skjer når transporttilbudet endres. Data om hvordan trafikantenes faktisk tilpasser seg, kan dermed også gi kunnskap om hvorvidt forutsetningene er riktige.

Transportsystemet i Oslo er presset, og i visse perioder og på visse steder er forsinkelser og trengsel mer regelen enn unntaket. Det ble forventet at redusert kapasitet gjennom tunneler skulle forverre situasjonen, noe som, selv om det er en ugunstig situasjon for trafikantene, gir oss mulighet til å studere fenomenet kø og forsinkelser med utgangspunkt i empiriske data. Behandlingen av kø og forsinkelser er foreløpig gjort svært forenklet i dagens norske transportmodeller. Prosjektet har som ambisjon å vurdere hvor hensiktsmessig dette er løst per i dag, basert på sammenligning mellom modellberegninger og registreringer i vegnettet.

1.2 Formål/hypoteser

Utgangspunktet for denne delen av BYTRANS-prosjektet er anvendelsen av data inn mot trafikk- og transportmodeller. Ønsket var å samle inn alle mulige typer data, fra alle typer trafikanter og gjerne over lengre tid, for å studere endringer i trafikantadferd som følge av endringer i transportsystemet. Initiativ ble dermed tatt for å samle inn data, både i egen regi

gjennom BYTRANS-prosjektet, gjennom andre prosjekter i samme tidsrom i Oslo og fra andre som samler inn data for egne formål som del av virksomheten sin. Noen data fikk vi tilgang til, og av disse er trafikkregistreringer og spørreundersøkelser de viktigste. Andre data, om taxi og varetransport, fikk vi et utdrag av, slik at vi kunne vurdere potensialet av dem. I tillegg hadde vi håpet å få data fra bomstasjoner og mobilselskaper, men det lyktes ikke i prosjektperioden.

Hovedspørsmålet var: Kan data og kunnskap fra BYTRANS-prosjektet benyttes for å forbedre trafikk- og transportmodellene? Dataene var mer egnet som utgangspunkt for diskusjon rundt forbedringer av transportmodellene enn trafikkmodellene.

Transportmodeller beregner etterspørselen etter reiser mellom alle soner i et modellområde fordelt på reisehensikter og reisemidler. Reisene fordeles på ruter i reisemiddelspesifikke nettverk. Transportmodellen dekker dermed alle typer reiser og alle transportformer.

Detaljeringsgraden i en transportmodell er vanligvis relativt lav og modellene brukes som grunnlag for strategiske beslutninger innen transportplanlegging. Trafikkmodeller beregner rutevalg og gir trafikkavviklingskvaliteten, som oftest bare knyttet til biltrafikken.

Reiseetterspørselen fordelt i kortere tidsintervall og fra-tilmønster er gitt som inngangsdata til beregningen. Trafikkmodeller er relativt detaljerte og brukes til å studere løsninger for vegtrafikken for taktiske eller operasjonelle beslutninger i transportplanleggingen.

Vi har dermed vurdert potensialet for bruk av ulike datatyper inn mot transportmodeller for hele eller avgrensede datasett. Trafikkmodeller har likevel vært benyttet for å vurdere forhold som flaskehals og prioritering av kollektivtrafikk, men da har målet vært å forklare hvordan trafikkavviklingen faktisk forløper, heller enn å forbedre trafikkmodellene.

I Oslo og Akershus er det etablert en transportmodell kalt RTM23+, og dette er den transportmodellen vi konkret har sammenlignet dataene med der det var aktuelt.

Erfaringene vi har gjort er likevel aktuelle for RTM-modeller generelt, ettersom de er bygget opp på samme måte.

1.3 Undersøkellesdesign/forskningsspørsmålene

1.3.1 Virkninger og spørreundersøkelser

Strategiske transportmodeller er designet for å etterligne de valgene trafikantene tar i forhold til sin daglige reiseatferd, men på en forenklet måte. Trafikantene er nok ikke alltid bevisst årsakene til at velger slik de gjør, og de tenker nok heller ikke over hvilke alternativer de står ovenfor. Om vi skulle gjenskape den reelle valgsituasjonen i en beregningsmodell, ville den blitt temmelig kompleks. For å forenkle oppbyggingen er det derfor gjort forenklinger i modellen, både med tanke på å beskrive transporttilbudet og selve valgsituasjonen.

En problemstilling er dermed: **Når vi har data om reiseatferden før og etter et tiltak, gir transportmodellen samme utslag?** Vi har sammenlignet resultater fra transportmodellberegninger med data fra BYTRANS for å finne ut dette. I denne delen av arbeidet er det spørreundersøkelser gjennomført med arbeidstakere og trafikkteilingene som har vært det viktigste datagrunnlaget.

1.3.2 Flaskehals og trafikkteilinger

Transportmodellen beskriver et konkurranseforhold mellom ulike valg; til ulike destinasjoner og med ulike reisemidler og mellom ulike reiseruter. Reisetiden for ulike valg er en av de viktigste forklaringsfaktorene i transportmodellene. Reisetiden vil påvirkes av

trengsel, både på vegnettet og i kollektivsystemet. Modellering av kø er av spesiell interesse fordi den totale reisetiden øker med kø-situasjoner samt at trafikantene oppfatter tid i kø relativt sett mye verre enn reisetid uten kø (Flügel, mfl., 2020). Ved å stenge et av feltene i en tunnel, vil det skapes en flaskehals i vegnettet, noe som kan gi kø i perioder med mye trafikk.

I dette prosjektet var representasjonen av kø i transportmodellene et av de viktigste temaene. Spørsmålet var: **Når det er flaskehalser i vegnettet, gir transportmodellen riktige avviklingsforhold, med reisetider, kø-lengder og varighet av køen?** Dette ble studert ved å simulere stenging av et felt i en tunnel med transportmodellen og sammenligne nøkkeltall fra beregningen med trafikktegninger, reisetidsmålinger og spørreundersøkelser av arbeidstakere i nærområdet til Brynstunnelen.

Med sammenligning av trafikktegninger og reisetider på et relativt detaljert nivå, var det behov for å studere trafikktegningene og reisetidsmålingene, for å ha god kontroll med kvaliteten. Dette ga nyttige erfaringer i forhold til variasjon i trafikkgrunnlaget, og førte til en interessant diskusjon rundt følgende spørsmål: **Er sammenligningsgrunnlaget godt nok? I hvilken grad tar vi hensyn til variasjonen i trafikknivå, over året, uka og dagen, og variasjonen i avviklingssituasjoner når vi sammenligner modellberegninger mot trafikktegninger?**

1.3.3 Mikrosimuleringer og transportmodeller

Relatert til forrige tema om flaskehalser, kapasitetsproblemer og kø, ble det gjennomført en pilot på E18 hvor et av bilfeltene vestover ble gjort om til kollektivfelt. Det ble gjort trafikksimuleringer av situasjonen og prøvd ut over en treukersperiode i 2015. Både simuleringene og piloten ga dårligere fremføring, ikke bare for de private bilene, men også for bussene. Dette røkkes ved teorier om at bedre kapasitet (for bussene) gir bedre fremføring. Situasjonen ble gjenskapt i en simuleringsmodell, for å bekrefte funnene, studere hvordan trafikkavviklingen blir representert i en trafikksimuleringsmodell og for å sammenligne beregningen med en tilsvarende situasjon i en transportmodell.

Parallelt med BYTRANS-prosjektet pågikk det også et arbeid med å kombinere en trafikk-simuleringsmodell med en transportmodell. Hensikten var å studere fordeler og ulemper med å kombinere disse to modelltypene.

Erfaringene fra disse to tilnærmingene, samt studien av flaskehalser fra delkapittel 1.3.2 er utgangspunkt for en diskusjon i denne rapporten: **I hvilke situasjoner kan kombinasjonsmodeller være hensiktsmessige for transport- og trafikkanalyser?**

1.3.4 Nye datatyper og potensiale for anvendelse i transportmodeller

BYTRANS-prosjektet har engasjert en rekke offentlige og private organisasjoner med interesse for transportsystemet i Oslo og konsekvensene av endringene i transporttilbudet. Noen av disse samler inn data som ikke tidligere har vært benyttet i transportmodeller. Bruksområder kan være å teste forutsetninger, kalibrering, validering eller estimering av delberegninger i transportmodellen. I prosjektperioden var det ikke mulig å skaffe datasett av et slikt omfang at dataene kunne anvendes inn mot den aktuelle modellen, men siden dataene finnes, syntes det relevant å drøfte følgende: **Hva er potensialet for forbedring av transportmodellen hvis datasettene skulle bli tilgjengelige?**

Drøftingene er gjort ved å forklare hvordan modellen håndterer tilsvarende trafikk i dag, og diskutere forslag til hvordan modellen kunne vært endret med tilgang til datasettene.

1.4 Organiseringen av rapporten

Neste kapittel beskriver vår tilnærming til problemstillingen, [kapittel 3](#) går i dybden på modellering av kø i RTM, deretter følger [kapittel 4](#) som dokumenterer et case-studium ved bruk av RTM23+ knyttet til kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Modellens mekanismer og resultater sammenlignes med tilgjengelige datakilder, primært trafikktegninger og reisetidsmålinger. [Kapittel 5](#) oppsummerer resultater fra pilot av sammenkobling av RTM og AIMSUN i Trondheim. Deretter følger en vurdering av ulike datakilder i [kapittel 6](#). [Kapittel 7](#) oppsummerer de viktigste erfaringer knyttet til hvordan modellene kan forbedres. Det siste kapitlet, [kapittel 8](#), gir hovedresultater fra modellarbeidspakken i BYTRANS-prosjektet.

2 Metodetilnærming

2.1 Arbeidspakken om modeller som en del av forskningsprosjektet BYTRANS

Transportplanleggere står ovenfor store utfordringer framover for å oppnå politiske målsettinger om nullvekst i biltrafikken i byene. Transportsystemet skal utvikles til å bli mer effektivt og miljøvennlig, med mest mulig effektive virkemidler. Både mål og virkemidler kan være omstridt, og ofte del av den politiske diskusjonen. Derfor trenger man gode faglige grunner for å gjennomføre tiltak.

Allerede i 2009 ble det kartlagt et behov for data til bruk i strategiske transportmodeller, med tanke bruk av transportmodellene i byområder. Det ble etterlyst data om trafikkavvikling og reisestrømmer, også med kollektivtrafikk og gående og syklende, og detaljerte trafikktegninger som fanger variasjoner over døgnet, samt skille mellom personreiser og godsreiser (Giæver m.fl., 2009, side 17).

Utvikling av verktøy til analyser i byområder var tema i en rapport for Miljødepartementet i 2012 (Tørset, m.fl., 2012, side 37). Også her etterlyses det mer detaljerte data både om transporttilbudet for alle transportformer og om reisene. Selv om denne rapporten er noen år gammel, er det fortsatt en god del som gjenstår.

Hovedmålet for BYTRANS-prosjektet har vært å utnytte de naturlige eksperimentene i transportsystemet i Oslo i perioden 2015-2019 til å:

- a) undersøke hvordan ulike trafikantgrupper tilpasser seg endringer i transportsystemene, og hvilke effekter og konsekvenser endringene har for trafikantene, transportsystemene, samfunnet og miljøet
- b) utvikle bedre forståelse av fenomenet kø i bytransportssystemer
- c) utforske nye muligheter for utvikling av fremtidens miljøvennlige og effektive bytransportssystemer
- d) undersøke effekter av informasjonstiltak og avbøtende tiltak ved avvikssituasjoner, forbedre disse
- e) bidra til utvikling av metoder og modeller som brukes i forskning, analyser og planlegging

2.2 Hvordan kan data bidra til modellutvikling?

For å forbedre transportmodellene er det behov for data som knytter tiltak til virkninger. Det krever kontrollerte forsøk. BYTRANS-prosjektet har samlet inn data om iverksettelsen av tiltak og trafikantenes reaksjoner før og etter. Dermed var forventningen at vi kunne få tilgang til data som kunne brukes til sammenligning med transportmodellen og potensielt synliggjøre om og hvordan modellene kan forbedres.

Data kan brukes på ulike måter til å forbedre modellene. Grovt sett er potensialet slik:

1. Bruke data direkte til å forbedre modellene
 - a. Etablere nye delberegninger eller definere og estimere nye beregningsrutiner
 - b. Kalibrere eksisterende modeller
 - c. Evaluere og validere eksisterende modeller
2. Vurdere potensialet i datatypen uten direkte sammenligning mot modell

Denne arbeidspakken har jobbet spesifikt mot 1c og 2. Arbeidsformen har vært å skaffe data, analysere disse, finne sammenlignbare inndata, mekanismer eller resultat fra transportmodellene og analysere potensialet for forbedringer i dem.

Vi har gått mer i dybden på modellering av kø, ettersom det er viktig for analyser av kapasitetsreduksjoner i et vegnett som har periodevis mye kø fra før.

2.3 Metodiske avgrensninger

BYTRANS-prosjektet har hatt som formål å samle inn mest mulig og alle mulige data om reisemuligheter og reiseatferd i forbindelse med kapasitetsreduksjonen i tunneler i Oslo. Delprosjektet om bruk av data til modellering av transport har ikke gitt føringer for hvilke data som er samlet inn.

Modellering av kø er en utfordring i dagens transportmodeller. Det var derfor av spesiell interesse å studere køforholdene i forbindelse med kapasitetsreduksjoner i tunnelene i Oslo. Et forslag var å koble sammen beregninger i RTM med beregninger i en Aimsun-modell. Det var en for omfattende jobb for dette prosjektet, men basert på erfaringer fra et parallelt prosjekt som gjorde en slik øvelse for Trondheim, gjøres det en vurdering av en slik framgangsmåte i denne rapporten.

Endringer i modellsystemet RTM er normalt en prosess som styres av transportetatene gjennom NTP Transportanalyser. Våre forslag til endringer er dermed ikke nødvendigvis noe som vil bli implementert i modellsystemet.

2.4 Hvilke transportmodeller og trafikkmodeller er anvendt i Norge?

De viktigste modellverktøyene som anvendes for analyser av transportsystemer i byområder i Norge er:

1. Regional Transportmodell for personreiser (RTM)
2. Nasjonal Transportmodell (NTM6)
3. STRATMOD
4. Trafikksimuleringsmodeller i AIMSUN
5. Nasjonal Godsmodell (NGM)

RTM er nok den viktigste av disse til analyser av tiltak i transportsystemene i byområder (Tørset mfl., 2013, Malmin, 2013). Modellen beregner etterspørselseffekter i form av turproduksjon, destinasjonsvalg, reisemiddelvalg og rutevalg. RTM23+ er en variant av RTM for Oslo og Akershus (Rekdal, 2007). RTM er vurdert for bruk i byanalyser av Tørset mfl. (2012) og flere aktuelle aspekter ved RTM23+ er vurdert i ulike rapporter utgitt av PROSAM (se www.prosam.org).

NTM6 er utviklet for å beregne etterspørselen etter reiser over 70 kilometer (Rekdal mfl., 2014). For analyser av transport i Oslo er reiser beregnet med NTM6 vanligvis gitt ved faste turmatriser, som betyr at vi forutsetter at kun rutevalget endres av tiltak i transportsystemet.

STRATMOD benyttes til analyser av strategiske tiltak i byområder, gjennom elastisitetsberegninger (Betanzo, 2019). Den er mer aggregert enn RTM på sonenivå, og beregner endringer i turmatrisene som følge av tiltak.

AIMSUN-modeller etableres for byområder eller en avgrenset del av et byområde. Anvendelsesområdet er analyser av trafikkavviklingen ved nye vegforbindelser, ulike reguleringsformer i kryss og utvidelser/begrensninger i kapasiteten for biltrafikk eller kollektivtrafikk.

NGM er utviklet for å analysere varestrømmer og endringer i disse ved tiltak knyttet til transportsystemet for godstransport (Madslie mfl., 2015). Dette kan være lokaliseringen av havner, terminaler, flyplasser og lignende. Beregningene gjøres på et aggregert sonenivå. Det er gjort forsøk på å bruke varestrømmene fra godsmodellen i RTM, men det er foreløpig ikke en anbefalt metode. Vanligvis brukes det faste matriser basert på dels varestrømmer og tellinger i RTM.

I dette prosjektet er det primært RTM som har vært vurdert. En aktuell videreutvikling av RTM for modellering av kø kan være å kombinere RTM og AIMSUN, derfor har vi fulgt et parallelt prosjekt som har gjort en pilot på en slik sammenkobling. Dessuten har vi gjort en egen studie av kollektivfelt vestover på E18 som en del av prosjektet.

2.5 Hvilke datakilder er vurdert?

Datasett som er benyttet i forbindelse med modellevalueringen er:

- Spørreundersøkelse for arbeidsreisende
- Trafikktellinger
- Reisetidsregistreringer
- Taxidata – eksempeldatasett
- Transportørdata – eksempeldatasett

BYTRANS-prosjektet hadde som strategi å samle mest mulig data i forbindelse med tunnelstegningene. En del datatyper hadde potensiale for å kunne vise endringer i transportmønsteret, men det var ikke mulig å få tilgang på disse i løpet av prosjektperioden. Det gjelder:

- Bompaseringer
- Fulle datasett av taxidata eller transportørdata
- Passivregistrering av posisjonsdata for mobiltelefoner
- Kollektivdata; passasjerdata

For data om passasjerer på kollektivtransporten var situasjonen at de kom for seint i prosjektgjennomføringen. Selv om vi etter hvert fikk tilgang til data, ble de ikke vurdert opp mot transportmodellresultater.

3 Modellering av kø i Regional transportmodell for personreiser

3.1 Introduksjon til RTM¹

Den regionale transportmodellen for personreiser (RTM) er utviklet av transportetatene for bruk i strategiske transportanalyser (Tørset m.fl., 2013). Strategisk betyr i denne sammenhengen at modellen brukes på et overordnet nivå og med forholdsvis lang tidshorison, alt fra 10 til 40 år framover i tid eller mer. Transportmodellen beregner etterspørselen etter reiser basert på data om transporttilbudet og lokasjonen av bosatte og aktiviteter fordelt på geografisk små enheter kalt soner. Beregningen av reiseetterspørsel er bygd opp etter firetrinnsmetodikken som splitter reisebeslutningen i fire valg; 1) Om man vil reise, 2) Hvor man vil reise, 3) Hvilket reisemiddel man vil benytte og 4) Hvilken rute man vil reise langs. Etterspørselsmodellen Tramod_by beregner de tre første trinnene samlet gjennom en hierarkisk logitmodell. I dette kapitlet vil det fokuseres på hvordan RTM modellerer kø i biltrafikken.

Trafikkvolumet endrer seg i et relativt fast mønster på vanlige hverdager, med rushperioder morgen og ettermiddag, noe som skaper trengsel og forsinkelser i trafikken. Dette kan også påvirke konkurranseforholdet mellom ulike destinasjoner, reisemidler og reiseruter. RTM beregner reiseetterspørselen for et gjennomsnitts normalhverdagsdøgn (ferier og bevegelige helligdager fratrukket) ett bestemt år. For å gjenspeile trafikkvariasjonen over døgnet kan etterspørselen fordeles på fire tidsperioder, med to rushperioder 06:00-9:00 og 15:00-18:00 og to lavtrafikkperioder før og etter rushperiodene. Rushtrafikken kan også påvirke avreise-tidspunktet til trafikantene, men denne dynamikken er ikke lagt inn i modellen så langt.

Når man gjør endringer i transporttilbudet, skjer tilpasningen til trafikantene i realiteten gradvis. RTM beregner imidlertid virkninger som en likevekt mellom tilbud og etterspørsel, det vil si når alle trafikantene har tilpasset sine reisevaner til det nye transporttilbudet. Endrede bompenger og takster kan for eksempel føre til at noen av trafikantene finner et annet sted å handle, trene eller til og med jobbe. Disse endringene skjer i realiteten over en lang periode, mens modellen beregner situasjonen etter at alle tilpasningene er gjort.

RTM finnes i utgangspunktet for fem regioner i Norge, som dekker hele Norge. Det er tilrettelagt for å etablere RTM for spesifikke analyseområder, såkalte DelOmrådeModeller (DOMer), slik at beregningen bare dekker nødvendig antall soner. Det gir kjappere beregningstid og gjør det praktisk mulig å modellere kapasitetsbegrensninger og kø.

3.1.1 Koding av transportnett

Transportnettets kodes ved hjelp av lenker og noder. Lenkene skal representere homogene strekninger, for eksempel vegstrekninger, og nodene representerer standardsprang eller kryss. Vegnettet hentes fra Nasjonal Vegdatabank (NVDB) ved hjelp av et GIS-basert verktøy kalt TNEExt. Det er i utgangspunktet felles for alle transportformene på veg.

¹ Beskrivelsen i dette kapitlet er knyttet til den generelle varianten av RTM, som er implementert i CUBE. Testen som er beskrevet i neste kapittel er gjort med RTM23+ som er implementert i EMME.

Linktype indikerer om det er restriksjoner for bruk av lenka, slik at det skilles mellom motorveg, gangveg etc. Informasjon om lenkene som brukes i transportmodellen er distanse, fartsgrense, tid (beregnes), feltangivelse, samt felt forbeholdt for kollektiv eller sykkel. Vegtyper er inndelt i Lenketype basert på Vegstatus, Gangtid, Sykkeltid, Restriksjoner (hovedsakelig om lenka er forbudt for gående eller syklende eller begge deler), Navn (Vegkategori og Vegnummer, for eksempel E6). På strekninger der ferge benyttes kodes også fergetid og fergedistanse. I tillegg inngår også koding av bompengepunkter og bomtakster og fergetakster.

Hvis det finnes informasjon i TNExt om krysstypen for slutt-enden av lenka, legges denne informasjonen til for å beregne svingeforsinkelse gjennom T-kryss, X-kryss, Rundkjøringer og signalregulerte kryss. Det beregnes en vinkel mellom innkommende lenke og utgående lenker for å avgjøre hvilken type svingebevegelse det er, og deretter legges det på en fast svingeforsinkelse basert på type kryss og type svingebevegelse.

Hastigheten på lenka påvirkes også av kurvaturen på vegen. Det betyr at horisontal- og vertikal kurvatur kan gi lavere fart i fri-flyt enn fartsgrensen.

Kapasitetsklasser er satt for hver lenke ut fra vegtype, antall felt, hastighetsgrense og funksjon (se tabell 3 side 34 i Tørset mfl. (2013)). Kapasitetsklassen bestemmer hvilken volum-hastighetskurve som skal benyttes ved kapasitetsavhengig nettutlegging. Volum-hastighetskurven brukes til å finne gjennomsnittlig fartsnivå basert på trafikkstrømmen målt i kjt/time.

3.1.2 Nettanalyse (rutevalg skimming)

I nettanalysen bruker man først generaliserte kostnader (GK) til å finne det beste rutevalget mellom alle par av soner i transportnettet, det rutevalget med lavest GK. Langs dette rutevalget beregnes reisetid, reiseavstand og direkte kostnader (bom og ferge). Matriser med denne informasjonen for alle sonepar kalles LoS matriser. LoS matrisene inngår som forklaringsfaktorer til etterspørselsmodellen.

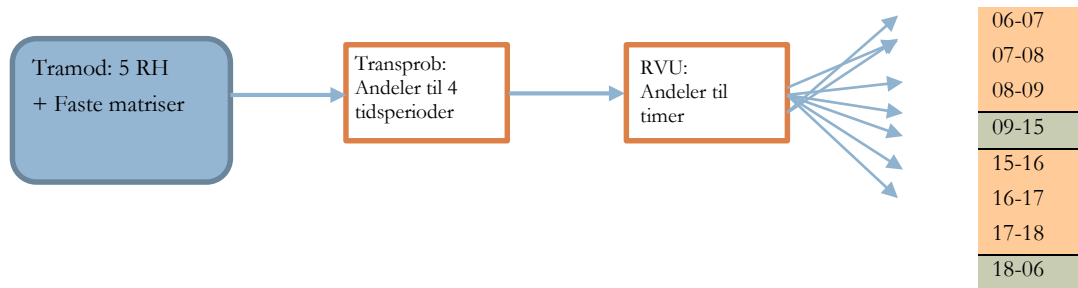
I prinsippet er det det samme som skjer i nettfordelingen, men da fordeles det også turer på rutevalget. Turmatrisen er beregnet av etterspørselsmodellen `Tramod_by`.

3.1.3 Nettfordeling

Nettfordelingen for bil i RTM kan foregå kapasitetsuavhengig eller kapasitetsavhengig. Videre kan en kapasitetsavhengig nettfordeling foregå ved at døgnet deles enten i to, rush og lavtrafikk, eller i fire hvor døgnet deles i morgenrush og ettermiddagsrush og to lavtrafikkperioder mellom disse. For byområder der det er kø, gir kapasitetsavhengig nettfordeling med fire tidsperioder den beste beskrivelsen av kjøreforholdene av de alternativene som finnes. Det er likevel bare i rushtidstimen at nettfordelingen skjer kapasitetsavhengig. Fordelingen av etterspørselen på ulike tidsperioder foregår slik det er vist i Figur 1.

Også i nettfordelingen er det GK som ligger til grunn for valg av beste rute, og parametrene for tid, avstand og direktekostnader varierer med reisehensikter.

Etterspørselsmodellen beregner turmønsteret for en gjennomsnittlig normalhverdag. Ved inndeling av døgnet i flere tidsperioder deles først etterspørselen i fire tidsperioder etter andeler som gitt i `transprob`-filene. Biltrafikken deles videre i timesandeler for rushtimene. Andelene er hentet fra den Nasjonale reisevaneundersøkelsen fra 2009 (Tretvik, 2011). Prinsippet er vist i Figur 1.



Figur 1: Inndeling av døgnet i tidsperioder med seks rushtidstimer og to lavtrafikkperioder.

Som figuren viser, er det statiske andeler til de ulike tidsperiodene. Det betyr at fremkommelighet i vegnettet ikke er med på å endre denne fordelingen.

3.1.4 Kapasitet og forsinkelser

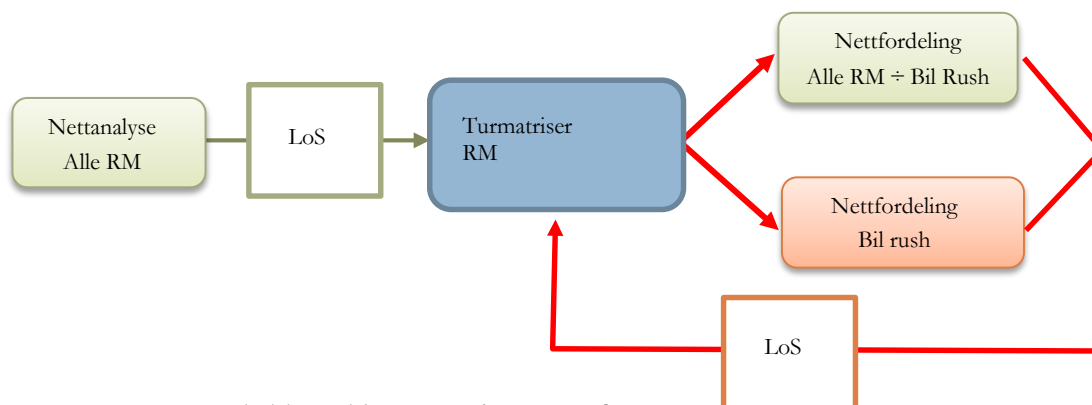
Det er benyttet ulike programverktøy for nettutlegging. RTM23+ er implementert i EMME, mens RTM er implementert i CUBE. Felles for begge er at reisetidene i nettverket oppdateres mellom hver iterasjon i nettutleggingen ved bruk av VDF-kurver. Dette gjøres kun for kapasitetsavhengig nettutlegging.

3.1.5 Iterasjoner og likevekt

Det er to typer iterasjoner som foregår, en i nettutleggingen og en mellom nettutleggingen og etterspørselsmodellen. I nettutleggingen oppdateres reisetidene i nettverket mellom hver ny nettfordeling uten at etterspørselsmatrisene endres.

Det gjøres også en iterasjonsprosess hvor resultater i form av LoS-data fra nettfordelingen (reisetid, avstand og direktekostnader) spilles tilbake til etterspørselsmodellen Tramod_by slik at forsinkelser påvirker beregning av turfordeling og reisemiddelfordeling til det oppnås en likevekt.

Beregningsgangen er vist litt forenklet i Figur 2. Beregningen starter med et kapasitetsuavhengig rutevalg som gir LoS-data til etterspørselsmodellen Tramod_by. Dersom rutevalget er kapasitetsuavhengig er det dette rutevalget som blir benyttet i nettfordelingen. Tramod_by produserer turmatriser for alle reisehensikter og reisemidler (RM). Turmatrisene for bil i rushperiodene fordeles på bilnettverket kapasitetsavhengig. Resten fordeles på sine respektive nett kapasitetsuavhengig. LoS-data fra nettutleggingen, nå med eventuelle forsinkelser fra rushperiodene, leses inn til Tramod_by for en ny beregning av turmatriser. I figuren er grønne bokser kapasitetsuavhengig, mens røde bokser er kapasitetsavhengig. De røde pilene danner en runde som utgjør en iterasjon. Beregningen går i iterasjoner et gitt antall ganger eller til vi oppnår likevekt.



Figur 2: Beregning med RTM ved kapasitetsavhengig nettutlegging.

3.2 utfordringer ved modellering av kø og forsinkelser i RTM

3.2.1 Etterspørsel

Dette delkapitlet handler mest om hvordan nettfordelingen beregnes i RTM, men siden den viktigste funksjonen til RTM er å beregne etterspørselsendringer av tiltak ved transporttilbudet, er det viktig å fokusere også på hvordan utfordringer ved modellering av kø og forsinkelser påvirker etterspørselsberegningene.

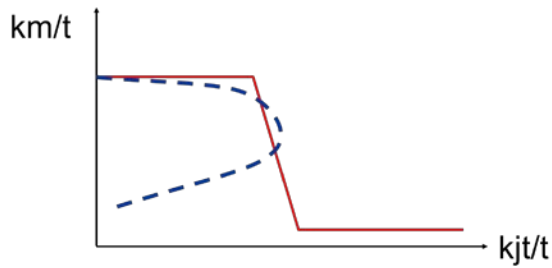
Transporttilbudet påvirker destinasjonsvalg, reisemiddelvalg og rutevalg. Hvis det er for lite kø og forsinkelser i vegnettet, vil det beregnes for mange turer til et område, og for mange bilturer. Den motsatte effekten gjelder også. Modellen kalibreres hovedsakelig mot rammetall fra RVU totalt for hele modellområdet. Modellen kan dermed gi riktig nivå på antall turer og reisemiddelfordelingen, men kan likevel ha en skjevhet i hvor bilturene går.

I kalibreringsfasen kan man selvsagt kode ned eller opp hastighetsnivået i vegnettet for å balansere slike skjevheter slik at modellering av dagens situasjon stemmer bedre mot trafikktegninger og reisetidsmålinger. utfordringen da er at beregninger av tiltak som skal gi endringer i framkommeligheten for biltrafikken ikke gir riktige utslag i modellen.

3.2.2 VDF-kurver, hvordan er de laget?

Begreper som volum-hastighetskurver, Volume Delay Function curves, Speed-Flow relation curves, eller VDF-kurver brukes om hverandre. VDF-kurvene brukes i transportmodellen til å beregne hastighet på lenkene som en funksjon av trafikkbelastningen. Figur 3 viser en skisse av denne sammenheng. Den blå stiplede linjen illustrerer virkelig sammenheng mellom trafikkbelastning og hastighet, mens den røde linjen viser hvordan VDF-kurvene i prinsippet er definert i RTM.

Når trafikkvolumet blir høyere øker risikoen for sammenbrudd, altså at hastigheten reduseres og vi får forsinkelser og kø. Situasjonen forverres med høyere trafikkvolum. Den flate delen av den røde linja til høyre i figuren, kalles halen til VDF-kurven. Her er trafikkvolumet over kapasiteten til lenka og hastigheten tilsvarer krypkjøring eller kork. Et trafikkvolum på lenkene over kapasiteten til lenka er i praksis ikke mulig, og vi forventer derfor at neste iterasjon i nettfordelingen eller etterspørselsmodellen fordeler trafikken til andre ruter, destinasjoner eller reisemiddel slik at modellen gir realistiske volum på lenkene.



Figur 3: Prinsippskisse av sammenheng mellom trafikkvolum i kjt/time og hastighet i km/time (blå=reell sammenheng, rød=modell, forenklet VDF-kurve).

VDF-kurven i figuren er definert av lineære sammenhenger, men den kan også defineres av en S-kurve hvor vi kan beregne hastigheten slik:

$$h = \frac{h_0}{1 + \alpha \left(\frac{x}{K}\right)^\beta}$$

h = hastighet [km/time]

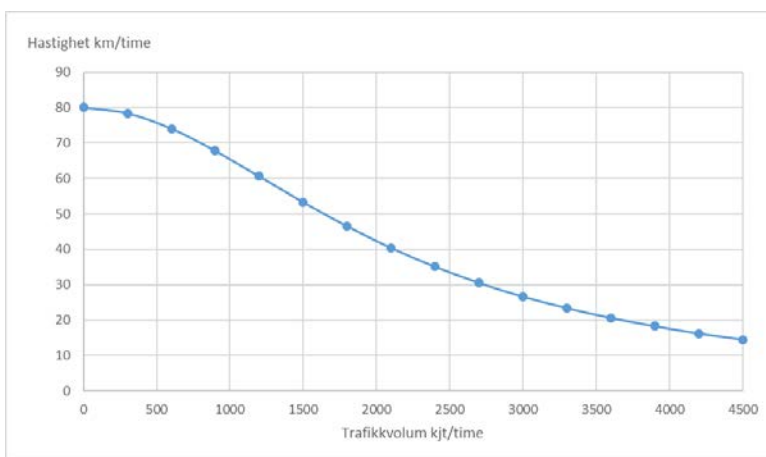
h_0 =friflythastighet [km/time]

x =trafikkvolum [kjt/time]

K =kapasitet [kjt/time]

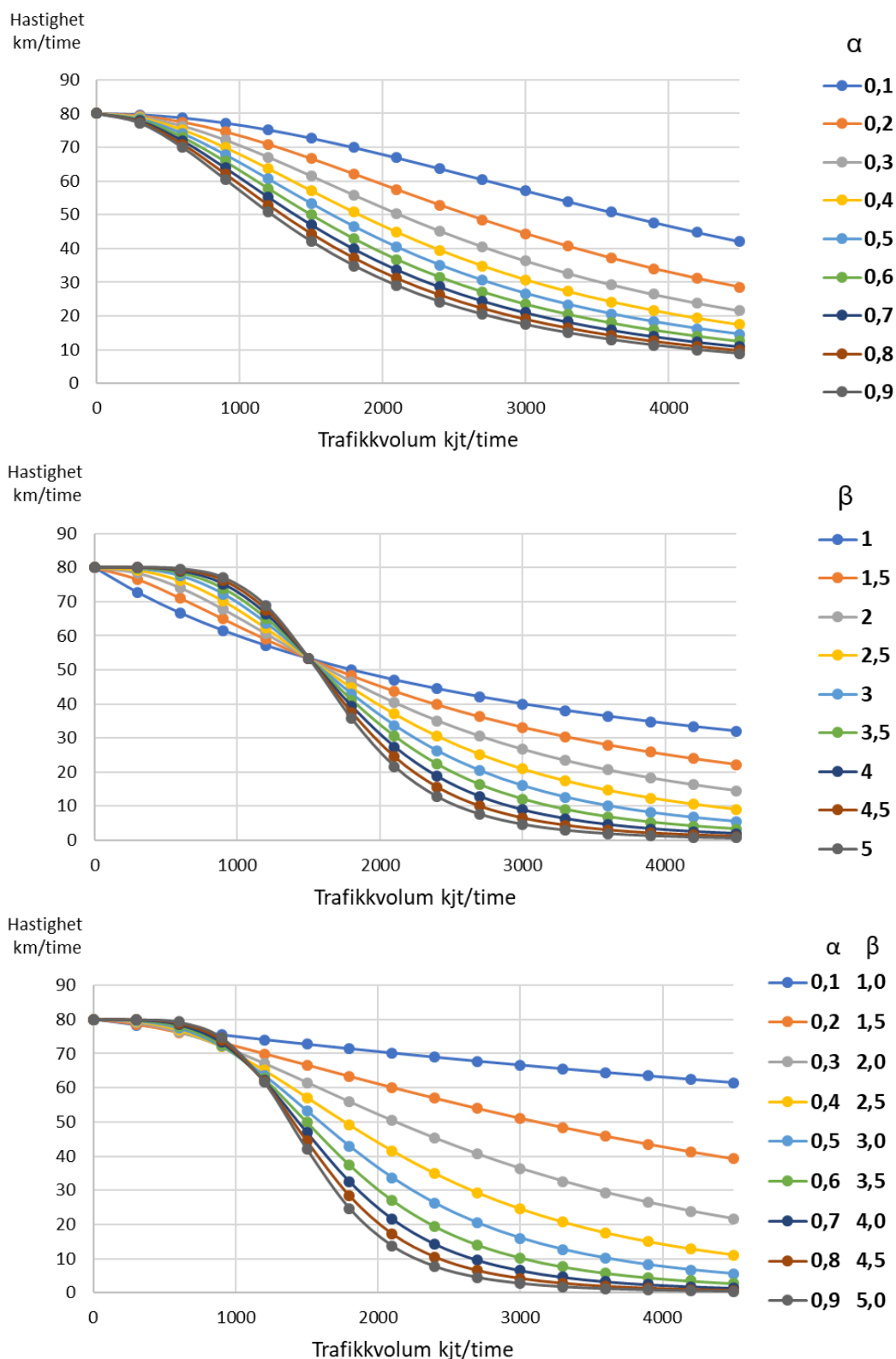
α og β er parametre

Gitt at Kapasiteten er 1500 kjt/time, friflythastigheten er 80 km/time, α og β er henholdsvis 0,5 og 2, får vi en kurve som vist i Figur 4.



Figur 4: S-kurve som viser volum-hastighetskurven.

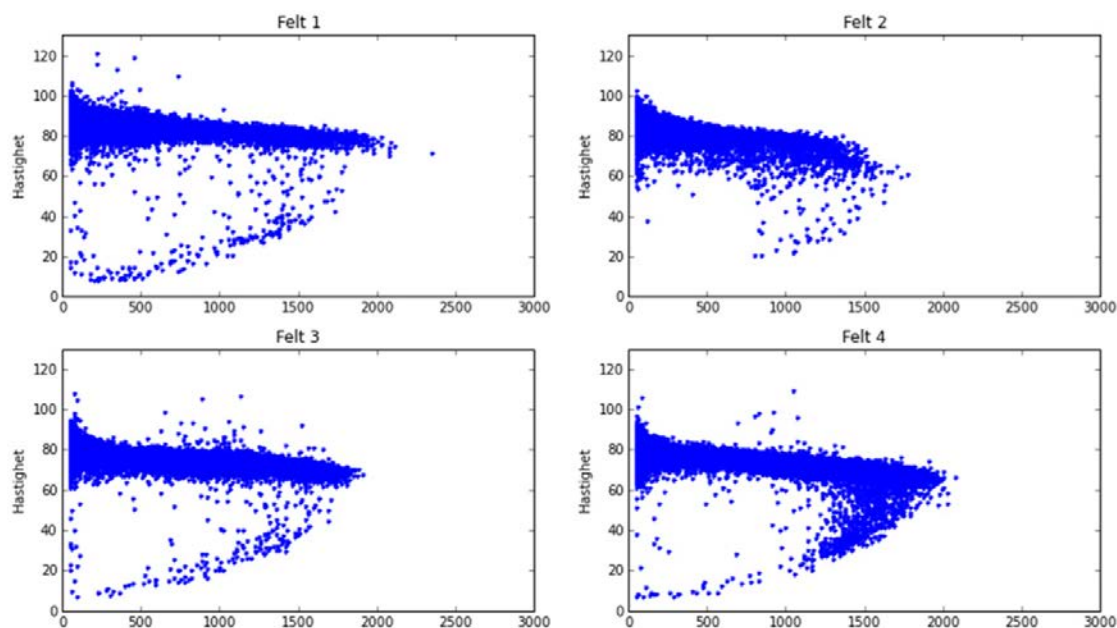
Her ser vi av kurven at trafikken kan overstige kapasiteten, men da blir hastigheten lavere. Formen på kurven avhenger av parameterne slik det er vist i Figur 5. Høyere α -verdi gir større innvirkning på hastigheten, høyere β gir større utslag på S-formen i tillegg.



Figur 5: Formen på VDF-kurvene er avhengig av parameterene α og β . Kurven øverst har $\beta = 2$, den midterste har $\alpha = 0,5$ og kurven lengst nede kombinerer α og β -verdier slik det er vist i tegnforklaringen til høyre.

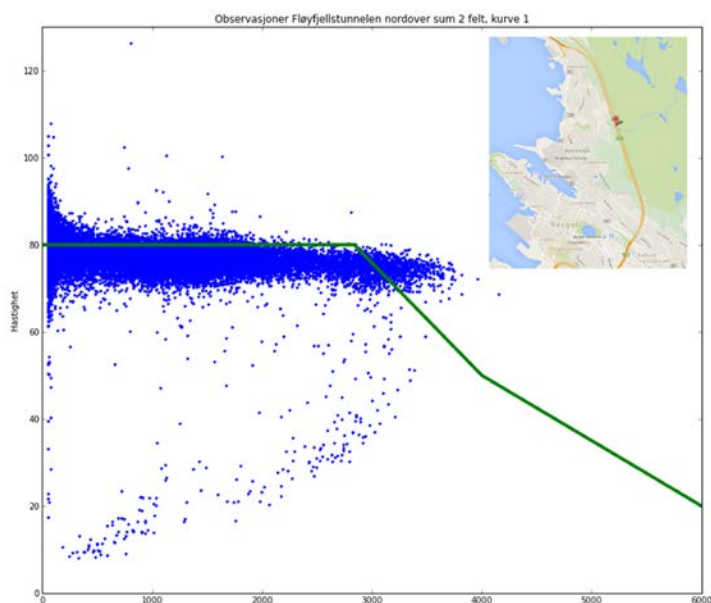
VDF-kurvene skal representere forholdet mellom volum og hastighet. Observasjoner av dette forholdet kan derimot se ut som i ut Figur 6. Her er det 5-minuttersintervallet som utgjør datapunktene. Det vi ser er at makskapasitet ligger relativt høyt, bortimot 2000 kjøretøy/time. I praksis vil slike trafikkvolum kun opptre i kortere perioder, og risikoen for

at det oppstår et sammenbrudd med etterfølgende lavere trafikkvolum og hastigheter er da relativt stor.



Figur 6: Plott av sammenhengen mellom trafikkvolum og hastighet (fra Bergen, Levin mfl., 2015).

En sammenligning av observasjoner fra Bergen (Fløyfjellstunnelen), med VDF-kurven som er benyttet for den samme vegen, er vist i Figur 7.



Figur 7: Observasjoner av sammenhengen mellom fartsnivå (på y-aksen) og trafikkvolum (på x-aksen) sammenlignet med VDF-kurven for samme veg (figur fra Levin mfl., 2015).

Utfordringen med VDF-kurvene i RTM er at de betyr mye for beregningene samtidig som de benyttede VDF-kurvene er relativt svakt begrunnet (se Tørset mfl., 2013 side 33). Vi har heller ingen garanti for at beregninger ikke ender med trafikkvolum over den faktiske kapasiteten på vegene, noe som er urealistisk. VDF-kurvene som benyttes i RTM i dag kunne derfor med fordel vært utsatt for en kritisk gjennomgang og eventuelt validert eller

oppdatert for norske forhold. For å gjøre det trengs det omfattende data om fart og trafikkvolum for ulike vegstrekninger.

3.2.3 Forsinkelser på strekninger eller kryss

Et annet spørsmål er om det er på strekninger, i kryss, eller ved kapasitetssprang det oppstår forsinkelser. Når vi benytter sammenhengen mellom volum og hastighet på lenkenivå, ligger det implisitt en forutsetning om at forsinkelser oppstår pga. interaksjon mellom trafikanter som kjører i samme retning på en strekning. Dette er riktigere for hovedvegnettet enn for trafikk i byområder.

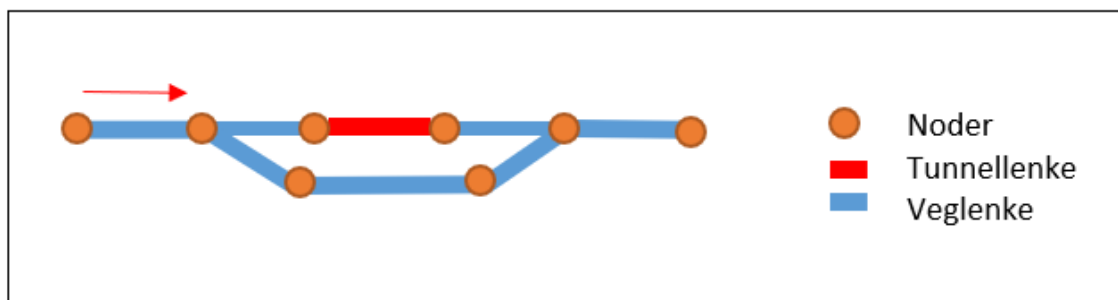
I byområder med kryss, flaskehals og andre kapasitetssprang er hastighetene i større grad styrt av reguleringen (lyskryss og vikepliktsforhold) og kryssende eller flettende trafikkstrømmer.

I RTM er kryssforsinkelser tatt hensyn til ved et fast tidstillegg for spesifikke svingebevegelser, men selv om det er ulike tidstillegg for lavtrafikk og rushtrafikk, er disse ikke avhengig av trafikkvolumet i de enkelte kryssene. Faste tidstillegg gir da ikke endringer i forsinkelser gjennom kryssområder dersom trafikkvolumet øker eller minker gjennom kryssene.

3.2.4 Vertikal kø

I og med at hastigheter beregnes for hver enkelt lenke separat, vil ikke tilkoblede lenkers hastighet påvirkes. I BYTRANS har vi beregnet virkninger av en kapasitetsreduksjon på ei lenke som skal representere tunnelen i caset Brynstunnelen. Det betyr i praksis at vi har byttet ut VDF-kurven for den aktuelle lenka. Det gir dermed lavere hastighet på lenka, og mindre trafikk fordi noe av trafikken vil finne andre destinasjoner, reisemidler eller reiseruter mer attraktive.

I virkeligheten vil køen bygge seg opp oppstrøms tunnelen. Denne lenka har imidlertid ikke lavere kapasitet, og får beregnet en høyere hastighet fordi det er blitt mindre trafikk i selve tunnelen. Køen kan i virkeligheten også bygge seg opp til lenka lengst til venstre (se Figur 8). Da vil køen hindre trafikk å ta av til høyre. I modellen vil slike framkommelighetsproblemer ikke fanges opp fordi vi beregner for enkeltlenker.



Figur 8: Skisse av et nettverk.

Denne måten å beregne forsinkelser på kan vi kalle vertikal kø, det vil si at all forsinkelse og kø beregnes på enkeltlenker til tross for at køen ikke fysisk får plass på veglenka.

Horisontal kø vil derimot si at vi tar hensyn til oppbygging av kø og tilbakeblokkeringer.

Det finnes ikke noen standard for beregning av horisontal kø, men det ville løse en del av utfordringene i forhold til hastigheter og tilbakeblokkeringer ved kø.

3.2.5 Trafikantenes vurdering av kjøring i kø

Trafikantene opplever en større ulempe ved kø sammenlignet med reisetid med mer flyt i trafikken. I verdsettingsstudien fra 2020 (Flügel mfl., 2020) er tidsverdien ved betydelig kø mye høyere enn ved fri-flyt. I dagligtale bruker vi gjerne begrep som krypkjøring eller kork om slik saktegående kø.

I transportmodellen er ikke reisetiden vektet i henhold til verdiene fra tidsverdistudien. De implisitte tidsverdiene i transportmodellene gjenspeiler preferanser til respondentene i reisevaneundersøkelsen modellene er estimerte på. RTM modellen er estimert på et landsdekkende datagrunnlag. Noe av utfordringen er at kø oppfattes ulikt i ulike deler av landet; man venner seg nok til køsituasjoner til en viss grad og det er med og påvirker hva vi oppfatter som framkommelighetsproblemer, og sannsynligvis også hvordan tidsverdien er for kjøretid i kø.

En mulighet kan kanskje være å knytte køverdier til VDF-kurver slik at man kan beregne en total reisetidsulempe inklusive køulemper. Da kreves det en kontinuerlig kurve for køulemper knyttet til trafikknivået. Selv da vil det være krevende å representere kø realistisk fordi krypkjøring i virkeligheten fører til lavere trafikkvolum, mens det i modellen er representert med lave hastigheter (halen på VDF-kurven).

4 Case Brynstunnelen – en modellmessig tilnærming

4.1 Test av transportmodellen RTM23+ for et case

En diskusjon om transportmodellenes godhet og evne til å predikere trafikale endringer er på ingen måte et nytt tema. Modellverifisering og eventuelt modellkalibrering inngår normalt i innledende fase av en modellanalyse. Formålet er som oftest å tilpasse modellgrunnlaget slik at modellen i størst mulig grad kan gjengi dagens situasjon. Med utgangspunkt i en kalibrert dagens situasjon i modellen, kan man beregne effekter av endringer av transporttilbud eller andre sentrale forutsetninger som befolkning, bilhold eller inntektsutvikling. Formålet med å dykke litt ned i transportmodellens virkemåte denne gangen er å se hvor godt modellen stemmer i forhold til å gjengi endringer for et gitt case, og denne innfallsvinkelen er ikke så vanlig i norsk sammenheng.

Osloregionen benytter en lokalvariant av RTM-modellen som kalles RTM23+. RTM23+ skiller seg fra de øvrige RTM-modellene ved at den er implementert i transportmodellprogramvaren EMME, mens CUBE er benyttet ellers. Det gjør at prosedyren for nettfordelingen er noe ulik. Oppbygningen av etterspørselsmodellen og modellstrukturen er ellers lik de andre RTM-modellene. RTM23+ forvaltes av PROSAM, som er et samarbeidsorgan for transportetatene i Osloregionen. PROSAMs modellgruppe nedlegger betydelig innsats i å dokumentere og forbedre transportmodellen benyttet i Oslo. PROSAM rapport nr. 219 (Brandal og Nerem, 2015) og nr. 223 (Nerem mfl., 2016) dokumenterer to omfattende arbeid hvor det er gjort en rekke sammenligninger mellom resultater fra RTM23+ mot ulike datakilder. PROSAM rapport nr. 223 tar også opp hvordan verifiseringsgrunnlaget bør evalueres og bearbeides. Inspirert av den sistnevnte rapporten ønsker vi i vår modelldiskusjon å rette fokus på hvordan en strategisk transportmodell, og da nærmere bestemt transportmodellen RTM23+, responderer på en kapasitetsreduksjon og hvilket datagrunnlag av det vi har hatt tilgjengelig det er relevant å benytte i en slik sammenligning. Gjennom datasamlingen i BYTRANS har vi hatt tilgang til et spekter av datakilder som følger perioden før, under og etter **kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen**. Endringer i reisemønsteret og transporttilbudet forklares gjennom analyser av spørreundersøkelser om arbeidsreisene, trafikktegninger, reisetider og endringer for godstransport og drosjer i Tennøy mfl., (2017). Dette datagrunnlaget er brukt for å undersøke hvor riktig transportmodellverktøyene responderer på kapasitetsreduksjonen på veinettet.

Modellanalyser har som oftest vært brukt til å predikere en fremtidig situasjon der vi kjenner til modellenes evne til å gjengi dagens trafikksituasjon, men det finnes flere eksempler på modellbruk der resultater fra tidligere modellanalyse har blitt evaluert etter at tiltaket er implementert. Statens vegvesen og NTNU har gjennom forskningsprogrammet Concept studert flere fergeavløsnings-prosjekter der trafikkprognoser og trafikkutviklingen etter åpningen er evaluert (Welde mfl., 2017). PROSAM har også evaluert RTM23+ sin treffsikkerhet ved å sammenligne trafikkprognosene mot faktisk trafikkutvikling på flere gjennomførte vei- og kollektivprosjekter i Osloregionen (Voldmo mfl., 2018). Funnene fra disse undersøkelsene har blant annet pekt på avvik mellom opprinnelige trafikkprognoser og faktisk utvikling, og det har ofte vist seg at sentrale forutsetninger som for eksempel

antall bosatte og arbeidsplasser har fått en annen utvikling enn det som er lagt til grunn i de opprinnelige modellanalysene.

I dette kapitlet vil vi gå nærmere inn på hvordan de strategiske transportmodellene responderer på en kapasitetsreduksjon i et belastet veinett (rushtid) som har funnet sted og diskutere modellens virkemåter opp mot dataene samlet inn i BYTRANS. Det handler om å sammenligne tellinger, målinger og resultater fra spørreundersøkelser med en trafikksituasjon som vi får fra en modellberegning. Med utgangspunkt i sammenligningen har vi formulert tre spørsmål som vi ønsker å belyse i vår modelldiskusjon:

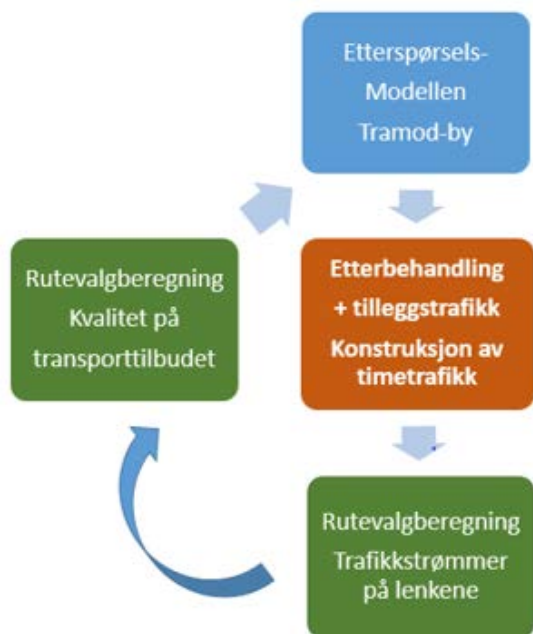
1. Hvordan blir en rushtidssituasjon i en strategisk transportmodell beregnet? Hvilken trafikksituasjon skal en rushtidstime i modellen representere? For å svare på dette har vi sett nærmere på forutsetninger bak etterspørselsmodellen og hvordan resultatene fra etterspørselsmodellen blir behandlet i rutevalgberegningen som til slutt gir et bilde av trafikkkstrømmer på veinettet i en modellberegnet rushtime.
2. Gitt av spørsmål 1, hva slags datauttak av trafikktellinger og målinger er sammenlignbart med en modellberegnet rushtidstime? Hvordan passer undersøkelsesdesignet i BYTRANS til å etterprøve resultater fra transportmodellene? Hvilken usikkerhet og presisjon kan vi forvente i en slik sammenligning?
3. Er en strategisk transportmodell et egnet verktøy for å belyse slike endringer i transportsystemet sett i lys av RTM23+s virkemåte? Hvilket forbedringspotensial finnes det?

4.2 Hvilken trafikksituasjon beregnes i en strategisk transportmodell som RTM23+?

4.2.1 Hvordan er en etterspørselsmatrisene i RTM23+ satt sammen?

Reisettespørselen, gitt av antall reiser mellom destinasjoner fordelt på ulike reisehensikter og reisemåter, beregnes med etterspørselsmodellen *Tramod_by* i RTM modellsystemet. *Tramod_by* beregner private reiser under 70 km. Øvrige reiser gis av faste matriser, og sammenhengen mellom etterspørselsmodellen, øvrige reiser og rutevalgberegningen er illustrert i **Feil! Fant ikke referanseilden..** Tilleggsmatrisene i RTM23+ består av:

- Eksterne matriser - reiser som starter eller slutter utenfor RTM23+ sitt modellområde
- Flypassasjermatriser - reiser til og fra flyplass. Disse er konstruert på bakgrunn av en egen reisevaneundersøkelse for fly, samt registreringer
- Skolematriser - Skolereiser modelleres med en egen skolemodell. Resultater fra skolemodellen legges til som faste matriser
- Godsmatriser - Representerer gods- og varetransporter i Osloområdet



Figur 9: En forenklet framstilling av beregningstrinnene i RTM23+.

Tilleggsmatrisene utgjør om lag 20 % av total biltrafikk i RTM23+. Trafikknivået og kvaliteten på disse tilleggsmatrisene har derfor betydning for nivået på totaltrafikken på veinettet. Matriser for eksterntrafikk er konstruert på bakgrunn av en modellberegning med en RTM-modell som dekker et større geografisk område enn RTM23+. Godsmatrisen har blitt forsøkt kalibrert mot trafikktellinger i enkelte prosjekter, som for eksempel i forbindelse med KVV Oslo-navet for å bedre treff mot tellinger, men uten at man har noe særlig kontroll på om trafikkmønsteret som legges til grunn er riktig. En liten andel av turene innen lette næringstransporter er sannsynligvis dekket av etterspørselsmodellen som arbeidsreiser eller tjenestereiser. I en undersøkelse av håndverks- og servicetjenestereiser i de fire største byene er det funnet at 11 % av bomplasseringene i Oslo og 16 % av alle bilreiser som starter i Oslo kommune er relatert til håndverks- og servicetjenester (Denstadli, Vågane m.fl. 2014). Til sammenligning er 2 % av turene i reisevaneundersøkelsen tjenestereiser (Hjorthol mfl., 2014). For å etablere en matrise som beskriver disse reisene trenger vi data som kan beskrive deres reisemønster. Gjennom BYTRANS har vi fått tilgang til et lite uttrekk av sendingsdata fra en av de store distributørene. Potensialet som ligger i hvordan slike sendingsdata kan benyttes til matriseetablering diskuterer vi nærmere i kapittel 6.5. Håndverks- og servicereiser vil likevel ikke inngå i et slikt data-materiale, og bør skaffes på andre måter.

4.2.2 Hvordan er rushtimene definert i RTM23+?

Selve etterspørselsmodellen Tramod_by i RTM23+ beregner to trafikksituasjoner, morgenrush og dagtrafikkperiode², som vektet opp for å representere antall korte personreiser for et normalt virkedøgn. En totalmatrise for biltrafikk fås ved å legge til faste matriser som omtalt tidligere. For å studere trafikkbetlastning på veinettet er det derimot lite hensiktsmessig å se på rutevalg på døggnivå. Det produseres derfor egne timematiser som representerer en typisk morgentime og en typisk time i dagtrafikkperioden på bakgrunn av antatte andeler av trafikken som går i de to trafikktimene. Disse andelene bygger blant annet på

² Litt forskjellig metode for å komme fram til døgnmatiser i RTM23+ enn i ordinær RTM beskrevet i kapittel 3

avreisetidspunkter for tur og returreiser fra Reisevaneundersøkelsen. Disse andelene multipliseres med utreisematriser og deres transponater (for å beskrive omfanget av returreiser) for å få en trafikkmatrise som gir en typisk morgenrushtime og en typisk dagtrafikktime. I konfigurasjonsoppsettet for en rushtimematrise for biltrafikk vist i Figur 10 er det for eksempel antatt at 46,3 % av arbeidsreiser med bil fra rushperiodene i Tramod-by skjer innenfor den beregnede rushtimen, mens 0,4 % av returen av arbeidsreiser (transponatet av arbeidsreisematrisen) skjer innenfor rushtidstimen.

```
# koder som må brukes sammen med angitte inputfiler
#      11 = legg til transponat
#      10 = ikke legg til transponat...
#      01 = bruk BARE transponat
#
# etter 11/10/01 angis en multiplikator for all etterspørsel i angitt fil

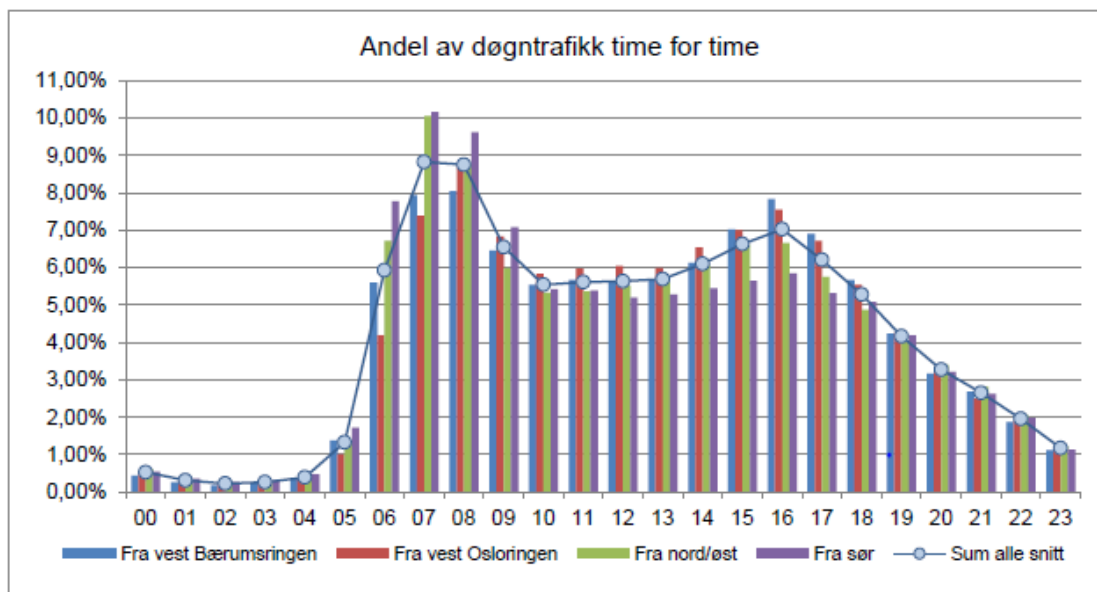
input  10      0.463  ../tramod_by/resultat/Arbeid_CD_0.txt
input  10      0.064  ../tramod_by/resultat/Fritid_CD_0.txt
input  10      0.114  ../tramod_by/resultat/HentLev_CD_0.txt
input  10      0.064  ../tramod_by/resultat/Privat_CD_0.txt
input  10      0.342  ../tramod_by/resultat/Tjeneste_CD_0.txt
input  01      0.004  ../tramod_by/resultat/Arbeid_CD_0.txt
input  01      0.002  ../tramod_by/resultat/Arbeid_CD_1.txt
input  01      0.005  ../tramod_by/resultat/Fritid_CD_0.txt
input  01      0.004  ../tramod_by/resultat/Fritid_CD_1.txt
input  01      0.019  ../tramod_by/resultat/HentLev_CD_0.txt
input  01      0.003  ../tramod_by/resultat/HentLev_CD_1.txt
input  01      0.015  ../tramod_by/resultat/Privat_CD_0.txt
input  01      0.003  ../tramod_by/resultat/Privat_CD_1.txt
input  01      0.018  ../tramod_by/resultat/Tjeneste_CD_0.txt
input  01      0.011  ../tramod_by/resultat/Tjeneste_CD_1.txt
input  10      0.275  ../tramod_by/resultat/Leg1_CD_0_.txt
input  10      0.157  ../tramod_by/resultat/Leg2_CD_a_0_.txt
input  01      0.022  ../tramod_by/resultat/Leg3_CD_0_.txt

input  10      0.160  ../../data/ekstern/CD_EKSTERN_VDT_2010.txt
input  01      0.053  ../../data/ekstern/CD_EKSTERN_VDT_2010.txt
input  10      0.072  ../../data/ekstern/CD_GODS_DOGN_2009_RTM23.txt
input  10      0.124  ../../data/ekstern/CD_FLYPASS_VDT_2010.txt
input  01      0.124  ../../data/ekstern/CD_FLYPASS_VDT_2010.txt

input  01      0.055  ../../data/skolereiser/rtm23-univ-bil_oa.txt
input  01      0.055  ../../data/skolereiser/rtm23-univ-bil_rand.txt
```

Figur 10 Konfigurasjonsoppsett for å konstruere en bilmatrise for en rushtime i RTM23+.

Andelene for å konstruere timematriser er felles og faste for hele modellområdet og har direkte betydning for størrelsen på timetrafikken. Trafikktellinger for bil og kollektivtellingene viser at trafikkmengden bygger seg opp mot en topp rundt 7-8 tiden om morgenen. Trafikktellinger fra bomringen i Oslo viser imidlertid at rushtidstoppene kommer på ulike tidspunkter for de tre innfartskorridorene. Dette er dokumentert i PROSAM-rapport 219 (Brandal og Nerem, 2015), og vist i Figur 11.



Figur 11: Andel av døgnetrafikk over bomringen i Oslo og Bærum fordelt på korridorer. Andeler er basert på et datauttak for fire onsdager i september og oktober 2011 og 2012. Kilde: PROSAM rapport nr. 219. Figur 66.

Rushtidsforløpet over bomsnittet nordøst og sør er spissere, mens trafikken fra vest har en jevnere topp og trafikkbelastningen er mer fordelt gjennom dagen. Forutsetningen i RTM23+ om felles rushtidsandeler for hele modellområdet gjør at man ikke har mulighet til å gi ulike andeler avhengig av område eller korridor.

Endring av reisetidspunkt er blant tilpasninger som respondentene fra arbeidsreiseundersøkelsen har oppgitt under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen (Tennøy mfl., 2017). Man kunne tenke seg at data om avreisetidspunkt fra spørreundersøkelsen i BYTRANS kan gi et bedre estimat på andeler av reiser i rush. Denne informasjonen lar seg likevel i liten grad bruke til å tilpasse rushtidsandeler til RTM23+. RTM23+ beskriver en typisk rushtidstime hvor rushperioden strekker seg mellom kl. 0600-0900, så en endring i avreisetidspunkt innenfor dette tidsrommet vil ikke påvirke andeler i RTM23+. Spørreundersøkelsen dekker i tillegg kun tilpasninger blant arbeidsreiser og utvalget er begrenset til bedrifter i Oslo. Antall bilførere i før-undersøkelsen er 146, mens det var 102 bilførere i underveis-undersøkelse. Utvalget anses derfor å være for lite til å bruke som et grunnlag for å revidere rushtidsandeler for RTM23+.

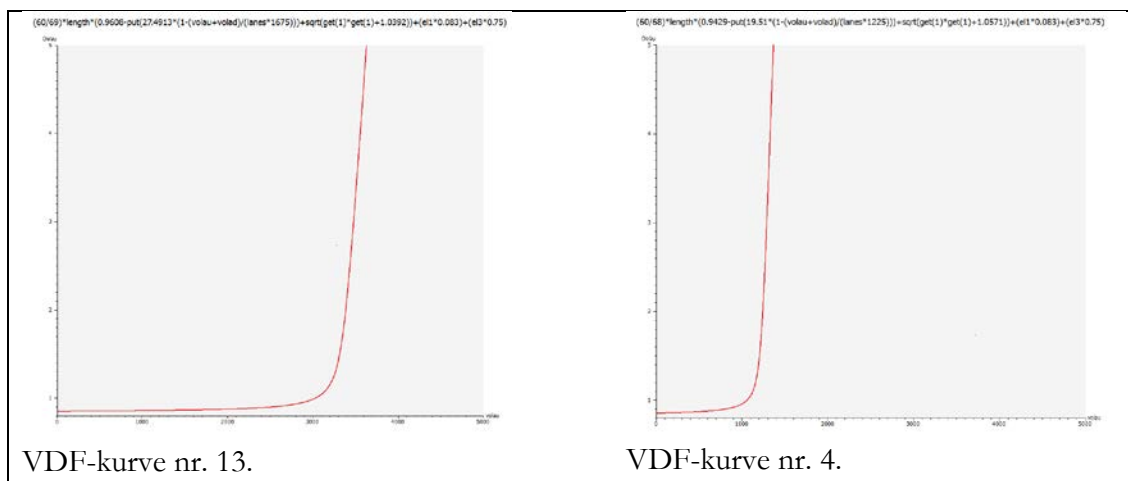
I utgangspunktet beregner RTM23+ antall reiser i løpet av en normal virkedag (NVD/T). I utregning av NVD/T inngår kun yrkesdøgn (mandag- fredag) utenom ferie. Hele juli, helligdager, samt hele påskeuken og romjulen er ekskludert. Trafikktellinger rapporteres ofte som årsdøgnetrafikk (ÅDT) der alle dager i løpet av året inngår i utregningen. Ifølge PROSAM rapport nr. 223 viser en analyse av bomplasseringer over Osloringen og bygrensesnittet at forholdet mellom ÅDT og NVD/T varierer mellom vest-, sør- og nordøstkorridoren i Oslo, men det anbefales å bruke et forholdstall på 0,87 ved omregning fra NVD/T til ÅDT. Dette er altså et annet eksempel på en parameter som i virkeligheten varierer relativt mye, men hvor man i RTM23+ bruker én parameter for hele modellområdet.

4.3 Kapasitetsreduksjon med RTM23+, referanse og tiltaks-scenariene

I dette delkapitlet er resultater fra beregninger med RTM23+ dokumentert og sammenlignet med data samlet inn i BYTRANS-prosjektet. Tiltaksscenariet skal representere en situasjon i Brynstunnelen, hvor hovedendringen besto av kapasitetsreduksjon hvor to av de fire feltene gjennom vegtunnelen ble stengt midlertidig.

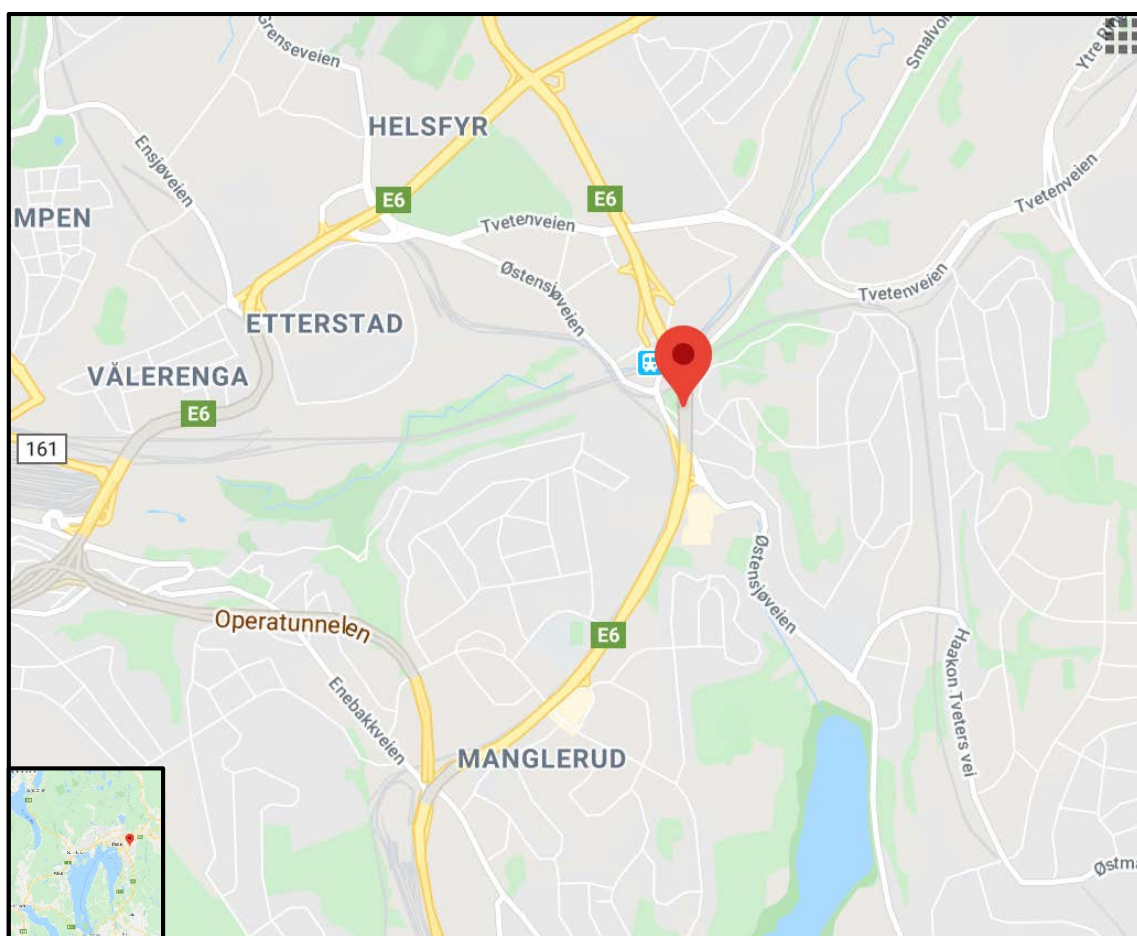
Kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen varte fra uke 8 i 2016 til slutten av uke 17 i 2017. Foruten endring på veinettet var det også endring i T-banetilbudet i samme perioden. Østensjøbanen mellom Hellerud og Mortensrud var stengt på grunn av oppgradering av stasjoner og banenettet fra april 2015 til april 2016 (strekningen Hellerud-Bøler ble gjenåpnet januar 2016) var erstattet av et busstilbud. Østensjøbanen var betjent med 15 minutters frekvens før stengingen. Under stengingen av Østensjøbanen ble tilbudet erstattet med buss med 5 minutters frekvens i rush og 7/8 minutter utenom rush. Etter gjenåpningen av Østensjøbanen i april 2016 ble antall avganger økt til 8 ganger per time³. April 2016 ble også Lørenbanen åpnet, og hele T-banetilbudet ble dermed omstrukturert. Vi har i hovedsak brukt to modellberegninger for å beregne effekten av kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen:

1. Trafikksituasjon før kapasitetsreduksjonen (**Ref2014**): Referansescenario 2014
2. Trafikksituasjon under kapasitetsreduksjonen (**Bryn2014**): Referansescenario 2014 + kapasitetsreduksjon på lenkene som representerer Brynstunnelen. Plasseringen av Brynstunnelen er vist på kartet i Figur 13. På den markerte strekningen endres antall felt fra to til ett i hver retning i nettverket. I transportmodellen betyr det å bytte VDF-funksjon på veglenkene. I Brynstunnelen er VDF funksjon nr. 13 byttet ut med VDF funksjon nr. 4. VDF funksjon nr. 4 gjelder for motorvei med ett kjørefelt hver retning med utgangshastighet på 55 km/t. VDF-kurvene er nærmere beskrevet i PROSAM-rapport nr. 144 (Hamre, 2007).



Figur 12: VDF-kurver hhv før og etter kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen. Volum (kjt/ time) på x-aksen og forsinkelse på y-aksen.

³ TØI rapport 1455/2015 Pilotundersøkelse Smestad tunnelen og stenging av Østensjøbanen.



Figur 13: Kart over området (Google Maps). Brynstunnelen markert.

Trafikkendringene vi er interessert i å studere fant sted i perioden 2016-2017, men vi har valgt å bruke referanseår 2014 i disse beregningene. Det begrunnes med at det finnes et komplett inndatsett for RTM23+ for 2014 og det er ressurskrevende å få fram et nytt inndatsett. I tillegg har trafikkutviklingen i Oslo målt over bomringen vist seg å være tilnærmet uendret 2013-2017, mens befolkningstallet i Oslo har økt med nesten 7 % i samme periode⁴. En modellberegning med befolkningsdata som ligger 7 % over 2014-nivået vil antakeligvis gi en trafikkøkning på ca 7 % dersom all annen inndata holdes lik som 2014. I og med at vi er mest interessert i å studere effekten av kapasitetsreduksjonen på Brynstunnelen isolert sett anses det som en akseptabel forenkling å bruke befolkningsdata og sonedata for 2014.

Vi har valgt å beholde T-banetilbudet på Østensjøbanen med 15 minutters frekvens i referansesituasjonen, selv om det store deler av året 2015 var buss for bane. Også dette er begrunnet med at det er effekten av kapasitetsreduksjonen vi er på jakt etter. Erstatnings-tilbudet med buss er dessuten så pass høyfrekvent at det ikke nødvendigvis fremstår som et dårligere tilbud i transportmodellen. I scenariet «Bryn2014» har vi derimot kodet det nye T-banetilbudet som gjaldt fra april 2016 som inkluderer åpning av Lørensvingen og frekvensøkning på Østensjøbanen. Øvrige inndata er ellers like i begge scenariene.

⁴ Oslo kommunes befolkningsstatistikk: <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/statistikk/befolkning/folkemengde-og-endringer/#gref>

For at modellberegningene skal kunne sammenlignes med trafikkteilingene er vi avhengig av å beregne trafikkbelastning på lenkenivå. Trafikkbelastningen i RTM23+ er et resultat av en rutevalgberegning med transportmodellprogrammet EMME, med trafikkmatriser for en typisk morgenrushtime og en trafikkmatrise for et normalvirkedøgn. Resultatet av nettutleggingen er avhengig av rutevalgalgoritmen som er anvendt og utforming av volum- og hastighetsfunksjoner. I RTM23+ er det tilrettelagt egne volum- og hastighetsfunksjoner for en rushtime og et funksjonssett for nettutlegging av døgnmatrise. Disse forutsetningene bak modellberegningene vil vi drøfte i påfølgende sammenligninger av resultatene mot trafikkteilinger og andre observasjoner.

4.4 Data fra BYTRANS til modellverifisering

En rekke datakilder har vært innhentet for å belyse endringer i transportsystemet forårsaket av kapasitetsreduksjoner i tunneler. Ikke alle datakildene lar seg bruke direkte til sammenligning med transportmodellberegninger. I vår modelldiskusjon fokuserer vi på hvordan strategiske transportmodeller håndterer en kapasitetsreduksjon på veinettet og har derfor først og fremst konsentrert oss om datakilder som beskriver endringer for *biltrafikk*.

4.4.1 Trafikkteilingene i BYTRANS

Et sett med tellepunkter (vist i Tabell 1 og Figur 14) ble valgt ut til å følge trafikkutviklingen gjennom undersøkelsesperioden. TØI har mottatt rådatafiler på enten passeringsdata (enkeltkjøretøy) eller timedata for disse tellepunktene for hele undersøkelsesperioden. En databaseløsning ble etablert hos TØI for å håndtere og analysere trafikkdata⁵. På grunn av brudd i enkelte dataserier har det likevel ikke vært mulig å få fullstendig oversikt over trafikkutviklingen over alle tellepunktene under hele undersøkelsesperioden.

⁵ Database for trafikkdata hos TØI har et WEB-basert brukergrensesnitt: www.tellepunkt.info

Tabell 1: Oversikt over tellepunkter for biltrafikk som ble brukt i analysene av case Brynstunnelen (Tennøy mfl., 2017).

Nr.	Tellepunktnavn	Tellepunkt nr.	Eier	Nr.	Tellepunktnavn	Tellepunkt nr.	Eier
1	E6 Manglerud	300001	SVRØ	15	Hellerudveien	300350	BYM
2	E18 Kongshavn	300018 300141	SVRØ	16	General Ruges vei	305870	BYM
3	E18 Bjørvikatunnelen	300029	SVRØ	17	Ensjøveien	306540	BYM
4	E6 Helsfyr	300030	SVRØ	18	Ring 2 Marienlyst	306578	BYM
5	E6 Skullerud	300039	SVRØ	19	Enebakkveien	306630	BYM
6	Ring 3 Smestad brannstasjon	300083	SVRØ	20	Lambertseterveien	306632	BYM
7	Rv 163 Grorud stasjon	300086	SVRØ	21	Plogveien	306633	BYM
8	E6 Svartdalstunnelen	300098	SVRØ	22	Tvetenveien v/Haugerud	306634	BYM
9	Ring 3 Tåsentunnelen	300099	SVRØ	23	Vekerveien	306635	BYM
10	E6 Bryn	300142	SVRØ	24	Østensjøveien v/Brynseng	306635	BYM
12	E6 Lodalen	300159	SVRØ	25	Rv 23 Oslofjordtunnelen	200244	SVRØ
13	Rv 150 Hovin	300165	SVRØ	26	E18 Ramstadsletta	200804	SVRØ
14	Rv 4 Ammerud	300231	SVRØ	27	E16 Brovoll	209570	SVRØ



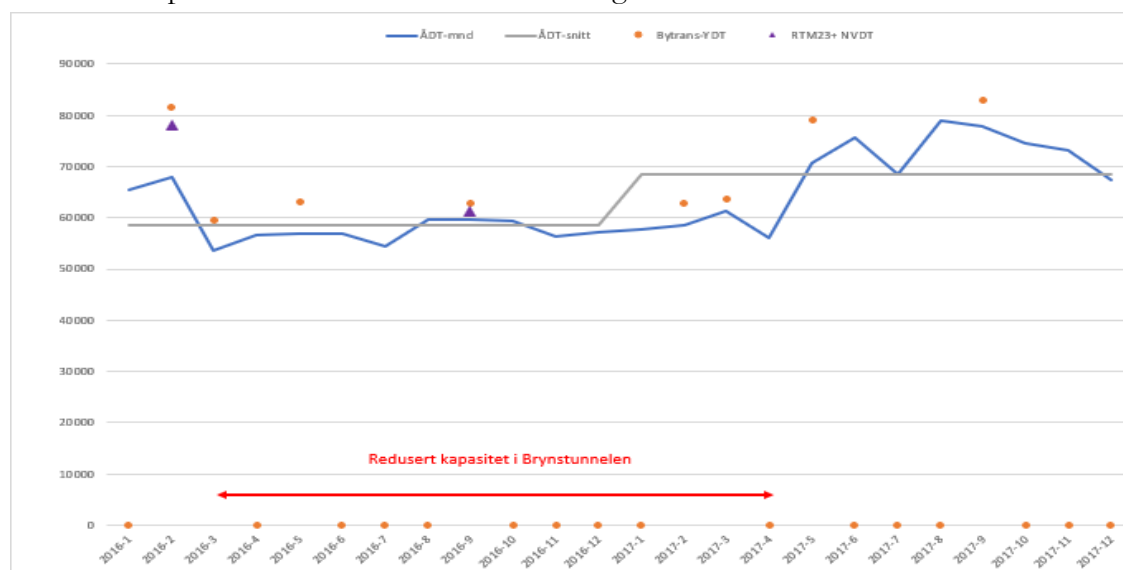
Figur 14: Kartfesting av tellepunktene for biltrafikk. Tellepunkter på statlige veier er markert med rødt, mens kommunale tellepunkter er vist i grønn farge (Tennøy mfl., 2017)

Undersøkellesdesignet i BYTRANS er lagt opp til å sammenligne faste uker, vist i tabell 2, for å følge trafikktvillingen over tid. Ukeparene som gjelder perioden med kapasitetsreduksjonen er markert med rødt i tabellen. For hvert ukepar rapporteres en gjennomsnittlig trafikkmengde for 10 virkedager. Begrunnelsen for å sammenligne samme ukepar fra år til år er å ta hensyn til sesongvariasjonene i trafikldata i løpet av året. Ukeparene fra 2015-2017 er brukt videre i vår modelldiskusjon, der vi sammenligner hvordan endringene observert i trafikktellingene stemmer overens med endringene beregnet med RTM23+. I motsetning til fra trafikktellingene, hvor man har gjennomsnittlig trafikktall fra flere ukepar som reflekterer trafikkmengde både før, under og etter kapasitetsreduksjonen, har vi fra modellberegningene kun resultatet fra et referansescenario og et tiltaksscenario som skal si noe generelt om trafikforholdene under kapasitetsreduksjonen. Det leder oss til spørsmålet til om trafikktelling, slik de er brukt til rapportering i BYTRANS, er relevant å sammenligne med modellresultatene? Vi vil synliggjøre dette spørsmålet med ulike framstillinger av trafikktall i figur 6.

Tabell 2: Rapporteringsuker (ukenummer) under hele undersøkelsesperioden for BYTRANS. Uker der kapasiteten i Brynstunnelen er redusert er markert med rødt.

2014	2015	2016	2017	2018
5+6	5+6	5+6	5+6	5+6
9+10	9+10	9+10	9+10	9+10
19+21	19+21	19+21	19+22	17+22
38+39	38+39	38+39	38+39	38+39

I figur 17 har vi sammenstilt trafikldata fra 2016 og 2017 for tellepunkt 300001 E6 Manglerud. Den blå grafen viser gjennomsnittlig døgntrafikk per måned. Gjennomsnittlig virkedøgnstall fra BYTRANS-ukeparene er plottet inn som oransje punkter. Den grå grafen i bakgrunnen viser gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (ÅDT) for 2016 og 2017. Merk at gjennomsnittlig månedstrafikk og årsdøgntrafikk inneholder *alle* dager inkludert helger og helligdager. Gjennomsnittlig normalvirkedøgntrafikk fra referanse- og tiltaksscenario fra RTM23+ er plottet inn som fiolette trekantene i figuren.



Figur 15: Sammenstilling av ulike uttak av trafikldata for tellepunkt 300001 E6 Manglerud og beregnet trafikkvolum på lenka med RTM23+ for hver måned i 2016 og 2017. Gjennomsnittlig månedstrafikk (blå), gjennomsnittlig virkedøgntrafikk for BYTRANS ukeparene (oransje), gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (grå) og beregnet trafikkvolum fra RTM23+ for før og etter kapasitetsreduksjon på Brynstunnelen (fiolette trekantene).

Den blå grafen og de oransje punktene fra BYTRANS-tellingene illustrerer hvordan trafikkvolumet sank umiddelbart etter kapasitetsreduksjonen. Trafikknivået tok seg litt opp igjen og svingte gjennom perioden med kapasitetsreduksjonen. Trafikken økte markant igjen etter gjenåpningen, selv om nivået varierer fra måned til måned.

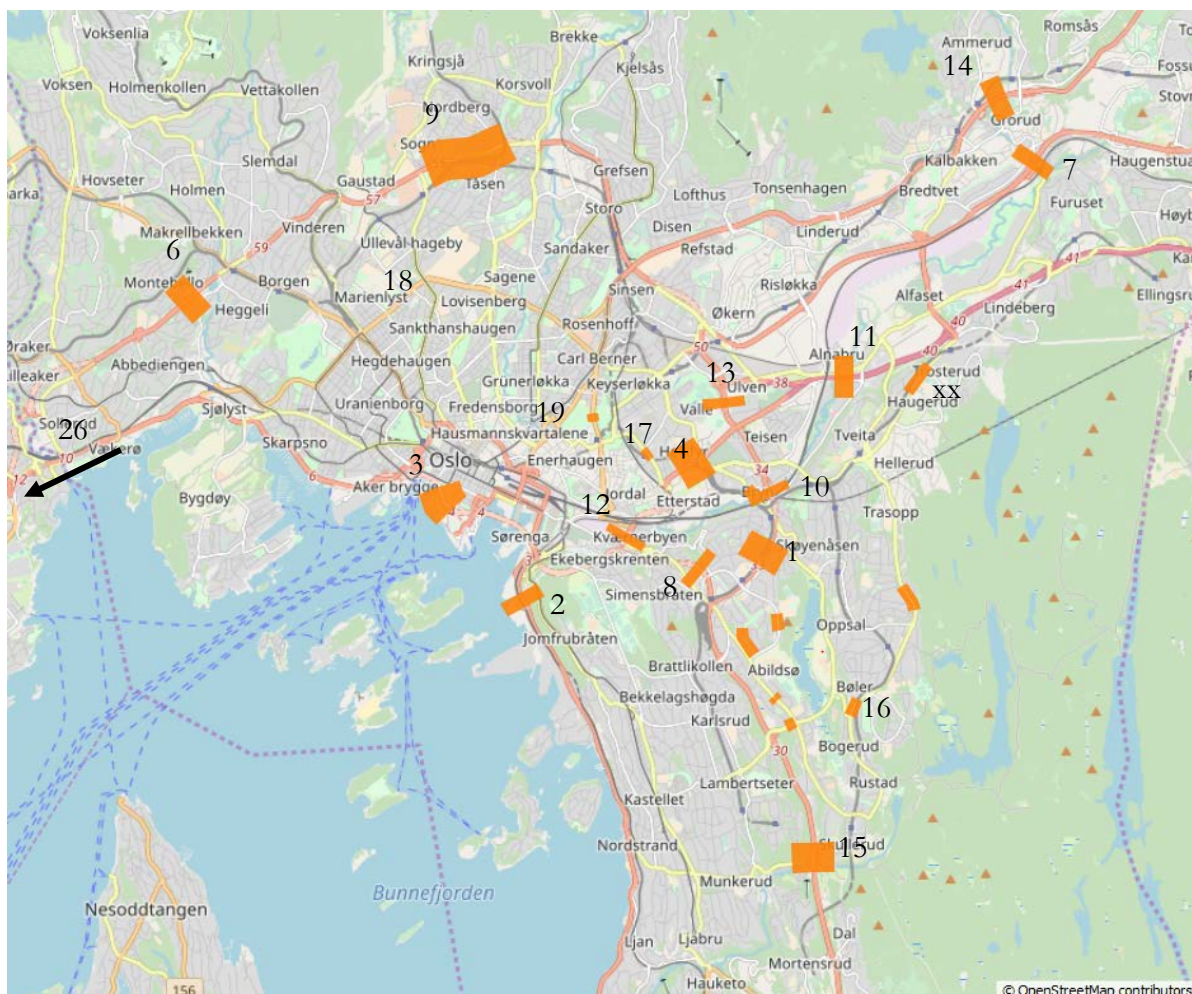
Beregnet trafikkvolum fra RTM23+ skal si noe om én gjennomsnittlig trafikksituasjon ut ifra gitte forutsetninger. Det er ofte forbundet med en del bearbeiding av rådata av trafikkdata for å ta fram et datagrunnlag som er egnet til modellverifisering. Mangel på tilrettelagte automatiske uttrekk av trafikkdata fører til at datagrunnlaget ofte er basert på rådata for et begrenset antall dager. Hvilken tidsperiode trafikkdatagrunnlaget er hentet fra og lengden på tidsperioden kan ha betydning for nivået på gjennomsnittet som sammenlignes med beregnet trafikk. Variasjonen i trafikkvolumet taler også for at man bør ha en realistisk forventning til hvor godt transportmodeller skal kunne treffe på enkelte tellepunkter.

De oransje prikkene som representerer yrkesdøgntrafikk gir det høyeste anslaget på trafikkmengdene, og det er forventet ut fra normal ukesvariasjon (helgetrafikken ligger lavere enn hverdagstrafikken). Transportmodellen beregner et årsgjennomsnitt som ligger lavere enn nivået for yrkesdøgn (BYTRANS) men høyere enn tellingene før og etter kapasitetsreduksjonen, skjønt tellingene måned for måned varierer en del. Alt i alt ligger resultatene fra transportmodellene rimelig nært opp til registrerte tall for det aktuelle snittet.

4.4.2 Trafikkvolum i et belastet veinettet – modell vs. realitet

Det er foretatt en sammenligning mellom beregnet trafikk og et gjennomsnitt av BYTRANS-tellingene for rushtime for henholdsvis før, under og etter kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Beregnet trafikk i referansescenariet er brukt for å sammenligne med trafikktegninger både fra før kapasitetsreduksjonen og tellinger fra etter gjenåpningen av feltene som var midlertidig stengt. Plasseringen av tellepunktene er vist i Figur 16⁶.

⁶ Figuren viser lenker der det er tellinger, og de har en lengde som er kodet, derfor har merkene en viss utstrekning uten at det betyr noe for størrelsen på trafikken.



Figur 16: Plassering av tellepunkter benyttet i sammenligningen. Tallene samsvarer med nummereringen i Figur 14 og er oppgitt i Tabell 3.

Tabell 3: Gjennomsnittlig antall kjøretøy per time sum begge retninger for morgenrusket (kl. 07-09). Prosentvis avvik modellberegnet trafikk i forhold til tellingene i de tre grå kolonnene til høyre.

Sted	Veg	Trafikk Før Bryn	Trafikk Under Bryn	Trafikk Etter Bryn	Diff_M Før Bryn	Diff_M Under Bryn	Diff_M Etter Bryn
Ensjøveien (17)	K	900	710	820	-14 %	-52 %	-27 %
Ring 2 v/Vøyenbrua (19)	K	1510	1550	1560	-8 %	-16 %	-16 %
Finnmarksgata (18)	K	470	530	510	6 %	8 %	0 %
Hellerudveien (10)	K	710	680	700	47 %	15 %	20 %
General Ruges vei (16)	K	770	830	710	46 %	29 %	53 %
Tvetenveien ved Haugerud (8)	K	1010	1090	1020	-8 %	-6 %	-6 %
E6 Manglerud (1)	E	5930	3760	5630	19 %	9 %	16 %
E18 Bjørvikatunnelen (3)	E	7020	6510	6860	24 %	13 %	17 %
E6 Helsfyr (4)	E	6350	6700	5850	-14 %	-17 %	-7 %
E6 Skullerud (5)	E	4970	4570	5180	31 %	19 %	18 %
E6 Svartdalstunnelen (8)	E	2490	2720	2390	27 %	16 %	24 %
Rv 150 Tåsentunnelen (9)	R	5010	5010	5150	21 %	19 %	20 %
E18 Kongshavn (2)	E	2150	2170	2140	-36 %	-58 %	-36 %
Rv 150 Hovin (26)	R	6990	5290	6550	-23 %	0 %	-22 %

Beregnet trafikk ved tellepunktet for E6 Manglerud, som er hovedtellepunktet for Brynscaset, har relativt godt samsvar med tellingene. For de øvrige statlige tellepunktene (E og R) ser vi at RTM23+ modellen gir for mye trafikk på E6 Skullerud, E18 Bjørvikatunnelen og Svartdalstunnelen, mens beregnet trafikk er for lavt på E6 ved Helsfyr. Beregnet trafikknivå tenderer til å ligge for høyt i rushtimen blant de statlige tellepunktene. Generelt er det noe dårligere samsvar i rushtimen for de kommunale tellepunktene der avvikene går litt i begge retninger, og selv om modellen treffer godt på enkelte av de kommunale vegene.

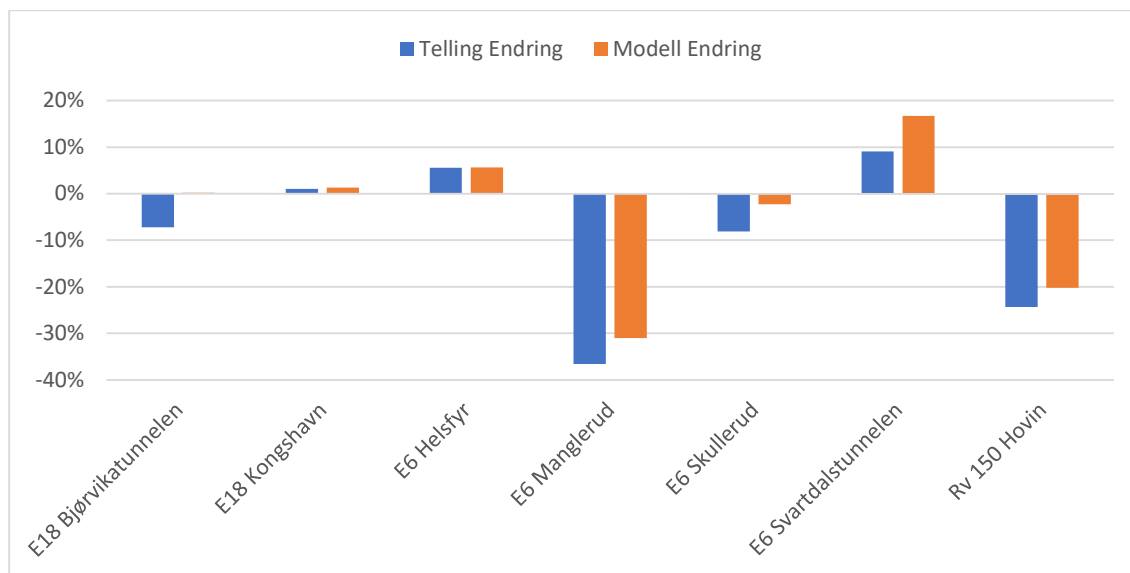
Det er en rekke forhold som påvirker resultatene på lenkene:

- Usikkerhet knyttet til beregnet reise-mønster i modellen. Selv om modellen er kalibrert mot et totalt nivå fordelt på reisehensikter og reise-middelfordeling, kan skjevheter i fordeling av turer mellom ulike områder og fordeling på reisemidler gi betydelige skjevheter.
- Usikkerhet rundt sammensetning av trafikkmatriksen for rush og døgn ref. avsnitt 4.2.1 om tilleggstrafikk.
- Omfang av trafikk som ikke telles med, for eksempel lett næringstrafikk og service-trafikk omtalt i avsnitt 4.2.1.
- Trafikkbelastning på lenkene i rush er et resultat av VDF-funksjonenes evne til å representere køsituasjonen.
- Transportmodellens rutevalg sammenfaller ikke alltid med bilistenes rutevalg. Dersom tellepunktene i sammenligningen utgjorde et «tett» snitt kunne man sammenlignet summen av trafikkmengde over snittet fra trafikktellingene og modellen og sett bort fra eventuelle rutevalgforskjeller.
- Kalibreringsmålet for RTM23+ har vært å oppnå tilfredsstillende treff på *korridor-nivå* over bomringen og bygrensesnittet. Det vil si en sammenligning av *summen* av henholdsvis beregnet og telt trafikk over tre tette snitt. De tre snittene er nordøst, sør og vest (PROSAM rapport nr. 219). Ved sammenligning på enkeltlenker kan derfor avvikene være betydelige. Bedre treff på utvalgte punkter kan imidlertid oppnås ved målrettet kalibrering av rutevalget i modellen, et arbeid som kan være nokså krevende.

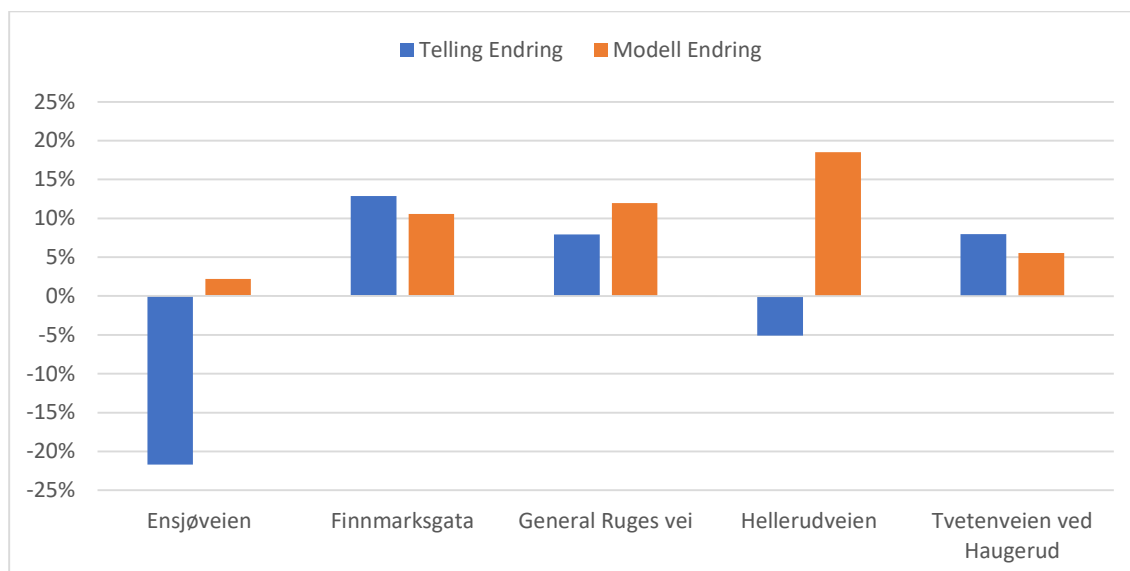
På enkelte tellepunkter treffer RTM23+ svært dårlig på prosentvis avvik, spesielt på kommunale veier med forholdsvis lavt trafikkvolum, men store avvik forekommer også på større kommunale veier og riksveier. RTM23+ er i utgangspunktet ikke ment for å kunne gi presise estimater på en hvilken som helst lenke på veinettet, men bør være mer treffsikker på samlet trafikk over tette snitt. Det innebærer at trafikkvolumene fra modellberegning og tellinger for alle veier som krysser et geografisk definert snitt blir summert og sammenlignet. Tette snitt over bygrensen og bomringen har vært anvendt til sammenligning og grunnlag for justering av modellen. Det er ikke overraskende at RTM23+ gir avvikende trafikktall på enkeltlenker. Det som er interessant i vår modelldiskusjon er å undersøke hvilken del av modellsystemet som kan gi opphav til avvik og peke på potensialer for forbedringer.

Et annet, om ikke viktigere, spørsmål er om RTM23+ klarer å gjenskape de endringene som vi har funnet i tellingene knyttet til kapasitetsreduksjonen. I Figur 17 (Europa- og riksveier) og Figur 18 (kommunale veier) sammenligner vi prosentvis endring før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen med endring i trafikkmengde beregnet med RTM23+ for morgenrushet. Av Figur 17 kan vi se at RTM23+ gjengir endringer i «riktig retning» på de statlige veiene, men tenderer mot å gi mindre effekt enn det som er funnet i

tellingene. Unntaket er E18 Svartdalstunnelen. Ruten gjennom Svartdalstunnelen er tydeligvis et overløp i RTM23+ for trafikken som skulle ha brukt Brynstunnelen. Trafikktellingene på den kommunale Hellerudveien viser at trafikkmengden tilsynelatende går ned under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Ser man nærmere på gjennomsnittlig trafikkmengde på ukeparene viser det seg at det særlig er to ukepar som har lav trafikkmengde og drar snittet ned, mens trafikknivået for de tre andre ukeparene er høyere enn før kapasitetsreduksjonen. Nedgangen i trafikkmengde på Hellerudveien er derfor ikke entydig.



Figur 17: Prosentvis endring mellom før- og under kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen for et utvalg av Europa- og riksveier for en morgenrushtime. Blå = endring i trafikktellingene. Oransje = endring i modellberegnet trafikk på lenke.



Figur 18: Prosentvis endring mellom før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen for et utvalg av kommunale veier. Blå = endring i trafikktellingene. Oransje = endring i modellberegnet trafikk på lenke.

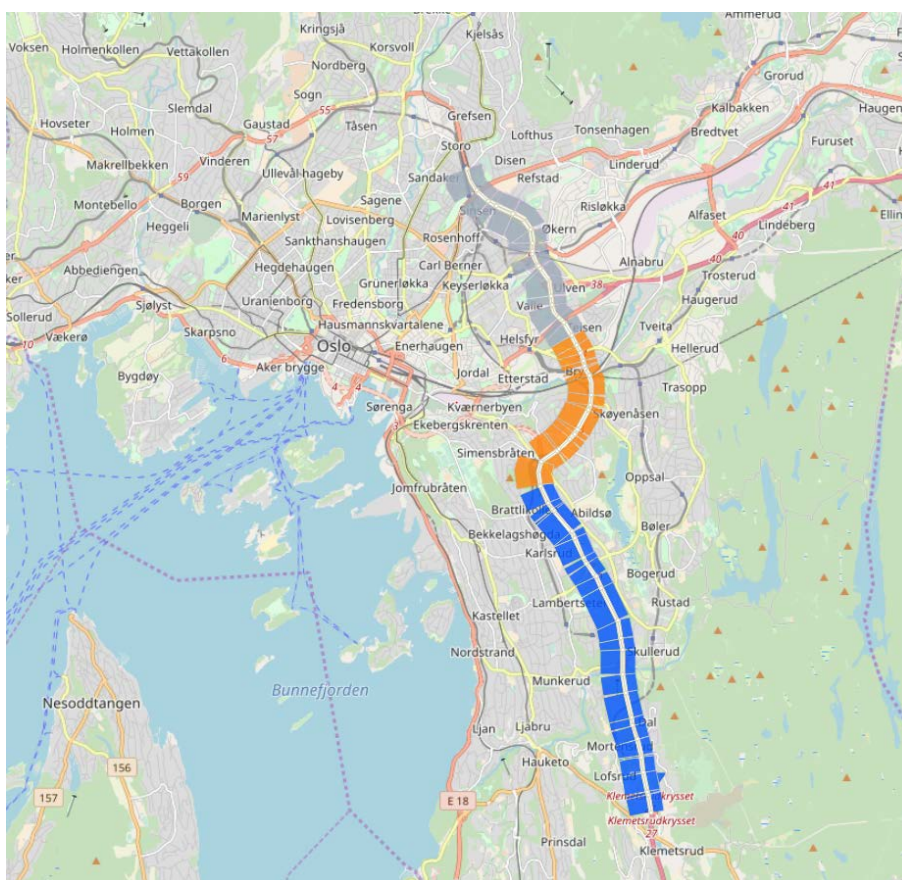
4.4.3 Trafikktellinger fra bomringen

For hele bomsnittet i Oslo sett under ett samsvarer trafikknivået i RTM23+ med tellinger fra bomringen. For bomsnittet i sør ligger trafikknivået i RTM23+ om lag 6 % lavere enn trafikktellingene. Summert over alle bomstasjonene på sørkorridoren gikk trafikken ned 1,2 % fra 2015 til 2016, og ytterligere ned med 1 % fra 2016 til 2017. Biltrafikken over bomstasjonene i sør viser en svak nedgang. Den svake nedgangen i tellinger fra bomstasjonen kan dog ikke direkte relateres til kapasitets-reduksjonen i Brynstunnelen.

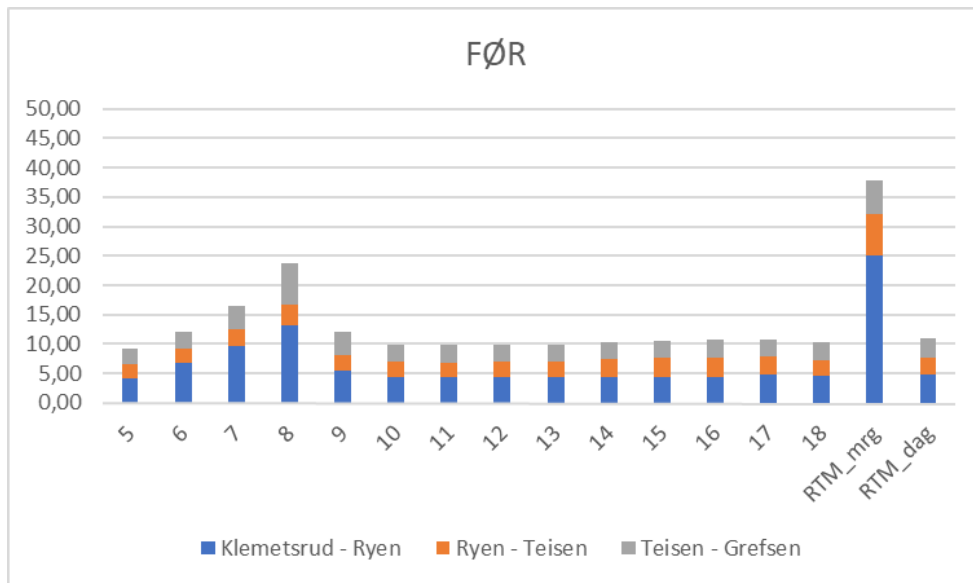
4.4.4 Reisetid i et belastet veinett – modell vs. realitet

Reisetider i transportmodellene påvirker beregning av reiseetterspørselen. Det er derfor et mål at transportmodellen skal gjengi reisetider på nivå med hva vi finner i registreringene. Beregning av reisetider i køsituasjoner benytter sammenhengen mellom volum og hastighet gitt ved VDF-kurver. Vi vil bruke reisetidmålinger fra reisetider.no og empiriske hastighetsdata fra tellepunkt som et utgangspunkt for å belyse hvordan strategiske transportmodeller representerer købelastet veinett.

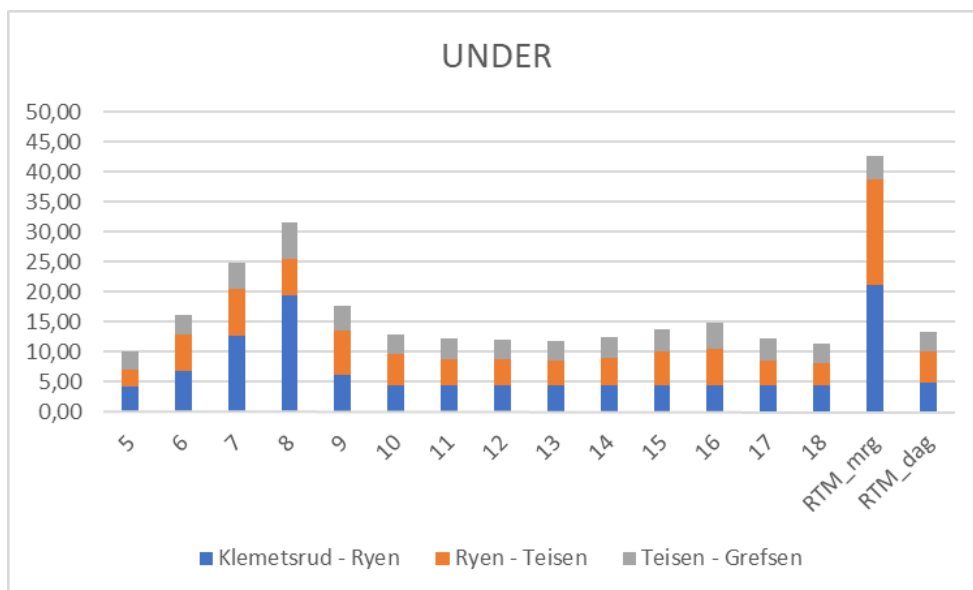
Figur 19 viser strekningen med reisetidmålinger mellom Klemetsrud og Grefsen, hvor Blå = delstrekningen Klemetsrud-Ryen, oransje = Ryen-Teisen og Grå = Teisen-Grefsen. Selve Brynstunnelen ligger på delstrekningen Ryen-Teisen. Beregnet reisetid fra RTM23+ er hentet ut for tilsvarende strekninger og danner grunnlag for sammenligninger. Figur 20 og Figur 21 viser registrerte reisetider for nordgående retning for henholdsvis før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen, mens Figur 22 og Figur 23 er målinger fra sørgående retning før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen.



Figur 19: Kart over strekninger med reisetidmålinger. Blå = Klemetsrud-Ryen, oransje = Ryen-Teisen, Grå = Teisen-Grefsen.

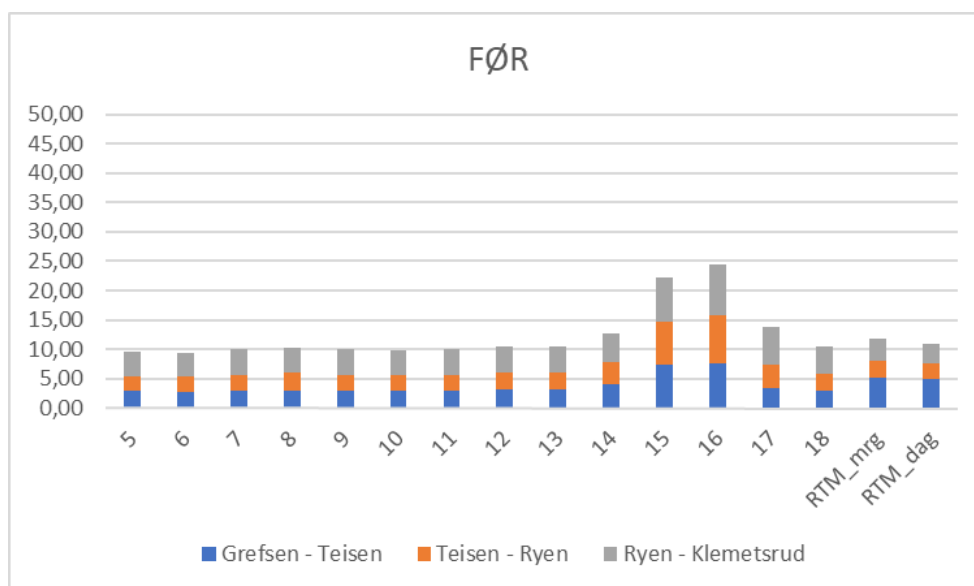


Figur 20: Gjennomsnittlig reisetid (minutter), registrert ved ulike klokkeslett og fra RTM23+ for strekningen Klemetsrud-Grefsen (Nordgående retning) **før kapasitetsreduksjon** i Brynstunnelen.

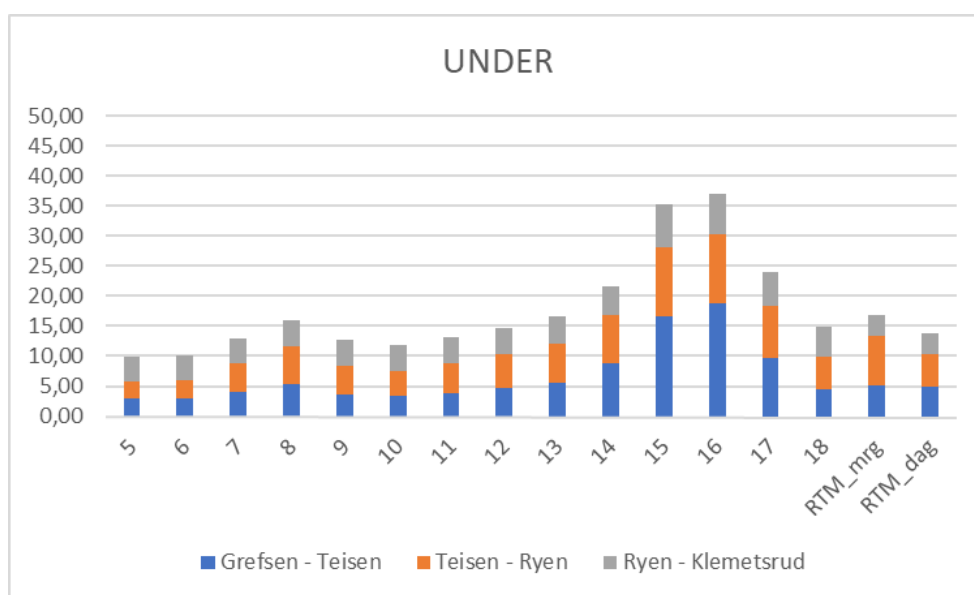


Figur 21: Gjennomsnittlig reisetid (minutter), registrert ved ulike klokkeslett og fra RTM23+ for strekningen Klemetsrud-Grefsen (Nordgående retning) **med kapasitetsreduksjon** i Brynstunnelen.

Nordgående retning er rushretning om morgenen. RTM23+ beregner betydelig høyere reisetid på hele strekningen for morgenrushet i modellen, mens beregnet reisetid for dagtrafikktime stemmer godt overens med reisetidsmålinger i timene utenom rush. Det tyder på at modellen først og fremst sliter med å gjenskape fornuftige reisetider i en køsituasjon. For ordens skyld viser vi i Figur 22 og Figur 23 reisetider for sørgående retning for før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen og sammenstiller disse med beregnet reisetid fra RTM23+. I og med at sørgående retning er motrush og RTM23+ kun beregner morgenrushetime, viser figurene i stor grad avviklingssituasjoner uten særlig kø. Også her samsvarer reisetider fra RTM23+ godt med målingene både før- og under kapasitetsreduksjonen.



Figur 22: Gjennomsnittlig reisetid registrert ved ulike klokkeslett og fra RTM23+ for strekningen Grefsen-Klemetsrud (Sørgående retning) **før kapasitetsreduksjon** i Brynstunnelen.

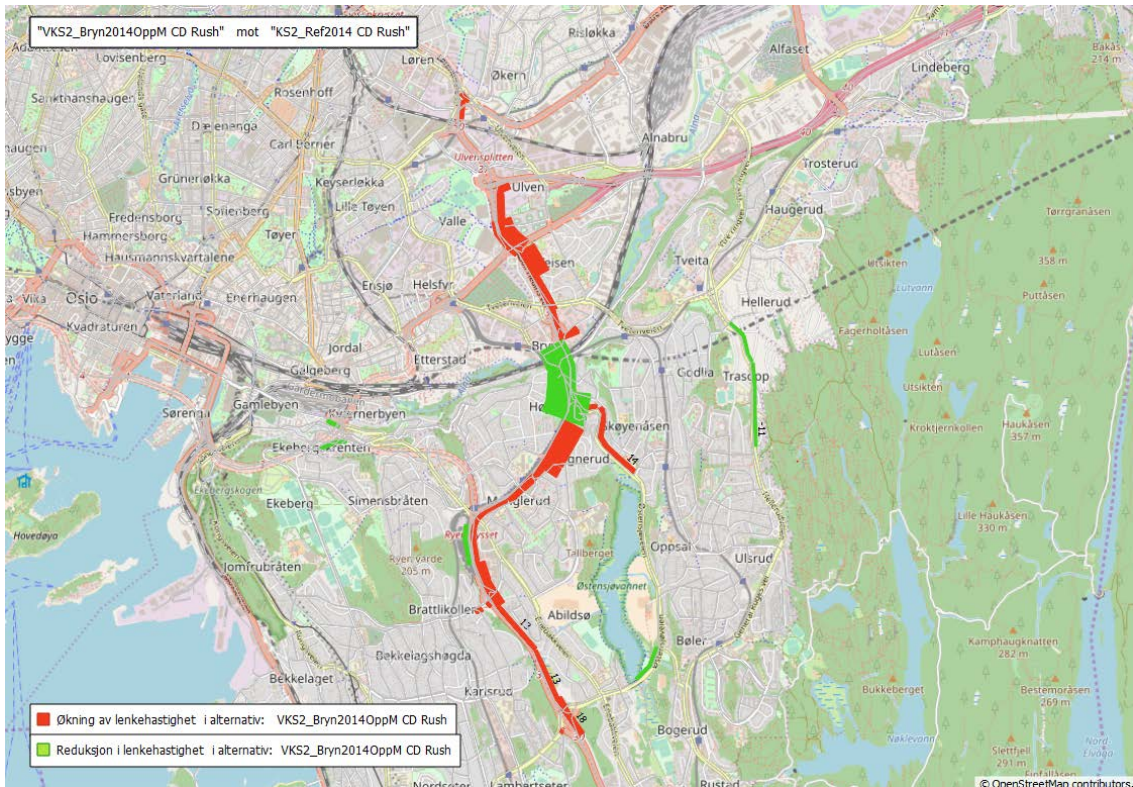


Figur 23: Gjennomsnittlig reisetid, registrert ved ulike klokkeslett og fra RTM23+ for strekningen Grefsen-Klemetsrud (Sørgående retning) **med kapasitetsreduksjon** i Brynstunnelen.

For å forstå hvilke mekanisme som inntreffer i modellen i en køsituasjon vil vi se litt nærmere på hvordan beregnede reisetider for rushtimen *endrer* seg på delstrekningsnivået for nordgående retning. I strategiske transportmodeller beskrives sammenhenger mellom volum og hastighet med en rekke såkalte VDF-kurver (Volume Delay Function kurver). Hver lenke i RTM får tilordnet en VDF-kurve avhengig av veitype, utgangshastighet og hvor mye veksling (feltskifte) det er på lenka. Dette er for å beskrive sammenhengen mellom utnyttet kapasitet og hastighet. En vesentlig forutsetning i dette er at *avviklingsforholdet på en lenke ikke påvirker lenka oppstrøms eller påfølgende lenke*. Modellberegningene viser at den totale reisetiden i rush mellom Klemetsrud og Grefsen øker med 4,8 minutter (fra 37,9 minutter til 42,7 minutter), mens tidsøkningen fra reisetidsmåling i perioden mellom kl 6-9 varierer fra 4 minutter til 8,5 minutter, med størst økning mellom kl 7-8. Den største

økningen i modellberegnet reisetid kommer på delstrekningen Ryen-Teisen, mens reisetiden på delstrekning Klemetsrud-Ryen går ned ved kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen. En tilsvarende reduksjon i reisetid finner vi ikke i reisetidsmålingene.

Virkingen i beregnet reisetid i RTM23+ kan illustreres med en differanse i lenkehastigheten i tiltaksscenarioet i forhold til referansescenarioet, som vist i Figur 24. Røde lenker indikerer økning i lenkehastigheten i tiltaksscenarioet, mens grønne lenker viser reduksjon i lenkehastighet. I scenarioet med kapasitetsreduksjon over strekningen ser vi at hastigheten går ned og reisetida går opp på lenka med kapasitetsreduksjon (markert med grønt i Figur 24). Økningen i reisetida over strekningen fører også til at reisetida (og generalisert reisekostnad) for en rekke relasjoner går opp. Økningen i generalisert reisekostnad gir redusert reiseetterspørsel som bruker denne strekningen. Kapasitetsreduksjonen over Brynstunnelen utgjør i realiteten en flaskehals og tilbakeblokkering sørover i morgenrush, men på grunn av at lenkehastigheten for hver lenke i nettverket beregnes uavhengig av hverandre, vil ikke en kraftig hastighetsreduksjon på flaskehalsen påvirke lenkehastigheten for oppstrøms lenker. For de lenkene som ligger sør for Brynstunnelen går lenkehastigheten faktisk opp fordi trafikkmengden er mindre i tiltaksscenarioet (vist med rødt i Figur 24).

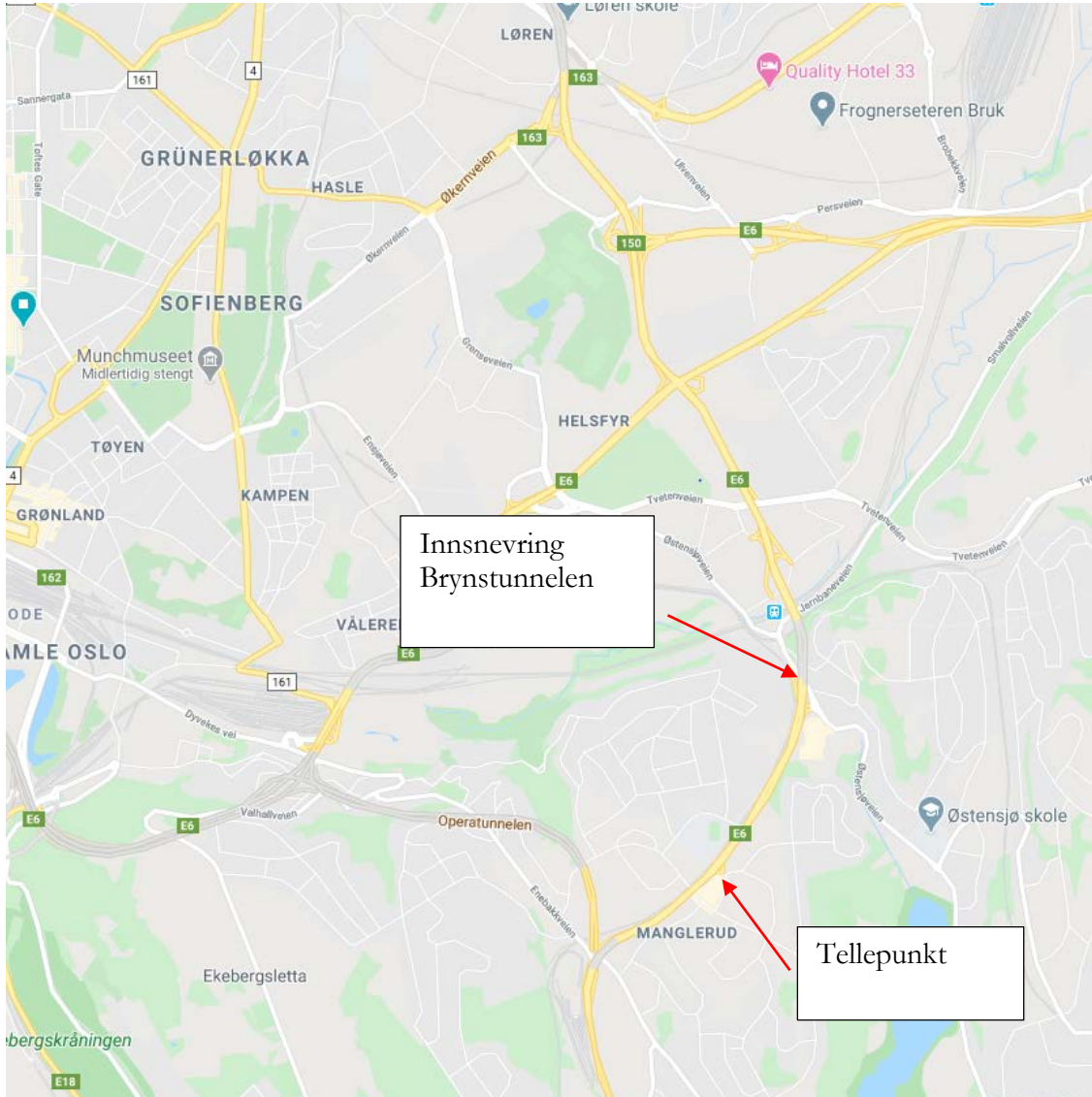


Figur 24: Differanse i lenkehastigheten i tiltaksscenarioet i forhold til referansescenarioet.

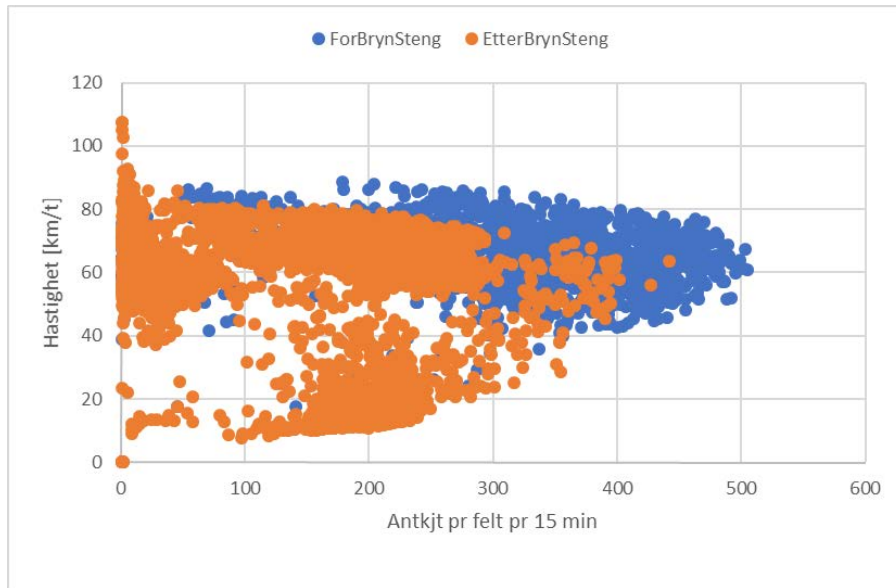
4.4.5 Kø og flaskehals – modell vs. realitet

For å illustrere forskjellen modellens virkemåte på kø og flaskehals og hva vi observerer i trafikktelegningene enda tydeligere, tar vi utgangspunkt i registrerte volum og hastighetsdata på tellepunktet for E6 Manglerud for situasjonen før- og under kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Registrerte sammenhenger mellom trafikkvolum og hastighet kan dermed sammenlignes med VDF-kurver i transportmodellen. For de aktuelle veglenkene er det VDF-kurver nr. 13 og 4 som er benyttet.

Kodingen av kapasitetsreduksjonen er gjort på lenkene som representerer tunnelstrekningen mens det tellepunktet vi benytter til sammenligningen (E6 Manglerud) ligger sør for selve innsnevringen. Egenskapene ved denne lenka er derfor uendret mellom referanse- og tiltaksscenarioet slik det er vist i Figur 25.



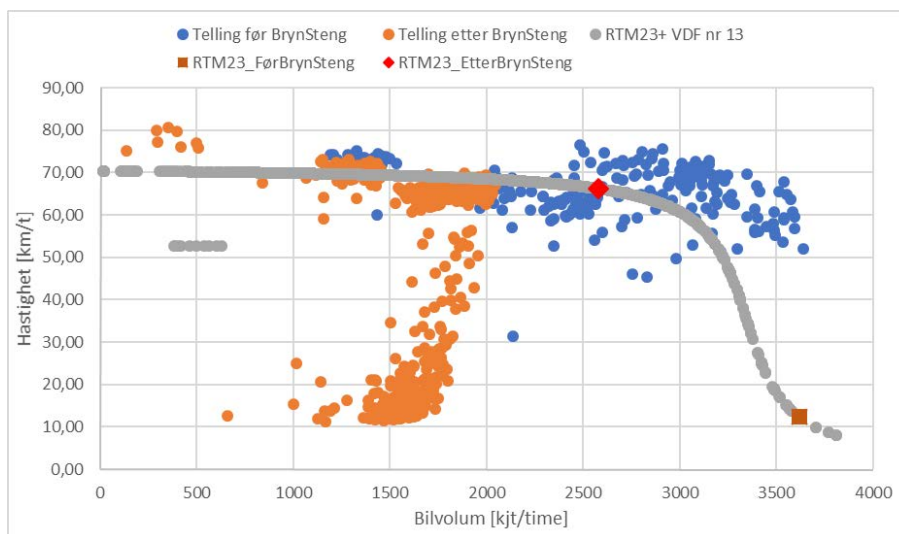
Figur 25: Beliggenheten til tellepunktet E6 Manglerud sett i forhold til kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen.



Figur 26: Sammenhengen mellom volum (kjøretøy per felt per kvarter) og hastighet (km/time) for tellepunkt E6 Manglerud.

Figur 26 viser sammenhengen mellom volum og hastighet basert på tellinger fra tellepunktet på E6 Manglerud. Som vi ser av figuren, er det stor forskjell på punktskyene før og under kapasitetsreduksjonen. Førstusituasjonen har høyere kapasitet, opp mot 500 kjøretøy per felt per kvarter, noe som tilsvarer 2000 kjøretøy/time. Sammenbrudds-situasjoner ser ut til å hovedsakelig bety saktegående kø, hvor hastighetene kommer ned mot 40 km/time. Ettersituasjonen har lavere kapasitet selv om det er noen få slengere på 450 kjt/kvarter. Sammenbrudd i trafikkavviklingen oppstår hyppigere med hastigheter ned mot krypkjøring 10-20 km/time.

I Figur 27 har vi sammenstilt modellberegnet trafikk før og etter kapasitetsreduksjonen og VDF-kurven som gjelder for lenka med punktskyene fra trafikkteillingene i Figur 26. Denne sammenstillingen kan gi oss et bilde av hvor godt modellberegningene klarer å gjengi de sammenhengene mellom volum og hastighet som vi observerer i trafikkteillingene.

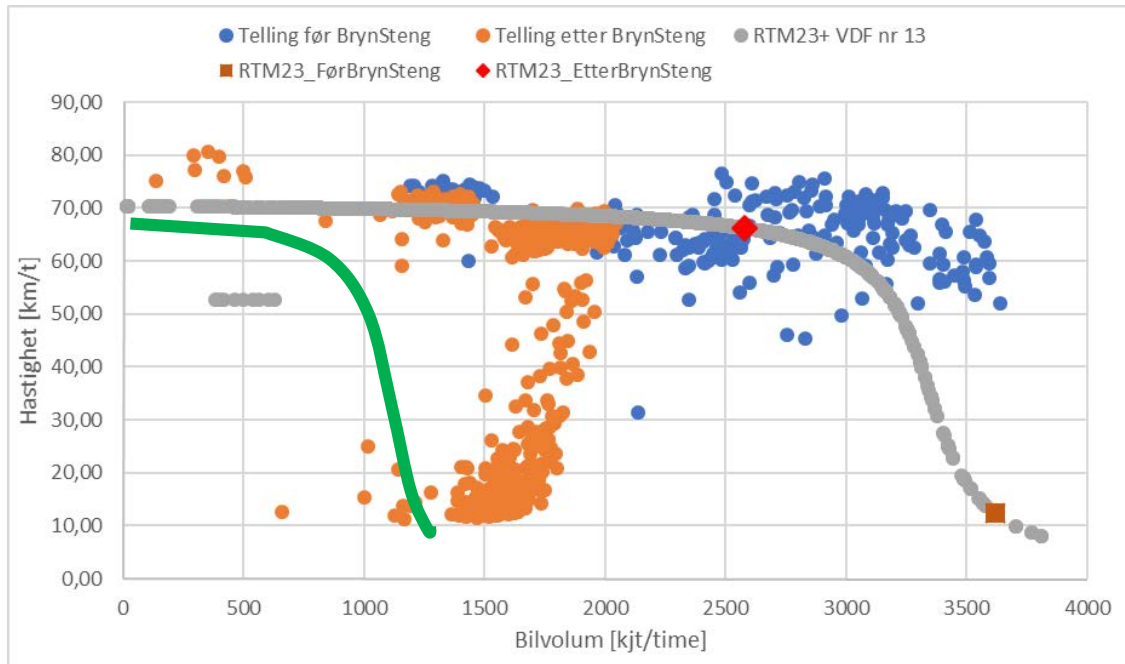


Figur 27: Sammenheng mellom volum og hastighet i morgenrush for tellepunkt E6 Manglerud sammenlignet med beregnet trafikk før og etter kapasitetsreduksjonen på veglenka der tellepunktet ligger. Forløpet for beregnet trafikk er gitt av VDF-kurve nr. 13 (grå kurve).

Den grå kurven i Figur 27 viser sammenhengen mellom volum og hastighet gitt av VDF kurve nr. 13 i RTM23+. Kurven er plottet på bakgrunn av beregnet volum og hastighet for alle lenkene som har VDF-kurve nr. 13 i RTM23+. De grå punktene som ligger for seg selv litt over 50 km/t hører til lenker som går over Smestadlokket og er ikke relevant å sammenligne med i denne sammenhengen.

Figur 27 viser hvordan RTM23+ beregner hastighet på lenka. I førsituasjonen er det stor etterspørsel etter bilreiser og hastighetene ligger ned mot halen av VDF-kurven langt til høyre. Beregnet hastighet er langt under det som er registrert. I tiltaksscenariot der tunnelen får redusert kapasitet, går total reisetid opp langs denne vegstrekningen. Det fører til lavere etterspørsel etter bilreiser på reiserelasjoner som berøres av kapasitetsreduksjonen. Når det blir færre bilreiser på lenka, kryper hastigheten på lenka oppover igjen. Det er gitt av forløpet av VDF-kurven. For dette tilfellet endrer modellberegnet trafikkmengde og hastighet seg fra før kapasitetsreduksjonen (brun firkant Figur 27) til modellberegnet trafikkmengde og hastighet etter kapasitetsreduksjonen (rød firkant i Figur 27). For denne lenka betyr det at hastigheten ved kapasitetsreduksjonen ligger så vidt under friflythastigheten. Virkningen av kapasitetsreduksjonen illustrert med modellberegningene gir dermed et helt annet forløp enn det vi finner i de registrerte sammenhengene før kapasitetsreduksjonen (blå punktsky) og etter kapasitetsreduksjonen (oransje punktsky) vist i Figur 27. Ut ifra trafikkteilingene i ettersituasjonen (oransje punktsky) vil det muligens gi et bedre treff hvis man koder lenka ved tellepunktet med samme innsnevring og benytter samme VDF-kurve som gjelder for tunnelen med kapasitetsreduksjon. I Figur 28 har vi tegnet inn forløpet av VDF-kurve nr. 4 som ble brukt på lenkene der man hadde selve kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Formen på VDF-kurve nr. 4 (den grønne kurven i Figur 28) kan muligens beskrive sammenhengen mellom hastighet og volum i en kapasitetsreduert tilstand (den oransje punktskyen), men den knekker allerede ved 600 kjøretøy/time, så dersom vi hadde gjort en ny modellberegning med redusert kapasitet ved tellepunktet E6 Manglerud ville vi antakeligvis få for lav beregnet trafikk på lenka med tellepunktet.

Spørsmålet er da hvor langt bakover denne «fiktive» kapasitetsreduksjonen i modellen er rimelig å anta? Å svare på det vil kreve at man har en formening om hvor langt bak flaskehalsen virker. Dersom man «vet» fasiten på forhånd (dvs. har tilgang til telldata for ettersituasjonen) kunne vi gjennom en iterativ bruk av modellen kommet fram til en rimelig tilnærming i koding av tilbakeblokkeringen, men en slik modellbruk er mer unntaket enn regelen. I de aller fleste tilfeller bruker vi modellen nettopp for å på forhånd belyse trafikale virkninger av en endring for eksempel veinettet. Da er ikke omfanget av virkningen kjent på forhånd. Dette eksemplet viser godt begrensninger i strategiske transportmodeller der virkning av kø er et sentralt spørsmål i analysen.

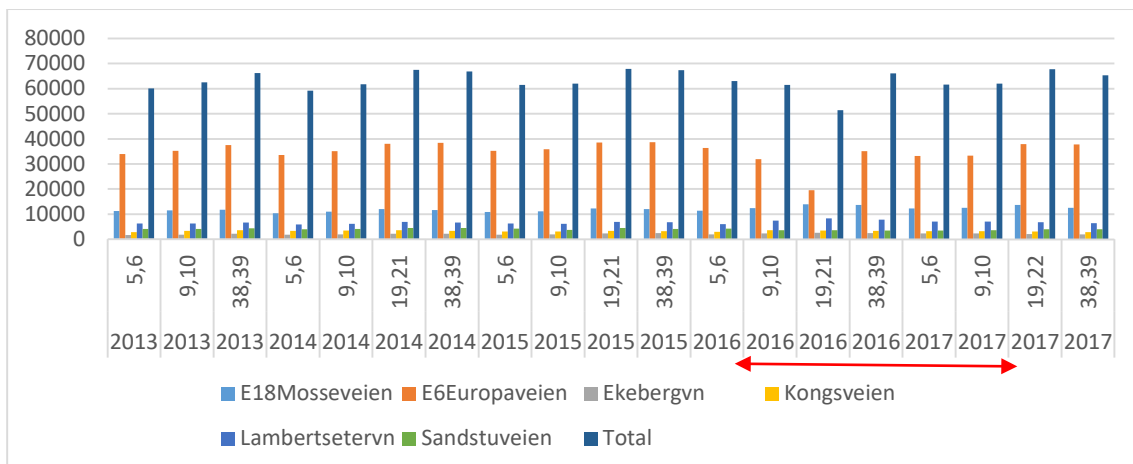


Figur 28: Et eksempel på en strammere VDF kurve (grønn kurve) for å fange opp virkning av tilbakeblokkeringen på lenker bakover fra kapasitetsreduksjonen.

4.4.6 Endring i rutevalg

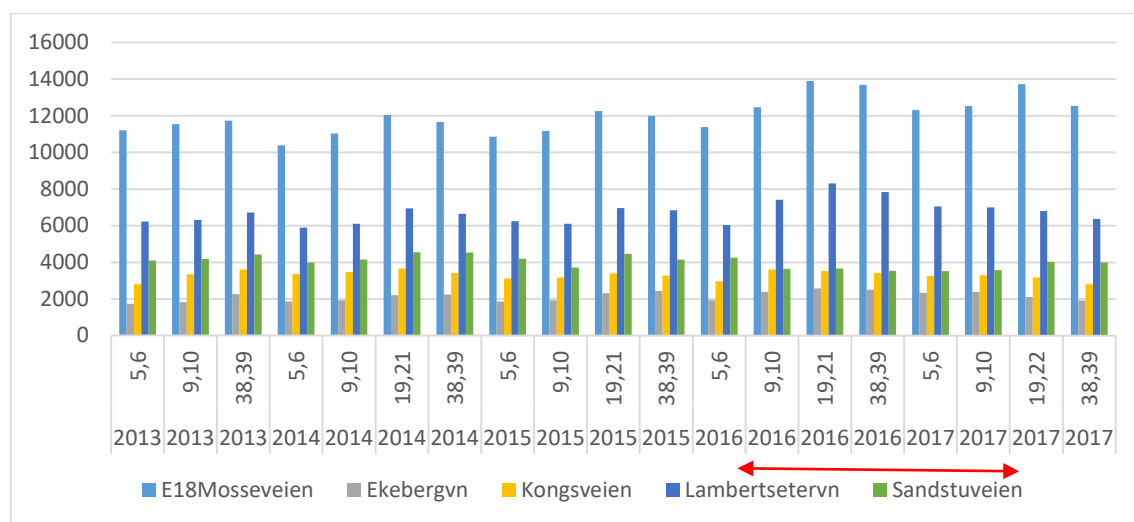
Innledningsvis i prosjektet var det flere typer datakilder som kunne vært brukt til å studere rutevalget for trafikantene. En type data er passivregistreringer av mobiltelefoner. Selv om slike data ikke omfatter alle trafikanter, og vi ikke har verken bakgrunnsinformasjon om trafikantene eller informasjon om reisemiddel eller reisehensikt for turene, hadde vi forventninger om å se transportstrømmer i nettverket fra slike data. En annen potensiell kilde var bompasseringsdata. Da ville vi kunne følge trafikantene i bil gjennom nettverket og fått reisetidsdata fra passeringstidspunktene i bomstasjonene. Disse to datatypene viste seg å ikke være mulig å benytte. Det vi sitter igjen med da er trafikktellinger, og de er benyttet i vår sammenligning av rutevalg i virkeligheten mot modellberegninger med RTM23+.

Tellinger ved bomstasjoner i sørkorridoren (kun én retning) for rapporteringsukene i BYTRANS fra 2013 til 2017.



Figur 29: Tellinger (YDT) ved bomstasjoner i sørkorridoren (kun én retning) for rapporteringsukene i BYTRANS fra 2013 til 2017 (kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen indikert med rød pil).

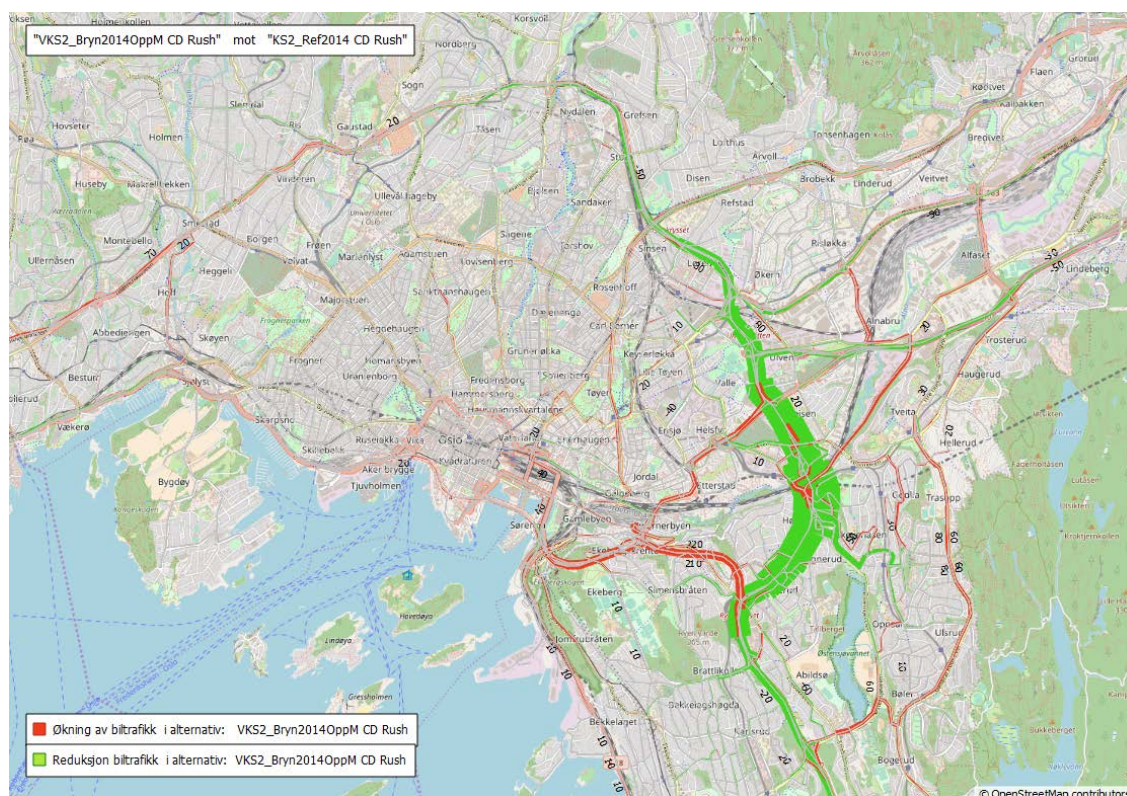
Figur 29 viser at trafikken totalt over bomsnittet i sør sank umiddelbart etter kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen, men normaliserte seg i de øvrige ukeparene under kapasitetsreduksjonen. Ser man nærmere på trafikkmengden for ukepar mellom 2015 og 2017 finner vi tydelige tendenser til trafikklekkasje fra E6 Europaveien til Lambertseterveien og E18 Mosseveien, selv om nedgangen på E6 Europaveien (mer enn 10 000) bare i noen grad kompenseres fullt ut med oppgangen på Lambertseterveien og E18 Mosseveien. Det betyr nok at det også er benyttet andre ruter, at destinasjonsvalget er endret for noen turer eller at det er benyttet andre reisemidler enn bil.



Figur 30: Tellinger, morgenrush (YDT) ved bomstasjoner i sørkorridor (kun en retning) for rapporteringsukene i BYTRANS fra 2013 til 2017 (kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen indikert med rød pil)

For E6 Europaveien hadde vi ikke data for morgenrushet, men vi ser at det også da er en markant trafikkoppgang på Lambertseterveien og E18 Mosseveien i perioden hvor Brynstunnelen hadde redusert kapasitet (Figur 32). For andre tellepunkter er trafikken noenlunde stabil.

Figur 31 viser at det blir beregnet en reduksjon i trafikken gjennom Brynstunnelen (grønt) og en økning på andre alternative ruter (rødt). RTM23+ viser en tydelig overflytting av bilreiser til Svartdalstunnelen og Ekebergstunnelen. Dette er også til dels blitt bekreftet av funnene i sammenligningen mot trafikkteilingene (Figur 17), der både tellinger og modellberegninger viser at trafikken gjennom Svartdalstunnelen har økt, men effekten i modellen er større enn hva vi har observert gjennom tellingene.



Figur 31: Differanseplott som viser endring i beregnet trafikkvolum i en typisk morgenrushtime fra RTM23+.

4.4.7 Endring i reisetidspunkt

Andel trafikk som går i rushtimen beregnes etter faste andeler i RTM23+. Det gjør at RTM23+ ikke beregner endring i reisetidspunkt, og dermed ikke fanger opp en av tilpasningene trafikantene gjør i virkeligheten. Endring i reisetid var imidlertid en av de mer tydelige tilpasninger som ble rapportert fra arbeidsreiseundersøkelsen i BYTRANS. Ved å se på omfanget av endringer i trafikktellinger for morgenrush vs. normalt virkedøgn i Tabell 4 kan vi undersøke om trafikken har flyttet seg fra rushperiodene til utenom rush. I så fall ville vi kunne forvente at endringen i trafikkvolumet over døgnet er lavere enn i morgenrushet. For de kommunale veiene som er nærmest Brynstunnelen, øker døgnetrafikken mer enn trafikken i rushet. På tellepunktet på Hellerudveien og Ensjøveien går trafikken ned i rushperioden, mens den totalt sett går opp når man ser på trafikken over døgnet. Nedgangen i trafikkmengde på de berørte statlige tellepunktene er lavere for døgnet enn for rushperioden. Det tyder på at deler av trafikken er flyttet til andre tidspunkter av døgnet.

Tabell 4: Endringer i trafikkvolum i tellepunktene for morgenrush og døgn.

Tellepunkt	Sted	Veg	Endring morgenrush	Endring døgn (NVDt)
66925	Ensjøveien	Kv	-22 %	2 %
66939	Ring 2 v/Vøyenbrua	Kv	2 %	3 %
84240	Finnmarksgata	Kv	13 %	10 %
85167	Hellerudveien	Kv	-5 %	22 %
85168	General Ruges vei	Kv	8 %	14 %
85169	Tvetenveien ved Haugerud	Kv	8 %	9 %
300001	E6 Manglerud	Ev	-37 %	-23 %
300029	E18 Bjørvikatunnelen	Ev	-7 %	-3 %
300030	E6 Helsfyr	Ev	6 %	5 %
300039	E6 Skullerud	Ev	-8 %	3 %
300098	E6 Svartdalstunnelen	Ev	9 %	-3 %
300099	Rv 150 Tåsentunnelen	Rv	0 %	-1 %
300141	E18 Kongshavn	Ev	1 %	8 %
300165	Rv 150 Hovin	Rv	-24 %	-19 %

4.5 Oppsummering av resultater fra sammenligningen

I dette kapitlet er data fra BYTRANS-prosjektet sammenlignet med resultater fra en beregning med RTM23+. Målet var å vise hvordan modellen håndterer kø, og eksemplet vi har benyttet er kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Hvor godt modellene klarer å beskrive faktiske atferdsvalg (valgstrategier) og endringer i trafikkmengde er både avhengig av forutsetninger, aggregeringsnivå og presisjonsnivå i dagens modeller. Forventningene til modellene har nok tradisjonelt vært knyttet til at de skal treffe på reisemiddelfordeling som samsvarer med reisevaneundersøkelser og trafikkvolum som samsvarer med trafikkteellinger. Med økende fokus på byproblematikk, er nok dette i ferd med å endre seg. Behovet for å endre verktøykassa slik at vi kan analysere tiltak som påvirker framkommeligheten og tiltak som skal fremme miljøvennlige reisemiddelvalg er presserende.

I dette case-studiet har vi primært benyttet reisetidsmålinger og trafikkteellinger som vi har sammenlignet med beregninger med RTM23+. Fokuset har vært på endringer for biltrafikken. Modellen kan ikke brukes til å studere endringer i destinasjonsvalg eller reisemiddelvalg for en såpass liten endring i transporttilbudet, vi får ubetydelige endringer i slike resultater. I virkeligheten kan imidlertid dette utgjøre betydelige endringer, selv om vi ikke har data som viser det. Avslutningsvis har vi også vært innom valg av reisetidspunkt, men heller ikke der har vi nok data om hva som faktisk skjer. Caset har ellers vært egnet til enkelte andre sammenligninger og vi har illustrert hvordan modellen avviker fra virkeligheten på noen sentrale punkter.

Et poeng som kanskje drukner litt i diskusjonen i dette kapitlet, men som også er viktig, er: Hva er fasiten? Vi har hatt data å sammenligne mot resultater fra transportmodellen, men som oversiktene viser er det relativt store variasjoner i trafikksituasjonene over året, uka og dagen. Når vi da skal sammenligne mot transportmodellen, som ideelt sett skal vise en gjennomsnittssituasjon for et år, vil variasjonen og årsaker til at trafikken varierer lett bli glemt i diskusjonen.

Reisetidene i købelastet vegnett betyr mye for beregnede virkninger i transportmodellen, og det er tre poenger som bør løftes fram fra denne studien:

1. Definisjon av maksrushtimen
2. Sammenhengen mellom volum og hastighet (VDF-kurvene)
3. Flaskehals og tilbakeblokkeringer

Det første punktet er hvordan vi definerer maksrushtimene, eventuelt varigheten av rusket. Toppen av rusket oppstår på forskjellig tidspunkt i ulike deler av modellområdet, noe som kan ha sammenheng med avviklingsforhold.

VDF-kurvene gir lengre reisetider ved økende trafikkvolum, som vi også ser i virkeligheten ved moderate trafikknivå, men sammenbrudds-situasjoner er ikke forklart godt av disse kurvene.

Flaskehals i vegnettet, slik som reduksjonen av antall felt gjennom tunnel, gir i praksis lavere kapasitet, kø og forsinkelser for oppstrøms lenker, og det fanges ikke opp av de metodene som benyttes i dagens transportmodeller.

5 Trafikksimulering av køforhold

5.1 Modellering av køavvikling i AIMSUN

Dette delkapitlet beskriver kort hvordan AIMSUN virker. En mer omfattende beskrivelse vil finnes i en veileder for etablering av AIMSUN-modeller i Norge. Noen delkapitler finnes tilgjengelig i Persson mfl. (2019).

5.1.1 Trafikksimuleringer

AIMSUN er et program for simulering av trafikk, enten trafikkstrømmer (makro), forenklet simulering (meso), enkeltkjøretøy (mikro), eller en blanding (hybrid). Vegnettet kodes svært detaljert med vegbredder, feltbruk og hastighetsgrenser. Kryssene kodes detaljert med vikepliktsregler og med faseplaner for signalregulerte kryss.

Trafikken gis inn med faste matriser som gis inn eksogent, fordelt på tidsperioder for å gjengi rushsituasjoner, typisk 5-15 minutters intervaller. Matrisene består av ulike kjøretøykategorier, og ulike parametere som gis inn til AIMSUN styrer kjøreadferden til kjøretøyene. Parameterne kalibreres slik at kjøreadferden samsvarer med registrert kjøreadferd i det aktuelle området.

AIMSUN simulerer kjøretøyenes bevegelser fra start til målpunkt gjennom nettverket, og benytter car-following teori for å gjengi hvordan bilene forholder seg til hverandre. Reisetidene gjennom nettverket blir altså simulert ved at kjøretøyene forholder seg til vegens geometri og fartsgrense, trafikkreguleringen og andre kjøretøy. Beregningen er stokastisk og må gjentas flere ganger for å finne gjennomsnittsverdier for hastighetsnivå, reisetider og kølengder.

AIMSUN brukes oftest til å analysere trafikkavvikling i byområder, og dekker gjerne et mindre geografisk område som er interessant for analysen.

5.1.2 Trafikkmatriser til simuleringer

Kjøretøymatrisene produseres i forkant av en simulering. Det er vanligvis mest interessant å simulere rushsituasjoner når systemet er mest presset. Bilførerematriser fra RTM brukes ofte som utgangspunkt, enten rushmatrisene eller døgnmatrisene. Disse blir igjen fordelt i kortere tidsintervall, for eksempel 5-15 minutters tidsperioder. Trafikktellinger brukes som utgangspunkt til å justere totaltall for matrisene og til å fordele trafikken i tidsintervallene.

5.1.3 Trafikksimuleringer av kø i kryss og flaskehalser

I AIMSUN blir kjøretøyenes bevegelser simulert på en realistisk måte så lenge matrisene, nettverket, reguleringen og atferds-parametere stemmer med virkeligheten. I praksis gjør man en tilnærming til dette for å få trafikkavviklingen så riktig som mulig. Modellene valideres i hovedsak mot trafikktellinger og kjøretidsmålinger, men også rutevalg og trafikkavvikling hvis det finnes data.

Det vil typisk oppstå kø i bynettverk oppstrøms kryss, flettefelt og flaskehalser hvor kapasiteten endres. I AIMSUN kan man følge køoppbyggingen og avviklingen gjennom en

rushperiode. Hvis det fylles opp med kø av biler på en lenke, vil køen fortsette på lenka oppstrøms.

I vegkryss er reguleringen kodet og påvirker hvordan bilene kjører gjennom krysset. De forholder seg til lyssignal og vikepliktsregler.

Både simulering av kø og kjøring gjennom kryss er forskjellig i RTM og AIMSUN, noe som gjør at det kan være interessant å bruke AIMSUN til studier av trafikkavvikling i byområder.

5.1.4 Sammenkobling av AIMSUN og RTM

Kø og forsinkelser kan også påvirke etterspørselen, men som nevnt tidligere er matrisene gitt eksogent i AIMSUN. RTM og AIMSUN har derfor fordeler og ulemper på hver sin kant, og det er gjort et eget prosjekt parallelt med BYTRANS hvor sammenkobling av RTM og AIMSUN er testet for å dra veksler på fordelene med de to verktøyene (Høyem mfl., 2020). Hovedkonklusjonen fra rapporten er at dette er en ressurskrevende og komplisert jobb, med behov for å gjøre forutsetninger for å forenkle overføringen av data mellom verktøyene, men at det kan være mulig og nyttig i svært spesielle tilfeller.

I prinsippet foregikk sammenkoblingen ved at reisetider fra AIMSUN for biltrafikk ble inngangsdata til etterspørselsmodellen i RTM og bilførermatrisene fra RTM ble inngangsdata til AIMSUN.

5.2 E18-caset med Aimsun

5.2.1 Trafikksimuleringer i AIMSUN

En mer detaljert beskrivelse av problemstillingen og vår tilnærming til denne er gitt i vedlegg 1.

På E18 vest for Oslo ble det gjennomført en prøveperiode hvor de omgjorde et av feltene til et kollektivfelt i retning mot vest. Både forstudien som ble gjort ved trafikksimuleringer og oppsummeringen etter forsøket konkluderte med at kollektivfeltet ikke gav bedre fremkommelighet, hverken for busser eller andre kjøretøy, tvert imot. Forsøket ble avviklet etter 3 ukers drift.

Det kan virke som et kontroversielt resultat, vanligvis ville man forvente at mer kapasitet på en strekning gir bedre fremkommelighet. I dette caset var det en omfordeling av kapasitet fra biler til busser, men bussene fikk heller ikke en bedre fremkommelighet av tiltaket. Forstudiet konkluderte med at fremkommeligheten ville øke dersom biltrafikken ble redusert med 25%, men at med dagens trafikknivå ville ingen få forbedringer.

Situasjonen er studert nærmere i en AIMSUN modell som omfatter E18 og rampene av og på E18. Problemene oppsto fordi sidevegnettet var overbelastet. Avviklingsproblemer på sidevegnettet førte til tilbakeblokkeringer inn på E18, og ventende biler blokkerte for bussene, ettersom kollektivfeltet var plassert lengst til høyre i vegbanen. Vi gjorde flere alternative forsøk i AIMSUN med varierende kapasitet på avrampene for å illustrere bedre framkommelighet for avkjørende trafikk og noen varianter hvor vi flyttet kollektivfeltet mer mot venstre i vegbanen.

Bedre kapasitet for avkjørende trafikk vil fortsatt føre til fletting med busser gjennom bussfeltet, men man unngår tilbakeblokkeringer, og bussene kan derfor kjøre mer uhindret. Å flytte kollektivfeltet mer mot venstre vil gi bedre fremkommelighet for busser dersom de

ikke må stoppe på holdeplasser underveis fordi de da ikke blir blokkert av avkjørende trafikk.

5.2.2 Hva kan vi lære av simuleringene av E18-caset?

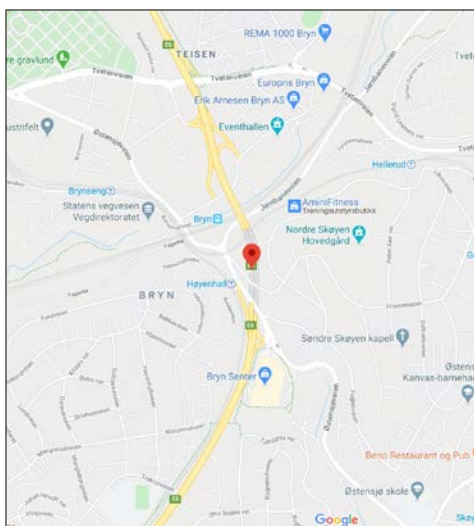
Det vi ønsket gjennom å gjenta øvelsen med trafikksimuleringer av E18, var å sjekke om det var mulig å løse fremkommelighetsproblemene, spesielt for bussene, på noen måte. Det vi fant ut var at flaskehalsen i systemet lå på sidevegnettet, og at det var avkjørende trafikk og tilbakeblokkeringer til E18 som var «korken» i systemet. Feltfordelingen på E18 hadde lite å si for bussene. Den eneste muligheten for bedre fremkommelighet var å tilegne det venstre feltet for ekspressbussene som ikke må stanse på holdeplasser. Øvrige busser vil da få samme eller mer forsinkelse, så det var heller ikke en god løsning.

Mer overordnet viste caset at kjøppbygging kommer der det er flaskehals, men at det er stedlige forhold som avgjør hvordan køen forplanter seg bakover.

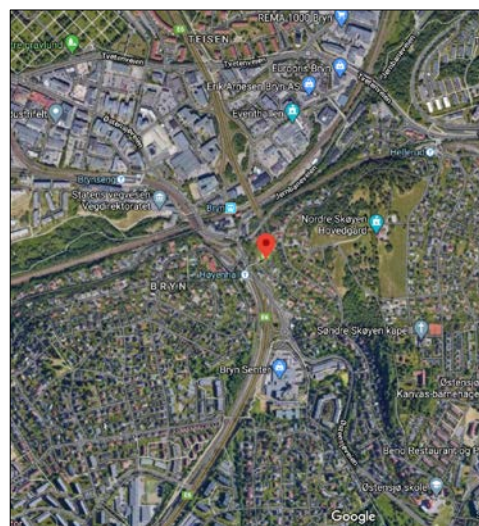
Generelt kan man også si at bedre kapasitet, i dette tilfellet et felt tilegnet bussene, ikke nødvendigvis gir bedre fremkommelighet.

5.3 Brynstunnelen med Aimsun

Det ble ikke gjort noen trafikksimuleringer med AIMSUN av caset med Brynstunnelen, men vi har noe av den samme situasjonen der som på E18. Figur 32 og Figur 33 viser vegsystemet rundt Brynstunnelen. En simulering ville gitt mer realistiske reisetider gjennom systemet sammenlignet med RTM, og kø og forsinkelser på de «riktige» veglenkene.



Figur 32: Kart Brynstunnelen (Google Maps)



Figur 33: Bilde Brynstunnelen (Google Maps)

5.4 Oppsummering om trafikksimulering

Kø er et resultat av kapasitetsproblemer og AIMSUN kan brukes til å vise hvor kapasitetsproblemene oppstår, hvem som blir påvirket av dem og konsekvensene i form av hastigheter og kølengder. Det er likevel bare unntaksvis at slike problemer kan løses i RTM ved å koble sammen RTM og AIMSUN for det samme området.

6 Datakildene i BYTRANS

Dette kapitlet oppsummerer ulike datakilder, og potensialet for anvendelser av datatypene inn mot transport- og trafikkmodeller. Vi har i dette kapitlet vurdert potensialet ved datatyper som samles inn uansett, data som er samlet inn i prosjektet og til en viss grad potensiale ved bruk av data vi kun har sett eksempler på eller ikke har fått tilgang til.

Målet i prosjektet var å samle inn mest mulig data om endringer i transporttilbudet og reisemønsteret som følge av endringene i transportsystemet. Anvendelsen av dataene var underordnet innledningsvis, men utgjør selvsagt mye av nytten fra prosjektet. Transport- og trafikkmodeller er bygd opp nettopp for å analysere virkninger av endringer i transporttilbudet, derfor er det naturlig å tenke at data ville være nyttig for å se hvor realistisk modellene gjenskaper trafikantenes tilpasninger.

En viktig forutsetning i modellene er imidlertid at beregningene gjelder for en normal, gjennomsnittlig situasjon, etter at trafikantene har tilpasset seg en ny situasjon. I og med at kapasitetsreduksjoner er midlertidige tiltak, vil muligens trafikantenes tilpasninger i denne situasjonen avvike fra mer permanente løsninger.

6.1 Oversikt over data

Data vi fikk tilgang til og har anvendt i prosjektet for sammenligning mot transportmodeller var:

- Spørreundersøkelse for arbeidsreisende
- Trafikktellinger
- Reisetidsregistreringer

Ved sammenligningen mot RTM23+ beregninger i kapittel 4 er det hovedsakelig trafikktellinger og reisetidsregistreringer som er benyttet.

Vi fikk også tilgang til en avgrenset del av to ulike datasett og kunne derfor vurdere bruk av disse i modeller. Det gjaldt:

- Taxidata – eksempeldatasett
- Transportørdato – eksempeldatasett

Vi ønsket oss også tilgang til noen andre data som vi mente ville ha potensiale for å kunne vise reelle endringer i transportmønsteret, men disse viste seg å være vanskelig å få tilgang på i løpet av prosjektperioden. Det gjelder:

- Bompasseringer
- Passivregistrering av posisjonsdata via mobiltelefon
- Kollektivdata; passasjerdata

Kollektivdata ble tilgjengelig for sent i prosjektet til at vi kunne vurdere de.

6.2 Spørreundersøkelser

6.2.1 RVUer

Reisevaneundersøkelser er den viktigste kilden om reisemønsteret for private reiser i Norge. Transportmodellene har en valgmodell med parametere som er estimert basert på den nasjonale reisevaneundersøkelsen (NRVU). Andre reiser som ikke dekkes av NRVU er det mindre oversikt over, og derfor er datakilder som gir kunnskap om reisemønsteret for eksempel om barns reiser, mobile tjenesteytere, tungtransport, etc. svært ønskelig.

Den nasjonale reisevaneundersøkelsen kartlegger reisemønsteret over hele landet, men dekker bare et utvalg av befolkningen. Derfor vil før-etteranalyser av mer lokale tiltak, slik kapasitetsreduksjoner er eksempler på, være umulig ved bruk av NRVU fordi det er for få respondenter i utvalget som er utsatt for endringene. I tillegg til NRVU gjennomfører Ruter en egen markedsundersøkelse med om lag 9000 respondenter i Oslo og Akershus (MIS). Oppbyggingen ligner på NRVU på mange punkter, men den er ikke like omfattende. Selv om man kunne styrket utvalget ved å slå sammen NRVU og MIS, vil utvalget fortsatt i mange tilfeller være for lite for å beskrive endringer i en før- og ettersituasjon.

6.2.2 Spørreundersøkelse for ansatte i bedrifter i nærområdet til Brynstunnelen i før-situasjonen

Virkinger av kapasitetsreduksjon (2016 spørreundersøkelse)

BYTRANS har gjennomført spørreundersøkelser i fire bølger gjennom perioden. Vi tenkte at dataene kunne vise hvilke valg som ble foretatt. I og med at det var jobbreisen som var i fokus, er destinasjonsvalget ikke noe som vi forventet skulle endre seg, mens valget mellom å jobbe hjemme eller endre reisetidspunkt, reisemiddel eller rute var mer åpent.

I spørreundersøkelsen til ansatte i virksomheter i Brynsområdet (juni 2016 - da det var begrenset kapasitet i Brynstunnelen) ble respondentene spurt om hvilke tilpasninger de hadde gjort. De ansatte hadde naturlig nok ulik reiseveg til jobb, og derfor er det ikke alle respondentene som opplevde noen endringer. De som oppga at transporttilbudet hadde blitt verre eller bedre, ble spurt om de hadde reist annerledes. Av dem som hadde gjort endringer (ca 400 respondenter hvorav 3 % hadde fått en bedre arbeidsreise og 37% en dårligere arbeidsreise) svarte 7 prosent av respondentene at de jobbet hjemmefra oftere. 33 prosent svarte at de endret reisetidspunkt, 22 prosent hadde endret rutevalg og 13 prosent hadde endret reisemiddel. Det var altså noen som fikk et bedre tilbud under kapasitetsreduksjonen, for eksempel fordi kollektivtilbudet ble styrket, men de fleste opplevde en forverring.

Tilsvarende endringer i RTM

Resultatene fra spørreundersøkelsene kan være interessante å sammenligne med beregninger i RTM, for å illustrere hva transportmodellen fanger opp av effekter. **Hjemmekontor** betyr i praksis at respondentene reduserer antall turer innen reisehensikten arbeidsreise. Det kan tenkes at de øker andre typer reiser, både fordi de får frigitt tid til det og fordi de kan ha et behov for å komme hjemmefra. I RTM er turproduksjonen minimalt påvirket av tiltak i transportnettet. **Valg av reisetidspunkt** er foreløpig ikke en dimensjon av beregningene i RTM (men det har vært gjennomført arbeider for å vurdere metoder for det). Reisene fordeles statistisk til tidsperioder for å representere rushsituasjoner, men forsinkelser påvirker ikke den fordelingen. At en av tre endrer reisetidspunkt, tyder på dette er en tilpasning som burde vurderes tatt inn i RTM. Dataene fra Spørreundersøkelsen er

ikke tilstrekkelig til å vite hvor stor denne effekten er; hverken hvor mye de forskyver reisen i tid eller hvordan de ellers tilpasser reisene sine, men fordi det er såpass mange som gjør det, kunne det være nyttig å gå videre med studier av reisetidsvalget. Dersom flere valgte å reise utenom rush, ville det kunne gi besparelser i reisetid totalt sett fordi kapasitetsutnyttelsen blir høyere. **Rutevalg og reisemiddelvalg** er dimensjoner som ligger i RTM fra før og som er drøftet tidligere i denne rapporten (se kapittel 4).

6.2.3 Spørreundersøkelse for ansatte i bedrifter i nærområdet til Brynstunnelen i etter-situasjonen

Da arbeidet i Brynstunnelen var ferdig, ble spørreundersøkelsen gjentatt. Resultater fra en slik undersøkelse kan i visse tilfeller brukes til å studere om endringene i transporttilbudet ga varige endringer i reise-mønstret. Det kan igjen si noe om hvorvidt erfaringer med alternative måter å reise på, gir varige endringer. Dette vil i tilfelle kunne påvirke hvordan vi gjensker likevektssituasjoner i en transportmodell. Hvor mye har informasjon og egne erfaringer å si for valg av transportløsninger? I transportmodellen er det forutsatt at trafikantene kjenner til hvilke alternativer som er tilgjengelige, og velger det beste alternativet for seg selv.

I tilfellet med Brynstunnelen var det andre tiltak som også ble iverksatt i samme periode. Det er ikke mulig å isolere effektene av henholdsvis kapasitetsreduksjon og gjenåpning av Brynstunnelen fra andre endringer, selv om årsakene til endring er oppgitt av respondentene. De er i hovedsak knyttet til transporttilbudet (figur 61, side 87 i Tennøy mfl., 2019) og i mindre grad av andre forklaringer. Andre endringer i transportsystemet omfatter parkeringsregulering og endringer i kollektivtilbudet.

6.3 Trafikktellinger og reisetidsmålinger

Trafikktellinger og reisetidsmålinger er benyttet til sammenligning mot resultater fra transportmodellen RMT23+ i kapittel 4. Statens vegvesen har trafikktellinger tilgjengelig på følgende nettside: www.vegvesen.no/fag/trafikk/trafikldata/trafikkregistreringer.

Kommunene har egne tellepunkter som ikke inngår i denne databasen, men som også ble benyttet i sammenligningen. TØI har i forbindelse med BYTRANS prosjektet etablert en database for å laste ned kommunale telldata daglig via API. Sammen med telldata fra Statens vegvesen lyktes prosjektet å etablere et system for å innhente og sammenstille telldata fra Statens vegvesen og Oslo kommune, og dette ga i utgangspunktet store muligheter til å sammenstille og analysere trafikldata etter analysebehov.

Statens vegvesen har en tjeneste kalt *reisetider* som kan finnes på www.reisetider.no. Den viser reisetider i sanntid for biltrafikken på noen strekninger. Ved innlogging er det også mulig å laste ned historiske reisetidsdata fra definerte strekninger over ønsket tidsrom. Det ga oss mulighet til å analysere reisetider for de samme ukeparene som ble definert av BYTRANS prosjektet. Google Maps har også en funksjon som beregner reisetider for alle strekninger og reisemåter. For biltrafikk er også forsinkelsesnivå oppgitt.

Reisetidsmålinger er nyttige i transportmodellene for å kalibrere modellen. Kombinert med telldata, kan man utvikle VDF-kurvene videre eller finne alternative måter å representere kø på i transportmodellene.

6.4 Taksameterdata fra drosjeselskap

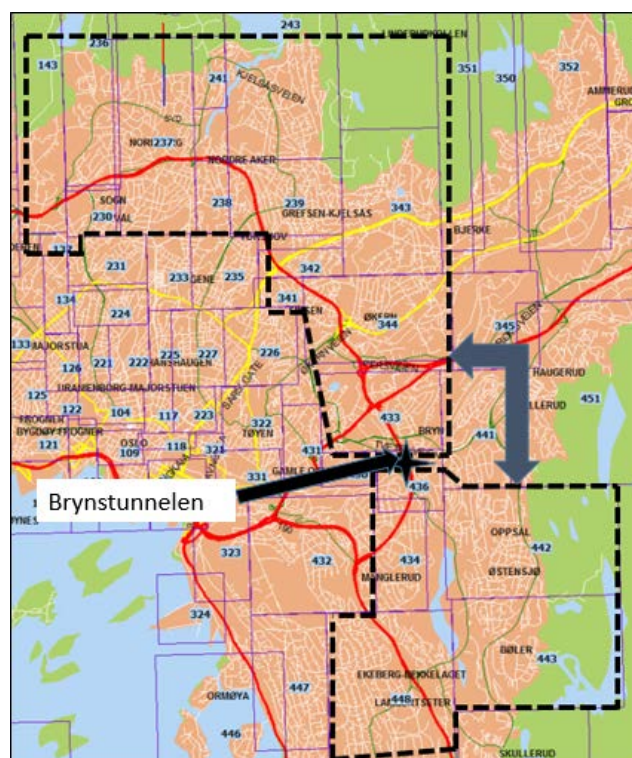
6.4.1 Datasettet fra Oslo Taxi

Taksameteret i drosjene logger kjøretøyenes bevegelse kontinuerlig ved hjelp av GPS om bord i bilene. Loggedataene har en noe ujevn frekvens, men har tilstrekkelig nøyaktighet til at man kan finne ut når bilen har stått i ro eller kjørt, hvilken kjørerute som er benyttet og hvorvidt drosjene har passasjerer eller ikke. I tillegg registrerer taksameteret turer mellom ulike stasjoner.

Gjennom BYTRANS-prosjektet har vi fått tilgang til et uttrekk fra turdatabasen til Oslo Taxi med logging av alle turene mellom desember 2015 og april 2016. Tabell 5 viser formatet på en liten del av datasettet. Turene er tidfestet og stedfestet med start- og sluttstasjon etter Oslo Taxis soneinndeling som er vist i Tabell 5 og Figur 34.

Tabell 5: Eksempel på loggedata fra Oslo Taxi.

Dato_start	Tid_start	Ukedag_start	Dato_slutt	Tid_slutt	Ukedag_slutt	FraSone	TilSone	km	Tidsbruk	Løype	Hastighet
01.01.2016	01:36	5	01.01.2016	01:44	5	235	134	3.114	00:08		23.4
01.01.2016	02:21	5	01.01.2016	02:31	5	431	223	3.541	00:10		21.2
01.01.2016	02:34	5	01.01.2016	02:46	5	223	447	7.988	00:12		39.9
01.01.2016	03:27	5	01.01.2016	03:46	5	125	449	13.893	00:19		43.9
01.01.2016	05:26	5	01.01.2016	05:40	5	136	174	9.241	00:14		39.6
01.01.2016	16:20	5	01.01.2016	16:30	5	115	225	4.084	00:10		24.5
01.01.2016	16:54	5	01.01.2016	17:02	5	115	223	2.881	00:08		21.6
01.01.2016	18:31	5	01.01.2016	18:38	5	115	121	3.518	00:07		30.2
01.01.2016	01:14	5	01.01.2016	01:33	5	132	235	8.565	00:19		27.0
01.01.2016	01:35	5	01.01.2016	01:44	5	239	139	6.46	00:09		43.1
01.01.2016	01:44	5	01.01.2016	01:53	5	128	145	4.066	00:08		29.5



Figur 34: Soner for stedfesting av taxiturer.

GPS loggingen (ikke vist her) er omfattende med 40 millioner punkter med info om id (ett skift er en id), dato/tidspunkt, fart og lokasjon. Dataene kan brukes til å separere bevegelsene til turer og studere rutevalget. I tillegg viser dataene om taxiene kjører med eller uten kunder.

Loggedataene har noen hopp i rapporteringen av lokasjon, noe som kan skyldes manglende tilgang til nettverkstjenester. Det bør likevel være mulig å finne ut hvilken rute drosjene har tatt med rimelig sikkerhet, dersom punktene kobles til et vegnettverk.

Vi har data for Oslo Taxi, som har ca 50% av taximarkedet i Oslo. Dersom andre taxiselskap innenfor samme område har samme type profil på sine turer, kan vi estimere totaltall for taxibevegelser med stor sikkerhet. Dette har vi ikke informasjon om, men vi antar at markedet i noen grad er delt mellom taxiselskapene slik at de betjener ulike turtyper.

Hastigheten som er oppgitt er ikke egnet til å si noe om hastighetsnivået utover i det punktet hvor loggingen ble gjort.

6.4.2 Potensiell kunnskap fra datasettet

Datasettet kan være kilde til informasjon om:

- Antall kundeturer, andel av tiden til kundereiser
- Reisematrise med fra-og til-mønster
- Total kjøretid og ventetid fordelt på de ulike statusene
- Sannsynlig rutevalg, dersom loggingen er gjort ofte nok

Koblet med data om vegnettverket kan datasettet gi informasjon om:

- Reiselengde
- Hastighet
- Rutevalg

6.4.3 Bruk av taxidata i trafikkmodeller

I Aimsun oppgir man hvor stor andel av trafikken som er taxi, og den gis som en fast andel. Man kan legge inn fra-til-matrise og spesifisere denne trafikken som en egen kjøretøytype, men dette er ikke vanlig i dagens Aimsun-modeller.

Taxier har adgang til kollektivfelt, derfor kan det være viktig å skille mellom private biler og taxi, men dette kan man spesifisere i Aimsun.

Det er ved analyser av adgang til kollektivfelt at det kan være nyttig å ha et mer presist reisemønster for taxiene. I dag utgjør imidlertid taxiene en for liten andel til at det er hensiktsmessig å legge ned ressurser for å skaffe et fullstendig datasett og bearbeide det til slike analyser.

Med mer bildeling av taxier, vil kanskje taxi bli mer attraktivt fordi det vil redusere kostnadene for kundene, og i så fall vil slike data kunne være nyttige.

Introduksjonen av automatiserte biler kan også gi et behov for å studere feltbruk og ulike kjøretøykategorier mer presist.

6.4.4 Bruk av taxidata i transportmodeller

Taxienes bidrag på veinettet modelleres ikke i dagens modellsystem, men de telles med i trafikkregisteringene og utgjør en del av verifiseringsgrunnlaget når vi foretar tilpasning og kalibrering av transportmodeller.

Det skilles ikke mellom drosjer og andre kjøretøy i telldata, slik at tellingene ikke kan brukes til å angi hvor stor andel drosjer utgjør av det totale trafikkgrunnlaget.

Den nasjonale reisevaneundersøkelsen kartlegger alle private turer og hvilket transportmiddel som er benyttet på turene. I denne er det oppgitt at i gjennomsnitt er 10 % av turene er gjennomført med kollektivtransport, og av kollektivturene utgjør taxi 4 % (Hjorthol mfl., 2014). Taxiturene utgjør dermed en liten andel av vegtrafikken. De kan likevel utgjøre en større andel på bestemte veger, spesielt i kollektivfelt og veger der kun kollektivmidler har adgang til å kjøre.

I og med at taxi er en såpass liten andel av transportgrunnlaget totalt sett, vil ikke det å legge inn en fast matrise for taxienes faktiske turmønster utgjøre noen betydelig forbedring av transportmodellen.

6.5 Transportørdata – eksempeldatasett

6.5.1 Beskrivelse av datasettet

Eksemplet vi fikk tilgang til var levert av en transportør. Det viser dato og tidspunkt for start av leveringsrunden for en lastebil, bilens id, rutebeskrivelse, samt kundens postnummer, for eksempel Kolsås postnummer 1333. Det er gitt et tidsvindu for leveringen og tidspunkt for faktisk ankomst til kunden. Lastens vekt, volum eller type var ikke oppgitt i denne databasen.

6.5.2 Andre datakilder innen gods

En gjennomgang av datakilder fra 2016 oppsummerer en rekke datakilder om godstransport (Hovi m.fl., 2016). Behovet for detaljerte data om godstransport for byområder fremheves, og data fra vareiere og speditører er nevnt som en mulig datakilde for å kartlegge godstrafikken i byområder. Statens vegvesen har en rekke datakilder som er vurdert i Hovi m.fl. (2017) for å kartlegge godsstrømmer i by. SSBs Varetransportundersøkelse er sammen med utenrikshandelsstatistikk og lastebilundersøkelsen utgangspunktet for en kartlegging av varestrømmer, forsendelser og leveranser i byområder (Pinchasik og Hovi, 2018).

En endring i regelverket om innsamling og bruk av data, General Data Protection Regulation – GDPR, trådte i kraft fra mai 2018 og har også begrenset muligheten til bruk av data, blant annet bruk av nummerskiltregistreringer.

6.5.3 Potensialet i transportørdata

Transportørdata har et potensiale som datagrunnlag for å representere godsstrømmer i transportmodellen. En godsmodell med et godt datasett kunne vært brukt til å analysere godstrafikk på vei, for eksempel knyttet til potensialet for å overføre godstrafikk til andre deler av byen, til rutevalg eller studier rundt effekten av bompenger, parkeringsregulering eller prioritering av godstrafikk.

6.6 Passeringsdata fra bomstasjoner

I bomstasjonene registreres nummerskiltene til kjøretøyene som passerer slik at abonnementet knyttet til dem belastes bomavgiften. Etter en tid slettes disse dataene og det er strenge regler for bruk av dataene.

Data fra bompasseringene kan blant annet gi informasjon om kjøretøyene som passerer, betalingsstatistikk, trafikkfordeling over døgnet og, hvis man setter sammen informasjon fra flere bomstasjoner, reisetid og reisemønster mellom ulike deler av byområdet.

Fra spørreundersøkelsene blant arbeidstakere, er det rapportert at valg av reisetidspunkt er en av de tilpasningene trafikantene gjør hyppigst. Av ansatte i Brynsområdet svarte 33 prosent av respondentene og 43 prosent av bilistene at de hadde endret reisetidspunkt som følge av kapasitetsreduksjoner i Brynstunnelen. Det er en større andel enn de som rapporterer at de har endret rutevalg eller transportmiddel (Tennøy mfl., 2017). Da ville man forvente tilsvarende resultater fra trafikktelegningene, dvs. at trafikken gikk opp før eller etter den mest trafikkintense perioden, og mindre trafikk i rushtidstoppen. Trafikktelegningene viser imidlertid at trafikken er redusert både før, under og etter rushtidstoppen.

RTM har ingen modellering av endret reisetidspunkt som en reaksjon på endringer i kapasitetsforhold eller forsinkelser. Turene er fordelt mellom tidsperioder i modellen etter observert fordeling fra RVU (Malmin, 2013). En av årsakene er at det finnes lite data om hvilke faktorer som påvirker valg av reisetidspunkt og eventuelt endringer i reisetidspunkt.

Det er imidlertid laget en tilleggsmodul til RTM som kan benyttes til å refordele bilturer innenfor en rushperiode som en etterberegning (Rekdal mfl., 2013). Denne modulen er lite brukt i analysesammenheng. I 2019 ble det også utviklet en ny modell for forskyvning av reisetidspunkt tilpasset RTM, men denne er foreløpig ikke testet og implementert (Flügel, Hamre 2019).

En mulig bruk av datasettet fra bompasseringene er å se på normal variasjon i passeringstidspunkt. Med informasjon om passeringstidspunkt på kjøretøynivå over mange dager, kan man få kunnskap om hvor stor variasjon det normalt er. Neste trinn kunne da vært å sammenligne slike data for en situasjon der det skjer en endring i kapasiteten, og hvor det oppstår forsinkelser, for å få kunnskap om hvor stort skift det er i reisetidspunkt.

I BYTRANS prosjektet ble det gitt signaler om at slike data kunne bli tilgjengelig, men det lyktes ikke å få tak i dem i løpet av prosjektperioden.

6.7 Passivregistrering av posisjonsdata via mobiltelefon

Tidlig i prosjektet var det håp om å få tilgang til posisjonsdata for mobiltelefoner, såkalt passivregistrering. Selv om ikke absolutt alle har smart-telefon eller stedstjenester på til enhver tid, kunne slike data brukes til å studere reisemønsteret til befolkningen, endringer over tid og i trafikkstrømmer som følge av endringer i transporttilbudet. Det var spesielt interessant å finne ut om befolkningen valgte andre destinasjoner for reisene sine mens tunnelene hadde redusert kapasitet. Dette er data vi ikke hadde tilgjengelig.

6.8 Kollektivdata; passasjerdata

Kollektivselskapene har etter hvert også sanntidssystemer som gir data om punktlighet og regularitet i kollektivsystemet. Data om passasjerantallet om bord gir både reisemønsteret for kollektivtrafikanter generelt, konkurranseforholdet til kollektivtransporten

sammenlignet med alternative transportmåter, variasjon over dag, uke, år og over tid, og effekten av endringer i kollektivsystemet. En ting man bør merke seg er at det skjedde store endringer i t-banetilbudet i undersøkelsesperioden for Brynstunnelen. Østensjøbanen var erstattet av buss i før-perioden, mens t-banetilbudet på Østensjøbanen ble styrket etter gjenåpning av Brynstunnelen (med en ekstra avgang per kvarter). Det vil derfor være vanskelig å sammenholde endringer i kollektivtrafikken opp mot kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen.

Kollektivdata fra Ruter som ble gjort tilgjengelig for BYTRANS kom for sent i prosjektet til at vi kunne bruke dataene til å sammenligne med resultater fra transportmodellen.

7 Samlet drøfting og konklusjon

BYTRANS-prosjektet har gitt nyttig kunnskap selv om vi satt igjen med langt mindre brukbare data enn vi håpet på i starten. Vi har gått i dybden på modellering av typisk byproblematikk, som kapasitetsforhold, reisetider, rutevalg og krav til data.

Behovet for analyser av trafikk i by er stort og økende. RTM-modellene benyttes i stor grad til slike analyser i dag, selv om modellverktøyet har klare svakheter i forhold til å representere både etterspørsel og avviklingsforhold i bytrafikken, spesielt rushtrafikken.

7.1 Gir transportmodellen reelle utslag?

Den strategiske transportmodellen RTM ble opprinnelig utviklet for strategiske transportanalyser på regionalt nivå, primært for å analysere vegtiltak og til dels kollektivtiltak i korridorer mellom byområdene. Siden modellen ble tatt i bruk rundt 2006 har den imidlertid blitt brukt til så å si alle aktuelle transportanalyser. Utviklingen av modellen har også gått i retning mot mer detaljering og større vekt på byproblematikk. Hvordan modellen er bygd opp er beskrevet i kapittel 3. Det er lagt vekt på å beskrive forutsetninger og modellens oppbygging i detalj, spesielt behandlingen av modellering av framkommelighetsproblemer.

En variant av RTM er benyttet i en case-studie i kapittel 4. Modellen er kalibrert slik at reisemiddelvalget og trafikkvolum på de viktigste lenkene stemmer med dagens situasjon. Vi hadde ikke data til å sjekke om kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen ga realistiske endringer i destinasjonsvalg og reisemiddelvalg, men fokuserte på trafikkmengdene over vegsnitt der vi hadde tellinger, og reisetidsmålinger på strekningen der tunnelen ligger. Modellberegningene ga endringer på et relativt akseptabelt nivå sammenlignet med trafikkteilingene før, under og etter kapasitetsreduksjonen i Brynstunnelen. Købelastet vegnett er likevel problematisk for modellen å gjenskape.

7.2 Gir transportmodellen riktige avviklingsforhold?

Avviklingsforhold på veglenkene gjennom og rundt Brynstunnelen ble studert ved å bruke transportmodellen til å simulere stenging av ett felt i en tunnel og sammenligne nøkkeltall fra beregningen med trafikkteilinger og reisetidsmålinger samt spørreundersøkelser blant arbeidstakere i nærområdet til Brynstunnelen.

Det var grunn til å stille spørsmål ved hvordan modellen bruker en global parameter for å bestemme nivået på trafikken i maksrushtimen. Det viste seg at maks trafikk inntreffer på ulike tidspunkt for ulike korridorer inn mot Oslo. Spørreundersøkelsene for arbeidstakere avslørte også at endring av reisetidspunkt er en av de mest vanlige tilpasningene trafikantene gjorde da framkommeligheten ble dårligere. Et annet spørsmål er hvordan transportmodellen beregner sammenhengen mellom trafikkvolum og hastighet på veglenkene. Ved kø- og krypkjøring stemmer transportmodellen dårlig med avviklingen i virkeligheten. Modellen ga mye høyere reisetid enn reisetidsmålingene viste ved kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen. Tilbakeblokkeringer og forsinkelser til lenker oppstrøms flaskehalser blir

heller ikke fanget opp i transportmodellen siden den bruker VDF-kurver som er knyttet til enkeltlenker.

En utvidelse av etterspørselsmodellen til å dekke en femte dimensjon, valg av reisetidspunkt, ville kunne løse problemet med rushtidsinndelingen. En nærmere studie av hvordan VDF-kurvene er definert ved sammenbrudd vil nok også være nyttig, selv om denne studien ikke gir noe grunnlag for anbefaling om hvordan kurvene bør defineres.

7.3 Er kombinasjon av AIMSUN og RTM en god ide?

Ved sammenbrudd i trafikkavviklingen gir AIMSUN-modeller en mer realistisk beskrivelse av avviklingsforholdene. En test av sammenkobling mellom AIMSUN og RTM i Trondheim konkluderte med at en slik løsning kan fungere rent teknisk, men er såpass ressurskrevende at det kun kan anbefales på mindre modellområder og ikke vil være praktisk gjennomførbart for modellområdene som normalt brukes i RTM.

En mulig løsning for å modellere tilbakeblokkeringer slik at en får riktigere rutevalg og tidsbruk, er å forsøke å modellere kø horisontalt, slik at lenker oppstrøms en flaskehals også blir påvirket av forsinkelser.

7.4 Sammenligningsgrunnlaget, hva er riktig «dagens situasjon»?

En gjennomgang av registrerte trafikk tall og reisetider som en forberedelse til sammenligning mellom registrerte og modellberegnete verdier, ga noen interessante erfaringer. Det var stor variasjon fra uke til uke i trafikknivåene. Det er derfor et spørsmål om vi har for store krav til at transportmodellen skal treffe på trafikk tall og reisetidsmålinger når de i praksis viser seg å være såpass ustabile. Dette er et tema for videre refleksjon, gjerne støttet av datasett fra flere områder.

7.5 Utviklingsbehov for modellverktøyene

For å representere etterspørselen på en god måte, er det nødvendig å skaffe tilveie data om all trafikk. Reisevaneundersøkelsen dekker private reiser, og selv om det er krevende å samle inn gode nok data i en RVU, er det uansett et godt grunnlag for å beskrive omfanget av og reisemønsteret for private reiser. De øvrige reisene er det derimot vanskeligere å få oversikt over med de tilgjengelige datakildene. Trafikktellinger og reisetidsmålinger på veg har vært viktige i vårt arbeid med evaluering av modellen. Hvis vi hadde hatt tilsvarende data for kollektivsystemet og kanskje også telldata for gående og syklende, ville vi kunne vurdert modellens representasjon av konkurranseforholdet mellom de ulike reisemåtene.

RTM er i utgangspunktet ikke designet for å håndtere lokale køforhold, med forsinkelser og tilbakeblokkeringer. Siden modellen nå brukes til å analysere trafikken i byområder, ville det vært ønskelig med en utvikling hvor slike forhold fikk prioritet. En kobling av RTM og AIMSUN virker ikke å være en riktig retning å gå generelt, men kan være aktuelt for mindre områder. De viktigste utfordringer vi har sett går på:

1. Beregning av riktige reisetider, som påvirker konkurranseforholdet mellom reisemåter og reiseruter i situasjoner med flaskehals i vegsystemet.

Destinasjonsvalget kan nok også påvirkes, men det hadde vi ikke mulighet for å avdekke i vår studie.

2. Køoppbygging, som påvirker reisetiden, ikke bare på den lenka hvor køen starter, men også lenkene oppstrøms. Dette påvirker også mulige rutevalg, fordi stillestående kø kan blokkere for omkjøringsmuligheter. Det hadde vært ønskelig om transportmodellene også gjenskapte slike køforhold, både for å modellere reisetiden bedre, og for å beregne riktigere rutevalg.
3. Inndelingen av rushtidstimene og rushtidstoppene skjer i virkeligheten til forskjellige tidspunkter i ulike deler av nettet. I modellen er inndelingen gitt globalt for modellområdet. Denne vil også være fast for alle beregningsalternativer i analysen. Spørreundersøkelsen blant arbeidstakere i området tyder på at endring av reisetidspunkt er en av de vanligste endringene trafikantene gjorde som tilpasning til kapasitetsreduksjonen, noe som underbygger at en slik dynamikk burde vært gjenskapt i transportmodellene. En løsning kunne derfor være å utvide etterspørselsmodellen til også å dekke valg av reisetidspunkt.

7.6 Krav til datakildene for bruk i modellverktøyene

Innledningsvis kategoriserte vi potensialet for bruk av data slik:

1. Bruke data direkte til å forbedre modellene
 - a. Etablere nye delberegninger eller definere og estimere nye beregningsrutiner
 - b. Kalibrere eksisterende modeller
 - c. Evaluere og validere eksisterende modeller
2. Vurdere potensialet i datatypene uten direkte sammenligning mot modell

Krav til data er høyest lengst opp i listen, men det er også potensialet for å forbedre modellene. Krav til data kan generelt være at de må ha riktig (tilstrekkelig) tidsoppløsning, detaljeringsnivå og omfang. Dette kan komme i konflikt med kravet til anonymitet og personvern for trafikantene. Derfor er også rutiner for anonymisering av data en viktig oppgave.

7.7 Potensialet for forbedring av transportmodellene

Tilgang til data er en utfordring for utvikling av transportmodellene videre. For å gjenskape trafikantenes atferd i transportsystemet er det viktig å vite hva de velger, hva de velger bort og hvorfor. Dette avsnittet er et forsøk på å svare ut spørsmålet: Hva er potensialet for forbedring av transportmodellen hvis datasettene skulle bli tilgjengelige?

7.7.1 Kollektivdata

Data om kollektivtrafikken kan gi kunnskap både om tilbudet og etterspørselen. Sanntidsinformasjon kan gi oversikt over om bussene går og om de går til rett tid. Dersom dette kobles til hvilken busstype som er satt inn, kan også komfortelementer og kapasitet knyttes til hver enkelt avgang. Med informasjon om antall påstigende og avstigende på holdeplasser, får vi kunnskap om kapasitetsutnyttelse og trengsel om bord og kanskje også på holdeplasser.

Bedre data om kollektivtransporten kan gi mulighet for å videreutvikle transportmodellene til å gi et riktigere bilde av tilbudet i transportmodellene. Data om reisemønstret for kollektivtrafikanter gir mulighet for å videreutvikle beregningen av etterspørselen etter kollektivreiser.

7.7.2 Faste matriser

De turmatrisene som i dag gis inn som faste matriser i transportmodellen, spesielt godstrafikken, utgjør en relativt stor del av vegtrafikken i byområder. Det er derfor viktig å få god kunnskap om omfanget og turmønstret til denne trafikken.

7.7.3 Totaltall på trafikkstrømmer

Passeringsdata fra bomstasjoner kunne gi kunnskap om hvor de store trafikkstrømmene går og gi utfyllende informasjon til trafikktegninger. Trafikktegningene gir kunnskap om antall kjøretøy som passerer hvert punkt. Passeringsdata fra bomstasjonene ville gi muligheten til å følge trafikkstrømmene gjennom nettverket. Kobling av nummerskilt mot eierskap kunne gi et skille mellom private turer og kommersielle turer og fordeling av kjøretøytyper på ulike reiser, for eksempel et skille mellom el-biler og fossile personbiler. Med data om klokkeslett for når de enkelte bilene passerte, og med den typen data over tid, kunne vi også studere hvor mange som reiser på samme sted til samme tid hver dag, og sånn få kunnskap om variasjon i trafikantergruppen og valg av reisetidspunkt fra dag til dag. Mobildata har også potensiale til å gi kunnskap om hvor de store trafikkstrømmene går, uavhengig av annet registreringsutstyr.

7.8 Avsluttende refleksjon

Transportmodellen som er benyttet i denne studien er svært kompleks. Det er kun et fåtall personer, hvis noen, som har kjennskap til alle detaljene i oppbygningen av modellen og hvordan den virker i ulike analysesituasjoner. Vi som har jobbet med dette prosjektet har lært mye gjennom å gå i dybden, teste og evaluere basert på tilgjengelige data. Forhåpentligvis har vi greid å formidle det vi har lært slik at andre kan ha nytte av denne gjennomgangen.

8 Referanser

- Betanzo, Mari (2019): STRATMOD. Brukerveiledning til storsonemodellen. Notat 145/2019. Urbanet Analyse. Oslo
- Brandal, Geir-Ove og Sebastian Nerem (2015): Bedre samsvar mellom modell og virkelighet – kontroll og justering og justering av RTM23+. PROSAM-rapport 2019. Norconsult. Oslo.
- Diez, Maria (2013): Potential Underestimation in Commercial Trips in the Regional Transport Model. Transport, specialization project. NTNU. Trondheim.
- Flügel, Stefan og Tom Hamre (2019): En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt for turer i regionale transportmodeller. TØI-rapport 1727/2019. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Flügel, Stefan, Askill H. Halse, Nina Hulleberg, Guri N. Jordbakke, Knut Veisen, Hanne B. Sundfør og Marco Kouwenhoven (2020): Verdsetting av reisetid og tidsavhengige faktorer. Dokumentasjonsrapport til Verdsettingsstudien 2018-2020. TØI rapport 1762/2020. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Giæver, Terje, Børge Bang, Thomas Engen, Snorre Ness og Roar Norvik (2009): Analyse av behovet for transport- og trafikkdata i Statens vegvesen. SINTEF-rapport A9265. SINTEF. Trondheim.
- Hamre, Tom (2007): Testing og implementering av nye volume/delay-funksjoner i EMMA/FREDRIK. PROSAM-rapport 144. Urbanet Analyse AS.
- Hjorthol, Randi, Øystein Engebretsen og Tanu Priya Uteng (2014): Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2013/14 – nøkkelrapport. TØI-rapport 1383/2014. Transportøkonomisk institutt.
- Hovi, Inger Beate (2018) Varestrømmer i Norge – en komponent i Nasjonal godsmodell. TØI rapport 1628/2018. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Hovi, Inger Beate, Elise Caspersen, Tale Ørving (2017): Bruk av vegvesenets databaser for analyser av godstransport i by. TØI-rapport 1568/2017. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Hovi, Inger Beate, Daniel Ruben Pinchasik, Eirik Auråen og Marit K Natvik (2016): Data om godstransport. Dagens statistikk og nye datakilder. TØI-rapport 1524/2016. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Høyem, Harald, Torbjørn Birkeland, Mads Berg, Stig Alstad, Eli-Trine Svørstøl, Tormod W. Haug og Trude Tørset (2020): Integrering av RTM og Aimsun. En vurdering og testing av muligheter. Rapport 108/2020. Urbanet Analyse. Oslo.
- Levin, Tomas, Trude Tørset, Olav Kåre Malmin og Ola Rennemo (2015): Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller. Sintef-rapport A26649. SINTEF. Trondheim.
- Madslie, Anne, Christian Steinsland Stein Erik Grønland (2015): Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen. TØI-rapport 1429/2015. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Malmin, Olav Kåre (2013): CUBE-Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell. SINTEF-rapport A24718. SINTEF. Trondheim.
- Nerem, Sebastian, Geir-Ove Brandal og Frode Voldmo (2016): Grunnlag for evaluering av RTM23+. PROSAM-rapport 223. Norconsult.
- Persson, Jenny, Erlend Hoksrud Aakre, Oddrun Dalgard, Torbjørn Birkeland, Sara Horseide Fjellvåg og Stig Alstad (2019): Veileder for AIMSUN. Delkapitler til veilederen. Asplan Viak. Trondheim.

- Pinchasik, Daniel Ruben og Inger Beate Hovi (2018): Varestrømmer og leveranser i byområder. TØI-rapport 1649/2018. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Rekdal, Jens, Odd I Larsen, Arne Løkketangen og Tom N. Hamre (2013): TRAMOD_BY del 1: Etablering av nytt modellsystem. Revidert utgave av rapport 1203. Rapport 1313. Møreforskning. Molde.
- Rekdal, Jens (2007): Etablering av RTM for Oslo og omegn (RTM23+). Sammenstilling av resultater fra Fredrik, PRVU01 og RTM23+. Prosamrapport 149. Statens vegvesen Region øst.
- Rekdal, Jens, Tom N. Hamre, Stefan Flügel, Christian Steinsland, Anne Madslie, Berit Grue, Wei Zhang og Odd I. Larsen (2014): NTM6 – Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km. Rapport 1414. Møreforskning. Molde.
- Tennøy, Aud, Elise Caspersen, Oddrun Helen Hagen, Iratxe Landa Mata, Susanne Nordbakke, Kåre H. Skollerud, Anders Tønnesen, Tale Ørving og Jørgen Aarhaug (2019): BYTRANS: Effekter og konsekvenser av kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen. Dokumentasjonsrapport. TØI-rapport 1733/2019. Transportøkonomisk institutt. Oslo.
- Tennøy, Aud, Elise Caspersen, Oddrun Helen Hagen, Per Andreas Langeland, Iratxe Landa Mata, Susanne Nordbakke, Kåre H. Skollerud, Anders Tønnesen, Christian Weber, Tale Ørving og Jørgen Aarhaug (2016): BYTRANS. Effekter og konsekvenser av kapasitetsreduksjon i Brynstunnelen. Per 2016. TØI rapport 1566/2017. Transportøkonomisk institutt. Oslo
- Tretvik, Terje (2011): Tidsprofiler for reisehensikter og reisemåter fra nasjonal RVU 2009, SINTEF-Notat 96. SINTEF. Trondheim.
- Tørset, Trude, Olav Kåre Malmin, Børge Bang og Dag Bertelsen (2013): CUBE-Regional persontransportmodell versjon 3. SINTEF-rapport A24717. SINTEF. Trondheim.
- Tørset, Trude, Solveig Meland, Tomas Levin, Tormod Haug og Bård Norheim (2012): Verktøy til transportanalyser i byområder. Hvilke analyser kan dagens verktøy brukes til og hvilke verktøy trenger vi til transportanalyser i by? SINTEF-rapport A23560. SINTEF. Trondheim.
- Tørset, Trude (2006): Godsmatriser til RTM for EFFEKT 6 – beregninger. SINTEF-rapport STF50 A06104. Trondheim.
- Voldmo, Frode, Linda Stokke, Einar Bowitz og Sebastian Nerem (2018): Evaluering av gjennomførte prosjekter – Transportmodellberegninger RTM23+. PROSAM-rapport 230. Norconsult.
- Welde, Morten, Eivind Tveter og James Odeck (2017): Trafikkprognoser og trafikkutvikling i ferjeavløsningsprosjekter. Concept arbeidsrapport. NTNU. Trondheim.

Vedlegg 1 Kollektivfelt på E18 i Aimsun

Modellering av kø i strategiske transportmodeller er en uløst utfordring fortsatt. Som del av BYTRANS-prosjektet var det aktuelt å studere hvordan f.eks. AIMSUN kunne bidra. AIMSUN er et mikrosimuleringsverktøy som simulerer enkeltkjøretøy gjennom et nettverk. Detaljeringsgraden i AIMSUN er høyere enn i RTM i forhold til tidsoppløsning på etterspørselen, koding av nettverk og kryssregulering og valgene til førerne i kjøretøyene. Studien som er dokumentert i dette vedlegget ble gjort for å få en dypere forståelse for hvordan kø avvikles i virkeligheten – og i modeller.

E18 er en hovedferdselsåre inn til og ut av Oslo mot vest. Det ble gjennomført et midlertidig forsøk med kollektivfelt i det høyre feltet på E18 mot vest i 2016. Tiltaket var modellert via AIMSUN og konkluderte med at både bussene og andre trafikanter ville få dårligere fremkommelighet som følge av kollektivfeltet. Tiltaket var omstridt og ble omgjort etter 3 uker.

Normalt vil man forvente at dedikert kapasitet til bussene gir bedre fremkommelighet, og det var utgangspunktet for at vi ønsket å gå nærmere inn i dette caset i BYTRANS.

Resultatene fra trafikksimuleringene viser at problemet oppstår fordi sidevegnettet har for lite kapasitet til å absorbere avkjørende trafikk. Det gir tilbakeblokkering av kø på E18, og bilene blir da stående i kollektivfeltet og vente på avkjøring.

Arbeidet er dokumentert på de neste sidene som en kort artikkel på engelsk.

Impact of sub-network traffic state on the performance of freeway dedicated bus lane based on AIMSUN

I Introduction

The live experiment project BYTRANS

The main goal of BYTRANS is to collect knowledge about changes in behaviour when the transport service is changing. Extensive data collection about the impact of actual changes in transport services, through before and after surveys, counts and register data is valuable knowledge when facilitating a sustainable development of the urban transport system.

The case in BYTRANS is Oslo with temporary changes in capacity through 10 tunnels, in the main road network. The reason is requirements to upgrading the tunnels to current standards. The first changes in transport service happens when the tunnels are closed parts of the day, or have closed one or more lanes. The second when the upgrading of the tunnels are finished and the capacity is back to normal.

These changes gives an excellent opportunity to studying real time effects of capacity changes, which could contribute to knowledge about adaptive behaviour amongst all travellers facing new transport services, and thus improving planning practices. The behaviour changes can give controlled live experiences with capacity reductions on urban main roads, and input to rethinking the need for urban road capacity.

The E18 on the western side of Oslo has not had any capacity reductions due to tunnel closing, but the Norwegian Public Roads Administration had a trial period when they reduced the capacity for cars, dedicating one westbound lane for busses. Thus, this experiment falls well within the main goal of BYTRANS, to study impacts of capacity reductions.

The E18 westbound bus lane, previous tests

The E18 through Bærum has three lanes in each direction. In the eastbound direction (towards Oslo), the right lane has a dedicated bus lane, only broken by on and off ramps. The three lanes heading west have no lane priority for public transport.

Because the buses in the area are quite often running late, there is a question if the one of the lanes going west between Lysaker and Sandvika should be marked as public transport lane as well. The Norwegian Public Roads Administration, has been considering the consequences for a solution like that but does not recommend establishing lanes for public transport.

Preliminary analysis of a bus lane replacing one of the car lanes, include traffic simulations using Aimsun in a corridor model, and a three-week test period (Esam and Torp, 2016). The main conclusions from the traffic simulation was that the delays

increased on the local network and on the ramps because entering the main road was harder, delays increased on E18 because of less capacity on the main road, both leading to a worse situation for busses. If the traffic level was reduced by 25%, the bus lanes would however lead to overall reductions in travel times for busses.

In the actual test period, the delays on the main road were leading to leakage to the side network, harder for the side traffic to entering the main road and long queues on the main road and on the side network. The results were not fully documented, but were described in a newspaper article (Budstikka Nov 8th, 2017. See appendix).

Related work on Bus lanes

As a widely applied traffic management strategy, dedicated bus lane (DBL) can improve the efficiency of the transit system by preventing buses from getting trapped in traffic jams. However, DBLs reduce available capacity for general traffic and lead to even more congested car traffic situations. Several studies have focused on bus lane (Black, Lim, & Kim, 1992; Tanaboriboon & Toonim, 1983; Balke, Dudek, & Urbanik II, 2000). Based on the cellular automaton traffic flow model and the concept of public transport priority, (Zhu, 2010) proposed a two-lane traffic model to investigate the impact of bus lane on urban traffic. The results showed that the DBL has the advantage of freeing buses from traffic interference but also has the disadvantage of disrupting traffic. Moreover, he indicated that the DBL is only appropriate for low traffic flow in a two lane traffic system. (Basso, Guevara, Gschwender, & Fuster, 2011) indicated that the dedicated bus lanes is a better stand-alone policy than transit subsidization or congestion pricing. (Chiabaut, Xie, & Leclercq, 2012) investigated the impact of bus lanes with intermittent priority (BLIP) on capacity and travel times in a signalized corridor. The result shows that BLIP activation reduced capacity and increased the travel time of buses. (X. Chen, Yu, Jia, & Gong, 2014) proposed an analytical model for estimating the capacity of weaving, merge, and diverge sections with the freeway dedicated bus lane based on VISSIM. The results show that the proposed model is applicable and easy to use with an acceptable accuracy. (Y. Chen, Chen, & Wu, 2016) evaluated the performance of freeway dedicated bus lane by using Paramics microsimulation model. The result shows that the bus lane will increase the average speed of bus which decrease the average bus travel time.

Nevertheless, DBLs still remain controversial and not always well accepted. (Chiabaut et al., 2012) point out that the unavailability of the dedicated lane for individual vehicles would decrease the capacity for passenger cars. Therefore, from a car user's perspective, DBLs are only appropriate for low traffic flows (Eichler & Daganzo, 2006). Research is ongoing in the field of DBLs.

Traffic simulation approach

The general perception is that increased capacity gives increased flow and improved mobility. The initial simulations before the actual pilot indicated reductions in travel time for busses when they got a dedicated lane, but only for busses on E18. The simulations did not include the side network, only the ramps on and off E18. The pilot project over three weeks showed that the delays affected the busses negatively, with no or little effect for buses on the main road, but considerable delays on the secondary road network.

The solution tested by the traffic simulation was to reduce the overall traffic volumes. This could be achieved with tolling, primarily in the rush hours, parking restrictions, land use changes etc.

What is surprising in the tests is that although the buses on the main road were assigned more capacity, it had very little effect on the mobility for buses, even on the main road. Thus, in this study we have used the simulation model to consider other approaches to improving the buses' mobility on the main road.

The situation in Oslo seems different than all other experiences and needs further investigation and explanation. In order to explain the real-world case which happened in Oslo, Norway, this study investigates the impact of sub-network traffic state on the operational performance of bus by using a traffic microsimulation test bed. To assess which effects are occurring, different scenarios have been considered and investigated.

II Problem statement

In the previous simulations, applying bus lane and assuming 20-25% less traffic demand on E18, led to buses and other modes of traffic interacting in a good way, and decreasing average bus delay. However, reducing traffic would probably in itself imply better mobility for buses. In this study, we have investigated other approaches using the traffic simulation model, including moving the bus lane from the rightmost lane to the left-most lane, and also the impact of sub-network traffic condition on main freeway bus delays.

III Model

27 off-ramp and 24 on-ramp

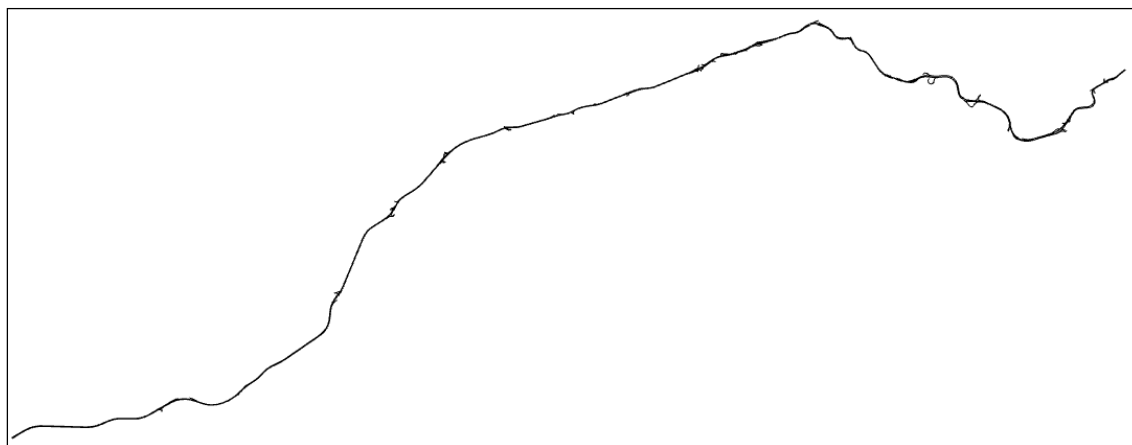


Figure 1. Simulation model

In order to model the impact of secondary road network on traffic delay on E-18, we use ramp metering to control the off-ramp capacity, as shown in Figure 2. In this study, we simulated several different scenarios, from heavily congested secondary network to uncongested secondary network. Moreover, different bus lane locations on average bus delay are also investigated.

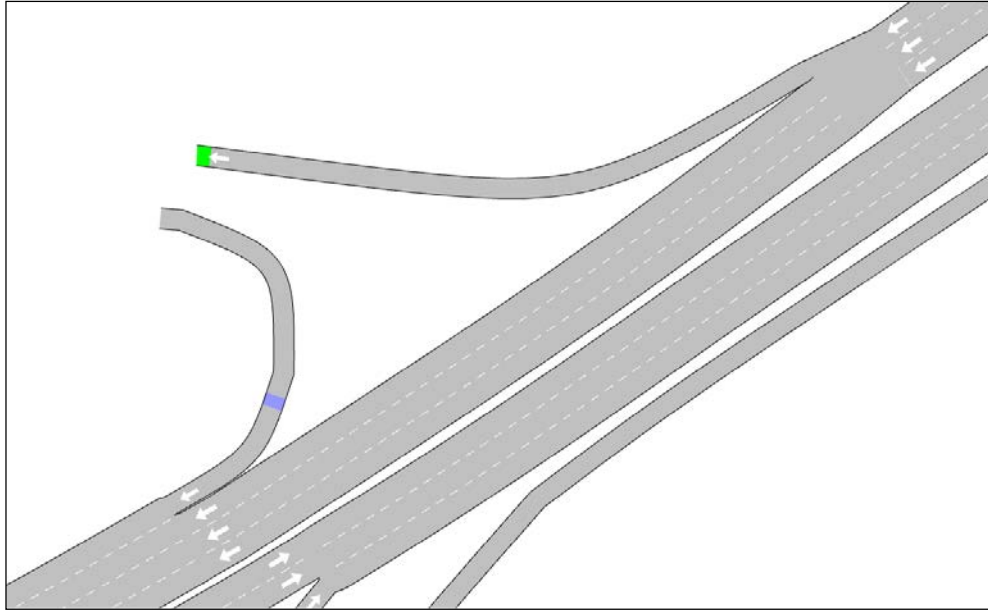
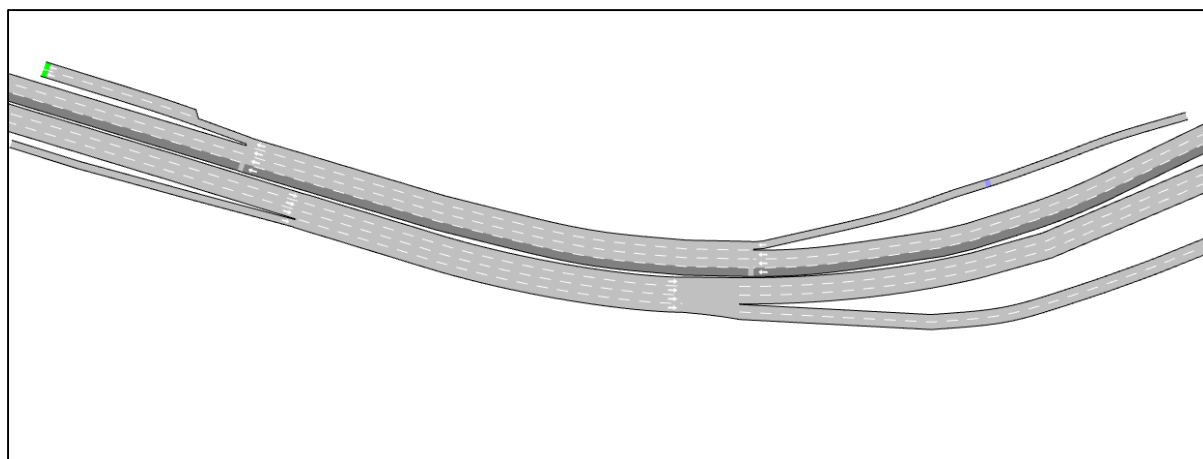


Figure 2. Capacity control of off-ramp

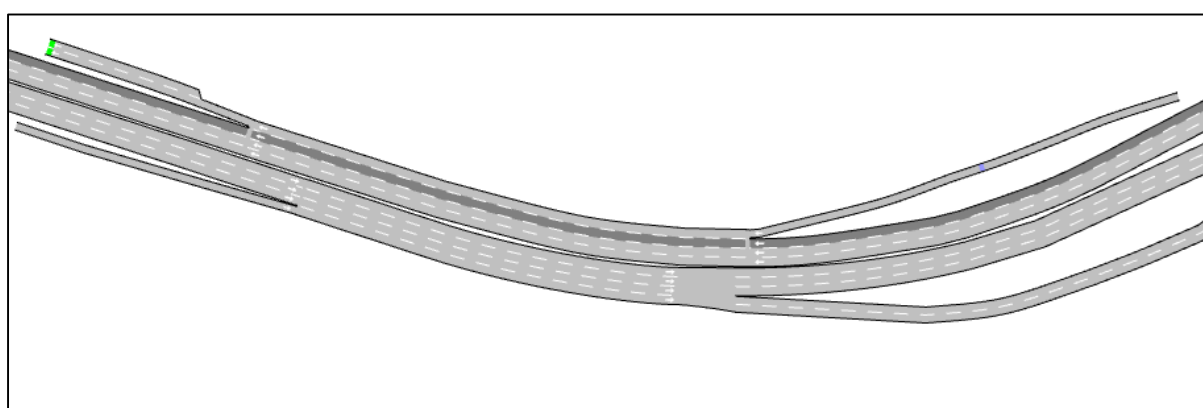
According to real world policy, the following assumptions are made:

1. Demand of Electric vehicle and buses are kept constant
2. The demand increment on every intersections or roundabouts in the secondary road network is the same

Moreover, we simulated the impact of bus lane location on bus delay. As shown in Figure 3, two types of bus lane are simulated to reveal the impact of DBLs on bus travel time. Types 1 imply the dedicated bus lane is located in the leftmost lane.



a) Type I, leftmost lane



b) Type II, rightmost lane

Figure 3. Bus lane types, left or right lane

Results

As show in the Figure 4 and Table 1, average bus delay increases exponentially when the off-ramp capacity decrease. When the demand on freeway decrease 5 percent and the off-ramp capacity is less than 900 veh/hr/ln, the average delay of buses is worse than our expectation. When the demand on freeway decrease 10 percent and the off-ramp capacity is less than 720 veh/hr/ln, the average delay of buses is worse than our expectation. When the demand on freeway decrease 20 percent and the off-ramp capacity is less than 720 veh/hr/ln, the average delay of buses is worse than our expectation. Sub-network congestion can significantly affect the bus delay on the freeway.

Table 1 Average bus delay of different demand decrement and sub-network traffic states

Average Bus Delay (Sec/km)		Demand Decrement		
		5%	10%	20%
Off-ramp Capacity (Veh/hr/ln)	540	135.04	111.09	67.75
	720	59.92	31.2	10.28
	900	12.31	6.56	4.34
	1080	5.69	4.88	4.22
	1260	5.41	4.4	4.03
	1440	5.42	4.62	3.58

The main results from these tests are that the higher capacity on the off-ramp, the better flow on the main road, indicating that this is the main problem. The off-ramps are the actual bottlenecks on E18. Queues waiting to exit E18 create delays on E18 for traffic heading straight ahead and makes entering E18 harder because there is a spill back on the rightmost lane from the off-ramp further ahead.

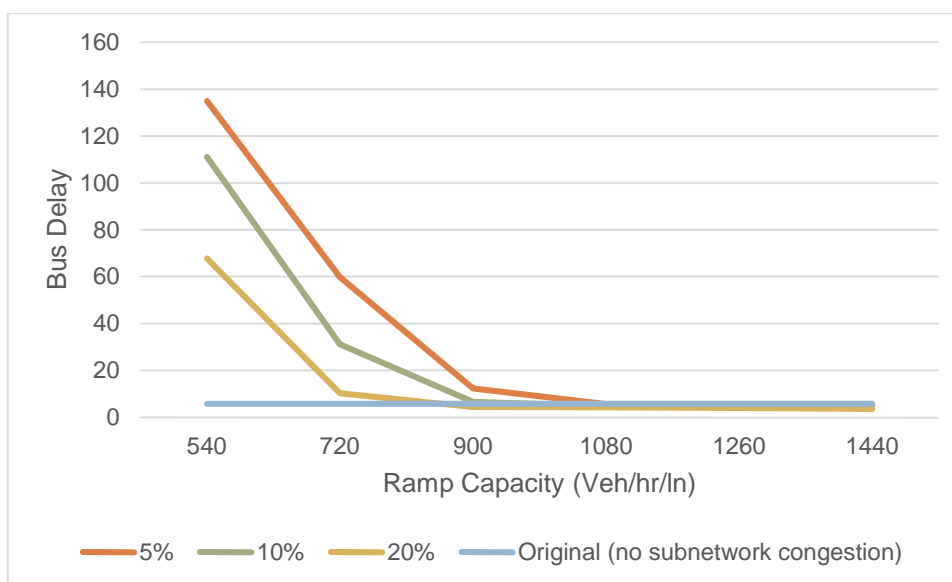
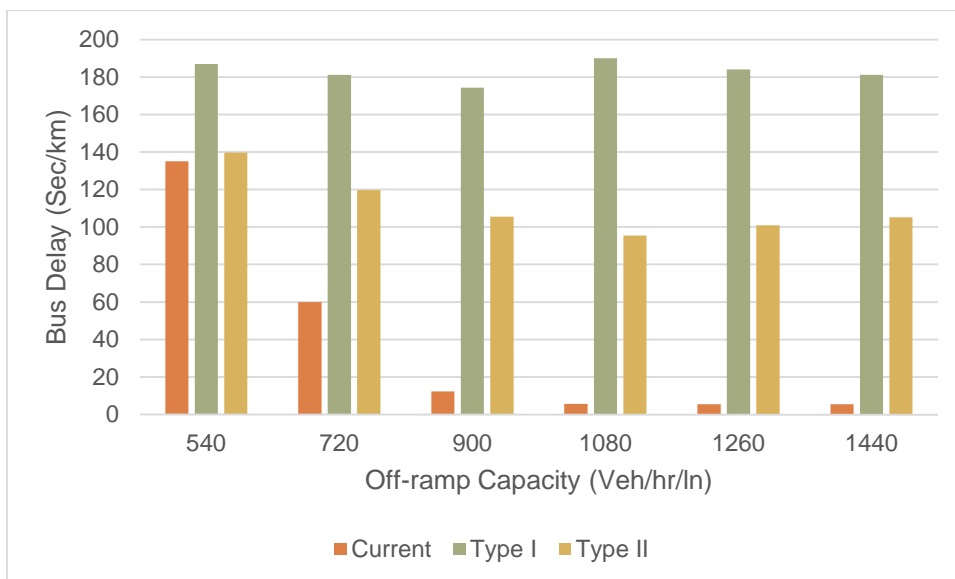
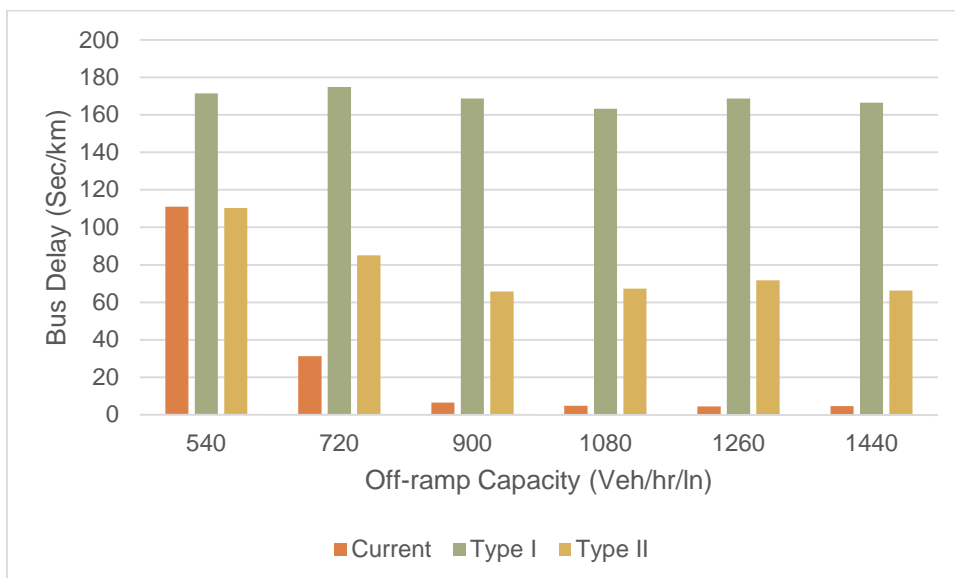


Figure 4. Impact of different subnetwork congestion level on average bus delay

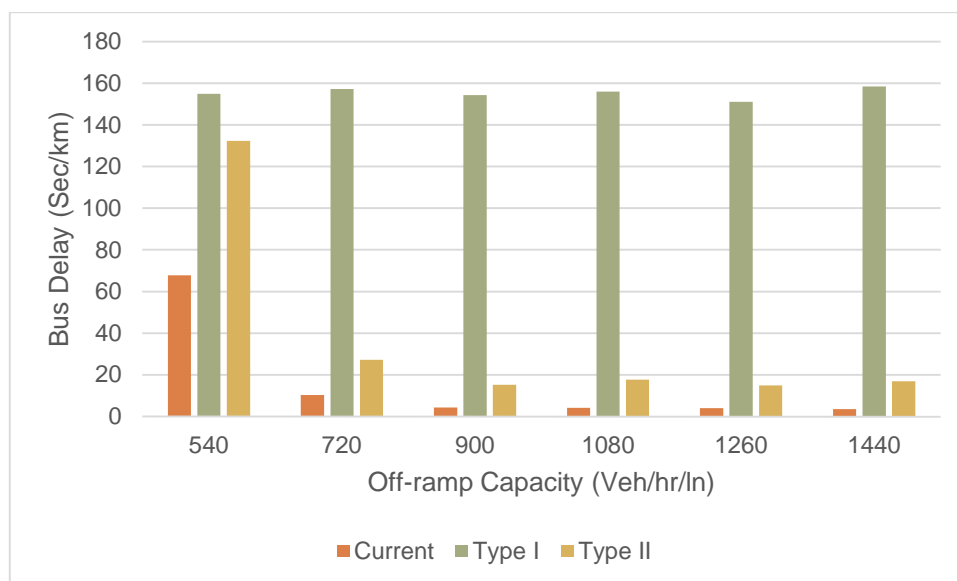
By varying the location of bus lane location, we have simulated different sub-network traffic states. As shown in Figure 5, the bus lane will decrease the average speed of bus which increases the average bus delay. Type II bus lane outperformed Type I bus lane. The application of bus lane may not lead to better performance of bus travel time. The reason is that DBL decreased the capacity of passenger cars. The congestion of passenger cars will affect the onboard bus travel time by blocking the off-ramps.



a) 5% Demand Decrement



b) 10% Demand Decrement



c) 20% Demand Decrement

Figure 5. Impact of different bus lane type on average bus delay

Conclusions

Possible solutions:

1. Add bus lane to the off-ramps or increasing the number of lanes on the off-ramp
2. Change operation plan for sub-networks, more green time for off-coming traffic
3. Change the bus lane location to improve the mobility of the express buses

Discussion

Dedicating one of the lanes may not improve the situation for the buses travel time. In this situation the rightmost lane was a public transport lane, also allowing electric vehicles on it. The main problem was that traffic to and from ramps on and off the freeway also must be allowed through this lane, causing queues, not only on the public transport lane, but in the other lanes as well. The offramps had too low capacity and represented bottlenecks in the system. Moving the dedicated public transport lane to the leftmost lane would have improved the situation for express buses, but would require lane changes for buses which needed to reach bus stops on the right side of the freeway, causing delays for those buses and also reducing speed in the public transport lane. This was not possible to represent in the applied traffic simulation tool used in this study.

The overall experience gained from this study is that queues must be studied at a system level, including all relevant aspects of the problem.

Expected reactions from the actual real-life test, had it continued, might have been a transfer of travelers to public transport and a transfer from conventional cars to electric cars. However, using queuing as a mean to accomplish traffic reductions is not an

environmental good solution. Cars queuing produce more emissions per distance driven because of the stop-go behavior than cars driving in an even speed.

Simulation studies were helpful in analyzing the situation, but we could perhaps have looked more closely into the realism in expanding the off-ramp capacity had we expanded the traffic model to cover a wider area.

Sometimes increasing the capacity for public transport, actually worsens the situation for all travelers, as shown in this case.

Reference

- Balke, K., Dudek, C., & Urbanik II, T. (2000). Development and Evaluation of Intelligent Bus Priority Concept. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1727(00), 12–19. <https://doi.org/10.3141/1727-02>
- Basso, L. J., Guevara, C. A., Gschwender, A., & Fuster, M. (2011). Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion. *Transport Policy*, 18(5), 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.01.002>
- Black, J. A., Lim, P. N., & Kim, G. H. (1992). A traffic model for the optimal allocation of arterial road space: A case study of Seoul's first experimental bus lane. *Transportation Planning and Technology*, 16(3), 195–207. <https://doi.org/10.1080/03081069208717483>
- Chen, X., Yu, L., Jia, X., & Gong, H. (2014). Analytical Procedures for Estimating the Capacity of the Urban Expressway Section near Off-Ramps and On-Ramps with a Median Exclusive Bus Lane. *Journal of Transportation Engineering*, 140(3), 04013018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000642](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000642)
- Chen, Y., Chen, G., & Wu, K. (2016). Evaluation of Performance of Bus Lanes on Urban Expressway Using Paramics Micro-simulation Model. *Procedia Engineering*, 137, 523–530. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.288>
- Chiabaut, N., Xie, X., & Leclercq, L. (2012). Road Capacity and Travel Times with Bus Lanes and Intermittent Priority Activation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2315, 182–190. <https://doi.org/10.3141/2315-19>
- Eichler, M., & Daganzo, C. F. (2006). Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(9), 731–744. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2005.10.001>
- Esam, Farid & Arne Torp (2016): E18 Lysaker-Sandvika. Vurdering av kollektivfelt. NPRA-report. The Norwegian Public Roads Administration, Region east.
- Tanaboriboon, B. Y., & Toonim, S. (1983). Impact Study of Bus Lanes in Bangkok. *Journal of Transportation Engineering*, 109(2), 247–256.
- Zhu, H. B. (2010). Numerical study of urban traffic flow with dedicated bus lane and intermittent bus lane. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 389(16), 3134–3139. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.03.040>

Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et verrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel på internett og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no