

Karen Oline Kolstad

En vurdering av muligheten for forbedret beskrivelse av kryssforsinkelse i RTM

Ved bruk av reisevanedata fra SmartRVU

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Trude Tørset

Medveileder: Ellen Heffer Flaata

Juni 2021



Karen Oline Kolstad

En vurdering av muligheten for forbedret beskrivelse av kryssforsinkelse i RTM

Ved bruk av reisevanedata fra SmartRVU

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Trude Tørset
Medveileder: Ellen Heffer Flaata
Juni 2021

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



Norwegian University of
Science and Technology

Sammendrag

Transportpolitiske målsetninger setter press på å velge de beste alternativene for areal- og vegutbygging. Ofte vil det si å velge et alternativ som er samfunnsøkonomisk lønnsomt, og det med høyest netto nytte per investerte krone. Det krever oversikt over alle positive og negative konsekvenser ved utbyggingsalternativene, og for å estimere konsekvenser knyttet til areal- og transportutvikling i Norge brukes Regional persontransportmodell (RTM). Selv om RTM treffer godt på mange områder er det sett spesielt store utfordringer med hvordan modellen beskriver kjørehastighet i byområder. Et av områdene flere poengterer at bør studeres ytterligere for å øke modellens dynamikk og evne til å modellere hastighet i byområder, er forsinkelse i vegkryss (kryssforsinkelse).

I denne oppgaven er det gjort en empirisk studie for å avdekke kryssforsinkelse fra reisevanedata samlet inn med en reisevanepilot utviklet av SmartRVU. Resultatene er sammenlignet med forsinkelsesverdiene som benyttes i RTM i dag, og sammenfattet i en tabell med de verdiene som er vurdert til å best beskrive forsinkelse for hver krysstype, svingebevegelse og vikeforhold, både i lavtrafikk og rushtrafikk.

De viktigste resultatene er:

- Forsinkelsen som er lagt inn i RTM i dag bruker 25 %-persentilen av observerte verdier for å beskrive forsinkelse i lavtrafikk. Dette vurderes til å være et noe konservativt anslag, da 75% av de observerte turene har høyere forsinkelse enn denne verdien. Anbefalte verdier bruker medianverdi til å beskrive forsinkelse både i lavtrafikk og rushtrafikk.
- Denne studien gir en forsinkelse som er relativt lik det som brukes i RTM i dag for X-kryss og T-kryss, men med en trend med høyere forsinkelse i lavtrafikk og lavere forsinkelse i rushtrafikk.
- Forsinkelse i rundkjøring er noe lavere for alle svingebevegelser i denne studien sammenlignet med forsinkelsen som er lagt inn i RTM i dag. Årsaken kan være forskjell i hvordan forventet reisetid uten kryss er beregnet.
- I signalregulerte kryss er forskjellen mellom forsinkelsen fra denne studien og den som brukes i RTM i dag nokså stor, med over 15 sekunder økning for høyresvingende i lavtrafikk. Langs ruter som passerer flere signalregulerte kryss kan dette potensielt bidra til store endringer i modellert hastighet, noe som videre kan påvirke både forventet rutevalg og reisemiddelvalg. For signalregulerte kryss ses det spesielt stor fordel å bruke forsinkelser basert på lokalt innsamlede observasjoner da signalplan og prioritering har stor betydning for forsinkelsen.

Det er også erfart at modelleringen av rundkjøringer er gjort noe uregelmessig, da både lenkelengder og hastighet på lenekene som representerer sirkulasjonsområdet er satt skjønnsmessig. For hver enkelt rundkjøring varierer det derfor hvilken kjørehastighet og lengde som er lagt til hver lenke, og i hvilken grad det stemmer overens med faktisk tidsbruk i sirkulasjonsarealet.

Til slutt ble det gjort en analyse for å vurdere hvordan endrede kryssforsinkelsesverdier påvirker forventede reisetider. Konklusjonen er at endrede verdier kan være et steg i retningen av en riktigere hastighetsmodellering i lavtrafikk, da mer av forsinkelsen kan legges til kryssene. Verdiene for rushtrafikk gir imidlertid lavre reisetid enn med dagens forsinkelsesverdier, og for å oppnå samme reisetider som i RTM dag må mer av forsinkelsen legges inn med andre variabler. Nye kryssforsinkelsesverdier er ikke løsningen for å kunne fjerne nedkodet hastighet, da nye verdier for kryssforsinkelse på langt nær gir den samme forsinkelsen som nedkodet hastighet. For å oppnå en mer dynamisk modell med bedre evne til å vise faktiske effekter av vegutbygging, areal- og transporttiltak bør derfor flere parametere ved hastighetsberegningen studeres ytterligere.

Abstract

Transport policy objectives puts pressure on choosing the best alternatives for land- and road development. This often means to choose one that is socioeconomically profitable, and the one with highest benefit-cost ratio. This requires knowledge of all potential positive and negative consequences related to the project(s). Regional persontransportmodell (RTM) is used to estimate such consequences for land- and road projects in Norway. Despite that the model provides realistic results in many cases, it has been challenges in how the model describes speed in urban areas. One of the challenges that has been pointed out should be studied further, to increase the model's dynamics and ability to model speed in in urban areas, is delay at road junctions (cross section delay).

By doing an empiric study, values for cross section delay has been revealed from travel habit data retrived by an travel habit pilot developed by SmartRVU. The results are compared to the values used in RTM today, and summarized in a table with the values that are considered to best describe the delay for each cross section type, turning movement and yielding condition, both for low traffic and rush hours.

The main results are:

- The delay that are used in RTM today, is based on the 25% percentile of observed values to describe the delay in low traffic. This is seen as a somewhat conservative estimate, as 75% of observer trips have a higher delay than this value. Recommended values use the median value to describe delays in both low traffic and rush hour traffic.
- The delay in X-junctions and T-junctions do not differ a lot from the values that are used in RTM today, but with a trend with higher delay in low traffic and lower delay in rush hours in this study.
- The absolute change in roundabouts is low, but with lower delay for all turning movements in this study.
- In signal-controlled intersentions the difference in delay is large for right and left turning vehicles, with an increase of more than 15 seconds for right turn in low traffic. Along routes that pass several signal-regulated intersections, this can potentially contribute to major changes in modeled speed, which can further affect both expected route choices and means of travel. For signal-controlled intersections, it is particularly advantageous to use locally collected observations to represent the delay, as signal planning and prioritization are of great importance for the delay.

It has also been experienced that the modeling of roundabouts has been done somewhat irregularly, as both the link lengths and the speed of the links that represent the circulation area are set at discretion. As a consequence, both the delay already represented in the links, and to what extent it corresponds to the actual time spent in the circulation area, differ from one roundabout to another.

The last part of the study is an analysis that aims to assess how changed cross section delay affects the travel times. The conclusion is that changed values can contribute to a somewhat more correct speed modeling in low traffic, as more of the delay can be added to the intersections. In rush hours, however, the travel times is lower, and in order to achieve the same travel times as today, more of the delay must be included in other variables. Thus, new cross delay values are not an overall solution if the goal is to remove the manually set lower speed, as new values for cross-delay in no way leads to the same amount of delay. In order to achieve a more dynamic model with a better ability to show actual effects caused by changed road network, area- and transport measures, several parameters in the speed calculation needs to be researched more.

Forord

Masteroppgaven definerer slutten på masterstudiet i Bygg- og miljøteknikk. Gjennom årene på NTNU har jeg hatt rundt 30 emner, som både har vært med på å utfordre og motivere meg. De emnene jeg har likt best har gjort dette på en balansert måte. Det gjelder blant annet emnene innenfor retningen Veg- og transport, en retning jeg ikke visste spesielt mye om før jeg startet på studiet, men som har vist seg å være et spennende fagfelt.

Temaet for masteroppgaven har vært forsinkelse gjennom vegkryss i Regional persontransportmodell, RTM. En tidkrevende del av arbeidet har gått ut på å lage kode for å trekke ut nødvendige data til analysen. Heldigvis har jeg hatt god hjelp og støtte av Ellen Flaata Heffer og Trude Tørset underveis i prosessen. Ellen har hjulpet til med utfordringer knyttet til databehandlingen og tekniske problemer som har dukket opp. I tillegg har Trude ledet meg på rett spor når jeg ikke har klart å forstå hvilken retning oppgaven burde ta, og har stilt opp med et bredt kontaktnettverk innenfor alle tema hvor jeg har hatt behov for innspill. Tusen takk til begge to!

Videre vil jeg også rette en takk til alle andre som har bidratt i arbeidet ved å svare på e-post og forespørsler knyttet til oppgaven. Spesielt Tore Moan som har gitt innsikt i hvordan nedkodingen av hastighet i RTM DOM Nidaros er gjort.

Jeg vil også få takket Trondheim bydrift og Asplan Viak for arbeidserfaring i sommerjobb. Arbeidserfaringen ute i felt hos Trondheim bydrift og på kontor hos Asplan Viak har vært nyttig da ikke all kunnskap kan tilegnes i en forelesning eller på en lesesal.

Selv om jeg ser fram til å begynne å jobbe kommer jeg nok alltid til å savne årene på NTNU og angrer ikke på at jeg valgte Bygg- og miljøteknikk som studie og NTNU Trondheim som studiested.

Trondheim, juni 2021

Karen Oline Kolstad

Karen Oline Kolstad

Innhold

Figurer	xiii
Tabeller	xiv
1 Innledning	1
1.1 Transportpolitiske målsetninger	1
1.2 Transportmodellenes evne til å predikere endringer	2
1.3 Formål og avgrensninger av oppgaven	3
2 Teori	4
2.1 Definisjon på forsinkelse	5
2.2 Faktorer som påvirker kjørehastighet	5
2.2.1 Veggeometri	7
2.2.2 Annen trafikk	8
2.2.3 Forsinkelse i kryss	8
2.3 Regional transportmodell (RTM) og delområdemodeller	10
2.3.1 Beregningsgrunnlag	11
2.3.2 Beregningsgang	12
2.4 Hastighetsberegning i RTM	15
2.4.1 Geometrisk forsinkelse på lenker	15
2.4.2 Sammenheng mellom trafikkvolum og hastighet	16
2.4.3 Geometrisk og trafikal forsinkelse i kryss	17
2.4.4 Manuell nedkoding av hastighet	19
2.4.5 Muligheter for forbedret hastighetsmodellering	20
2.5 Hastighetsmodellering i andre modeller	21
3 Metode	22
3.1 Data fra SmartRVU	22
3.2 Utvelgelse av kryssområder	25
3.3 Arbeid med datamateriale for å avdekke verdier for kryssforsinkelse	28
4 Anbefalte kryssforsinkelsesverdier	38
4.1 Datagrunnlaget for kryssforsinkelse	38
4.1.1 Periode for lavtrafikk og rushtrafikk	39
4.1.2 Valg av statistiske parametere	41
4.2 Observerte forsinkelser	43
4.3 Kryssforsinkelsesverdier for bruk i RTM	47
5 Test av anbefalte kryssforsinkelsesverdier i RTM DOM Nidaros	56
6 Diskusjon	59
6.1 Bruksområdet til verdiene	59

6.2	Feilkilder	60
6.2.1	Antagelser som er gjort i analysen	60
6.2.2	Metode for å beregne forsinkelse i rundkjøring.....	61
6.3	Videre arbeid	62
6.3.1	Økt tilgang på datagrunnlag	62
6.3.2	Forslag til økt detaljeringsgrad for signalregulerte kryss.....	62
6.3.3	Validering av modellen.....	63
7	Konklusjon	64
	Referanser.....	66
	Vedlegg	69
	Vedlegg A: Excel-dokument med kryssinformasjon for X-kryss	70
	Vedlegg B: Excel-dokument med kryssinformasjon for T-kryss	71
	Vedlegg C: Excel-dokument med kryssinformasjon for signalregulerte kryss.....	73
	Vedlegg D: Excel-dokument med kryssinformasjon for rundkjøring	74
	Vedlegg E: Kode for X-kryss	75
	Vedlegg F: Kode for steg 6 i T-kryss	80
	Vedlegg G: Kode for justert hastighet i rundkjøring	81
	Vedlegg H: Oversikt over endrede hastighetsgrenser i Scenario 3	82

Figurer

Figur 1: Mål for transportsektoren definert i Nasjonal transportplan 2022 - 2033 (Meld. St. 20, 2020-2021).....	1
Figur 2: En modell som viser faktorer som påvirker ideell fart og faktisk fart, hentet fra TØI rapport 601/2002.	5
Figur 3: Eksempel på VDF-kurver for 4-felts veg med skilte hastigheter 70, 80, 90 og 100 km/t (Malmin <i>et al.</i> , 2020).	16
Figur 4: Figuren viser forskjellen mellom kodet hastighet i RTM DOM Nidaros og hastighet i Nasjonal vegdatabank (NVDB) (Høyem, Tørset og Berg, 2020).....	20
Figur 5: Gjennomsnittlig timetrafikk for hver time i døgnet for tellepunktene Innherredsveien ved Bakke kirke, Moholtlia og Søndre Ilevollen i perioden 21.10.2019 – 27.10.2019.....	24
Figur 6: Oversiktsbilde av utvalgte kryssområder, (kartgrunnlag: Geodata.no).	27
Figur 7: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved høyresving (kartgrunnlag: google.com/maps)	31
Figur 8: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved kjøring rett fram (kartgrunnlag: google.com/maps).	31
Figur 9: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved venstresving (kartgrunnlag: google.com/maps).	31
Figur 10: Eksempel på et avstand-hastighetsplot hvor hastigheten synker inn mot krysset, og øker ut fra krysset.	33
Figur 11: Eksempler på vinkler der metoden for retningsbestemmelse gir feil svingebevegelse (vinkler mellom veglenker i rødt) og riktig svingebevegelse (vinkler mellom veglenker i grønt), (kartgrunnlag: Geodata.no).....	34
Figur 12: Eksempelbilde for bestemmelse av vikepliktsforhold i krysset markert med sort X, GPS-sporene vises med lilla linjer. Spor som har startkoordinat innenfor det oransje skraverte områder (med høyere breddegrad og lavere lengdegrad enn kryssets midtpunkt), er vikende (kartgrunnlag: Geodata.no).....	35
Figur 13: Diagram som viser fordeling av turene over døgnet.	39
Figur 14: Diagram over forsinkelse for venstresvingende fra 06:00 - 22:00.	40
Figur 15: Histogram over forsinkelse for høyresvingende i X-kryss.	41
Figur 16: Histogram over forsinkelse for venstresvingende i X-kryss.	42
Figur 17: Histogram over forsinkelse for venstresvingende i T-kryss.	42
Figur 18: Histogram over forsinkelse for høyresvingende i T-kryss.....	42
Figur 19: Illustrasjon av svingebevegelser i en firearmet rundkjøring. HS = høyresving og RF = rett fram.....	47
Figur 20: Illustrasjon av hvordan justerte forsinkelsesverdier er regnet ut.	48
Figur 21: Strekninger for sammenligning av reisetider langs rutene Sorgenfri – Sandgata og Bakklandet - Solsiden.	56

Tabeller

Tabell 1: Variabelrekkefølge i faste OD-matriser (Malmin <i>et al.</i> , 2020).	14
Tabell 2: Konstanter for beregning av VDF-kurver (Hjelkrem <i>et al.</i> , 2017).	17
Tabell 3: Verdier for kryssforsinkelse for ulike krysstyper i (RTM) (Levin <i>et al.</i> , 2015). ..	18
Tabell 4: Alders- og kjønnsfordeling i blant innbyggere i Trondheim kommune 2019 (SSB, u.å.) og fra TravelVu pilot i Trondheim høst 2019 (Tørset og Svaboe, 2020)	23
Tabell 5: Årsvariasjonskurve for uke 42-46 (Vegdirektoratet, 2014b).	24
Tabell 6: Tabell som viser feil i avstandsberegningen på grunn av vertikal- og horisontalkurvatur.	30
Tabell 7: Tabell som viser feil i avstandsberegningen på grunn av vertikal- og horisontalkurvatur kombinert.	30
Tabell 8: Tabell over antall observasjoner for alle krysstyper og svingebevegelser fra den tidligere studien av kryssforsinkelse av Levin m.fl. (2015) og denne studien.	38
Tabell 9: Tabell over forsinkelse gjennom kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	44
Tabell 10: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	44
Tabell 11: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	44
Tabell 12: Tabell over forsinkelse gjennom kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	45
Tabell 13: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	45
Tabell 14: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	45
Tabell 15: Tabell over forsinkelse gjennom kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	46
Tabell 16: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	46
Tabell 17: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.	46
Tabell 18: Tabell som viser forsinkelse og dekomponert forsinkelse for rundkjøring, både i lavtrafikk og rushtrafikk. H = høyresving og RF = rett fram.	48
Tabell 19: Verdier for forsinkelse i lavtrafikk og rushtrafikk, 25%-persentil for lavtrafikk og median for rushtrafikk.	50
Tabell 20: Tabell som viser forskjell mellom forsinkelsesverdiene fra RTM og forsinkelsesverdier fra denne studien, 25 %-persentil for lavtrafikk og median for rushtrafikk.	50
Tabell 21: Verdier for forsinkelse i lavtrafikk og rushtrafikk, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.	51
Tabell 22: Tabell som viser forskjell mellom forsinkelsesverdiene fra RTM og forsinkelsesverdier fra denne studien, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.	51
Tabell 23: Første kolonne viser verdier for forsinkelse i lavtrafikk fra studien av Levin m.fl. (2015) ved bruk av median, andre kolonne viser forskjellen mellom forsinkelse i lavtrafikk ved bruk av median for begge studiene.	52
Tabell 24: Anbefalte forsinkelsesverdier i lavtrafikk og rushtrafikk, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.	55

Tabell 25: Reisetider i lavtrafikk og rushtrafikk fra RTM DOM Nidaros og oversikt over antall kryss for utvalgte strekninger. Prosentvis endring fra Scenario 1 er vist i parentes.
.....58

Definisjoner

Kapasitet	Det maksimale antallet kjøretøy som kan passere et snitt eller langs en strekning i løpet av et gitt tidsrom under gjeldende veg-, trafikk- og reguleringsforhold. Kapasiteten er derfor dynamisk og endres avhengig av en rekke ytre forhold.
Lavtrafikk	Periodene uten <i>rushtrafikk</i> , som ofte vil si periodene mellom morgenrush og ettermiddagsrush, og mellom ettermiddagsrush og morgenrush.
Omløp	Den tida et signalanlegg bruker på en sekvens av faser, der alle trafikkstrømmer er gitt (eller kunne blitt gitt) grønt lys én gang (enkelte faser kan også ha flere perioder med grønt lys i løpet av samme omløp).
Reisetid	Tiden et kjøretøy eller en person bruker på en reise mellom to punkter som inkluderer all tid som er brukt mellom de to punktene, inkludert eventuelle stopp.
Rundkjøring	Kryss i plan der forbindelsen mellom de kryssende vegarmene skjer i enveiskjørt vegbane rundt en trafikkøy.
Rushtid	Bestemt tidsperiode med <i>rushtrafikk</i> . Rushtiden er ofte lengere jo høyere befolkningstall det er i et område, siden kø bygges opp og tar lengere tid å avvikle. I RTM regnes rushtid som timene mellom 06:00- 09:00 og 15:00- 18:00. I praksis kan det også være perioder med høy trafikkbelastning også andre tidspunkt, og i byområder starter ettermiddagsrushet ofte før 15:00.
Rushtrafikk	Når transportnettverket opplever store trafikkmengder opp mot, på og over kapasitetsgrensen. Rushtrafikk inntreffer som regel på morgenen og ettermiddagen på hverdager, på grunn av mange reiser til/fra arbeid, skole og andre daglige gjøremål.
Signalregulert kryss	Et kryss der trafikksignaler regulerer trafikkstrømmene, og dermed kan styre kapasitet for de ulike trafikkstrømmene og/ eller trafikantgruppene.

Timetraffic	Den totale trafikkmengden i et snitt eller en trafikkenke for en periode på en time.
Trafikkbelastning	Antall trafikanter eller kjøretøy som passerer et definert snitt eller langs en vegstrekning i løpet av en gitt tidsperiode.
Trafikkmengde	Trafikkens størrelse uttrykt i antall kjøretøy eller antall kjøretøy av en gitt kjøretøygruppe.
T-kryss	Et trearmet vegkryss.
X-kryss	Et firearmet vegkryss.
Årsdøgntrafikk (ÅDT)	Den totale trafikkmengden som passerer et snitt eller en veglenke i løpet av et år delt på antall dager i året. Det vil si gjennomsnittlig trafikkmengde for en dag.

1 Innledning

1.1 Transportpolitiske målsetninger

I Nasjonal transportplan er det lagt til grunn en samlet økonomisk ramme på om lag 1 200 milliarder kroner for samferdselstiltak i perioden 2022 til 2033 (Meld. St. 20, 2020-2021). Det overordnede målet er et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050, og for å nå dette målet er det presentert fem likestilte satsningsområdene som vist i Figur 1.



Figur 1: Mål for transportsektoren definert i Nasjonal transportplan 2022 - 2033 (Meld. St. 20, 2020-2021).

Mål én går ut på å få mest mulig ut av investerte penger, som igjen vil gjøre det enklere nå resterende målsetninger. Samfunnsøkonomiske analyser skal ifølge veileder for samfunnsøkonomiske analyser gjennomføres for alle tiltak man forventer vil gi «vesentlige nytte- eller kostnadsvirkninger, herunder vesentlige budsjettmessige virkninger for staten» (Direktoratet for økonomistyring (DFØ), 2018).

I Norge brukes verktøyet EFFEKT for å vurdere samfunnsøkonomisk lønnsomhet for veg- og trafikktiltak (Straume, 2008). Statens vegvesens Håndbok V712, Konsekvensanalyser gir en veiledning om hvordan konsekvensanalyser bør utføres, hvilke påvirkningsfaktorer som skal inkluderes og hvordan faktorene skal vektet opp mot hverandre. Metoden beregner netto nytte for prosjektet, som er en sum av både prissatte og ikke-prissatte konsekvenser der summen av alle kostnadskomponentene ved et utbyggingsalternativ presenteres som en totalsum i kroner og øre. Ikke prissatte konsekvenser må derfor regnes om til en kroneverdi. Hovedprinsippet for verdsetting som vanligvis brukes i

nytte-kostnadsanalyser er at kroneverdien tilsvarer det befolkningen er villig til å betale for å oppnå en fordel, eventuelt unngå en ulempe. Dersom betalingsvilligheten for alle tiltakets nyttevirkinger er større enn summen av kostnadene, defineres tiltaket som samfunnsøkonomisk lønnsomt (Rundskriv R-109/14, 2014), og jo høyere netto nytte et prosjekt har, jo mer får man igjen for pengene man investerer.

1.2 Transportmodellenes evne til å predikere endringer

EFFEKT baserer seg på resultater fra en transportmodell, og da som regel Regional persontransportmodell (RTM), den mest brukte strategiske transportmodellen i Norge. Det er essensielt at RTM gir troverdige prognoser da feil i RTM vil føre til følgefeil i beregningene fra EFFEKT, og videre til at prioritering mellom utbyggingsalternativer skjer på feil grunnlag. Ifølge Hjelkrem m.fl. (2017) er det ofte hastigheten og trafikkmengden som bidrar til de største feilene i nytte-kostnads-beregningene, og disse komponentene beregnes begge en strategisk transportmodell før de legges inn i EFFEKT.

RTM og andre strategiske transportmodeller benytter firetrinnsmetodikk til å beregne etterspørsel med de fire stegene turproduksjon, turfordeling, reisemiddelfordeling og nettfordeling (se delkapittel 2.3.2). De brukes til å analysere langsiktige konsekvenser for store områder, blant annet til analyser på regionalt og nasjonalt nivå, med et transportnettverket som ligger klart til bruk inne i modellen. Strategisk modellering av byer er generelt utfordrende, blant annet fordi strategiske modeller har en makroskopisk beskrivelse av trafikkflyt som ikke håndterer tilbakeblokkering av kø, sjokkbølger og annen samhandling mellom trafikantene (Flügel *et al.*, 2014), annet enn at tidsbruk på lenkene endres avhengig av trafikkvolumet.

I rapporten *Nytte-kostnadsanalyser ved bruk av transportmodeller* (Vegdirektoratet, 2015), presiseres det at «Detaljeringnivået for beskrivelsen av sonestrukturen og transportsystemet i modellområdet vil være avgjørende for hvilke tiltak som kan analyseres. Hvis den detaljerte utformingen av for eksempel et vegkryss ikke er lagt inn i modellen, sier det seg selv at modellen ikke kan benyttes til å klarlegge virkningene av endret kryssutforming.».

Om man ønsker å studere trafikkavvikling på detaljnivå, for eksempel langs enkeltstrekninger eller i vegkryss kan dette gjøres i en taktisk eller operasjonell transportmodell. Slike modeller har høyere detaljeringsgrad, men mer kortsiktig tidshorisont. Etterspørselen er imidlertid forhåndsbestemt ved at totalt antall reiser og reisemønster for biltrafikken må gis inn i form av reisematriser. Reisematrissene beregnes da ofte i en strategisk transportmodell før de overføres til den taktiske eller operasjonelle modellen (Høyem, Tørset og Berg, 2020). Slik vil nøyaktigheten til den strategiske modellen også ha betydning for resultatene i taktiske og operasjonelle transportmodeller.

1.3 Formål og avgrensninger av oppgaven

Mange av komponentene i RTM er godt dokumentert. Flere studier påpeker likevel at RTM har problemer med å beskrive kjørehastighet i byområder (Høyem, Tørset og Berg, 2020; Levin *et al.*, 2015), og at dagens hastighetsmodellering opprinnelig gir for lite forsinkelse. Måten dette er løst på i RTM DOM Nidaros er at hastigheten på flere veglenker i og rundt sentrum manuelt er satt til å være lavere enn hastighetsgrensa. Slik er modellen tilpasset til å gi mer riktige hastigheter, reisetider og forsinkelser (Høyem, Tørset og Berg, 2020). Metoden for tilpassing gir realistiske reisetider, men fjerner dynamikk fra modellen. For eksempel vil endringer i vegnettet ikke gi riktige endringer i kjøretider, siden kjøretidene er påvirket av manuell nedkoding og ikke fullstendig basert på vegutformingene.

Flere studier påpeker at økt tilgang til GPS-data vil gi bedre mulighet for modellutvikling (Shen og Stopher, 2014; Levin *et al.*, 2015) og slike data er nå tilgjengelig fra reisevanedata samlet inn av en reisevanepilot fra prosjektet SmartRVU.

Formålet med denne oppgaven er å studere forsinkelse gjennom vegkryss (kryssforsinkelse), og å vurdere om kryssforsinkelsen som brukes i RTM i dag er tilstrekkelig. Om forsinkelsen som er lagt inn viser seg å være for lav, skal det vurderes i hvilken grad nedkodingen i RTM DOM Nidaros kan unngås ved å øke forsinkelsen i kryss. Ved en slik endring vil modellen bli mer dynamisk og i bedre stand til å vise effekter av endringer i transportnettverket. Det vil videre gjøre modellen bedre egnet til å sammenligne ruter og som en følge av det, også en riktigere reisemiddelfordeling.

Oppgaven tar utgangspunkt i dagens metode for å beskrive forsinkelse gjennom vegkryss, og vurderer hva eventuelle nye verdier vil ha å si for modellen. Målet er ikke å vurdere om denne metoden er den best egnede for å beskrive kryssforsinkelse, og det vil ikke bli vurdert om eventuelle andre metoder kunne vært bedre egnet. Det må også legges til at reisene som studeres er turer som sjåfør med bil, kryssforsinkelse for andre kjøretøygrupper vil derfor ikke direkte kunne beskrives ved hjelp av disse resultatene.

2 Teori

Innledninga ga et innblikk i hva transportmodeller brukes til og hvorfor det er viktig at disse gir et riktig bilde av hvordan endringer i vegnettverk, arealbruk, reisetilbud, befolkningstall og/eller befolkningens reisevaner gir riktige utslag i RTM. Dette kapitlet er ment å forklare hvordan RTM beregner tidsbruk for biltrafikk i dag.

For å forstå en modell er det fordelaktig å først ha en god oversikt over hvordan det fungerer i praksis. Dette kapitlet tar derfor først for seg hvilke faktorer som påvirker kjørefarten for biltrafikk. Deretter gis en gjennomgang av RTM, hva modellen baserer seg på, beregningsgangen og hvilke faktorer som er inkludert i hastighetsberegningen. Videre presenteres alternative transportmodeller, med hovedfokus på hvordan de håndterer kryssforsinkelse.

2.1 Definisjon på forsinkelse

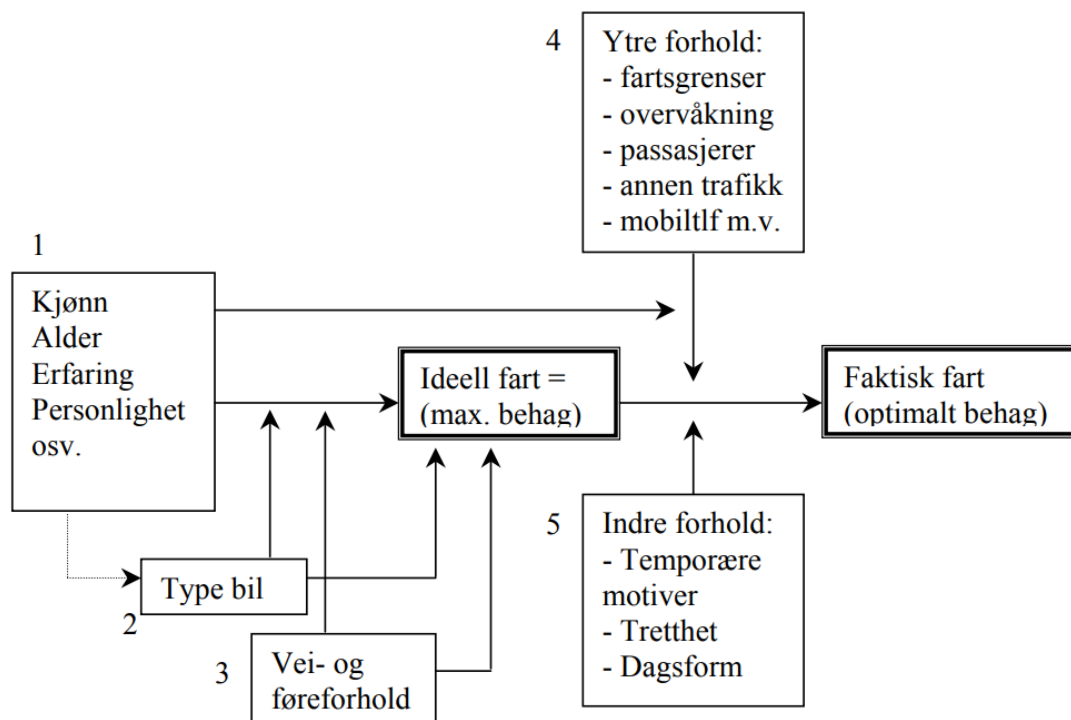
Forsinkelse kan defineres som «tidsforbruket ved passering av et nærmere definert kryssområde fratrukket den tid som ville medgått til passering av samme distanse på en fri vegstrekning med samme hastighetsgrense» (Johannessen, 1975). Det kan overordnet forklares som differansen mellom den tiden man bruker og den tiden man forventer å bruke, og for en reise kan forsinkelsen uttrykkes som:

$$\text{Forsinkelse [sek]} = \text{Faktisk reisetid [sek]} - \text{Forventet reisetid [sek]} \quad (1)$$

Forventet reisetid er vanskelig å definere, men kan som i første eksempel være reisetid i skiltet hastighet, eller tida det tar å kjøre en strekning uforstyrret av annen trafikk og vegkryss. Formel (1) beskriver forsinkelse i sekunder, men forsinkelse kan også gis i sekunder per kjøretøy eller kjøretøytimer per time (samlet forsinkelse for en gruppe kjøretøy i løpet av én time), avhengig av hva man ønsker å presentere.

2.2 Faktorer som påvirker kjørehastighet

En kjøretur kan beskrives som flere delsegmenter med en startfart som holdes helt til det skjer en fartsending. Som en forenkling kan man anta at en sjåfør velger å kjøre i hastighetsgrensa langs vegen. I praksis spiller imidlertid en rekke faktorer inn, og hastigheten man ender opp med er en kombinasjon av ytre og indre faktorer som påvirker sjåføren til å justere farten opp eller ned. En del av disse er presentert i Figur 2.



Figur 2: En modell som viser faktorer som påvirker ideell fart og faktisk fart, hentet fra TØI rapport 601/2002.

Figuren viser fem grupper påvirkningsfaktorer, der gruppe 1-3 leder til en ideell fart, det fartsnivået der bilføreren opplever bilkjøringen som mest mulig behagelig, og som man ville valgt dersom man kunne velge fritt, gitt type bil, veg- og føreforhold (Truls Vaa, 2002). I tråd med teoriene til Herbert Simon (Simon, 1983) antas det at man er tilbøyelig til å akseptere hastigheter over og under den ideelle hastigheten, innenfor et visst slingringsmonn der hastigheten oppleves som tilstrekkelig behagelig. En lignende teori fra Wilde (1982) beskriver at man som sjåfør «handler slik at den opplevde risikoen skal være lik et personlig målnivå for risiko (target level of risk)». Faktorer fra gruppe 4 i figuren kan likevel få sjåføren til å velge en hastighet utenfor dette intervallet, mer eller mindre frivillig. I tillegg kan faktorer i gruppe 5 føre til at den ideelle hastigheten varierer, det er for eksempel ikke hver dag man er villig til å ta like stor risiko.

- Variablene i gruppe 1 er bakenforliggende årsaker til sjåførens preferanser, holdninger og egenskaper. Eksempler på dette er at en ung sjåfør ofte kjennetegnes med høy risiko, lite erfaring og kort reaksjonstid. Eldre sjåfører verdsetter ofte lavere risiko i større grad enn unge, har mer erfaring, men større helsemessige utfordringer. Kvinner ønsker ofte høyere sikkerhet enn menn, mens menn ofte har mer kjøreefaring enn kvinner (Njå, Jakobsen og Nesvåg, 2008).
- Gruppe 2 omfatter faktorer knyttet til kjøretøyet og den tynne linja mellom gruppe 1 og 2 i figuren indikerer at det ofte er en viss sammenheng mellom sjåførens kjennetegn og valg av kjøretøy. Kjøretøyet påvirker hvor behagelig det er å kjøre i ulike hastigheter, og som en konsekvens også den ideelle farten.
- Gruppe 3 er knyttet til veg-, vær-, føre- og lysforhold. Disse faktorene vil påvirke hvordan det oppleves å kjøre i ulike hastigheter og derfor også den ideelle hastigheten. Overordnet bidrar mørke, dårlig sikt og lavere friksjon mellom dekk og vegdekke til å senke den ideelle hastigheten for alle førere, men graden av påvirkning varierer (Truls Vaa, 2002).

I modeller inkluderes egenskapene i gruppe 1–3 som regel ved faste verdier eller ved bruk av normalfordelinger med verdier innenfor et gitt intervall rundt normalfordelingens toppunkt, der kjøretøy eller kjøretøygrupper gis individuelle egenskaper innenfor dette intervallet.

- Skiltet hastighet og overvåking er faktorer i gruppe 4 som ofte ufrivillig bidrar at faktisk hastighet ofte er lavere enn den ideelle (Ragnøy, 2011). Tregere forankjørende trafikk kan også føre til at farten ufrivillig blir lavere enn den ideelle. Om sjåførens ideelle fart derimot er lavere enn den generelle trafikkflyten kan forskjellen føre til et indre press om å øke hastigheten. Press om å øke eller redusere hastighet kan også komme fra passasjerenes holdninger eller ønske om høy sikkerhet og komfort, eller spenning og høy fart (Ulleberg, 2002).

- Gruppe 5 er temporære motiver, dagsform og humør, faktorer som bidrar til at hver enkelt sjåfør sine egenskaper varierer både fra kjøretur til kjøretur og også underveis på hver enkelt kjøretur. Et typisk eksempel på temporære motiver er svært dårlig tid eller spesielt god tid, der spesielt god tid typisk er på turer der formålet med turen er selve turen, og ikke det å komme frem til bestemmelsesstedet. Fysiologiske tilstander som dagsform og humør vil også påvirke fartsvalget, men i hvilken retning det påvirker kan variere.

De fleste faktorer i gruppe 4 og 5 inkluderes ikke i modeller direkte, men er med i hastighetsberegningen ved at de vil ligge til grunn i alle hastighetsmålinger og observasjoner som modellen baserer seg på. Veggeometri og annen trafikk inkluderes derimot (nesten) alltid direkte i modeller, og derfor vil disse faktorene presenteres noe mer detaljert i påfølgende delkapitler.

2.2.1 Veggeometri

Terje Giæver og Arvid Aakre skriver i rapporten *Fremkommelighet i høytrafikkerte gater - Betydning av lavere fartsgrenser (2004)*, at «regulering og utforming av krysset langt større betydning for trafikkavviklingen i bystrøk enn det fartsgrensene har». Både regulering og utforming styres av en rekke krav og anbefalinger gitt i Statens vegvesens håndbøker, der de fleste kravene er spesifisert i Håndbok N100 Veg- og gateutforming (Vegdirektoratet, 2014a). En mer detaljert veiledning for utforming kryssområder gis i Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss (Vegdirektoratet, 2014a).

Veg-geometri tas ofte direkte hensyn til i de fleste modeller, og en del momenter er relativt enkle å inkludere fordi de kan legges inn som faste variabler for alle trafikanter, for alle tidspunkt og for bestemte delstrekninger. Generelt vil elementer som gjør at det blir enklere eller føles tryggere å kjøre bidra til et høyere fartsnivå. På samme måte vil elementer som gjør at det blir vanskeligere eller føles mer utrygt å kjøre, bidra til et lavere fartsnivå (Vaa *et al.*, 2002).

En tommelfingerregel i vegplanlegging er at vegens geometri og omgivelser skal være utformet på en måte som gjør at hastighetsgrensa er det naturlige fartsvalget. Ved tilfeller uten forsinkelse bør derfor ikke det generelle hastighetsnivået langs vegen være mye høyere enn hastighetsgrensa, og hvis det er tilfellet, bør fartsreducerende tiltak vurderes.

2.2.2 Annen trafikk

I byområder vil annen trafikk i vegnettet bety mye for hvilken fart man kan holde. Det individuelle fartsvalget er derfor ofte i mindre grad opp til en selv. Som regel betyr flere trafikanter mer forsinkelse og forsinkelsen kan i mange tilfeller beskrives godt med volum-hastighetskurver, kurver som viser hvordan økt trafikkvolum påvirker hastigheten langs vegen. Variasjoner av slike kurver, basert på observert hastighet ved ulike trafikkmengder, brukes blant annet ofte for å beregne forsinkelse i trafikkmodeller.

Highway Capacity Manual (HCM) presenterte begrepet «Level of service» som et mål på avviklingskvalitet allerede i 1965. Metoden rangerer avviklingskvalitet i 6 kategorier som representerer ulike servicenivå. Kategoriene rangeres fra A til F, hvor servicenivå A representerer god avviklingskvalitet og F tilsvarer ustabil avvikling på grunn av trafikkmengder over kapasitetsgrensen. Servicenivået illustreres ofte ved bruk av en volum-hastighetskurve der hver kategori er plassert langs kurven.

2.2.3 Forsinkelse i kryss

For interaksjon mellom trafikanter i kryss er ikke volum-hastighetskurver en fullt så god måte å beskrive forsinkelse på. Årsaken er at kryssets geometriske utforming, fordelingen av trafikanter i hver enkelt vegarm og retningsfordeling vil ha mye å si for forsinkelsen gjennom det aktuelle krysset. Kapasitet varierer også for hver enkelt svingebevegelse, hvert kjørefelt og for hver tilfart. Selv om hastighetsmodelleringen er krevende bør riktig modellering av kryssområder prioriteres høyt, da de aller fleste kapasitetsutfordringene i byområder er knyttet til vegkryss (Giæver og Aakre, 2004).

X-kryss og T-kryss

I byer og områder med tett bebyggelse er X-kryss og T-kryss de vanligste krysstypene. Forsinkelsen gjennom disse kryssene påvirkes først og fremst av vikeforhold, fordelingen av andre trafikanter og trafikantenes svingebevegelser. I tillegg spiller kapasitet, totalt trafikkvolum, veggeometri, andel tungtrafikk, trafikkintensitet og kødannelse i andre tilfarter inn (Vaa *et al.*, 2002).

I uregulerte X-kryss (kryss med vikeplikt for trafikk fra høyre) er det forskjell på hva forsinkelsen består av avhengig av svingebevegelse og geometri, der det kan forventes mer forsinkelse jo flere man må vike for og jo mer krevende kurvatur man kjører i. I forskjørsregulerte X-kryss (kryss med skiltet vikeplikt) skiller det ofte på 1., 2., 3. og 4. ordens trafikkstrømmer:

- 1. ordens: Forkjørersrett, ingen forsinkelse pga. andre trafikanter.
- 2. ordens: De som må vike for 1. ordens trafikkstrømmer.
- 3. ordens: De som må vike for 2. ordens trafikkstrømmer.
- 4. ordens: De som må vike for 3. ordens trafikkstrømmer, dette er venstresvingende som svinger fra en veg med vikeplikt og inn på hovedvegen.

I tillegg har disse også større eller mindre forsinkelse grunnet veggeometri, i samme grad som uregulerte kryss.

Signalregulerte kryss

I tilfeller hvor man ønsker å prioritere enkelte kjøreretninger, svingebevegelser eller trafikantgrupper, og spesielt i områder med høyt trafikknivå, anbefales signalregulerte kryss. I utgangspunktet har signalregulerte kryss samme geometriske avbøyningsforsinkelse som vanlige X-kryss og T-kryss, men de skiftende fasene fører til at hoveddelen av forsinkelsen ofte skyldes ventetid knyttet til lysreguleringen.

Signalreguleringen kan gjøres tidsstyrt eller trafikkstyrt.

- Tidsstyrt vil si at omløpstiden er fast, med bestemte grøntider (tid med grønt trafikklys) for hver trafikkstrøm. Trafikkstrømmer kan prioriteres ved valg av faseplan, men prioriteringen er fast over tid.
- Trafikkstyrt vil si at faseplanen varierer avhengig av registrert trafikk i hver strøm, slik at fordeling av prioritet kan tilpasses den aktuelle trafikkbelastningen i hver enkelt situasjon. Da vil både omløpstiden og fordelingen av grøntider variere over tid, avhengig av trafikkmengde i hver av veglenkene, eller om det er kjøretøygrupper som skal prioriteres.

For å minske forsinkelse bør påfølgende signalanlegg samkjøres, dvs. at grøntidene samsvarer slik at flest mulig får kjørt gjennom flere signalanlegg uten stopp.

Det er utviklet flere formler for å beskrive forsinkelse i signalregulerte kryss. En av de mest brukte, formel (2), er utviklet av Webster (1958):

$$f = \frac{C \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot m \cdot (1 - x)} - 0,65 \cdot \left(\frac{C}{m^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot x^{2+5\lambda} \quad (2)$$

der:

C = Omløpstid

$\lambda = \text{Grøntidsandel [s]} = \frac{g}{C} = \text{grøntid / omløpstid}$

x = Metningsgrad, forholdet mellom trafikkintensitet og kapasitet

m = Trafikkintensitet [kjt/s] = M/3600

Rundkjøringer

Rundkjøring er en krysstype som brukes for å forbedre trafiksikkerheten og/ eller kapasiteten. Selv om kjørekurvenes avbøyning bidrar til fartsreduksjon, kan rundkjøring gi redusert reisetid sammenlignet med andre krysstyper på grunn av økt kapasitet som følge av at man unngår kryssende bevegelser. I tillegg aksepterer trafikantene mindre tidsluker (Elvik, 2020).

Selv om rundkjøring er en krysstype, kan det ses på som flere påfølgende T-kryss med sirkulasjonsareal mellom, og forsinkelse kan beregnes basert på samme faktorer som X- og T-kryss: total kapasitet, trafikkmengde og fordelingen av trafikk mellom vegarmene.

2.3 Regional transportmodell (RTM) og delområdemodeller

I Norge brukes RTM til strategiske trafikkanalyser for korte reiser, som vil si reiser med lengde på opptil 70 km. RTM kjøres i programvaren CUBE Voyager (Citilabs, 2018). Oppbygningen er gjort med flytskjema som viser hvilke inputdata som er lagt til grunn, hvilke oppgaver som utføres, og i hvilken rekkefølge. Systemet er åpent med mulighet for å endre inputdata og hvilke deler av modellen som skal kjøres (Malmin *et al.*, 2020; Tørset *et al.*, 2013).

For å strukturere arbeidet med oppdatering er RTM delt inn i fem delområdemodeller etter Statens Vegvesen sine regioner, region Nord, Midt, Øst, Vest og Sør. I tillegg er det lagd en rekke mindre områdemodeller innenfor eller på tvers av disse regionene. Hensikten er å begrense beregningstiden da kjøring av en modell for en hel region tar rundt et døgn, imens kjøring av en områdemodell ofte kan gjøres på under et par timer. Slik får man også muligheten til å legge til lokale parametere og øke detaljeringsgraden uten at det fører til uakseptable beregningstider.

I kalibreringsfasen av modellene er første steg *estimering*, der den nye modellen justeres til å passe med innsamlet data for området delområdemodellen gjelder for. Videre gjøres (ofte gjentatte runder med) *kalibrering* og *validering* med andre data enn de som ble brukt til estimeringen. Når modellens evne til prediksjon er tilfredsstillende med bakgrunn i ønsket presisjon, er modellen klar til bruk.

Endringene er til dels for å rette opp feil og til dels for å tilpasse modellen til lokale forhold som i utgangspunktet ikke er med i datagrunnlaget. Eksempler på tilpasning er (Tørset *et al.*, 2013):

- Justere parametere i etterspørselsmodellene
- Justere matepunkter til og fra sonene
- Endre hastighetskoding eller kapasitetskoding
- Justere konstanter i logitmodellene
- Skalere eller justere matrisene
- Korrigere enkeltelementer (celler) i matrisene
- Korrigere hastighets- og kapasitetsforhold i nettet

Korrigeringer bør dokumenteres og endringer bør begrunnes. Det er også en forutsetning at «resultatene skal være uavhengig av om man bruker en regional modell eller om man bruker en modell med mindre geografisk område», og at «en DOM må gi tilsvarende resultat både for turmatrisene og for fordelingen av trafikk i transportnettene for at den skal kunne brukes til transportanalyser.» (Tørset *et al.*, 2008).

2.3.1 Beregningsgrunnlag

Soner og sonedata

Modellområdet er delt inn i mindre geografiske delområder, såkalte soner. Antall bosatte, skoleplasser, arbeidsplasser, utdanningstilbud, inntekt, transporttilbud, parkering, butikker og andre tilbud avgjør hvor attraktiv hver enkelt sone er som reisemål og hvor mange reiser som genereres ut fra sonen. Denne informasjonen gis inn som sonedata, statistiske data fra Statistisk sentralbyrå (SSB) som er samlet i store nasjonale filer.

For fremtidsscenarioer må sonedata gis basert på prognoser. Prognosene tar utgangspunkt i SSB sine antagelser om befolkningsutvikling, og er lagd for hvert femte år frem til 2060. Det er lagd prognoser for kombinasjoner av lav, middels og høy fruktbarhet, levealder, mobilitet og innvandring, men det vanligste er å anta middels fruktbarhet, middels levealder, middels mobilitet og middels netto innvandring (Rekdal *et al.*, 2013).

Transportnettverk

Transportnettverket beskriver det totale reisetilbudet for reisemidlene bil (med sjåfør og passasjer), buss, tog, fly og båt. Reisetilbudet er representert med lenker som er koblet sammen i noder. Lenkene har informasjon om egenskaper som lengde og geometri og nodene har informasjon om indirekte eller direkte kostnader for å passere gjennom noden. For eksempel kan indirekte kostnader i en node representere forsinkelse gjennom vegkryss, da et vegkryss er kodet som en node i transportnettverket.

I Statens vegvesens rapport *Nytte-kostnadsanalyser ved bruk av transportmodeller* poengteres viktigheten av at nodene er kodet riktig; «I byområder vil det ofte være vegkryssene som skaper forsinkelser og kapasitetsproblemer. Kodingen av kryssenes

egenskaper i transportmodellen kan ha stor betydning for analyseresultatene.»
(Vegdirektoratet, 2015).

Tørset (2013) anbefaler at det ferdigkodete transporttilbudet brukes som et utgangspunkt for analysen som skal gjennomføres, men bemerker at det bør gjøres kvalitetskontroller knyttet til egnetheten for den spesifikke analysen.

Reisevanedata

RTM er basert på data om folks reisevaner samlet inn med den nasjonale reisevaneundersøkelsen (RVU). Det har tidligere vært Transportøkonomisk institutt (TØI) sitt ansvar å gjennomføre reisevaneundersøkelsen hvert fjerde år og å systematisere svarene i en nøkkelrapport. Etter 2016 tok Statens vegvesen over hovedansvaret, og reisevaneundersøkelsen gjennomføres nå kontinuerlig med en årlig rapport.

Formålet med reisevanedata er å samle inn informasjon om reisevanene til et representativt utvalg av den norske befolkningen over 13 år (Hjorthol, Engebretsen og Uteng, 2014). Informasjonen inkluderer bl.a. tidspunkt, varighet, lengde, reisemiddel og formål med hver enkelt reise. I tillegg spørres det om boforhold, inntekt, arbeidsforhold, bilhold og førerkort for å kunne finne forklaringsvariabler for reisevalg for ulike segmenter av befolkningen, i ulike deler av landet. Informasjonen gir også mulighet for å studere endringer, og tilpasse modellen til å stemme overens med dagens reisemekanismer. For modelleringsscenarioer fram i tid vil det imidlertid være vanskelig å eksakt vurdere hvordan reisevanene vil komme til å bli, og det må derfor gjøres antagelser basert på den utviklingen man har sett tidligere og forventede endringer fremover.

2.3.2 Beregningsgang

Reiseetterspørsel i RTM beregnes med firetrinnsmetodikk, en metode for modellering av sammenhengen mellom reiseetterspørsel og tilgjengelige reisetilbud (Ortúzar og Willumsen, 2011). I den klassiske firetrinnsmetodikken modelleres trafikantenes valg sekvensielt i de fire stegene turproduksjon, turfordeling, reisemiddelfordeling og nettfordeling. Hvert steg beregnes uavhengig av det neste, men med inngangsdata fra forrige trinn.

I RTM skjer ikke prosessen sekvensielt, men i gjentakende omganger. Årsaken er at man ønsker å inkludere virkningen av andre trafikanter i vegnettet, da annen trafikk kan påvirke både hvor man reiser og hvilket reisemiddel man velger å reise med. Stegene er likevel de samme.

Turproduksjon, turfordeling og reisemiddelfordeling

Turproduksjon, turfordeling og reisemiddelfordeling utføres i RTMs etterspørselsmodeller. Etterspørselsmodellen for korte personturer (turer under 70 km) er Tramod_by, en videreutviklet versjon av etterspørselsmodellen Tramod. Den ble laget i RTM versjon 3 med formål om å oppnå mer riktig destinasjonsvalg i byområder siden den i større grad enn Tramod tar hensyn til at bilisters rutevalg ofte avhenger av fremkommeligheten. Etablering av Tramod_by er dokumentert i rapporten *TraMod_By Del 1: Etablering av nytt modellsystem* (Rekdal *et al.*, 2013) og videreutvikling er dokumentert av Hamre (2015; 2018; 2019).

For andre typer reiser brukes skolemodellen (for reiser til og fra skole), NTM6 (for personreiser over 70 km) og godsmodellen (for godsturer). I tillegg kan det velges å inkludere reiser til eller fra modellområdet ved bruk av faste matriser, for eksempel turer fra Sverige.

Etterspørselen beregnes ved å først gjøre et anslag for *turproduksjon*, summen av alle turer ut (generering) og inn (attrahering) fra hver sone med bakgrunn i tilgjengelighet, rammetall og informasjonen beskrevet i sonedataene. Eventuelle soner som ikke har sonedata, vil hverken ha turer til eller fra sonen.

Turene fordeles så mellom sonene ved at fordeler og ulemper ved alle destinasjoner sammenlignes i en gravitasjonsmodell (*turfordeling*). Typiske ulemper ved en destinasjon er avstand, tid og direkte kostnader knyttet til reisen dit. Fordeler beregnes noe mer overordnet ved å for eksempel beskrive attraktiviteten ved et kjøpesenter ved butikkareal (i m²).

Reisemiddelfordelingen gjøres i en logit-modell som fordeler turene basert på hvor stor andel av turene som forventes å legges til hvert av reisemidlene. Dette gjøres ved vektlegging av fordeler og ulemper ved reisemidlene, for hver trafikantgruppe og reisehensikt. Hvilket reisemiddel den enkelte velger er avhengig av bl.a. transporttilbudet, konkurranseforholdet mellom transportmidler og personlige preferanser (Vegdirektoratet, 2018). Antall iterasjoner legges inn før kjøring, og hvis reisemiddelfordelingen etter valgt antall iterasjoner ikke har tilfredsstillende konvergens kan applikasjonen kjøres på nytt med flere iterasjoner.

Etter disse tre trinnene produseres en turmatrise, også kalt OD-matrise (OD = Origin-Destination) på formatet som vist i Tabell 1.

Tabell 1: Variabelrekkefølge i faste OD-matriser (Malmin *et al.*, 2020).

Matrise	Felt 1	Felt 2	Felt 3	Felt 4	Felt 5	Felt 6	Felt 7	Felt 8	Felt 9	Felt 10
Gods	Frasone	Tilsone	Turer							
Bilfører	Frasone	Tilsone	Arbeid	Tjeneste	Fritid	Hente/levere	Privat	Leg1	Leg2	Leg3
Bilpassasjer	Frasone	Tilsone	Arbeid	Tjeneste	Fritid	Hente/levere	Privat			
Kollektiv	Frasone	Tilsone	Arbeid	Tjeneste	Fritid	Hente/levere	Privat	Leg1	Leg2	Leg3
Gange	Frasone	Tilsone	Arbeid	Tjeneste	Fritid	Hente/levere	Privat			
Sykkel	Frasone	Tilsone	Arbeid	Tjeneste	Fritid	Hente/levere	Privat			
Flyplass bil	Frasone	Tilsone	Turer							
Flyplass kollektiv	Frasone	Tilsone	Turer							

Nettfordeling

OD-matrisene fra trinn en til tre inneholder forventet antall reiser mellom hver hvert sonepar, og med hvilke transportmiddel reisene foretas. I nettfordelingen fordeles alle turene ut i transportnettverket basert på generaliserte kostnader (GK), et mål på reisemotstanden mellom to soner i kroner. Hvilke komponenter som skal inkluderes er avhengig av reisemiddel. For bilreiser i ubelastet vegnett kan formel (3) brukes:

$$GK = T_{\text{cost}} \cdot FM_{\text{time}} + D_{\text{cost}} \cdot \text{Distance} + TL_{\text{cost}} \cdot (\text{BomBF}_l + \text{FergeBF}) \quad (3)$$

der

GK = Generalisert kostnad for bilfører [kr]

T_{cost} = Enhetspris for tidsbruk $\left[\frac{\text{kr}}{\text{t}}\right]$ standardverdi 81

FM_{time} = Tidsbruk inkl. redusert hastighet pga vegstandard [t]

D_{cost} = Enhetspris for distanse $\left[\frac{\text{kr}}{\text{km}}\right]$ standardverdi 2,25

Distance = Kjøreavstand [km]

TL_{cost} = Vekt for direktekostnad pga rabatter el., Standardverdi: 0,8

BomBF_l og FergeBF = Direktekostnader for hhv. bompenger og fergetakst for bilfører [kr]

Ved kapasitetsuavhengig nettutlegging skjer beregningen én gang. Ved kapasitetsuavhengig nettutlegging skjer beregningen et forhåndsbestemt antall ganger, og komponentene oppdateres etter hver kjøring. Til slutt velges den ruta med lavest GK for hver enkelt tur.

2.4 Hastighetsberegning i RTM

RTM er benyttet til mange godt dokumenterte analyser og vært gjennom regelmessige oppdateringer. I dette kapitlet beskriver hastighetsberegningen i siste versjon av RTM, RTM versjon 4.2.2. Kapittel 2.4 og 0 er utdypede versjoner av de som ble skrevet i prosjektoppgaven (Kolstad, 2020).

Skiltet hastighet er lagt inn på alle veglenker i RTM. Erfaringsmessig er det stor forskjell på den skilte hastigheten og den hastigheten trafikantene faktisk holder. Derfor beregnes en justert hastighet som utgangspunkt for lenkefarten. Omregningen gjøres med formel (4):

$$v = C(x_g)e^{U(x_d, x_s, x_f, x_k)} \quad (4)$$

$C(x_g)$ = koeffisienter som er referansefarten til farts grensene

U = funksjon av dekkebredde (x_d), stigning (x_s), fall (x_f) og krumning (x_k)

Deretter beregnes fartsreduksjoner for følgende veg- og trafikforhold:

- 1) Geometrisk forsinkelse (på lenker)
- 2) Sammenheng mellom trafikkvolum og hastighet
- 3) Geometrisk og trafikal forsinkelse i kryss

En beskrivelse av hvordan hver av komponentene beregnes er gitt i de påfølgende delkapitlene.

Faktorer som vær- og føreforhold, type bil, personlige egenskaper og indre forhold som temporære motiver, tretthet og dagsform har også betydning for hastighetsvalget som beskrevet i kapittel 2.2. Forholdene varierer imidlertid både fra kjøretøy til kjøretøy, person til person og fra dag til dag. De inkluderes derfor ikke direkte i RTM som fartsreduksjoner eller fartsøkninger, men fanges opp av reisevaneundersøkelsene RTM baserer seg på og blir på den måten likevel en del av beregningsgrunnlaget i RTM.

2.4.1 Geometrisk forsinkelse på lenker

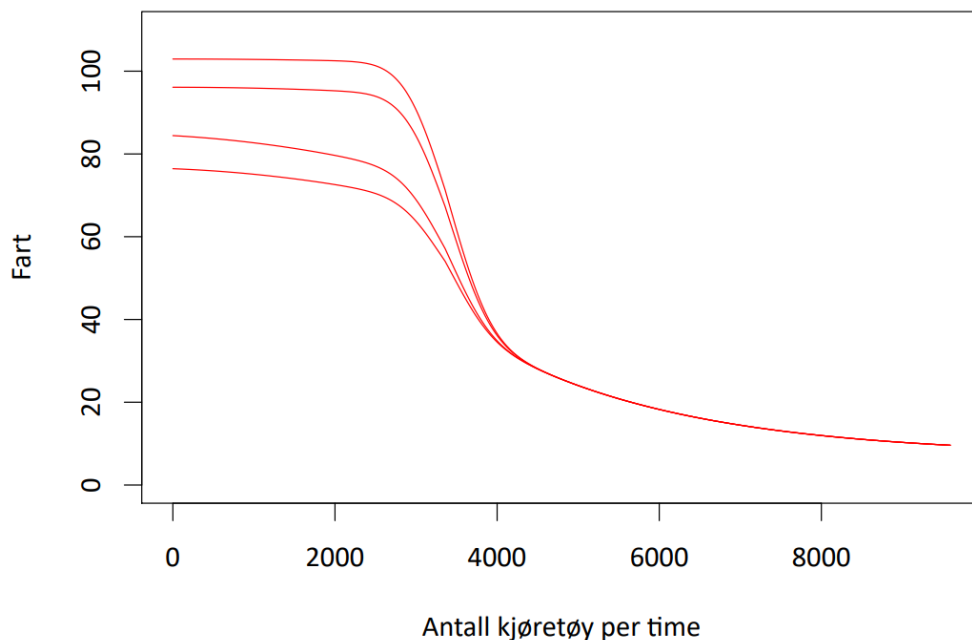
Vegens geometriske utforming vil påvirke trafikanters fartsvalg. Av den grunn er det i de siste versjonene av RTM lagt inn hastighetsendring ved krevende geometri (Hjelkrem *et al.*, 2017). Å bruke radie direkte fra NVDB (Nasjonal vegdatabank) er krevende og radien avdekkes derfor ved utregning. Metoden som brukes beregner tangenter ved start og slutt av delsegmenter på 30,48 meter (100 fot). Forskjellen mellom de to vinklene, $\Delta\alpha$, er direkte relatert til radien på delsegmentet:

$$R [m] = \frac{L [m]}{\Delta\alpha [rad]}$$

Hastighetsreduksjoner på grunn av stigning og fall blir beregnet i h.h.t. en tilpasset utgave av «fransk 2-feltsmodell» (Dimaiuta *et al.*, 2011) og effekten av horisontalkurvatur blir beregnet i h.h.t. Lam mfl. (1999), referert i Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller (Levin *et al.*, 2015). Inngangsdata i modellene er gradient og horisontalradie. Den laveste resulterende hastigheten benyttes. For å unngå urealistiske akselerasjoner er det lagt inn begrensing for hastighetsprang med maksimal akselerasjon på 1 m/s². I tilfeller hvor geometrien ikke er utfordrende brukes den justerte hastigheten.

2.4.2 Sammenheng mellom trafikkvolum og hastighet

Fartsnivået på samme vegstrekning varierer avhengig av trafikkvolumet. I RTM inkluderes slik forsinkelsene ved bruk av volumhastighetskurver (VDF-kurver), kurver som viser hastighet ved ulike trafikkvolum som illustrert i Figur 3.



Figur 3: Eksempel på VDF-kurver for 4-felts veg med skilte hastigheter 70, 80, 90 og 100 km/t (Malmin *et al.*, 2020).

Et volum-hastighetsplot vil i praksis være tosidig i og med at kapasiteten i vegnettet synker ved lavere fartsnivå. Modellen tar ikke inn doble verdier på fartsaksen, men bruker VDF-kurver der økt fart alltid gir høyere trafikkvolum (gitt som antall kjøretøy per time på figuren over).

VDF-kurvene er utviklet med datagrunnlag fra Statens vegvesens tellepunkter. Arbeidet er dokumentert i rapporten *Kjøretøybasert beregning av fart, energi og utslipp* (Hjelkrem *et al.*, 2017). Lenkefarten beregnes med formelen under.

$$\hat{v}(\bar{x}) = \hat{p}(\bar{x})v_s(\bar{x}) + (1 - \hat{p}(\bar{x}))v_h(\bar{x}) \quad (5)$$

Der \tilde{x} er den skalerte trafikkmengden som regnes ut ved bruk av formlene i kolonne to i Tabell 2. Slik tas det hensyn til antall felt i kjøreretningen, noe som naturligvis påvirker kapasiteten. Formen på $\hat{p}(\tilde{x})$, $v_s(\tilde{x})$ og $v_h(\tilde{x})$ er funksjon av antall felt og skiltet hastighet. Estimatoren \hat{p} beskriver sannsynligheten for å få sammenbrudd ved en gitt etterspurt trafikkmengde, \tilde{x} . $\hat{p}(\tilde{x})$ estimeres med formelen:

$$\hat{p}(\tilde{x}) = \frac{\#\text{sammenbruddspunkt} \leq \tilde{x}}{\#\text{sammenbruddspunkt} \leq \tilde{x} + \#\text{punkt som ikke er sammenbruddspunkter} \geq \tilde{x}} \quad (6)$$

Når etterspurt trafikkmengde blir stor går sannsynligheten for sammenbrudd mot 1. Selv om volumhastighetskurvene er laget både for ulike hastighetsgrenser og kjørefelt gir RTM også mulighet for å endre kurvene manuelt før kjøring av modellen.

Tabell 2: Konstanter for beregning av VDF-kurver (Hjelkrem *et al.*, 2017).

Fartsgrense x_g	Antall felt i kjøretning	Skalering av trafikkmengde	a	b	c	C	ω	V_l	x_{50} / μ	σ
≤ 30	1	$\tilde{x} = x$	x_g	0	0	4.2	0.001	x_g	110	16.5
40	1	$\tilde{x} = x$	44.0	-0.103310	-0.000295	4.2	0.001	26.65	110	16.5
50	1	$\tilde{x} = x$	51.6	-0.162246	-0.000216	4.2	0.001	26.65	110	16.5
60	1	$\tilde{x} = x$	61.3	-0.153406	-0.000020	4.2	0.001	26.65	110	16.5
70	1	$\tilde{x} = x$	71.1	-0.186902	-0.000030	4.2	0.001	26.65	110	16.5
80	1	$\tilde{x} = x$	82.9	-0.230052	-0.000487	4.2	0.001	26.65	110	16.5
≥ 90	1	$\tilde{x} = x$	x_g	-0.230052	-0.000487	4.2	0.001	26.65	110	16.5
≤ 40	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	x_g	0	0	7.1	0.0005	x_g	280	33.5
50	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	50	-0.009279	-0.000082	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
60	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	60	-0.009279	-0.000082	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
70	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	76.4	-0.009279	-0.000082	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
80	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	84.4	-0.013259	-0.000092	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
90	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	96.1	-0.000000	-0.000030	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
100	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	102.9	-0.000000	-0.000014	7.1	0.0005	40.65	280	33.5
≥ 110	$n (n > 1)$	$\tilde{x} = x * (2/n)$	x_g	-0.000000	-0.000014	7.1	0.0005	40.65	280	33.5

2.4.3 Geometrisk og trafikal forsinkelse i kryss

Kryssforsinkelse ble lagt inn ved oppdatering til RTM versjon 4, og samme verdier brukes for alle delområdemodeller. Både X-kryss, T-kryss og signalregulerte kryss beskrives forenklet ved at én node representerer krysset. Rundkjøringer beskrives også forenklet, men som flere påfølgende T-kryss med korte veglenker mellom. Hastigheten på disse er uregelmessig, men en del ble satt til å være 20 km/t i kalibreringen av modellen.

For beregning av kryssforsinkelse må først hele nettverket gjennomgås for å finne vinkler og retninger for tilstøtende lenker (vektorene A og B). Vinklene regnes ut ved bruk av sammenhengen om at:

$$\cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{|A| |B|}$$

Som kan skrives om til formel (7):

$$\theta = \cos^{-1} \frac{A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y}{\sqrt{A_x^2 + B_x^2} \cdot \sqrt{A_y^2 + B_y^2}} \quad (7)$$

Modellen avklarer om det er venstre- eller høyresving ved å regne ut om:

$$A_x \cdot B_y > A_y \cdot B_x$$

Hvis antagelsen stemmer er det venstresving og hvis den ikke stemmer er det høyresving.

Forsinkelsen som legges til avhenger av type kryss, svingeretning, antall armer og om bevegelsen er vikepliktig. Det legges også inn ulik forsinkelse for lavtrafikk og rushtrafikk fra verdiene gitt i Tabell 3. Rushtidstrafikk brukes for rushtidstimerne (som uten endring er satt til tidsrommene 06:00-09.00 og 15:00-18.00 i RTM), og ikke basert på beregnet trafikkbelastning på lenken.

Tabell 3: Verdier for kryssforsinkelse for ulike krysstyper i (RTM) (Levin *et al.*, 2015).

Krysstype	Lavtrafikk						Rushtrafikk				
	Rett fram	Venstre	Høyre	Vikeplikt			Rett fram	Venstre	Høyre	Vikeplikt	
				Venstre	Høyre					Venstre	Høyre
T-kryss	1,0	5,0	3,0	6,0	6,0		3,0	7,0	5,0	11,0	8,0
X-kryss	1,0	4,0	3,0	11,3	7,0		4,0	8,0	5,0	8,0	7,5
Rundkjøring	1,5		2,1				2,8		3,9		
Lyskryss	4,0	7,0	5,0				10,0	23,0	17,0		

Verdiene er utarbeidet i forbindelse med et prosjekt rundt videreutvikling av fartsrepresentasjon i RTM gjennomført av SINTEF Teknologi og samfunn. En detaljert gjennomgang av arbeidet kan leses i *Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller* av Levin m.fl. (2015). Her gis en forkortet versjon av fremgangsmåten som ble brukt for å komme fram til forsinkelsesverdiene.

Datasettet ble samlet inn ved bruk av ISA-enheter (Intelligent Speed Adaption) plassert i Statens vegvesen sine tjenestebiler. Kjøretøyenes posisjon ble registrert for hvert sekund. Totalt 130 kryss fra byene Trondheim, Bergen, Drammen, Lillehammer og Bodø ble benyttet til analysene. Etter utvelgelse, ved i hovedsak å fjerne turer med start eller stopp i kryssene, var det igjen 7114 turer i de utvalgte kryssene. Utrekningen ble gjort ved å finne tiden kjøretøyene brukte gjennom krysset, trekke fra tiden et kjøretøy hadde brukt på å kjøre samme avstand ved å holde skiltet hastighet, og slik finne forsinkelse gjennom krysset.

Kryssforsinkelse ved lavtrafikk ble funnet ved å bruke observasjonene utenfor rushtid. Det ble forutsatt at de fleste av de observerte trafikantene kunne kjøre uhindret gjennom

krysset, og at forsinkelsen ved disse målingene dermed representerte den geometriske forsinkelsen. Forsinkelse i rushtid er en kombinasjon av geometrisk forsinkelse og interaksjon med andre trafikanter og ble derfor funnet fra de målingene som ble gjort i rushtid.

På grunn av stor variasjon i resultatene ble det i tillegg gjennomført et sett med kontrollerte forsøk på høyre- og venstresving i T-kryss for å avgjøre hvilke verdier fra datasettet som skulle brukes. Konklusjonen var at nedre 25 % av datasettet var et godt mål på geometrisk forsinkelse, ble valgt for å finne forsinkelse for hver svingebevegelse i hver krysstype i lavtrafikk. For rushtid ble medianverdien valgt til å beskrive forsinkelse fordi et gjennomsnitt i for stor grad inkluderer høye ekstremverdier.

Levin mfl. (2015) poengterer at:

«... Standardverdiene er likevel sjablonmessige, og det kan være behov for en gjennomgang av verdiene ved lokal kalibrering av modellene».

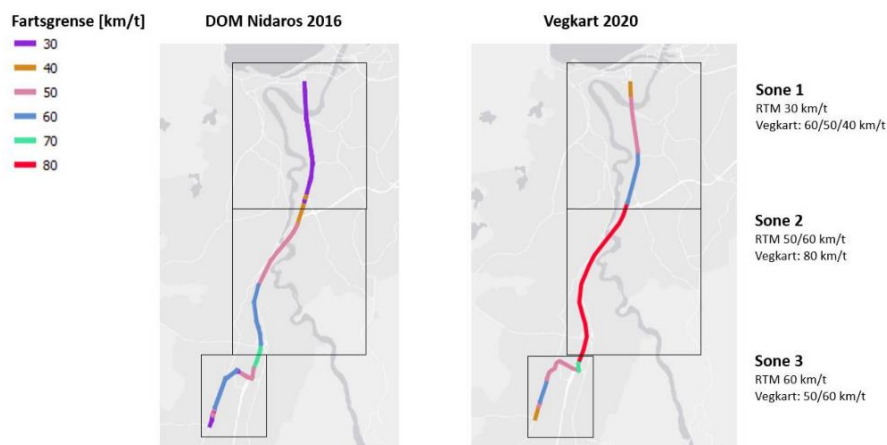
2.4.4 Manuell nedkodning av hastighet

På tross av at flere faktorer er lagt til i modellen for å beskrive forsinkelse gir ikke modellen riktig hastighetsberegning i byområder. For å oppnå en fordeling og tidsbruk som stemmer bedre overens med valideringsgrunnlaget er det valgt å manuelt kode ned hastigheten i sentrumsnære områder.

Arbeidet ble gjennomført av Tore Moan i forbindelse med utviklingen av DOM Niadros, men er ikke dokumentert. Hastighetene er satt skjønnsmessig utfra beregnet/antatt tidsbruk og for å prøve å beskrive en rushsituasjon. Det er oversendt en liste med hovedgrepene som ble gjort, og overordnet gjelder det at:

- Veglenker i sentrumsområdet er satt til å være 30 km/t
- Veglenker langs innfartsårene mot sentrum er kodet ned skjønnsmessig
- Sonetilknytninger er satt til 20 km/t
- En del lenker som representerer sirkulasjonsareal i rundkjøring er satt til 20 km/t

Figur 4 er hentet fra rapporten *Integrering av RTM og Aimsun -En vurdering og testing av muligheter* presenteres (Høyem, Tørset og Berg, 2020), og viser forskjellen mellom kodet hastighet i RTM DOM Nidaros og hastighet i Nasjonal vegdatabank (NVDB).



Figur 4: Figuren viser forskjellen mellom kodet hastighet i RTM DOM Nidaros og hastighet i Nasjonal vegdatabank (NVDB) (Høyem, Tørset og Berg, 2020).

2.4.5 Muligheter for forbedret hastighetsmodellering

«Nedkoding av hastigheter kan gi mer korrekt trafikkfordeling i dagens situasjon. Samtidig fjernes trolig mye av dynamikken i modellen, slik at kvaliteten på modellering av ulike tiltak kan reduseres. En nedkoding av hastigheter er derfor ikke noen fullgod løsning for mer realistiske reisetider i RTM.» (Høyem, Tørset og Berg, 2020).

«Gjennom å undersøke både effekt på etterspørsel og hastighet, har prosjektet avdekket at RTM-modellen med nedkodede hastigheter og kjøring av Aimsun gir omtrent like stor etterspørsel.» (Høyem, Tørset og Berg, 2020). Trafikkmengden på ruter og tidsbruken mellom OD-relasjoner stemmer også godt overens med valideringsgrunnlaget.

Om man finner ut hvilke faktorer som bidrar til forsinkelse, men som ikke er inkludert i RTM kan man unngå den manuelle nedkodingen av hastigheten i modellen slik at den fortsatt gir riktig tidsbruk, reisemiddelfordeling og riktig fordeling av trafikk i vegnettet, og slik at den også blir dynamisk. Dynamikk i modellen vil gjøre at foreslåtte endringer for utbygging av areal og veg, samt endringer i befolkningstall og reisevaner, vil gi mer riktige endringer når planforslag testes i modellen, fordi det er rette forklaringsfaktorer som ligger til grunn for hastigheten på hver enkelt lenke. Slik det er i dag vil endringer i vegnettet ofte gi for små endringer i modellresultatene siden den manuelle nedkodingen av hastigheter overstyrer den faktiske hastighetsendringen.

2.5 Hastighetsmodellering i andre modeller

AIMSUM

Aimsun er standardverktøyet for trafikkmodellering på mesonivå i Norge (men kan også modellere trafikk på makro- og mikronivå). Forskjellen på modelleringsnivåene er modellopløsningen, der trafikk i makroskopiske modeller aggregeres til grupper av kjøretøy, mens det ved mikrosimulering modelleres rutevalg og bevegelser for hvert enkelt kjøretøy. Modellering på mesonivå er en mellomting mellom disse to nivåene. Trafikkavviklingsmodellen brukes i hovedsak til å svare på om en gitt infrastruktur gir akseptabel trafikkavvikling (Høyem, Tørset og Berg, 2020), og brukes til å studere trafikkavvikling i begrensede nettverk. Modellens parametere har stokastisk variasjon, som vil si at trafikantenes adferd er beskrevet av parametere som trekkes fra en begrenset normalfordeling. Dette avgjør i hvilken grad sjåførene oppfører seg forsiktig, aggressivt eller samarbeidsvillig. Etterspørselen gis inn som trafikkmatriser, men rutevalget er dynamisk kan endres i løpet av beregningsperioden, og hvert kjøretøy får fortløpende beregnet sitt optimale rutevalg. Kjøretøyene vil derfor påvirkes av hvilke hastigheter og rutevalg trafikantene foran velger. Dette gir en nokså realistisk representasjon av hastigheter gjennom kryss, siden forsinkelse gis ved at trafikantene i modellen må samhandle og trafikantene må vente til kjøretøyene foran har kjørt gjennom krysset og på ledig grønn fase i kryss med lysregulering. Slik vil også tilbakeblokkering gi forsinkelse bakover i vegnettet, noe som ikke er tilfellet i RTM. Modellen gir også mulighet til å studere trafikkavviklingen grafisk, der man ser hver enkelt trafikant i vegnettet og hvordan køene bygger seg opp og avvikles.

SIDRA

SIDRA brukes for trafikkmodellering på mikronivå. Til forskjell fra Aimsun brukes SIDRA kun til analyser av enkeltkjøretøy eller en enkelt kjøretøygruppe i ett enkelt kryss eller en i noen få nærliggende kryssområder. Tilsvarende som i Aimsun må trafikkmatriser gis inn i modellen, og i SIDRA må det gis inn trafikkmengde inn mot krysset, og andeler for hver svingebevegelse. Slik kan modellen beregne kødannelse og tilbakeblokkering på grunn av interaksjon mellom kjøretøy. Informasjon om utforming og geometri legges til i når nettverket bygges, og sammen med trafikkmengden, informasjon om vegkryssets regulering og ventetid på grunn av kø og at man må vike for trafikkstrømmer, beregnes en forventet reisetid gjennom krysset. Siden andelene er gitt, vil ikke rutevalget påvirkes av annen trafikk. Målet med kjøring er derfor ikke å studere reisevalg, men å studere hvordan forhåndsdefinerte reisevalg påvirker avviklingen, reisetider og forsinkelse for hver trafikkstrøm.

3 Metode

Metoden er delt inn i to hoveddeler. Første del (kapittel 4) omfatter arbeid med innsamlede GPS-registreringer, for å avdekke forsinkelsesverdier for turer gjennom kryss. Dette skal gjøres for ulike trafikksituasjoner (lavtrafikk og rushtrafikk) og for ulike krysstyper (X-kryss, T-kryss, signalregulert kryss og rundkjøring).

Andre del (delkapittel 5) omfatter en sammenligning av de kryssforsinkelsene RTM benytter i dag (Malmin, 2013; Levin *et al.*, 2015) og nye verdier for kryssforsinkelse. Deretter kan dagens verdier for kryssforsinkelse og nye verdier for kryssforsinkelse sammenlignes, og det kan gjøres en vurdering rundt hvorvidt det bør gjøres endringer i hvilke verdier som representerer forsinkelse gjennom vegkryss i RTM.

3.1 Data fra SmartRVU

SmartRVU er et prosjekt ved NTNU, støttet av Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Bærum kommune for utvikling og testing av nye metoder for reisevaneundersøkelser. Datamaterialet som benyttes i denne studien er fra en pilot som ble gjennomført høsten 2019 i Trondheim kommune med mobilappen TravelVu (Tørset og Svaboe, 2020) utviklet av Trivector (Trivector, u.å.). Appen samler inn to typer data, data om den reisende og sporingsdata som viser reisene. Data om den reisende er bl.a. kjønn, alder, inntekt og informasjon om antall kjøretøy i husholdningen. Data om reisene er antall reiser, type reise og lengde på reisene, og samles inn ved bruk av GPS som registrerer posisjon og klokkeslett med en valgt frekvens. Appen har i utgangspunktet en frekvens på 2 Hz, men den faktiske frekvensen er avhengig av telefoninnstillinger og internettforbindelse, og varierer for innsamlede turer, men med en typisk frekvens på én registrering per ett til tre sekund.

Rekruttering av respondenter ble gjort ved at 10 000 tilfeldig utvalgte personer med folkeregistrert adresse i Trondheim kommune ble kontaktet direkte via SMS og brev. I tillegg ble det forsøkt rekruttert personer ved bruk av sosiale medier, flyers, via Adresseavisen og et fåtall personlige telefoner. Dette ga totalt 869 respondenter. For hver enkelt respondent ble det samlet inn reisevanedata i perioden 14. oktober til 11. november 2019. Historiske værddata viser lite nedbør for hele perioden. Selv om reisevanedataene inkluderer reiser med flere transportmidler, er det i denne studien kun valgt å se på reiser som sjåfør med bil. Videre i oppgaven benevnes hver enkelt observerte reise som en *tur*.

Trafikantgruppe

I denne oppgaven er det kun turer som sjåfør av bil som studeres. Turer med andre kjøretøy, eller som passasjer i bil er ikke inkludert. Det vil gjøre resultatene representative for bilturer, men forsinkelsen for andre trafikantgrupper kan ikke direkte beskrives med resultatene fra denne studien.

Alders- og kjønnsfordeling

Alders- og kjønnsfordeling både blant innbyggere i Trondheim i 2019 og fra TravelVu sin pilot i Trondheim i 2019 kan ses i Tabell 4. TravelVu's kjønnsfordeling viste 48 % menn og 52 % kvinner. På tross av enkelte forskjeller i aldersfordelingen representerer TravelVu den generelle befolkningen på en god måte med tanke på alders- og kjønnsfordeling for bruk i denne studien.

Tabell 4: Alders- og kjønnsfordeling i blant innbyggere i Trondheim kommune 2019 (SSB, u.å.) og fra TravelVu pilot i Trondheim høst 2019 (Tørset og Svaboe, 2020)

Befolkningsstatistikk fra SSB					Respondenter fra TravelVu		
Aldersgruppe	Menn	Kvinner	Totalt	%	Aldersgruppe	Totalt	%
18-24	11 279	10 442	21 701	15,2	18-24	96	11,0
25-44	34 477	30 543	65 020	45,4	25-44	38	0,4
45-64	23 102	22 743	45 845	32,0	45-64	326	0,4
65-70	5 067	5 430	10 497	7,3	65-70	63	0,1
Totalt	73 925	69 138	143 063	100	Totalt	871	100
Totalt [%]	51,7	48,3					

Periode for datainnsamling

For trafikkregistreringer som ikke er kontinuerlige bør det unngås å benytte målinger for døgn med spesiell trafikkbelastning. En oversikt over hvilke dager dette gjelder er gitt i Håndbok V714 Veileder i trafikkdata (vegvesen.no). Bortsett fra høstferien er det ikke andre såkalte spesielle dager i oktober og november, og høstferien var uken før datainnsamlingen.

En årsvariasjonskurve viser trafikkenes variasjon i løpet av et år i form av en grafisk kurve. Gjennomsnittlig trafikkmengde for et døgn representerer 100 %-verdien. I henhold til årsvariasjonskurvene fra Statens vegvesens *Veileder i trafikkdata* (Vegdirektoratet, 2014b) er variasjonsfaktorene i ukene for innsamling av data (uke 42, 43, 44, 45 og 46) som vist i Tabell 5.

Tabell 5: Årsvariasjonskurve for uke 42-46 (Vegdirektoratet, 2014b).

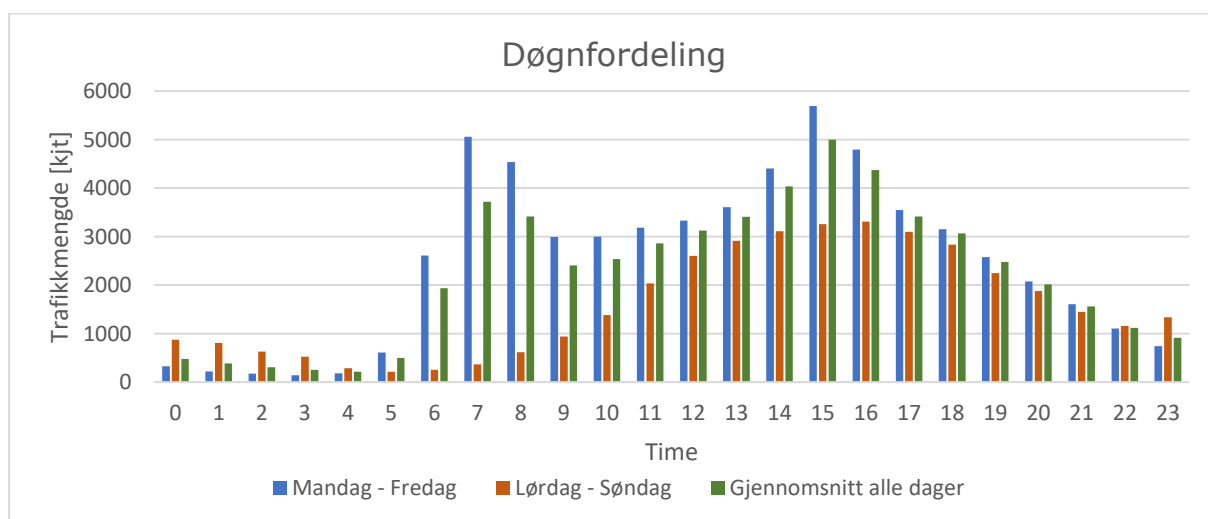
Uke	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
42	107	104	101	96	92	82	66
43	106	102	100	96	89	81	65
44	106	102	98	92	88	76	55
45	104	100	95	89	82	71	50
46	104	100	95	89	83	70	50

Med utgangspunkt i årsvariasjonskurvene vil trafikkmengdene i stor grad representere en nokså gjennomsnittlig dag i året for veger i kategoriene M1, M2, M3 og M4, som vil si gater og hovedveger i byer og tettbebygde strøk. En justering av forsinkelsene vil derfor ikke være nødvendig på bakgrunn av årsvariasjon.

Trafikkmengde over døgnet

Som grunnlag for valg av rushtimer er det valgt å studere tre tilfeldig utvalgte tellepunkt i Trondheim kommune. Statens vegvesens portal for trafikkdata har tellepunkt over hele landet. Flere av tellepunktene i Trondheim Kommune har vært aktive minst ett døgn i perioden 14. oktober til 11. november 2019, perioden som er sammenfallende (Tørset og Svaboe, 2020) med at reisevanedataene ble samlet inn. Totale trafikkmengder ved tellepunktene Innherredsveien ved Bakke kirke, Moholtlia og Søndre Ilevollen for perioden 21. - 27. oktober 2019, er presentert i Figur 5.

For ukedager fra mandag til torsdag viser histogrammet to toppunkt over døgnet, timene mellom 07:00 - 09:00 og 14:00 - 17:00. Fredager har generelt noe høyere trafikknivå, men med samme timer for toppunkt. Helgedager skiller seg ut ved å sort sett ha ganske lavt trafikknivå gjennom hele døgnet, uten tydelige toppunkt annet enn en flat topp på ettermiddagen.



Figur 5: Gjennomsnittlig timetrafikk for hver time i døgnet for tellepunktene Innherredsveien ved Bakke kirke, Moholtlia og Søndre Ilevollen i perioden 21.10.2019 – 27.10.2019.

3.2 Utvelgelse av kryssområder

Totalt er 60 kryss inkludert i studien, 15 av hver av krysstypene X-kryss, T-kryss, Signalregulert kryss og rundkjøring. Alle utvalgte kryssområder er vist i Figur 6.

15 kryss vurderes til å være et høyt nok antall til at de sammen kan representere et «gjennomsnittskryss» i byområdene på en god måte. Om dette er tilfellet for hver av svingebevegelsene avhenger imidlertid av antall observasjoner for den spesifikke svingebevegelsen.

Kryssene ble valgt ut basert på en rekke kriterier, med mål om at kryssområdene som brukes til analysen er egnet til å gjennomføre planlagt databearbeiding. Spesielt for X-kryss var det krevende å finne kryss som passet kriterium 2, da det ofte er tett mellom kryssene i områder med X-kryss uten lysregulering. Å helt unngå kryssområder som kan gi feil resultater er umulig, men kravene for utvelgelse vil begrense mengden feil, og ble forsøkt møtt så godt det lot seg gjøre. Kryss som sto igjen uten observasjoner etter databehandlingen ble manuelt byttet ut med et nytt.

Følgende kriterier er stilt:

1. Krysset skal ligge innenfor byområdet.
2. Krysset skal i liten grad være påvirket av annen fast forsinkelse.
3. Kryssets geometriske utforming må gjøre det mulig å benytte metode for å avdekke vikepliktsforhold og hastighetsgrense med valgte kriterier.
4. Unngå kryss med små radier i og rundt kryssområdet.
5. Unngå kryss med ugunstige vinklede vegarmer.

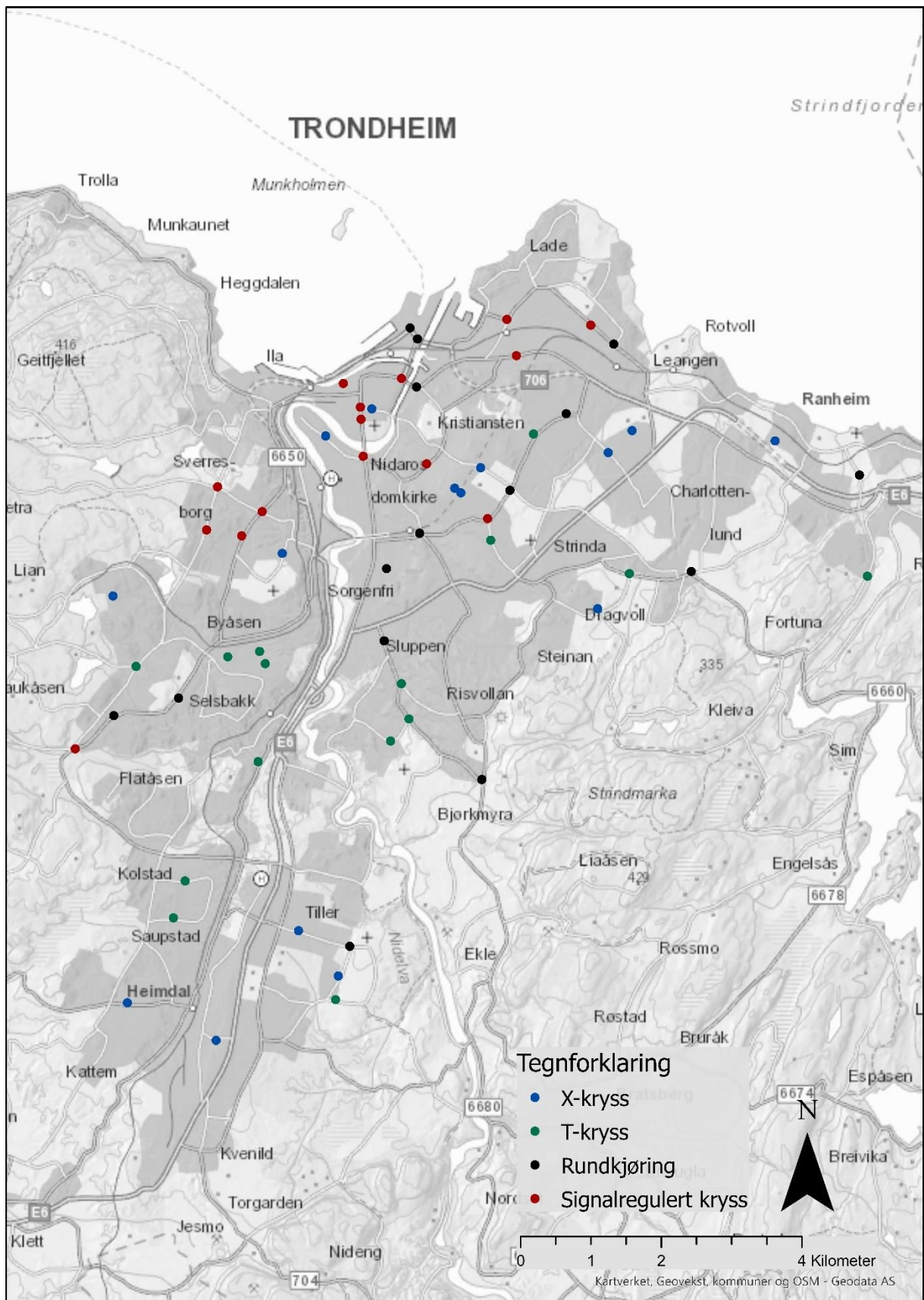
1. Krysset skal ligge innenfor byområdet: Trondheim kommune er en bykommune med både urbane og mer landlige områder. Utgangspunktet for studien er at RTM har utfordringer med å modellere hastighet i byområder, muligens på grunn av for lite forsinkelse gjennom kryssområder. Det ses derfor på som mest relevant å velge ut kryssområder som er i byområder, og det er derfor forsøkt unngått å velge kryss i de mest landlige delene av studieområdet. Dette gjør at de fleste veglenker gjennom kryssene har hastighetsgrenser i spekteret 30 - 50 km/t, med noen få unntak med hastighetsgrense på 60 km/t.

2. Krysset skal i liten grad være påvirket av annen fast forsinkelse: Eksempler på elementer som er forsøkt unngått er bussholdeplasser, andre kryss, inn-/ utkjøringer og fotgjengeroverganger. Slike elementer i tilknytning til krysset gir forsinkelse som ikke kommer av kryssets geometri eller annen trafikk gjennom krysset. For det første vil andre forsinkelser enn de som er forårsaket av geometrisk utforming (trafikanteres oppførsel med bakgrunn i geometri) og påvirkningen fra annen trafikk som kjører gjennom krysset (køkjøring og interaksjon med andre trafikanter), gi forsinkelse som ikke er relevant for selve kryssforsinkelsen. I tillegg inngår annen forsinkelse i modellens beregning av hastighet ved at forventet hastighet er nedjustert sammenlignet med hastighetsgrensa på veglenkene. Denne nedjusteringen kommer blant annet av forstyrrelser i og langs vegbanen.

3. Kryssets geometriske utforming må gjøre det mulig å benytte metode for å avdekke vikepliktsforhold og hastighetsgrense med valgte kriterier (se Steg 5 og 6 i delkapittel 3.3).

4. Unngå kryss med små radier i og rundt kryssområdet: For å finne forsinkelse sammenlignes brukt tid fra GPS-sporene og en forventet brukt tid på kjøring i hastighetsgrense 100 meter inn mot, og ut fra kryssets sentrum. Det antas da rettstrekker fra kryssets midtpunkt til punktene 100 meter fra krysset. For at antagelsen ikke skal bidra til store feil er det valgt å ekskludere kryss med vegarmer som har vertikale eller horisontale kurver med små radier nært kryssområdet.

5. Unngå kryss med ugunstige vinklede vegarmer: For at metoden for bestemmelse av svingebevegelse skal fungere må det unngås å velge kryss hvor nærliggende vegarmer har spesielt små eller store vinkler mellom seg, se delkapittel 3.3 Steg 4 *definere svingebevegelse*.



Figur 6: Oversiktsbilde av utvalgte kryssområder, (kartgrunnlag: Geodata.no).

3.3 Arbeid med datamateriale for å avdekke verdier for kryssforsinkelse

Målet med databearbeidingen var å finne ut hvor mye ekstra tid de registrerte turene bruker på å kjøre gjennom vegkrysset sammenlignet med om de hadde kjørt samme strekning rett fram uten kryss. Databearbeidingen ble gjort med programmeringsspråket R i programvaren Rstudio versjon 4.0.3.

Oppskriften for databearbeidingen er vist under. Videre følger en mer detaljert beskrivelse av alle uthevede steg med vurderinger rundt valg som er tatt og beskrivelse av hvordan analysen er utført. All kryssinformasjon som er brukt til analysen er samlet i et Excel-dokument for hver krysstype. Disse er lagt ved i Vedlegg A - D. Kode for X-kryss kan ses i Vedlegg E. Vedlegg F viser steg 6 for T-kryss, som skiller seg ut fra metoden som ble brukt i X-kryss).

Oppskrift for databearbeiding:

- Steg 1) Last inn nødvendige data.
 - Kartdata med GPS-spor
 - Kryssdata fra Excel
- Steg 2) Kutte GPS-spor (inkludert avstandsberging)**
 - Alle GPS-punkter innenfor en radius på 100 meter fra kryssets midtpunkt.
- Steg 3) Slette ikke-representative turer**
 - Krav 1: Antall GPS-registreringer per spor ≥ 5
 - Krav 2: Antall GPS-registreringer per spor ≤ 120
 - Krav 3: Avstand for koordinatene nærmest 100 meter ≥ 70
 - Krav 4: Minste avstand fra kryssets midtpunkt ≤ 50 m
 - Krav 5: Tidsbruken på turen må være ≤ 600 sek
- Steg 4) Regne ut tid brukt på turen = tidspunkt siste - tidspunkt første
- Steg 5) Definere svingebevegelse**
- Steg 6) Bestemme vikepliktsforhold**
- Steg 7) Beregne reisetid uten kryss**
- Steg 8) Regne ut forsinkelse = tid brukt på turen - reisetid uten kryss.
- Steg 9) Samle forsinkelsestider fra alle kryss av samme type.
 - X-kryss
 - T-kryss
 - Rundkjøring
 - Signalregulert kryss

Steg 2, kutte GPS-spor (inkludert avstandsberegning):

GPS-sporene er kuttet for å fange opp kun forsinkelsene gjennom kryss, inklusive nedbremsing før krysset og akselerasjon etter krysset.

Turene har ikke nødvendigvis en GPS-registrering i avstanden akkurat 100 meter fra kryssenes midtpunkt.

For å finne estimerte verdier i en avstand på 100 meter fra midtpunktet er det derfor valgt å interpolere til estimert tidspunkt og hastighet for posisjonene i nøyaktig 100 meter avstand fra kryssets midtpunkt, både på vei inn og ut av krysset. Dette er gjort med lineær interpolasjon mellom de to GPS-registreringene nærmest 100 meter.

Avstandsberegningen gjort med Sfærisk lov om cosinus, en metode for å finne avstanden mellom to punkt på jordoverflaten ved å relatere sider og vinkler til sfæriske trekkanter med trigonometriske formler. For hver GPS-posisjon regnes avstanden (d) ut som:

$$d = R_{\text{jord}} * \text{acos}(\cos(\text{lat}_1) * \cos(\text{lat}_2) * \cos(\text{lon}_2 - \text{lon}_1) + \sin(\text{lat}_1) * \sin(\text{lat}_2)) \quad (8)$$

der

$$R_{\text{jord}} \approx 6378137 \text{ m}$$

$$\text{Vinkel}_{\text{radianer}} = \text{Vinkel}_{\text{grader}} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\text{lon}_{1,2}, \text{lat}_{1,2} = \text{lengdegrad og breddegrad til punkt 1 og punkt 2}$$

Avstandsberegning med denne formelen tar hensyn til jordas kuleform, men metoden tar ikke hensyn til topografi. Ekstra kjøreavstand på grunn av høydeforskjell mellom punktene inkluderes derfor ikke i avstandsberegningen. Datasettet inneholder ikke høydekoordinat for registreringene, men høyde langs ruta kunne blitt inkludert ved bruk av kartdata. Metoden antar også i utgangspunktet rettstrekning og tar dermed heller ikke hensyn til vegens horisontalgeometri.

Det er gjennomført et regneeksempel for å studere betydningen av vertikalgeometri og horisontalgeometri for beregnet kjøretid gjennom kryss, se Tabell 6 og Tabell 7.

Tabell 6: Tabell som viser feil i avstandsberegningen på grunn av vertikal- og horisontalkurvatur.

Vertikalkurvatur, antar lineær stigning				
Vertikal høydeforskjell [m]	0	5	10	20
Faktisk avstand [m]	200,0	200,1	200,2	201,0
Horizontal lengdeendring [m]	0,0	0,1	0,2	1,0
Antatt avstand [m]	200	200	200	200
Feil	0,00 %	0,03 %	0,12 %	0,50 %
Horisontalkurvatur				
Horizontal lengdeendring [m]	-10	-5	5	10
Faktisk horisontal avstand [m]	190	195	205	210
Antatt horisontal avstand [m]	200	200	200	200
Feil	-5 %	-3 %	3 %	5 %

Statens vegvesens håndbok N100 Veg- og gateutforming (N100) anbefaler å unngå vegkryss i høybrekk og lavbrekk, og har spesifikke krav for minste vertikalkurveradius i kryssområder. I praksis er det sjelden mer enn 10 meter høydeforskjell i en avstand på 100 meter inn mot og 100 meter ut fra vegkryss. Som utregningen viser, vil høydeforskjell uansett bidra til minimal feil for kjørt avstand på tross av relativt stor vertikal forskjell.

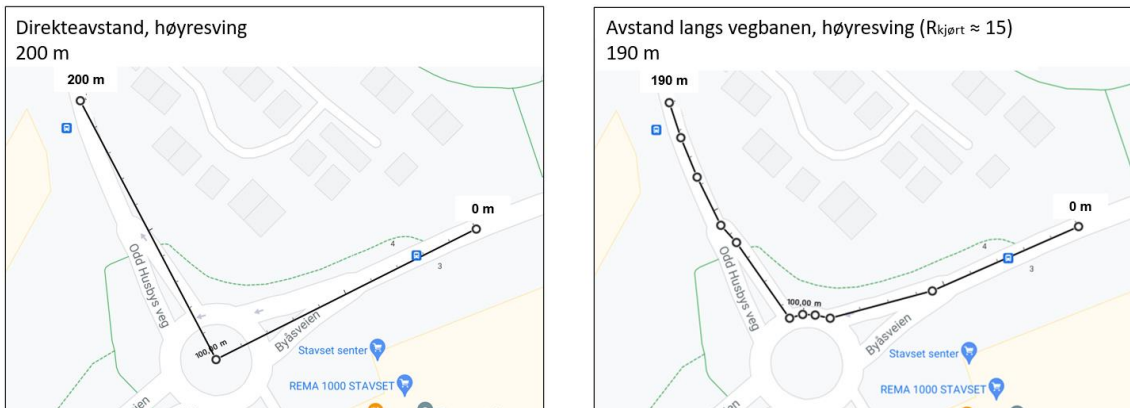
Når det gjelder horisontalkurvatur tar metoden for kryssutvelgelse hensyn til hvordan avstandsberegningen gjennomføres, ved å unngå kryss der veglenkene har små radier nært vegkryss. Det medfører at det sjelden er mer enn 10 meter ekstra horisontal avstand i kryssene som studeres på grunn av horisontalgeometri.

Tabell 7: Tabell som viser feil i avstandsberegningen på grunn av vertikal- og horisontalkurvatur kombinert.

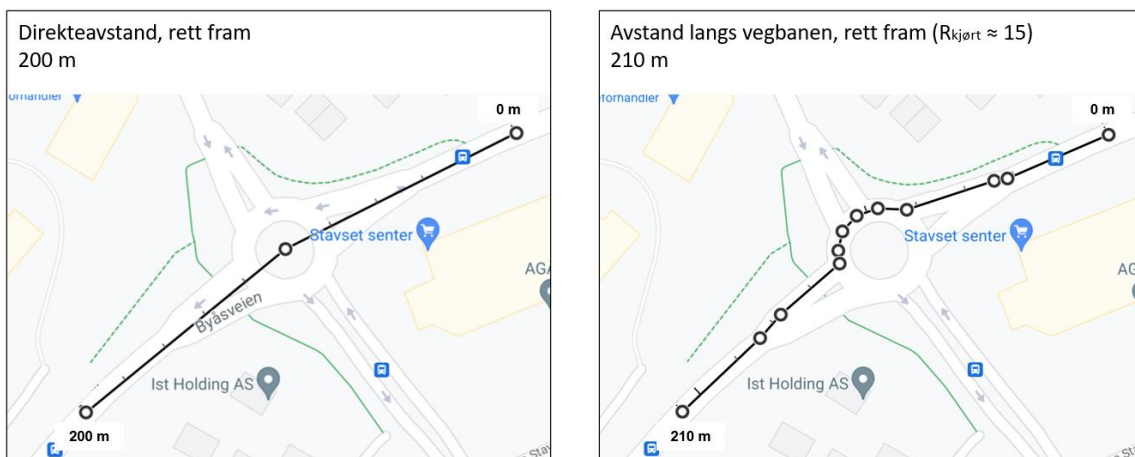
Horisontal- og vertikalkurvatur kombinert				
Vertikal lengdeøkning [m]	0,2	0,2	0,2	0,2
Horizontal lengdeøkning [m]	-10,0	-5,0	5,0	10,0
Total endret lengde [m]	-9,8	-4,8	5,2	10,2
Total feil	4,9 %	2,4 %	2,6 %	5,1 %
Endret tidsbruk i 30 km/t [s]	-1,2	-0,6	0,6	1,2
Endret tidsbruk i 40 km/t [s]	-0,9	-0,4	0,5	0,9
Endret tidsbruk i 50 km/t [s]	-0,7	-0,3	0,4	0,7

X-kryss, T-kryss og signalregulerte kryssene i studien har sjelden en kombinasjon av mer høydeforskjell enn 10 meter og ekstra horisontal lengde på 10 meter. I et verste scenario gir det en feil på rett over 1 sekund, og i de fleste tilfeller vil feilen være betydelig mindre. Det er derfor valgt å se bort fra geometrisk påvirkning for avstandsberegning i X-kryss, T-kryss og signalregulerte kryss.

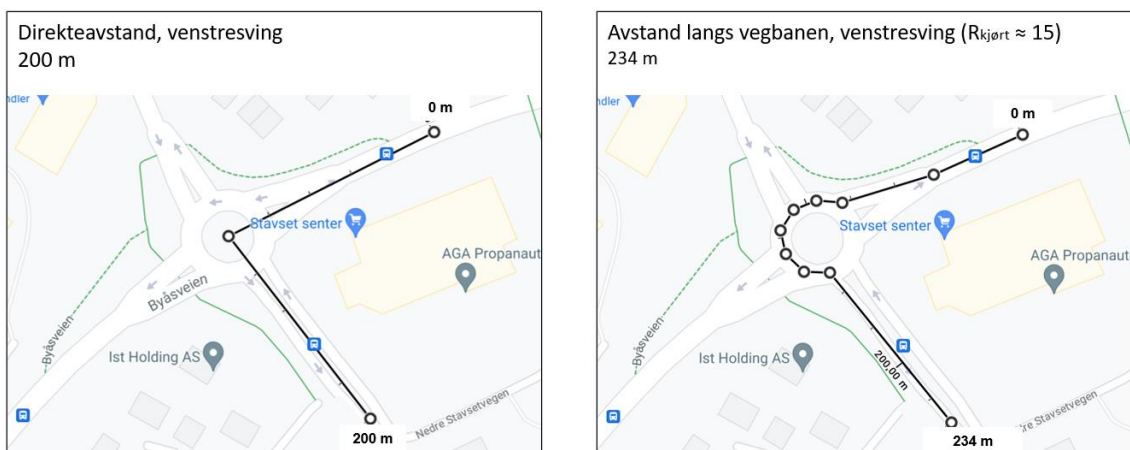
For rundkjøringer er tilfellet noe annerledes da sirkuleringsarealet kan være flere meter fra kryssets midtpunkt (se Figur 7, Figur 8 og Figur 9). Forsinkelsen består derfor både av forsinkelse gjennom krysset og forsinkelse på grunn av kjøring i sirkulasjonsarealet. Dette tas hensyn til ved *justert forsinkelse* og *dekomponert forsinkelse* for rundkjøring (kapittel 4.3).



Figur 7: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved høyresving (kartgrunnlag: google.com/maps)



Figur 8: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved kjøring rett fram (kartgrunnlag: google.com/maps).



Figur 9: Viser direkteavstand og avstand langs vegbanen for en utvalgt rundkjøring, ved venstresving (kartgrunnlag: google.com/maps).

Steg 3, slette ikke-representative turer:

Det er lagt inn en rekke kriterier for å renske datamaterialet for ikke-representative turer. Hovedformålet har vært å slette turer hvor reisetiden gjennom krysset er påvirket av andre forhold enn de som representerer en «normal kjøretur». Det er to hovedgrupper av årsaker til at dette er nødvendig.

- GPS-registreringer har varierende nøyaktighet avhengig av hvilke systemer som brukes for posisjonsbestemmelse, lokasjon og tidspunkt på døgnet. Unøyaktig GPS-registrering kan medføre flere typer feil i GPS-sporene som gjør at sporet ikke stemmer overens med turen som faktisk ble kjørt.
- Forsinkelse kan komme av momenter enn veg-geometri og trafikk. For eksempel kan en tur stoppe underveis på turen, uten at det kreves på grunn av annen trafikk eller regulering. Slike turer representerer ikke en normal tur.

Å helt unngå turer med unøyaktig GPS-registrering og/eller andre påvirkninger er hverken nødvendig eller ønskelig, da veldig strenge kriterier vil fjerne unødvendig mange turer fra datasettet. Både høye og lave ekstremobservasjoner tas også hensyn til ved å benytte persentil/median fremfor gjennomsnitt til å velge sluttverdier for kryssforsinkelse.

Følgende krav er satt for turene som skal inngå i resultat-fila:

Krav 1 og krav 2: Antall GPS-registreringer ≥ 5 og antall GPS-registreringer ≤ 120 .

- Få GPS-punkt indikerer enten lav frekvens eller at en tur ikke passerer både ytterkantene av kryssets radie og ved kryssets midtpunkt. Mange GPS-punkt indikerer at kjøretøyet har kjørt lenger enn kun gjennom krysset, har stoppet opp innenfor radien på 100 meter eller har hatt dårlig GPS-signal. Disse turene regnes ikke som relevante til å beskrive en normal kjøretur gjennom krysset.

Krav 3: De GPS-registreringene som benyttes til interpolasjonen skal ikke være mer enn 20 meter fra interpolasjonspunktet ($x = 100$ m).

- Ved lineær interpolasjon vil størrelsen av mulig feil øke ved lav frekvens på GPS-registreringene. Stor avstand indikerer også lav nøyaktighet langs GPS-sporet, noe som er spesielt kritisk for første og siste punkt på ruta, da de brukes til å bestemme vinkel og kjøreretning.

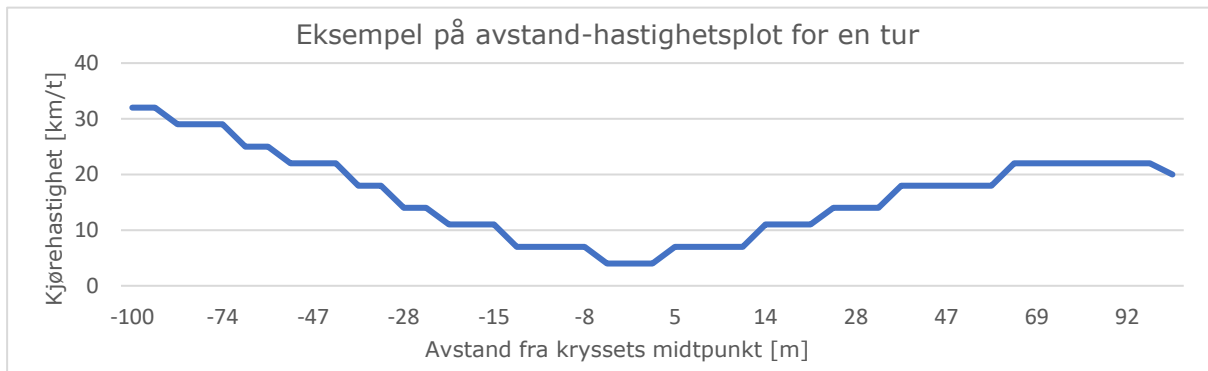
Krav 4: Minste avstand fra kryssets midtpunkt kan ikke overskride 50 m.

- Kriteriet ekskluderer turer som passerer innenfor radien på 100 meter, men som ikke kjører gjennom krysset. Unøyaktighet i GPS-registreringene som gir avsvingning i en avstand fra midtpunktet gjør at kravet ikke bør være lavere.

Krav 5: Tidsdifferanse ≤ 600 sek

- Kriteriet fjerner turer med velig høy forsinkelse, som følge av en unormal trafikksituasjon. Kunne vært satt lavere, men hadde da mistet muligheten til å studere spredning av observasjoner med spesielt høye verdier.

Et eksempel på et avstand-hastighetsplot av en gjenværende tur er vist i Figur 10 der x-aksen representerer avstand fra kryssets midtpunkt og y-aksen er kjørehastigheten.



Figur 10: Eksempel på et avstand-hastighetsplot hvor hastigheten synker inn mot krysset, og øker ut fra krysset.

Steg 4, definere svingebevegelse:

For å skille mellom svingebevegelsene venstresving, rett fram og høyresving er det valgt å anta at vinkelen mellom første koordinat (100 meter avstand på vei inn mot krysset), koordinatene til kryssets midtpunkt og siste koordinat (100 meter avstand på vei ut fra krysset), kan avdekke kjøreretningen.

I praksis er dette gjort ved bruk av den innebygde funksjonen *trackAngle* (DataCamp, u.å.) i R. *trackAngle* finner interne vinkler langs registrerte punktdata ved å regne om koordinatene til vektorer og finne vinkelen ved bruk av formel (9).

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\text{lonBA} \cdot \text{lonBC} + \text{latBA} \cdot \text{latBC}}{\sqrt{\text{lonBA}^2 + \text{lonBC}^2} \cdot \sqrt{\text{latBA}^2 + \text{latBC}^2}} \quad (9)$$

Etter at vinkelen er funnet bestemmes svingebevegelse:

Venstresving hvis

$$\theta < 230 \text{ eller } \theta < 310 \text{ eller } \theta > 50 \text{ eller } \theta < 130$$

&

$$\text{lonBA} \cdot \text{latBC} < \text{latBA} \cdot \text{lonBC}$$

Rett fram hvis

$$\theta > 140 \text{ eller } \theta < 220$$

Høyresving hvis

$$\theta < 230 \text{ eller } \theta < 310 \text{ eller } \theta > 50 \text{ eller } \theta < 130$$

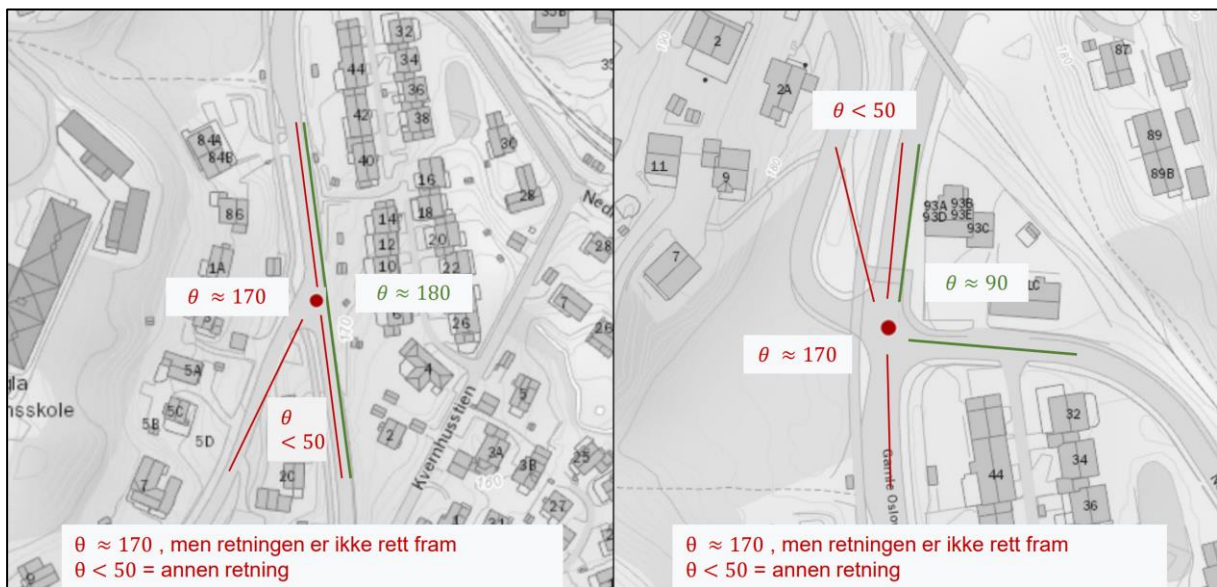
&

$$\text{lonBA} \cdot \text{latBC} > \text{latBA} \cdot \text{lonBC}$$

Ellers annen bevegelse.

Annen bevegelse indikerer at kjøretøyet har passert flere kryss, eller har snudd ($0 < \theta < 50$ og $310 < \theta < 360$). Forsinkelsen beskriver da ikke kun forsinkelsen gjennom ett kryss. *Vinkel = annen bevegelse* legges også til for turer med vinkler som gjør det vanskelig å avgjøre svingebevegelse ($130 < \theta < 140$ og $220 < \theta < 230$). Disse turene er ikke interessante for vår analyse og slettes fra datasettet.

Siden det er tatt hensyn til å unngå kryss med uvanlige vinkler mellom veglenkene inn og ut fra kryssene er det forventet at metoden fungerer godt for å avdekke retning i de aller fleste tilfellene, selv om det i praksis også er mulig at kryss har vinkler mellom veglenkene som gjør at metoden ikke vil gi riktig retning som vist i Figur 11.



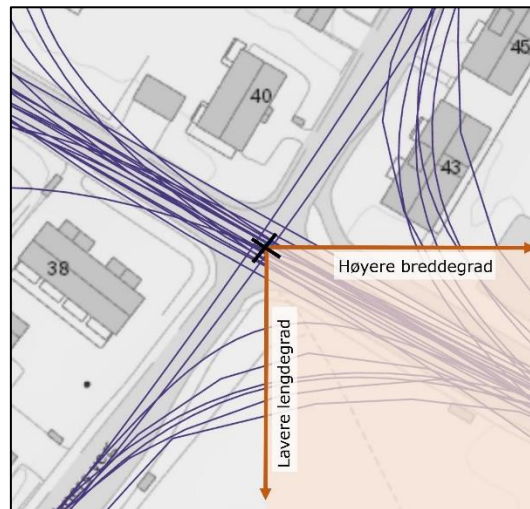
Figur 11: Eksempler på vinkler der metoden for retningsbestemmelse gir feil svingebevegelse (vinkler mellom veglenker i rødt) og riktig svingebevegelse (vinkler mellom veglenker i grønt), (kartgrunnlag: Geodata.no).

Steg 5, bestemme vikepliktsforhold:

GPS-sporene er ikke knyttet til veglenkene og gir ikke informasjon om vikepliktsforhold. Det er derfor laget en script som knytter vikepliktsforhold til svingebevegelsen fra GPS-sporene for hvert enkelt kryss. Vikepliktsforhold bestemmes avhengig av type kryss;

T-kryss og X-kryss: Hvilke veglenker som er vikende for annen trafikk gjennom krysset er funnet fra Vegkart.no (hentet 22.02.21) og Google maps (23.02.21). Excel-dokumentet med kryssinformasjon er det registrert om krysset er regulert med høyrevikeplikt, eller med skiltet vikeplikt. For X-kryss med høyrevikeplikt bestemmes vikepliktsforhold avhengig av svingebevegelse, der kjøretøy som kjører rett fram eller i venstresving er *vikende*, og de som kjører i høyresving er *ikke vikende*.

For T-kryss og X-kryss med skiltet forkjørsvog og vikeplikt er det registrert koordinater som gjør at kjørende fra gitte retninger er vikende i Excel-dokumentet, og om det gjelder lavere og høyere lengdegrader og breddegrader. Metoden er illustrert i Figur 12. Alle turer med første koordinat innenfor kravene gitt i dokumentet er *vikende*. Resterende turer er *ikke vikende*.



Figur 12: Eksempelbilde for bestemmelse av vikepliktsforhold i krysset markert med sort X, GPS-sporene vises med lilla linjer. Spor som har startkoordinat innenfor det oransje skraverte område (med høyere breddegrad og lavere lengdegrad enn kryssets midtpunkt), er vikende (kartgrunnlag: Geodata.no).

Signalregulert kryss: Irrelevant da alle trafikanter er vikende i perioder avhengig av lysreguleringen, og det derfor ikke skiller på vikende/ ikke vikende i signalregulerte kryss.

Rundkjøring: Irrelevant da alle trafikanter er vikende for trafikk i rundkjøringa og det derfor ikke skiller på vikende/ ikke vikende i rundkjøringer (dette stemmer ikke nødvendigvis for alle rundkjøringer, men gjelder for alle utvalgte rundkjøringer i denne analysen).

Steg 6, beregne reisetid uten kryss:

For å beregne brukt tid uten kryss antas det at man kjører i hastighetsgrensa på vegstrekningen, samt at all akselerasjon opp og ned i hastighet skjer i henhold til trafikkregler og med positiv og negativ akselerasjon lik hhv. 1 m/s^2 og -1 m/s^2 (Hjelkrem *et al.*, 2017).

Hastighetsgrense: GPS-sporene er ikke knyttet til veglenkene, og kan derfor ikke direkte kobles opp mot hastighetsgrense på tilhørende veglenker inn mot og ut fra krysset. Det er derfor laget et script som kan finne hastighetsgrense på veglenkene inn mot og ut fra krysset. Hastighetsgrense er hentet fra vegkart.no (hentet 22.02.21) og det antas at

disse var gjeldende også da GPS-sporene ble hentet inn. Hastighetsgrensene er også kryssjekket med skilting på bilder fra Google maps (23.02.21) for å unngå feil.

På samme måte som for vikepliktsforhold er det lagt til koordinater i Excel-dokumentet som beskriver hvor turene skal starte for å tillegges de ulike hastighetsgrensene (se eksempelbilde i Figur 12). Kolonnen med teksten «lavere» og «høyere» indikerer om det er turene med hhv lavere eller høyere lengdegrader og breddegrader som skal tillegges hastighetsgrensen, og for at et spor skal få en hastighetsgrense må kravet stemme for både lengdegraden og breddegraden. Det samme gjøres for å finne fart på veglenka ut av krysset, men da er det siste koordinat som sammenlignes med kravene, og ikke første koordinat.

Akselerasjon: Selv om den teoretiske hastighetsgrensa er farten v_1 helt fram til skilting for ny hastighetsgrense vil nedbremsingen inn mot krysset gjøre at hastighetsgrensa i praksis er gjeldende fra kryssets midtpunkt. I det tenkte tilfellet uten kryss antas det derfor at neste hastighetsgrense er gjeldende fra kryssets midtpunkt.

I henhold til trafikkreglene skal all oppbremsing ned til ny og lavere skiltet hastighet skje før skiltingen med ny hastighetsgrense og all akselerasjon opp til ny og høyere skiltet hastighet skje etter skiltingen med ny hastighetsgrense. I begge tilfellene vil derfor akselerasjonen eller nedbremsingen gi et tillegg i beregnet *tid brukt uten kryss* sammenlignet med om man antar at man alltid kjører i gjeldende hastighetsgrense.

Reisetid uten kryss regnes ut med formel (10) og (11), fartsformlene:

$$s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a} \quad (10)$$

$$t = \frac{s}{v} \quad (11)$$

Som ved omformulering gir følgende formel for tid brukt når $v_1 < v_2$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{100}{v_1} + \frac{\text{abs}\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a}\right)}{\frac{v_1 + v_2}{2}} + \frac{100 - \text{abs}\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a}\right)}{v_2} \quad (12)$$

Og følgende formel når $v_1 > v_2$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{100 - \text{abs}\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a}\right)}{v_1} + \frac{\text{abs}\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a}\right)}{\frac{v_1 + v_2}{2}} + \frac{100}{v_2} \quad (13)$$

I formel (12) er første ledd tiden det tar å kjøre de første 100 meterne inn mot krysset i fart v_1 . Andre ledd er tiden det tar å kjøre den strekningen som kreves for å akselerere opp fra fart v_1 til fart v_2 . Tredje og siste ledd er tiden det tar å kjøre resterende strekning (100 meter minus avstanden som trengs for akselerasjon opp til fart v_2), i fart v_2 .

Formel (13) er hovedsakelig lik, men her må all oppbremsing skje før de første 100 meterne er kjørt, og alle de siste 100 meterne kan kjøres i fart v_2 .

4 Anbefalte kryssforsinkelsesverdier

4.1 Datagrunnlaget for kryssforsinkelse

Etter databearbeidingen var det igjen 4812 turer gjennom kryss. 11 av kryssene hadde 10 eller færre observasjoner, 35 av kryssene hadde mellom 11 og 100 observasjoner, og 14 av kryssene hadde over 100 observasjoner. Til sammenligning inkluderte den tidligere studien 130 ulike kryss, med totalt 7114 turer. Fordelingen av turer gjennom hver krysstype, både for Levin m.fl. sin studie fra 2015 og denne studien, er presentert i Tabell 8.

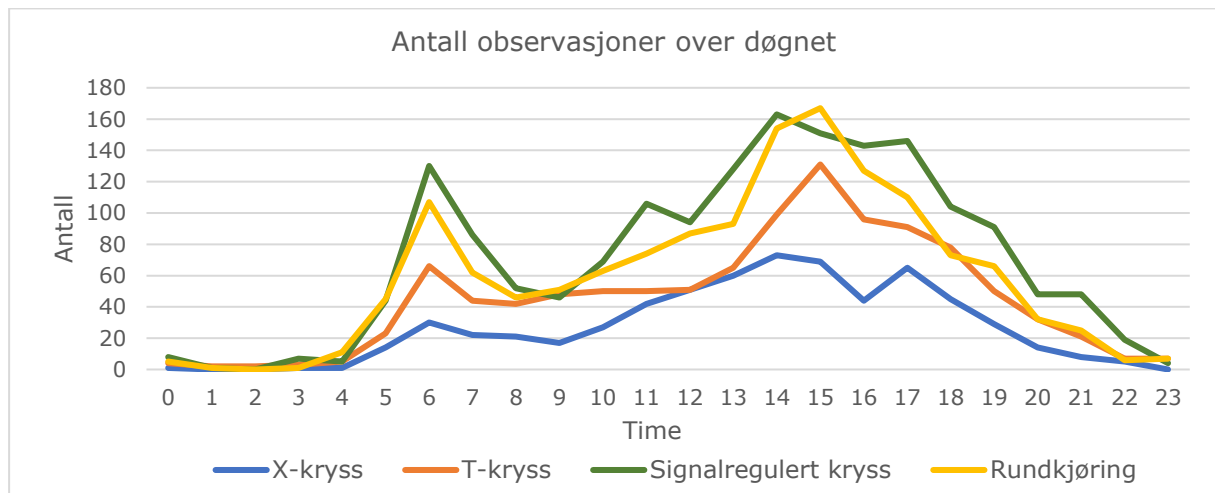
Tabell 8: Tabell over antall observasjoner for alle krysstyper og svingebevegelser fra den tidligere studien av kryssforsinkelse av Levin m.fl. (2015) og denne studien.

Krysstype	Svingebevegelse	Antall Levin et.al (2015)		Antall denne studien	
		For hver svingebevegelse	Totalt	For hver svingebevegelse	Totalt
X-kryss	Høyresving	147	626	137	639
	Rett fram	364		354	
	Venstresving	115		148	
T-kryss	Høyresving	1257	3431	214	1067
	Rett fram	903		674	
	Venstresving	1271		179	
Signalregulert kryss	Høyresving	52	511	220	1693
	Rett fram	406		1222	
	Venstresving	53		251	
Rundkjøring	Høyresving	1011	2576	297	1413
	Rett fram	743		841	
	Venstresving	822		275	

- For X-kryss er både det totale antallet og antallet for hver av svingebevegelserne nesten sammenfallende i begge studier.
- For T-kryss og rundkjøring er derimot antallet nokså mye høyere for Levin sin studie i 2015, med spesielt mange flere observasjoner for høyre og venstresvingende.
- Rundkjøringer har nesten dobbelt så mange observasjoner i studien til Levin m.fl. Alle svingebevegelser i denne studien har likevel godt over 200 observasjoner og spesielt mange rett fram.
- Signalregulerte kryss er eneste krysstype med et klart høyere antall observasjoner i denne studien, og det gjelder for alle svingebevegelser. For signalregulerte kryss vil antallet kryss som er studert være spesielt viktig, fordi forsinkelsen avhenger av omløpstider og fordeling av prioritering for det spesifikke krysset.

Grunnlaget for forsinkelsesverdiene er godt for begge studiene, med et høyt antall turer gjennom alle krysstyper. Det er gjort en vurdering rundt hvilke verdier som anses å være best egnet til å beskrive forsinkelse for hver enkelt krysstype i delkapittel 4.3.

4.1.1 Periode for lavtrafikk og rushtrafikk

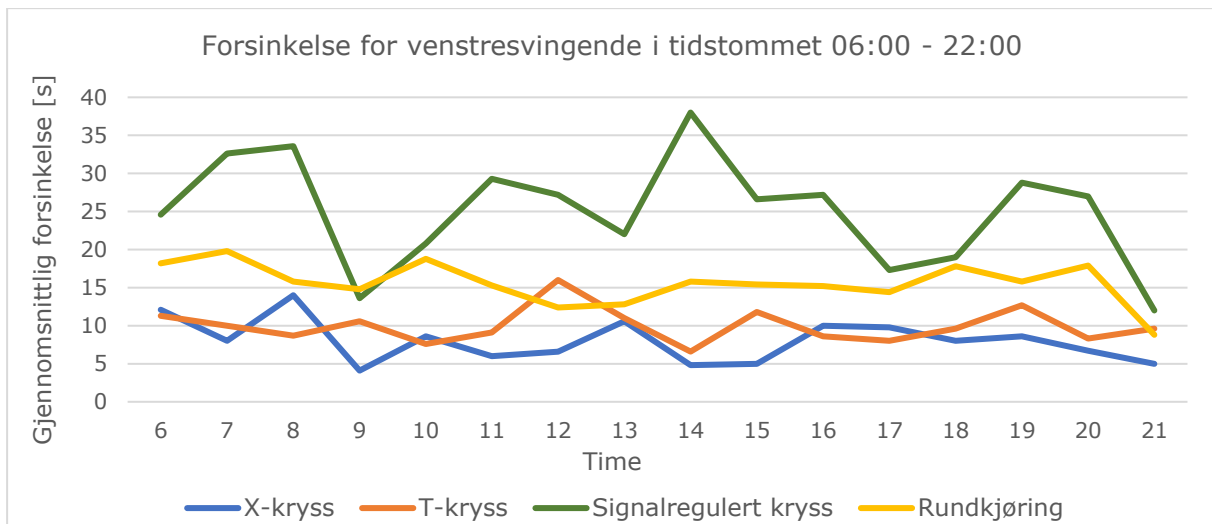


Figur 13: Diagram som viser fordeling av turene over døgnet.

Figur 13 viser fordeling av turene over døgnet. Det kan ikke trekkes en konklusjon av rushtid på bakgrunn av disse, men med ett toppunkt på morgenen og ett på ettermiddagen stemmer det godt overens med normale rushtidsperioder. Alle krysstyper har mange flere observasjoner på ettermiddagen enn morgenen, og en lengre periode med et høyt antall observasjoner.

Til sammenligning viser Figur 5 (kapittel 3.1), et diagram over trafikkmengder gjennom utvalgte tellepunkt i Trondheim kommune. Også dette diagrammet har to tydelige rushtider (mandag til fredag), med et høyere og brede toppunkt på ettermiddagen enn formiddagen og en lengre rushtid om morgenen. Lørdag og søndag skiller seg ut ved å kun ha ett (veldig bredt) toppunkt, og ikke to.

Døgnvariasjonen for forsinkelse er gitt i Figur 14 som et linjediagram som representerer medianverdien for forsinkelse for venstresvingende, med én linje for X-kryss (blå), én for T-kryss (oransje), én for signalregulert kryss (grønn) og én for rundkjøring (gul). Det er kun timene mellom 06:00 og 21:00 som er inkludert på grunn av få observasjoner i resterende timer. Diagrammet viser lite tydelige topper i forventede rushtider, selv om det kan ses en antydning til rushtrafikktopper morgen og ettermiddag for signalregulerte kryss.



Figur 14: Diagram over forsinkelse for venstresvingende fra 06:00 - 22:00.

I RTM benyttes tidene kl 06:00 - 09:00 og kl 15:00 - 18:00 som rushtid. I denne studien vil rushtid settes til å være kl 06:00 - 09:00 og kl 14:00 - 17:00. Dette er like mange timer som i RTM, men med ettermiddagsrushtid forskjøvet én time fram, med utgangspunkt i at registreringene i tellepunkt og antall observasjoner i denne studien, hadde disse tre timene som makstimer for ettermiddag.

Samtidig må det presiseres at hvilke timer det er snakk om ikke har noen betydning i strategiske modeller, da de ikke tar hensyn til oppbygging av kø i vegnettet.

4.1.2 Valg av statistiske parametere

Persentil: Den verdien en gitt andel av observasjonene er under, for eksempel er 25 %-persentilen den verdien 25 % av observasjonene har lavere verdi enn.

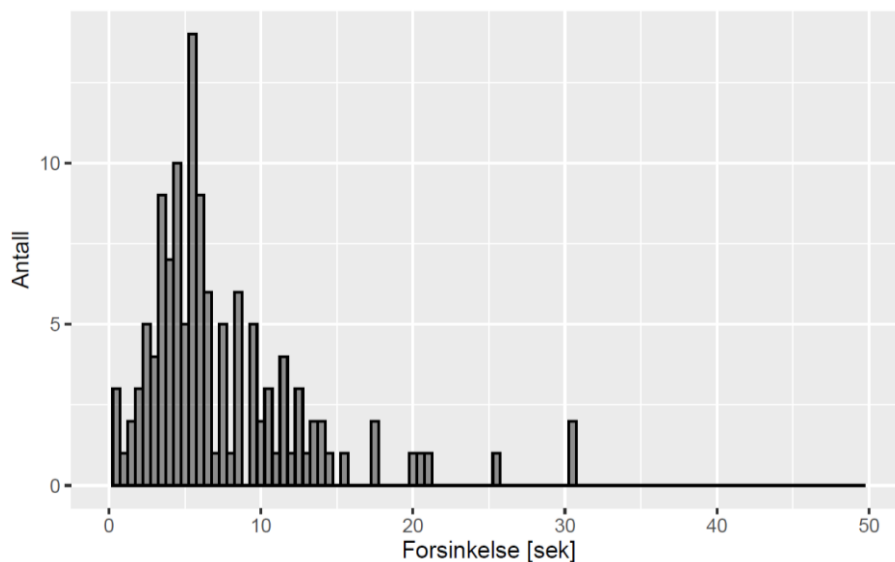
Median: Den verdien halvparten opplever, dvs. at halvparten av observasjonene er under og halvparten er over denne verdien. Tilsvarende 50 %-persentilen.

Gjennomsnitt: Middelverdien av observasjonene, dvs. totaltallet delt på antallet observasjoner.

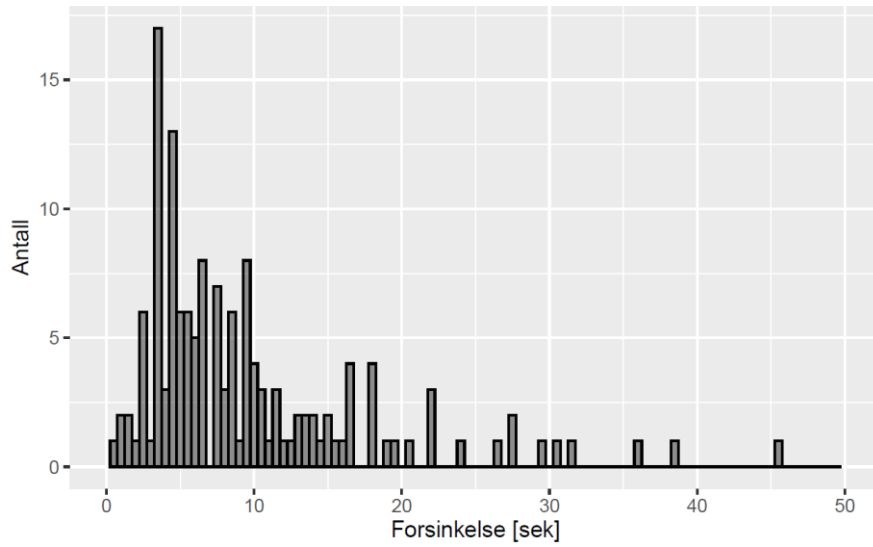
I rapporten *Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller* av Levin m.fl. (2015) argumenteres det for bruk av 25 %-persentil som statistisk parameter for geometrisk forsinkelse og forsinkelse i lavtrafikk, og medianverdi for forsinkelse i rushtrafikk.

Det stilles spørsmål rundt bruk av geometrisk forsinkelse (25 %-persentil) for å beskrive lavtrafikk, da det i byområder kan være nokså høy trafikkbelastning gjennom store deler av dagen, og ikke kun i rushtiden. Å kun bruke geometrisk forsinkelse ses derfor på som konservativt da 75 % av trafikantene opplever høyere forsinkelse enn dette.

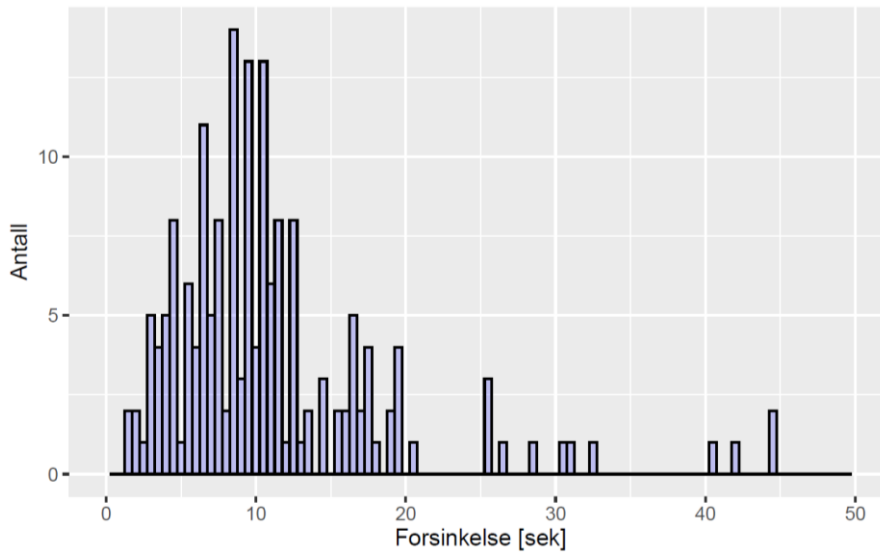
For å validere bruk av 25 %-persentil, median eller gjennomsnitt som statistiske parametere i denne studien er det lagd histogram over forsinkelse i høyresving og venstresving for X-kryss og T-kryss, se Figur 15, Figur 16, Figur 17 og Figur 18.



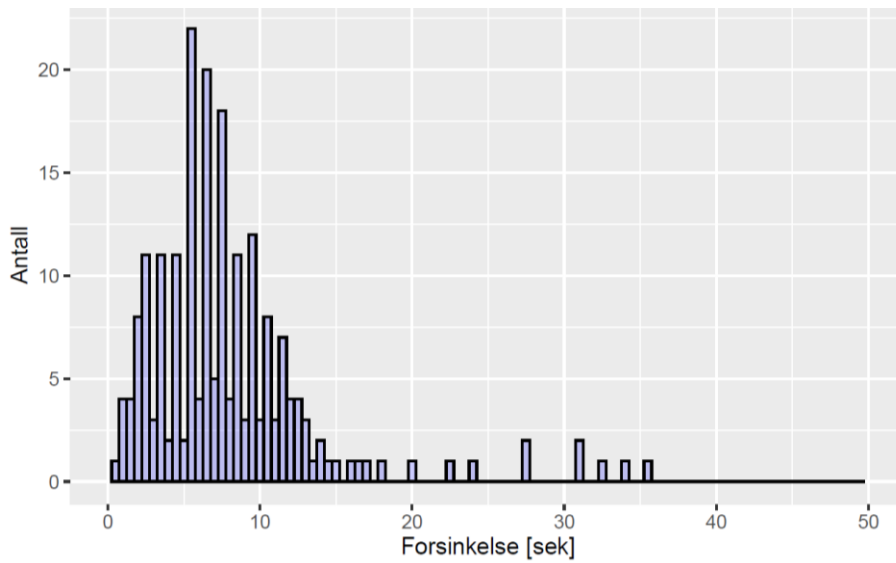
Figur 15: Histogram over forsinkelse for høyresvingende i X-kryss.



Figur 16: Histogram over forsinkelse for venstresvingende i X-kryss.



Figur 17: Histogram over forsinkelse for venstresvingende i T-kryss.



Figur 18: Histogram over forsinkelse for høresvingende i T-kryss.

Alle histogrammene er versjoner av høyreskjeve normalfordelinger med enkeltobservasjoner med spesielt høye forsinkelser. Et gjennomsnitt vil derfor være styrt av høye ekstremverdier og ikke representere en normalsituasjon på en god måte da mange av de høyeste verdiene kan skyldes bidrag som ikke direkte er knyttet til vegens kurvatur eller interaksjon med andre trafikanter. For svingebevegelser med få observasjoner kan ekstremverdiene gi spesielt store utslag for gjennomsnittet.

Det kan også være stor forskjell på å velge median og 25 %-persentil. I modeller med enge forsinkelsesverdier for hver time, kunne det vært hensiktsmessig å beskrive forsinkelse for de aller minst trafikkerte timene kun med geometrisk forsinkelse, og da bruke 25 %-persentil. Det er ikke tilfellet i RTM, der verdiene for lavtrafikk skal representere mange timer med nokså høy trafikkbelastning da det ofte er store trafikkmengder store deler av døgnet i byområder. Det ses derfor ingen god grunn til å velge 25 %-persentil fremfor median. En medianverdi vil representere forsinkelsen for halvparten av trafikantene i datasettet, og vurderes til å være et bedre valg for å beskrive normal forsinkelse både i lavtrafikk og rushtrafikk. Det vil likevel presenteres både verdier for 25 %-persentil og median for lavtrafikk for sammenligningsgrunnlag.

4.2 Observerte forsinkelser

Tabellene på de neste sidene viser observert forsinkelse for hver krysstype og hver bevegelse uavhengig av vikepliktsforhold hhv. for alle observasjoner (Tabell 9), observasjoner i lavtrafikk (Tabell 12) og observasjoner i rushtrafikk (Tabell 15). Siden det forventes forskjell mellom vikende og ikke vikende trafikanter i X-kryss og T-kryss er det også lagt ved tabeller som skiller på vikende og ikke vikende (Tabell 10, Tabell 11, Tabell 13, Tabell 14, Tabell 16 og Tabell 17).

Tabell 9: Tabell over forsinkelse gjennom kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25 %- percentil	Antall observasjoner
X-kryss	Venstresving	53,7	7,6	4,6	148
	Rett fram	5,2	2,6	0,6	354
	Høyresving	13,3	5,6	3,7	137
T-kryss	Venstresving	15,0	9,6	6,6	179
	Rett fram	4,1	2,0	0,6	674
	Høyresving	8,1	6,6	4,6	214
Signalregulert kryss	Venstresving	36,2	24,0	13,6	251
	Rett fram	13,6	4,6	1,6	1222
	Høyresving	94,9	22,5	11,9	220
Rundkjøring	Venstresving	16,7	11,4	8,2	275
	Rett fram	13,4	7,4	4,4	841
	Høyresving	15,0	8,5	5,0	297

Tabell 10: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25 %- percentil	Antall observasjoner
X-kryss (ikke vikende)	Venstresving	8,3	6,3	4,4	36
	Rett fram	3,5	1,6	0,6	245
	Høyresving	13,4	5,6	3,6	86
X-kryss (vikende)	Venstresving	68,3	8,0	4,6	112
	Rett fram	9,1	4,6	2,0	109
	Høyresving	13,2	6,6	4,6	51

Tabell 11: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss for alle observasjoner (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25 %- percentil	Antall observasjoner
T-kryss (ikke vikende)	Venstresving	-	-	-	0
	Rett fram	4,1	2,0	0,6	667
	Høyresving	7,9	6,7	4,6	147
T-kryss (vikende)	Venstresving	15,0	9,6	6,6	179
	Rett fram	5,0	7,7	-0,5	7
	Høyresving	8,6	7,6	4,6	67

Tabell 12: Tabell over forsinkelse gjennom kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- percentil	Antall observasjoner
X-kryss	Venstresving	77,3	7,6	4,6	94
	Rett fram	6,4	2,6	1,0	194
	Høyresving	15,3	5,8	3,6	92
T-kryss	Venstresving	18,5	9,6	6,6	101
	Rett fram	4,3	2,0	0,6	382
	Høyresving	8,1	6,7	5,0	109
Signalregulert kryss	Venstresving	28,8	23,3	12,0	133
	Rett fram	13,1	4,0	1,0	711
	Høyresving	37,8	20,7	11,5	124
Rundkjøring	Venstresving	16,5	11,4	7,4	132
	Rett fram	12,6	6,9	3,9	461
	Høyresving	11,9	8,0	5,0	157

Tabell 13: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- percentil	Antall observasjoner
X-kryss (ikke vikende)	Venstresving	8,3	5,8	3,9	22
	Rett fram	4,9	2,0	0,6	129
	Høyresving	15,7	5,6	3,0	57
X-kryss (vikende)	Venstresving	98,4	8,3	4,7	72
	Rett fram	9,3	5,0	2,0	65
	Høyresving	14,6	6,6	4,6	35

Tabell 14: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss i lavtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- percentil	Antall observasjoner
T-kryss (ikke vikende)	Venstresving	-	-	-	0
	Rett fram	4,3	2,0	0,6	379
	Høyresving	8,5	6,7	5,0	77
T-kryss (vikende)	Venstresving	18,5	9,6	6,6	98
	Rett fram	-0,1	-4,0	-4,5	3
	Høyresving	7,1	6,6	4,9	32

Tabell 15: Tabell over forsinkelse gjennom kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- persentil	Antall observasjoner
X-kryss	Venstresving	12,5	7,6	4,2	54
	Rett fram	3,9	1,8	0,6	160
	Høyresving	9,3	5,6	4,0	45
T-kryss	Venstresving	10,9	9,6	6,7	81
	Rett fram	3,9	2,0	1,0	292
	Høyresving	8,2	6,7	3,7	105
Signalregulert kryss	Venstresving	44,5	28,1	14,0	118
	Rett fram	14,4	5,6	2,0	511
	Høyresving	168,6	24,1	12,6	96
Rundkjøring	Venstresving	16,8	12,4	8,2	143
	Rett fram	14,5	8,1	4,9	380
	Høyresving	18,4	10,0	6,0	140

Tabell 16: Tabell over forsinkelse gjennom X-kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- persentil	Antall observasjoner
X-kryss (ikke vikende)	Venstresving	8,2	7,6	4,6	14
	Rett fram	2,1	1,6	0,6	116
	Høyresving	8,9	5,0	4,0	29
X-kryss (vikende)	Venstresving	14,0	7,1	4,0	40
	Rett fram	8,7	4,0	1,0	44
	Høyresving	10,2	7,6	4,4	16

Tabell 17: Tabell over forsinkelse gjennom T-kryss i rushtrafikk (i sekunder), uthevede verdier vil vurderes videre.

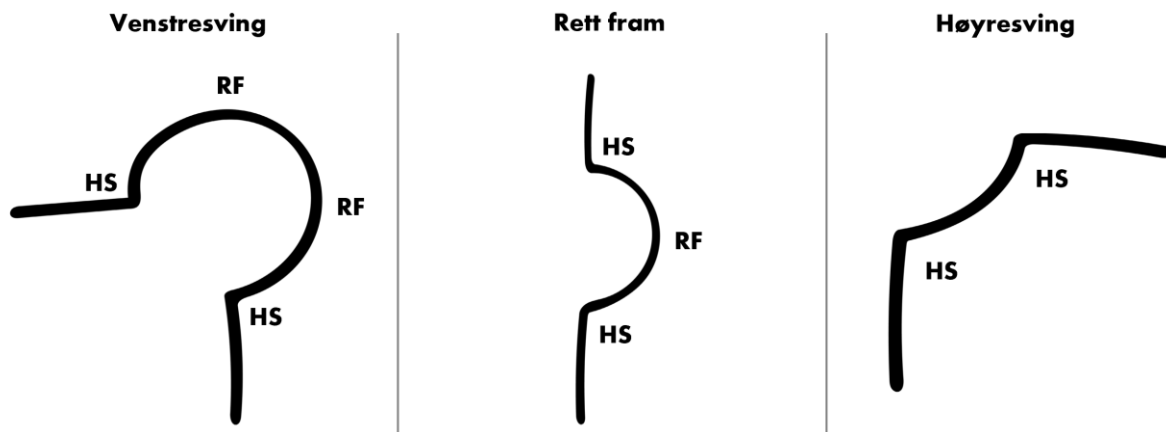
Krysstype	Svingebevegelse	Gjennomsnitt	Median	25%- persentil	Antall observasjoner
T-kryss (ikke vikende)	Venstresving	-	-	-	0
	Rett fram	3,8	2,0	1,0	288
	Høyresving	7,2	6,7	3,2	70
T-kryss (vikende)	Venstresving	10,9	9,6	6,7	81
	Rett fram	8,9	8,3	6,5	4
	Høyresving	10,0	8,6	4,6	35

4.3 Kryssforsinkelsesverdier for bruk i RTM

Tilpasning av forsinkelsesverdier

I X-kryss, T-kryss og signalregulerte kryss kan de observerte verdiene for kryssforsinkelse brukes direkte ved at de legges inn i noden som representerer krysset. Rundkjøringer er derimot kodet som flere påfølgende T-kryss med lenker mellom, der lenkene representerer sirkulasjonsarealet.

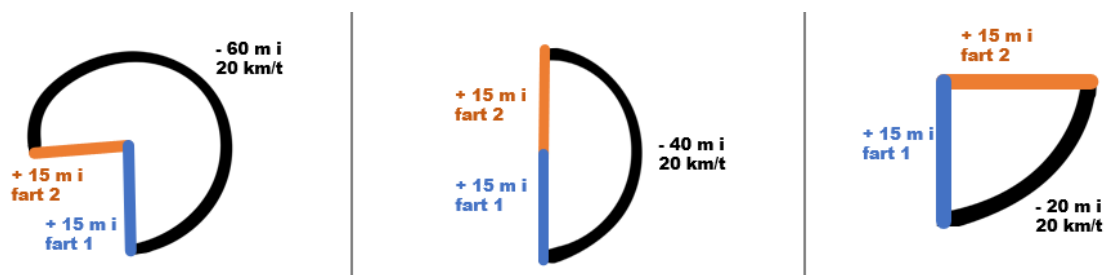
Den målte forsinkelsen må derfor dekomponeres til forsinkelse som representerer kjøring rett fram og til høyre for hvert av disse T-kryssene. For eksempel består en venstresving av fire påfølgende kryss der man i første kryss tar til høyre (kjører inn i rundkjøringa), i de to neste T-kryssene kjører rett fram og i siste T-kryss kjører til høyre (ut fra rundkjøringa). Bevegelser for høyresvingende, kjørende rett fram og venstresvingende i en firearmet rundkjøring er illustrert i Figur 19.



Figur 19: Illustrasjon av svingebevegelser i en firearmet rundkjøring. HS = høyresving og RF = rett fram.

I motsetning til de andre krysstypene, må det også tas hensyn til at man kjører langs et sirkulasjonsareal, ofte i stor avstand fra midtpunktet. Som sagt er forsinkelse på grunn av kjøretid i sirkulasjonsarealet allerede inkludert i RTM ved at lenkene som representerer sirkulasjonsarealet er tildelt en lengde og hastighetsgrense. Denne forsinkelsen kan derfor ikke inkluderes i nodene. Det er ulike lengder og hastighetsgrenser på disse, men en gjennomgang av tilfeldige lenker i RTM DOM Nidaros viser en typisk lengde rundt 20 meter og hastighetsgrense på 20 km/t (mer om dette i delkapittel 2.4.4). En manuell måling av faktisk kjørelengde i rundkjøringer bekrefter at lenger på 20 meter for høyresvingende, 40 meter for kjørende rett fram og 60 meter for kjørende til venstre er et fornuftig anslag for kjørt lengde i sirkulasjonsarealet til en rundkjøring med en diameter på 30 – 40 m.

For å ta hensyn til dette er det beregnet *justerte forsinkelsesverdier*, der kjøring i 20 km/t langs sirkulasjonsarealet inkluderes i *forventet forsinkelse*. I tillegg må kjøring fra innkjøringa til rundkjøringa, via midtpunktet og til utkjøringa, ekskluderes fra den forventede forsinkelse siden forventet reisetid allerede inkluderer denne avstanden. Figur 20 illustrerer disse bidragene. Den forsinkelsen som er igjen, *justert forsinkelse*, representerer forsinkelse gjennom T-kryssene og dekomponeres i siste kolonne i Tabell 18. Vedlegg G viser koden for dette.



Figur 20: Illustrasjon av hvordan justerte forsinkelsesverdier er regnet ut.

Tabell 18: Tabell som viser forsinkelse og dekomponert forsinkelse for rundkjøring, både i lavtrafikk og rushtrafikk. H = høyresving og RF = rett fram.

		Observert forsinkelse	Justert forsinkelse	Dekomponert Forsinkelse
	Bevegelse	[s]	[s]	
Lavtrafikk 25 %-persentil	Venstresving	7,4	-1,2	≈ 0
	Rett fram	3,9	-1,2	≈ 0
	Høyresving	5,0	3,5	≈ 0
	Totalt [sek]	16,3	1,1	0
Lavtrafikk median	Venstresving	11,4	2,8	$H+RF+RF+H = 2*1,0 + 2*0,4 = 2,8$ sek
	Rett fram	6,9	1,8	$H+RF+H = 1,0+0,4+1,0 = 2,4$ sek
	Høyresving	8,0	6,5	$H+H = 1,0 + 1,0 = 2,0$ sek
	Totalt [sek]	26,3	11,1	7,2
Rushtrafikk median	Venstresving	12,4	3,8	$H+RF+RF+H = 2*1,5+2*0,5 = 4,0$ sek
	Rett fram	8,1	3,0	$H+RF+H = 1,5+0,5+1,5 = 3,5$ sek
	Høyresving	10,0	8,5	$H+H = 1,5 + 1,5 = 3,0$ sek
	Totalt [sek]	30,5	15,3	10,5

De dekomponerte verdiene er omtrentlige og valgt ut basert på et ønske om å passe spesielt godt til rett fram-bevegelsen (som er den bevegelsen med flest observasjoner i studien), men samtidig uten å gå for mye på bekostning av forsinkelsen for de andre svingebevegelsene.

Kryssforsinkelse fra observerte data

Tabell 19 viser verdier for kryssforsinkelse ved bruk av 25 %-persentil for lavtrafikk og median for rushtrafikk (som er utgangspunktet for dagens verdier). Verdier som antas å best beskrive kryssforsinkelse fra denne studien er vist i Tabell 21, der er medianverdien brukt for å beskrive både lavtrafikk og rushtrafikk. Svingebevegelser som mangler, eller har færre enn 10 observasjoner er markert med sort stiplet linje, da det regnes som et for svakt grunnlag til å si noe om den generelle bevegelsen gjennom et kryss. Verdier som representerer vikende trafikk, er markert (V), den andre verdien representerer de ikke vikende trafikantene.

Tabell 20 og Tabell 22 viser forskjellen mellom dagens verdier og verdier funnet i denne studien. Positive verdier (i grønt) vil si at observert forsinkelse er høyest i denne studien og negative verdier (i rødt) vil si at observert forsinkelse er lavere i denne studien. Svingebevegelser som mangler observasjoner i minst en av studiene er markert med sort stiplet linje.

Tabell 19: Verdier for forsinkelse i lavtrafikk og rushtrafikk, 25%-persentil for lavtrafikk og median for rushtrafikk.

Krysstype	Lavtrafikk (25 %-persentil)						Rushtrafikk (median)					
	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)
T-kryss	--	0,6	4,9	5,0	6,6	--	--	2,0	8,6	6,7	9,6	--
X-kryss	2,0	0,6	4,6	3,0	4,7	3,9	4,0	1,6	7,6	5,0	7,1	7,6
Rundkjøring		0,0		0,0				0,5		1,5		
Signalregulert kryss		1,0		11,5		12,0		5,6		24,1		28,1

Tabell 20: Tabell som viser forskjell mellom forsinkelsesverdiene fra RTM og forsinkelsesverdier fra denne studien, 25 %-persentil for lavtrafikk og median for rushtrafikk.

Krysstype	Lavtrafikk						Rushtrafikk					
	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)
T-kryss	--	-0,4	-1,1	+2,0	+0,6	--	--	-1,0	+0,6	+1,7	-1,4	--
X-kryss	--	-0,4	-2,4	0,0	-6,6	-0,1	--	0,0	+0,1	0,0	-0,9	-0,4
Rundkjøring		-1,5		-2,1				-2,3		-2,4		
Signalregulert kryss		-3,0		+6,5		+5,0		-4,6		+7,1		-5,1

Tabell 21: Verdier for forsinkelse i lavtrafikk og rushtrafikk, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.

Krysstype	Lavtrafikk (median)						Rushtrafikk (median)					
	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre
T-kryss	--	2,0	6,6	6,7	9,6	--	--	2,0	8,6	6,7	9,6	--
X-kryss	5,0	2,0	6,6	5,6	8,3	5,8	4,0	1,6	7,6	5,0	7,1	7,6
Rundkjøring		0,4		1,0				0,5		1,5		
Signalregulert kryss		4,0		20,7		23,3		5,6		24,1		28,1

Tabell 22: Tabell som viser forskjell mellom forsinkelsesverdiene fra RTM og forsinkelsesverdier fra denne studien, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.

Krysstype	Lavtrafikk						Rushtrafikk					
	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre
T-kryss	--	+1,0	+0,6	+3,7	+3,6	--	--	-1,0	+0,6	+1,7	-1,4	--
X-kryss	--	+1,0	-0,4	+2,6	-3,0	+1,8	--	0,0	+0,1	0,0	-0,9	-0,4
Rundkjøring		-1,1		-1,1				-2,3		-2,4		
Signalregulert kryss		0,0		+15,7		+16,3		-4,6		+7,1		+5,1

Siden det er valgt å bruke median for lavtrafikk er det interessant å også presentere medianverdier for forsinkelse fra studien utført av Levin m.fl. Dette presenteres derfor i Tabell 23. For rundkjøring observerte verdier dekomponert skjønnsmessig fra mediantallene, og er derfor presentert i parentes. Kolonner til høyre viser forskjellen mellom medianverdier i denne studien og studien utført av Levin m.fl. Positive verdier (i grønt) vil si at observert forsinkelse er høyere i denne og negative verdier (i rødt) vil si at observert forsinkelse er lavere i denne studien.

Tabell 23: Første kolonne viser verdier for forsinkelse i lavtrafikk fra studien av Levin m.fl. (2015) ved bruk av median, andre kolonne viser forskjellen mellom forsinkelse i lavtrafikk ved bruk av median for begge studiene.

Krysstype	Lavtrafikk Levin m.fl. (median)						Forskjell mellom lavtrafikk i denne studien og studien av Levin m.fl. (median)					
	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)	Rett fram (V)	Rett fram (V)	Høyre (V)	Høyre (V)	Venstre (V)	Venstre (V)
T-kryss	--	2,0	8,0	5,0	9,0	7,0	--	0,0	-1,4	+1,7	+0,6	--
X-kryss	--	4,0	8,0	4,5	15,5	6,0	--	-2,0	-1,4	+1,1	-7,2	-0,2
Rundkjøring		(1,8)		(2,5)				-1,4		-1,5		
Signalregulert kryss		12,0		12,0		17,5		-8,0		+8,7		5,8

Vikende og ikke vikende

I begge studiene har venstresvingende høyere forsinkelse enn de som kjører rett fram og mot høyre, noe som er en direkte konsekvens av at venstresvingende må vike både for de som kommer fra høyre og rett mot dem.

Ulike svingebevegelser

Hovedregelen at kjørende rett fram har mindre forsinkelse enn de som svinger til venstre og høyre. Dette kan forklares av to hovedteorier. For det første blir de som kjører rett fram lite forstyrret av krevende geometri, og slipper skarpe horisontale kurver. For det andre er det i en del kryss forkjøringsrett for de som kjører rett fram, og det er få kryss med forkjøringsrett for de som kjører venstresving.

Basert på presenterte tabeller er det gjort en vurdering rundt hvilke verdier som best representerer forsinkelse for hver krysstype:

X-kryss

For X-kryss er antallet turer er omtrent det samme for begge studiene (rett over 600). Ved bruk av median for lavtrafikk har flere svingebevegelser høyere forsinkelse i lavtrafikk enn rushtrafikk. I den forrige studien er det kun én bevegelse (vikepliktige venstresvingende) som har høyere forsinkelse i lavtrafikk enn rushtrafikk, dette uavhengig om man bruker verdien for 25 %-persentil eller median for lavtrafikk.

At det i tilfeller kan være høyere forsinkelse i lavtrafikk enn rushtrafikk kan forklares ved at farten ofte synker ved økt trafikkmengde, og at det ofte kan være forbedret samhandling mellom trafikanter ved lavere fart (Grumert *et al.*, 2019). Blant annet kan folk være mer villige til å slippe fram vikende trafikanter, siden en oppbremsing relativt sett gir mindre fartsending, og dermed mindre forsinkelse. Ofte vil imidlertid den ekstra tiden på grunn av lavere fart som regel overskride tid spart på grunn av bedre samhandling.

Årsaken til at enkelte svingebevegelser har høyere forsinkelse i lavtrafikk enn rushtrafikk i denne studien kommer nok av at det er liten forskjell i forsinkelse over døgnet, og at det er flere perioder med høy trafikkmengde enn de som er valgt til å representere rushtid. Blant annet viser Figur 14 høy forsinkelse kl. 12 - 14 for flere krysstyper, noe som samsvarer med at det ofte er store trafikkmengder på dagtid i byområder.

Det anbefales å bruke verdiene fra denne studien for å beskrive forsinkelse i X-kryss på grunn av større variasjon i kjøretøypark og en mer variert gruppe sjåførere. Medianen for alle observasjoner velges for å beskrive forsinkelse både for lavtrafikk og rushtrafikk, på grunn av liten (og i noen tilfeller noe ulogisk) variasjon mellom lavtrafikk og rushtrafikk.

T-kryss

Den tidligere studien av kryssforsinkelse har betydelig flere observasjoner av turer gjennom T-kryss enn denne studien. Både høyresvingende og venstresvingende har over 1000 flere turer, som vil si over 5 ganger så mange som denne studien. Det er også over 200 flere observerte turer rett fram i T-kryss, dvs. omtrent dobbelt så mange som i denne studien.

I lavtrafikk har denne studien høyere forsinkelse for alle vikeforhold og svingebevegelser sammenlignet med det som brukes i RTM i dag. I rush er det vanskelig å se noen systematisk forskjell mellom studiene, og det varierer hvilken studie som har lavest og høyest forsinkelse. Det samme gjelder hvis man sammenligner medianverdi i lavtrafikk fra denne studien med medianverdi i lavtrafikk fra forrige studie. Hoveddelen av observasjonene i denne studien kjører rett fram, og det er få observasjoner av høyre- og venstresvingende.

Med bakgrunn i dette anbefales det å bruke verdiene fra den forrige studien for å representere forsinkelse i T-kryss , disse samsvarer også godt med resultatene fra denne studien.

Rundkjøringer

Den forrige studien har mange flere observasjoner for både høyresving og venstresving i rundkjøring. Denne studien har så vidt flere rett fram, og fortsatt over 250 turer hver for høyre og venstresvingende. Forsinkelsen som er igjen etter omregning til *justert forsinkelse* skal representere forsinkelsen i hvert av T-kryssene rundkjøringa består av. Om dette faktisk er tilfellet kommer an på hva som er kodet lengde og hastighet på lenkene som representerer sirkulasjonsarealet i krysset, og hva lengden og kjørefarten er i praksis. I begge studiene er det antatt en fart på 20 km/t i sirkulasjonsarealet, den farten som er lagt til de fleste lenkene som representerer sirkulasjonsareal i RTM DOM Nidaros. Hvordan lengden av sirkulasjonsarealet ble beregnet i den forrige studien kommer ikke fram i dokumentasjonen av arbeidet. I denne studien er det antatt lengder på 20 m, 40 m og 60 m hhv. for høyresvingende, kjørende rett fra og venstresvingende, da de fleste lenker i sirkulasjonsareal i RTM DOM Nidaros har kodet lengde rundt 20 m.

Den justerte forsinkelsen er også blitt dekomponert, og dermed i motsetning til de resterende krysstypene basert noe på skjønn. Forsinkelsen i er mellom 0,4 og 1,5 sekund per svingebevegelse i denne studien, og mellom 1,5 og 3,9 sekunder per svingebevegelse i den forrige studien.

Verdiene fra denne studien velges fremfor de fra den forrige studien på grunn av større variasjon i kjøretøypark og en mer variert gruppe sjåførere. Størrelsen på rundkjøringene har også betydning, og sånn sett kan det forventes at en del av forskjellen kommer av ulik utforming av rundkjøringene som er studert, og hvilke kjørelengder som er antatt. Det er også vanskelig å anbefale verdiene fra forrige studie, når fremgangsmåten og antagelser som er gjort ikke er kjent.

Signalregulerte kryss

Størst avvik i forsinkelse forekom i signalregulerte kryss i lavtrafikk, hvor både høyresving og venstresving gir rundt 5 sekunder mer forsinkelse i denne studien sammenlignet med verdiene som brukes i RTM i dag, og rundt 7 sekunder mer sammenlignet med mediantall fra den forrige studien. Som nevnt tidligere vil valgte signalplaner ha stor betydning for forsinkelsen gjennom vegkryss. Sånn sett kan forskjeller mellom signalplaner for enkeltkryss ha stor betydning for forsinkelsen.

Det vil også potensielt være stor forskjell i forsinkelse avhengig av når i omløpet man ankommer krysset. Ved ankomst helt i starten av rødtiden kan man også i lavtrafikk måtte regne med å vente en stund, noe avhengig om krysset er tidsbestemt eller

trafikkbestemt. Det er også flere sekunder forskjell i forsinkelse mellom lavtrafikk og rushtrafikk, med høyest forsinkelse i rushtimene.

Mange flere observerte turer i denne studien sammenlignet med studien til Levin m.fl. gjør at verdiene fra denne studien anbefales for å beskrive forsinkelse i signalregulerte kryss.

Anbefalte forsinkelsesverdier for videre bruk i RTM

Tabell 24 viser verdiene som er valgt ut for hver krysstype i lavtrafikk og rushtrafikk, der median er brukt både for lavtrafikk og rushtrafikk, og verdiene varierer fra å komme fra forrige studie og denne studien. De sorte er uforandrede verdier, eller verdier som ikke er inkludert fra før (Rett fram (V)). Røde og grønne verdier indikerer forskjell fra dagens kryssforsinkelsesverdier, der de røde vil si at de anbefalte verdiene er lavere, og de grønne vil si at de anbefalte verdiene er høyere.

Tabell 24: Anbefalte forsinkelsesverdier i lavtrafikk og rushtrafikk, median både for lavtrafikk og rushtrafikk.

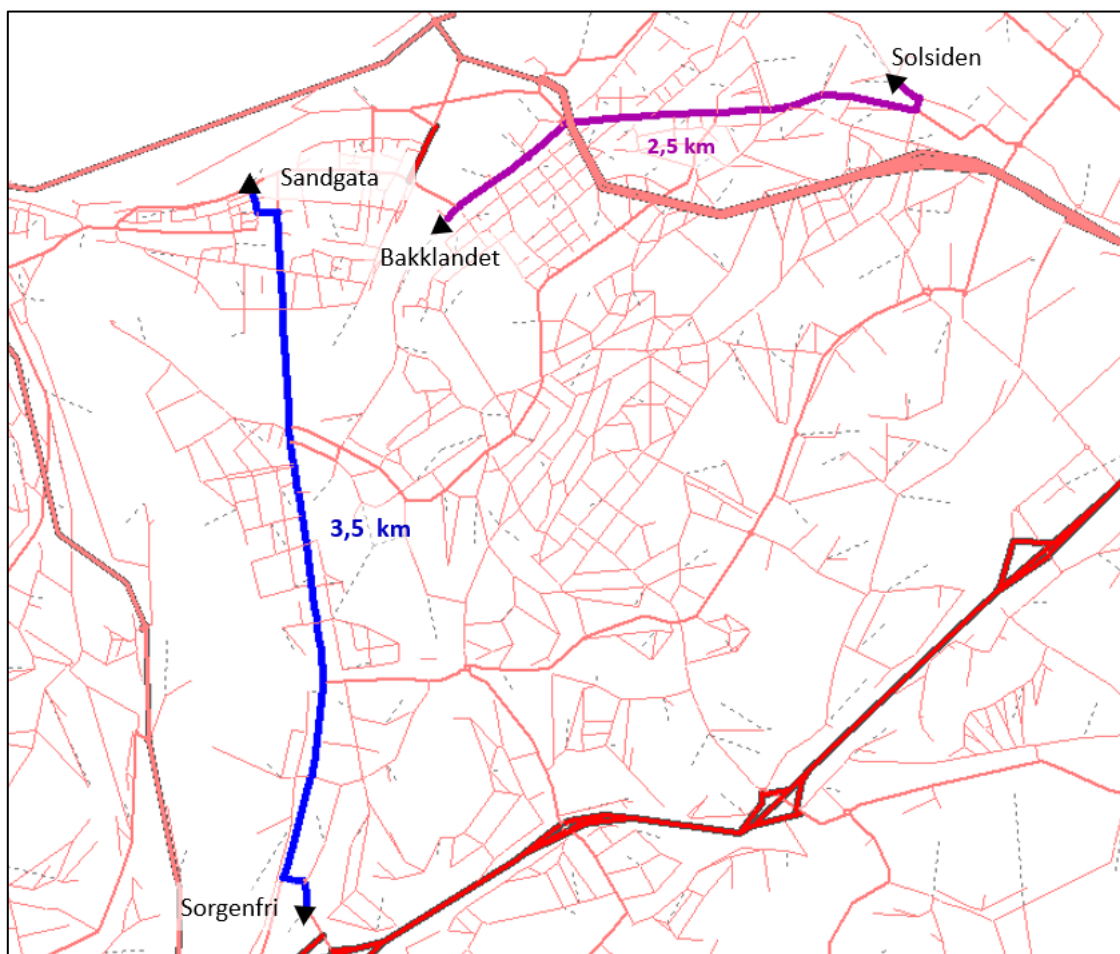
Krysstype	Lavtrafikk						Rushtrafikk					
	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre	Rett fram (V)	Rett fram	Høyre (V)	Høyre	Venstre (V)	Venstre
T-kryss	(4,6)	2,0	8,0	5,0	9,0	7,0	(4,6)	3,0	8,0	5,0	11,0	7,0
X-kryss	4,6	1,6	6,6	5,6	8,0	6,3	4,6	1,6	6,6	5,6	8,0	6,3
Rundkjøring		0,4		1,0				0,5		1,5		
Signalregulert kryss		4,0		20,7		23,3		5,6		24,1		28,1

RTM skiller ikke i dag på vikende og ikke vikende som kjører rett fram i X-kryss og T-kryss. Det kan være stor forskjell på å kjøre rett fram, avhengig om man har vikeplikt eller ikke. Det anbefales derfor å legge inn egne verdier for de med og uten vikeplikt, da vikende som regel har høyere forsinkelse enn ikke-vikende også rett fram. Det er kun 3 observerte verdier for vikende rett fram i T-kryss, og derfor heller ikke presentert en foreslått verdi basert på studien. Verdien kan likevel antas å være rundt samme størrelsesorden som i X-kryss, da det i de fleste tilfeller er liten forskjell mellom forsinkelsesverdiene i X-kryss og T-kryss, observert verdi for X-kryss presenteres derfor i parentes.

5 Test av anbefalte kryssforsinkelsesverdier i RTM DOM Nidaros

Til denne delen av arbeidet brukes DOM Nidaros, RTM's delområdemodell for Trondheimsområdet. Det er versjon 4.1.2 som er blitt brukt, en tidligere versjon enn den som ble presentert i teoridelen (versjon 4.2.2). Det er gjort enkelte endringer mellom versjon 4.1.2 og 4.2.2, men hastighetsberegningen gjøres på samme måte i begge.

Det er kjørt tre scenarier i RTM DOM Nidaros for å studere betydningen av endrede kryssforsinkelsesverdier. Målet er å kunne svare på i hvilken endring i reisetid på grunn av nye verdier for kryssforsinkelse er tilstrekkelig for å oppnå riktig hastighetsberegning uten nedkoding av hastighet, eller om flere elementer ved kjøretidsberegningen i så fall også må justeres. Rutene som er studert er presentert i Figur 21.



Figur 21: Strekninger for sammenligning av reisetider langs rutene Sorgenfri – Sandgata og Bakklundet - Solsiden.

Rute én (markert med blå linje i kartet) starter ved Sorgenfri og går nordover og til Sandgata. Samme rute studeres også i motsatt retning. Ruta representerer en innfartsåre inn mot sentrum og sentrumsområde og er rundt 3,5 km lang i begge retninger. Hastighetsgrensa er avtagende inn mot sentrum fra 60 km/t ved Sorgenfri og 40 km/t i Sandgata. Kodet hastighet i RTM DOM Nidaros er 30 km/t langs mesteparten av ruta.

Rute to (markert med lilla linje i kartet), går fra Bakklandet og østover til Solsiden. Samme rute studeres også i motsatt retning. Ruta går i sentrumsområde og er rundt 2,5 km i begge retninger. Hastighetsgrensa varierer mellom å være 30, 40 og 50 km/t. Kodet hastighet i RTM DOM Nidaros er 30 km/t på lenker med skiltet hastighet på 30 km/t, men stort sett satt til 40 km/t langs resterende lenker.

Som en forenkling er det kun valgt å se på scenario som er kjørt kapasitetsuavhengig for alle tilfeller hvor det kan velges. Det vil si for alle andre reisevalg enn for arbeidsreiser, da nettfordelingen av arbeidsreiser gjøres kapasitetsavhengig også ved valgt kapasitetsuavhengig nettutlegging (Malmin, 2013).

Scenario 1: Basis2020

Første scenario er kjørt med standardinnstillinger i RTM, som vil si med kryssforsinkelsesverdier gitt i Tabell 3, dagens verdier for kryssforsinkelse i RTM DOM Nidaros og nedkodet hastighet (se delkapittel 2.4.5).

Scenario 2: Anbefalt_kryssforsinkelse2020

Andre scenario er kjørt med standardinnstillinger i RTM, men med én endring: nye verdier for kryssforsinkelse, fra Tabell 24. Den foreslåtte endringen med å skille på vikende og ikke vikende som kjører rett fram i X-kryss og T-kryss er ikke lagt inn, men verdien for ikke vikende er brukt for alle.

Scenario 3: Uten_nedkoding2020

Tredje scenario er kjørt med standardinnstillinger i RTM, men med to endringer: endring av hastighetsgrenser fra nedkodede hastigheter og til hastighetsgrenser som stemmer overens med hastighetsgrensa i NVDB (Nasjonal vegdatabank) og med nye verdier for kryssforsinkelse, fra Tabell 24. Reisetiden på lenkene ble så endret til å tilsvare reisetid i ny hastighetsgrense. Den foreslåtte endringen med å skille på vikende og ikke vikende som kjører rett fram i X-kryss og T-kryss er ikke lagt inn, men verdien for ikke vikende er brukt for alle. En oversikt over hvilke lenker som er endret kan ses i Vedlegg H.

Tabell 25 viser en oversikt over reisetider for hvert scenario, samt antall kryss av hver krysstype for hver strekning.

Tabell 25: Reisetider i lavtrafikk og rushtrafikk fra RTM DOM Nidaros og oversikt over antall kryss for utvalgte strekninger. Prosentvis endring fra Scenario 1 er vist i parentes.

		Sorgenfri - Sandgata	Sandgata - Sorgenfri	Bakklandet - Solsiden	Solsiden - Bakklandet
Node	Fra	210	20	56	110
	Til	20	210	110	56
Antall kryss	X-kryss	2	2	0	0
	T-kryss	4	4	9	9
	Signalregulerte kryss	13	13	6	6
	Rundkjøringer	1	1	2	2
Reisetid i lavtrafikk [min]	Scenario 1	8.32	8.29	5.63	5.78
	Scenario 2	8.74 (+5,0 %)	8.70 (+4,9 %)	6.01 (+6,8 %)	6.10 (+5,5 %)
	Scenario 3	6.94 (-16,6 %)	6.9 (-16,8 %)	5.8 (-3,0 %)	5.85 (-1,2 %)
Reisetid i rushtrafikk [min]	Scenario 1	9.82	9.98	6.75	6.9
	Scenario 2	9.12 (-7,1 %)	9.14 (-8,4 %)	6.38 (-5,5 %)	6.45 (-6,5 %)
	Scenario 3	7.36 (-25,1 %)	7.34 (-26,5 %)	6.17 (-8,5 %)	6.2 (-10,1 %)

- I lavtrafikk gir Scenario 2 rundt 5 % lengere reisetider langs alle studerte ruter sammenlignet med Scenario 1. I rushtrafikk er tilfellet motsatt da alle ruter får mindre forsinkelse med foreslåtte verdier, og her er den prosentvise endringen noe høyere, mellom 5 % og 10 %.
- Scenario 3 viser at økningen i reisetid for lavtrafikk ikke er i nærheten av stor nok til å tilsvare fjerning av nedkodet hastighet, og ved ending til nye verdier for rush vil det være nødvendig å legge til mer forsinkelse for å oppnå riktig hastighet, rutevalg og reisetider.
- Det må regnes med mer forsinkelse enn det som er observert langs studerte ruter for turer med flere høyre- og venstresvinger gjennom signalregulerte kryss, da dette er de bevegelsene med størst økning i forsinkelse sammenlignet med dagens verdier, både i lavtrafikk og rushtrafikk.
- Rundkjøringer har lavere forsinkelse med foreslåtte verdier, enn med dagens verdier både i lavtrafikk og rushtrafikk. Den absolutte endringen er likevel liten.
- Forsinkelsen i X-kryss og T-kryss gir sjelden store utslag på reisetider, da absolutt endring er liten for X-kryss og det anbefales å bruke verdiene som allerede brukes i T-kryss (men med endring fra 25 %-persentil til median for lavtrafikk).
- Selv om nye kryssforsinkelsesverdier gir lengre reisetider i lavtrafikk og kortere reisetider i rushtrafikk, er det fortsatt raskere å kjøre i lavtrafikk enn rushtrafikk langs alle studerte ruter.

6 Diskusjon

6.1 Bruksområdet til verdiene

Kjøretøygruppe

RTM skiller på lette og tunge kjøretøy. Hittil er samme verdier brukt for å beskrive kryssforsinkelse for begge kjøretøygruppene på tross av at turer med tunge kjøretøy skiller seg fra turer med lette kjøretøy ved at de ofte har yrkessjåfører bak rattet, er større i areal og som regel er tyngre (noe som gir både tregere akselerasjon og lengre bremselengde). Til sammen gjør dette at tunge kjøretøy som regel har lavere fart enn lette kjøretøy, spesielt i motbakker, ved hastighetsendringer og gjennom krevende kurvatur. Tunge kjøretøy er heller ikke inkludert i denne studien, men det anbefales å finne egne kryssforsinkelsesverdier for disse, da forsinkelsen antas å være høyere, og tunge kjøretøy ofte utgjør rundt 10 % av trafikkmengden.

Sjåfører

En av hovedårsakene til at forsinkelsesverdier fra denne studien i mange tilfeller foretrekkes fremfor de fra studien til Levin m.fl. er at observerte turer i denne studien kommer fra innsamlede data fra en gruppe som representerer den generelle befolkningen godt (se delkapittel 3.1). Kjøreatferd varierer både avhengig av alder, kjønn, erfaring og personlighet, og Statens vegvesen sine ansatte antas å representere en mer homogen gruppe sjåfører enn den generelle befolkningen. I tillegg er ikke kjøretøyene kjøpt inn av hver enkelt ansatt, men av Statens vegvesen, og varierer som følge av det antagelig vis mindre enn hva som er tilfellet i denne studien.

Geografisk representasjon

Oppgavens målsetning var å utarbeide verdier som kan representere kryssforsinkelse i RTM. Selv om alle verdiene er samlet inn i Trondheim Kommune, og at det kan forventes noe forskjell i utforming og kjøreatferd i andre områder, antas de å også stemme godt for andre regioner/områder. Det opereres med de samme kravene til vegutforming i hele landet, og selv om det kan være ulik praksis, vil nok vegnettet variere såpass mye i utforming også innad i Trondheim kommune, at hvilke kryss som studeres kan gi minst like stor variasjon i forsinkelse som det regionale forskjeller vil gi.

I landlige områder er ikke tettheten av kryss like stor, og det er ofte færre rutevalg, da vil betydningen av verdiene ikke være like avgjørende. Feil i hastighetsberegningen på strekning vil i slike områder ha mye større potensiale for feil enn forsinkelse i kryss.

Signalregulerte kryss har størst forskjell mellom tidligere brukte verdier og foreslåtte verdier. Dette kan være fordi signalplanen er avgjørende for forsinkelsen i disse kryssene, og at forsinkelsen sånn sett kan styres for enkelte svingebevegelser, der ofte rett fram-bevegelsen får lite forsinkelse sammenlignet med å svinge til høyre eller venstre, slik begge studiene viser.

6.2 Feilkilder

Feilkilder i analysen kan komme av feil i antagelser som er gjort om det faktiske vegnettet eller hvordan kryssene er modellert i RTM. I hovedsak er det da snakk om hvordan rundkjøringer kodes, som til motsetning fra de andre krysstypene ikke kun er representert som en node, men med flere lenker og noder. Det må også påpekes at verdiene for kryssforsinkelse tar utgangspunkt i hvordan kryss og vegnett er kodet i RTM i dag, og verdiene er ikke nødvendigvis representative ved endring av praksis.

6.2.1 Antagelser som er gjort i analysen

Som nevnt er hastighetsgrensene sjekket opp mot NVDB og Google maps. Det er antatt at disse stemmer, i alle fall for hoveddelen av veglenkene. I tilfeller med vegarbeid kan den settes ned, og i enkelte tilfeller kan den ha blitt endret i perioden fra GPS-sporene ble samlet inn og til hastighetsgrensa ble funnet i NVDB. Overordnet vil slike punktvis feil ha liten betydning for foreslåtte verdier, siden de er basert på medianen av observasjoner fra 15 ulike kryss av hver type. Værforholdene påvirker farten i noen grad, og ved vinterføre kan det forventes høyere forsinkelse enn for observasjoner samlet inn på sommerføre. Nøyaktighet i GPS-sporing er også en spesielt stor utfordring i byområder på grunn av fysiske hinder som terrengformasjoner og tett bebyggelse. Ved steg 3 i databearbeidingen antas det at spor med store unøyaktigheter fjernes, og det antas videre at gjenværende turer har tilfredsstillende nøyaktighet til dette formålet.

Kryssene er valgt ut med et ønske om at de samlet for hver krysstype skal representere et «gjennomsnittlig kryss». Metoden for å definere svingebevegelse setter imidlertid begrensinger for hvilke kryss som inngår i studien, der det blant annet er unngått å bruke kryss med kurvatur som ikke gjør det mulig å definere riktig svingebevegelse med metoden. Dette er kryss med veldig små eller store vinkler mellom nærliggende vegarmer. I kryssene som er utelatt kan det derfor forventes noe avvikende forsinkelser. Om forsinkelsen forventes å være høyere eller lavere vil være avhengig av om bevegelsen har enklere eller mer krevende geometri. Som regel vil stor vinkel mellom to vegarmer føre til liten vinkel mellom to andre vegarmer, og den totale feilen som følge av at slike kryss er utelatt fra analysen vurderes derfor til å være liten.

6.2.2 Metode for å beregne forsinkelse i rundkjøring

Antagelsen om at et kjøretøy kjører i hastighetsgrensa inn og ut fra krysset er gjort fordi forsinkelse på lenker allerede er lagt inn i RTM og derfor ikke skal inkluderes som forsinkelse i krysset. Som beskrevet tidligere er ikke det tilfellet for rundkjøringer, da sirkulasjonsarealet er lagt inn som egne lenker og hvert T-kryss i rundkjøringa er representert som en egen node. Derfor er det regnet ut justerte forsinkelsesverdier, som tar hensyn til ekstra brukt tid på grunn av kjøring i sirkulasjonsarealet. I denne utregningen antas lengden mellom hver avkjøring til å være 20 m og farten til å være 20 km/t, slik det er kodet i RTM DOM Nidaros. Dette stemmer ikke nødvendigvis for de andre delområdemodellene. Dette bør vurderes ved bruk av forsinkelsesverdiene til å representere andre delområdemodeller enn RTM DOM Nidaros. I tilfeller med andre lenkelengder i sirkulasjonsareal, eller annen hastighet på lenkene, kan samme verdier for observert forsinkelse brukes, men det må regnes ut nye *justerte verdier* og ny *dekomponert forsinkelse* (delkapittel 4.3).

Til sammenligning er antatt fartsnivå i kurver med radius < 15 m gitt som 25 km/t i Statens vegvesens Håndbok N100 (Vegdirektoratet, 2014a). Metoden er også forenklet ved at det er antatt lik lengde langs sirkulasjonsarealet i alle rundkjøringer. I praksis varierer lengden både i virkeligheten og i modellen. Forenklingen kan være årsaken til at tiden som er igjen til å beskrive forsinkelse for hver av svingebevegelsene er noe ulogisk, med mer forsinkelse for høyresvingende enn for kjørende rett fram og venstresvingende. Forskjellen mellom venstresvingende og kjørende rett fram er likevel som forventet ved at de som kjører til venstre opplever mer forsinkelse enn de som kjører rett fram.

For rundkjøringer hadde det vært en fordel med en mer detaljert analyse, hvor man i mindre grad hadde basert resultatene på antagelser. I så fall burde man ikke brukt gjennomsnittverdier for lengde og hastighet på lenkene som representerer sirkulasjonsarealet, men inkludert kodet lengde langs sirkulasjonsarealet (for hver observasjon og i hvert kryss) i den forventede reisetiden. På den måten kunne man fått et mer nøyaktig anslag av forsinkelsen forårsaket av høyresving og kjøring rett fram i hvert av rundkjøringas T-kryss.

Overordnet har det ikke betydning for den totale reisetiden hvordan forsinkelsen er kodet, så lenge den totale forsinkelsen i noder og lenker som representerer rundkjøringa tilsvarer den totale reelle forsinkelsen. Samlet sett er dagens forsinkelsesverdier godt representative siden de kommer fra et høyt antall observasjoner, og fremskaffet på bakgrunn av «en gjennomsnittlig» rundkjøring i modellen, men med foreslått fremgangsmåte kan det fremskaffes mer presise anslag.

6.3 Videre arbeid

6.3.1 Økt tilgang på datagrunnlag

Utvikling innen datateknologi og bildeanalyse gir stadig økte muligheter for å studere trafikkavvikling. Data from sky er en relativt ny løsning utviklet av selskapet DataFromSky (*Data from sky*, u.å.). Ved bruk av dronebilder og kunstig intelligens samler de inn live trafikkdata og gjør automatiserte analyser av trafikkstrømmen. Sammenlignet med GPS-spor har man da ikke kun informasjon om enkelte trafikanter i vegnettet, men oversikt over alle trafikanter, og hvordan interaksjonen mellom dem foregår. Slik er Data from sky en mulighet til å i større grad sammenligne forsinkelse ved ulike trafikksituasjoner, og å se årsaker til observasjonene.

Slik teknologi vil være spesielt nyttig i utviklingen av transportmodeller med høy detaljeringsgrad, på mikro- og mesonivå. For strategiske transportmodeller på makronivå studerer man et totalbilde av trafikken med en noe lavere detaljeringsgrad. Det kan likevel være en god metode for å enkelt kunne si noe om forskjellen i kryssforsinkelse fra ett område til et annet, og kanskje spesielt gunstig for signalregulerte kryss, der både signalplaner og prioriterte trafikkstrømmer kan føre til stor variasjon i forsinkelsen for ulike trafikkstrømmer.

6.3.2 Forslag til økt detaljeringsgrad

X-kryss og T-kryss

Forsinkelsen som allerede er lagt inn for X-kryss og T-kryss virker å være realistiske da resultatene fra forrige studie og denne studien stemmer godt overens. For en mer detaljert beskrivelse anbefales det likevel å skille på vikende og ikke vikende som kjører rett fram i X-kryss og T-kryss.

Rundkjøring

Metoden for beregning av antatt reisetid i rundkjøring er forenklet ved at det er antatt samme lengde og hastighet for alle lenker. Ved senere analyser av kryssforsinkelse anbefales det å heller bruke faktiske lenkelengder og kodet hastighet i hver enkelt rundkjøring for å oppnå enda mer presise anslag.

Signalregulerte kryss

I signalregulerte kryss er det erfaringsmessig stor forskjell på å kjøre i en prioritert trafikkstrøm sammenlignet med en som ikke er prioritert. Likevel skiller det ikke på om trafikkstrømmer er prioriterte eller ikke for signalregulerte kryss i RTM. Til sammenligning gjøres dette enkelt i X-kryss og T-kryss ved å ha egne verdier for vikende og ikke vikende (enn så lenge for høyre- og venstresvingende). Selv om variasjon i observasjoner ikke er studert i denne oppgaven, kan det regnes som en sannhet at

variasjonen i forsinkelse for signalregulerte kryss er vesentlig større enn i andre krysstyper, da det har stor betydning for forsinkelsen hvor i omløpet man ankommer krysset, og hvor lang rødtid som er lagt til bevegelsen.

Dette kan løses ved å legge til en ny variabel for signalregulerte kryss, som skiller på om bevegelsen er en prioritert trafikkstrøm eller ikke. Denne kunne blitt brukt i kryss med utpreget forskjell i prioritering av trafikkstrømmer, og så kunne man benyttet et tredje sett med forsinkelses verdier for kryssene uten markant forskjell i prioritering. En slik endring krever i så fall utarbeidelse av tre sett med verdier for kryssforsinkelse gjennom signalregulerte kryss; et sett for kryss uten spesiell prioritering, et sett med verdier for trafikkstrømmer med prioritering og et sett med verdier for trafikkstrømmer uten prioritering.

Bildeanalyse med Data from sky, eller andre løsninger kunne vært et nyttig verktøy for automatisk registrering av hvilke kryss som har store forskjeller i forsinkelse mellom ulike trafikkstrømmer. Automatiserte prosesser vil i så fall være tidsbesparende fremfor manuell registrering både ved første oppsett, og ved senere endringer. Eventuelt kan også modeller på mikro- og mesonivå brukes til dette formålet. SWECO har blant annet utviklet en Aimsun-modell som dekker hele Trondheimsområdet, med vegnett med innlagte signalplaner for alle kryss (Stridh og Strøm, 2018). Denne og andre modeller kan være en god kilde for å få oversikt over forsinkelse for ulike trafikkstrømmer, ikke bare for signalregulerte kryss, men også de andre krysstypene.

6.3.3 Validering av modellen

RTM DOM Nidaros er validert med utgangspunkt i hastighetsbeskrivelsen som er lagt inn i dag. Endringer i rutebeskrivelse uten ny validering kan derfor slå feil ut på reisetider, rutevalg og reisemiddelfordeling. Nye verdier for kryssforsinkelse kan derfor ikke uten videre legges inn uten en ny prosess med validering av modellen.

7 Konklusjon

GPS-sporene som er samlet inn via reisevanepiloten til SmartRVU er en god kilde for informasjon om kjøreatferd. Nye metoder for reisevaneundersøkelser og flere andre nye metoder for datainnsamling, blant annet med Data from sky, vil fremover gi ytterligere muligheter for å studere trafikkavvikling i vegnettet. Dette kan være nyttig datagrunnlag for utvikling av transportmodeller. Det gjelder ikke bare for RTM, men i minst like stor grad for transportmodeller på mikro- og mesonivå, der modellene skal beskrive samhandlingen mellom trafikantene med høyere detaljeringsgrad.

Kryssforsinkelsen som i denne studien er vurdert til å best beskrive forsinkelse for hver enkelt krysstype og svingebevegelesene gjelder i utgangspunktet for reiser med lette kjøretøy. Det ses også et behov for å utvikle egne verdier for tunge kjøretøy, da de kan forventes å oppleve større forsinkelse gjennom kryssområder.

Det anbefales å endre til kryssforsinkelsesverdiene i RTM til verdiene gitt i Tabell 24. Hovedårsaken til endrede verdier er bruk av median fremfor 25 %-persentil for å beskrive forsinkelse i lavtrafikk. I tillegg anbefales følgende endringer:

- For en mer detaljert beskrivelse anbefales det å skille på vikende og ikke vikende som kjører rett fram i X-kryss og T-kryss.
- For signalregulerte kryss bør det vurderes å ha egne forsinkelsesverdier for prioriterte og ikke prioriterte trafikkstrømmer i kryss med stor forskjell i prioritering. Signalplanene gjør også at forsinkelsen varierer spesielt mye for denne krysstypen.
- Metoden for beregning av antatt reisetid i rundkjøring er forenklet, og ved senere analyser av kryssforsinkelse anbefales det å gjøre den mer detaljert ved å inkludere faktiske lenkelengder for hvert spesifikke kryss fremfor å anta samme lengde for alle. Forsinkelsen er beregnet ut ifra at lenkelengdene i sirkulasjonsarealet har en fart på 20 km/t og lengde på 20 m som i RTM DOM Nidaros. Forsinkelsen bør regnes om ved bruk av annen fart eller lengde.

Anbefalte verdier for kryssforsinkelse bidrar ikke til tilsvarende forsinkelse som den nedkodede hastigheten, og i rushtrafikk gir nye verdier mindre forsinkelse med nye verdier langs studerte ruter. Det er derfor fortsatt uforklarte faktorer for forsinkelse i byområder, og den nedkodede hastigheten kan ikke sløyfes ved bruk av nye verdier, men må tilpasses de nye verdiene.

Dagens transportpolitikk har flere mål som går ut på å begrense bruk av bil. På tross av dette vil det være minst like viktig å treffe med hastighetsmodelleringen av bilturer fremover for å oppnå et riktig bilde av konkurranseforholdet mellom reisemidlene.

Referanser

Citilabs (2018) *Cube Voyager Reference Guide version 6.4.4.*

Data from sky (u.å.). Tilgjengelig fra: www.datafromsky.com (Hentet: 05.06 2021).

DataCamp (u.å.) *trackAngle: Determine internal angles along a track.* Tilgjengelig fra: <https://www.rdocumentation.org/packages/trip/versions/1.8.5/topics/trackAngle> (Hentet: 18.05. 2021).

Dimaiuta, M. *et al.* (2011) *Modeling Operating Speed.* (Transportation research CIRCULAR). Washington DC: Transportation Research board.

Direktoratet for økonomistyring (DFØ) (2018) *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser.*

Elvik, R. (2020) *Rundkjøringer.* Tilgjengelig fra: <https://www.tiltak.no/d-flytte-eller-regulere-trafikk/d2-regulere-trafikk/rundkjoringer/> (Hentet: 04.06. 2021).

Flügel, S. *et al.* (2014) *Evaluation of methods for calculating traffic assignment and travel times in congested urban areas with strategic transport models.* TØI.

Giæver, T. og Aakre, A. (2004) *Fremkommelighet i høytrafikkerte gater: betydning av reduserte fartsgrenser.* (8214031656).

Grumert, E. *et al.* (2019) *Variabla hastighetsgränser för Stockholms motorvägsnät: effekter av alternativa algoritmer och möjligheter till styrning genom estimerade trafikstillstånd.* Statens väg-och transportforskningsinstitut.

Hamre, T. N. (2015) *Tramod_By versjon 2.1.0 Release notes.*

Hamre, T. N. (2018) *Tramod_By versjon tb2.v38-2.*

Hamre, T. N. (2019) *Tramod-by, versjon tb2-v38.22.*

Hjelkrem, O. A. *et al.* (2017) *Kjøretøybasert beregning av fart, energi og utslipp.*

Hjorthol, R., Engebretsen, Ø. og Uteng, T. P. (2014) *Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2013/14: nøkkelrapport.* Transportøkonomisk institutt.

Høyem, H., Tørset, T. og Berg, M. (2020) *Integrering av RTM og Aimsun En vurdering og testing av muligheter.*

- Johannessen, S. (1975) *Trafikkavvikling i forkjøringsregulerte kryss*. Institutt for Samferdselsteknikk, Norges Tekniske Høgskole, Universitetet i Trondheim.
- Kolstad, K. O. (2020) *Forbedret beskrivelse av kryssforsinkelse i RTM*.
- Levin, T. et al. (2015) *Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller*.
- Malmin, O. K. (2013) *CUBE - Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell Versjon 3.3*.
- Malmin, O. K. et al. (2020) *CUBE - Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell Versjon 4.2.2*.
- Meld. St. 20 (2020-2021) *Nasjonal transportplan 2022–2033* Samferdselsdepartementet.
- Njå, O., Jakobsen, E. og Nesvåg, S. (2008) *Høyrisikogrupper i vegtrafikken. Identifisering av undergrupper*. . Universitetet i Stavanger.
- Ortúzar, J. d. D. og Willumsen, L. G. (2011) *Modelling transport*. 4th. John wiley & sons.
- Ragnøy, A. (2011) *Automatic section speed control Results of Evaluation*. Statens vegvesen.
- Rekdal, J. et al. (2013) *TraMod_By Del 1: Etablering av nytt modellsystem. Revidert utgave av rapport 1203*. Møreforskning Molde AS.
- Rundskriv R-109/14 (2014) *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv*.
- Shen, L. og Stopher, P. R. (2014) *Review of GPS travel survey and GPS data-processing methods*. (Transport Reviews 0144-1647).
- Simon, H. (1983) *Reason in Human Affairs*. New York Oxford: Basil Blackwell.
- SSB (u.å.) *Befolkning*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/befolkning> (Hentet: 19.05. 2021).
- Straume, A. (2008) *Effektberegning av veg- og trafikktiltak. Brukerveiledning EFFEKT 6*.
- Stridh, M. og Strøm, O. (2018) *AIMSUN TRONDHEIM – TEKNISK DOKUMENTASJON*. Statens vegvesen.
- Trivector (u.å.). Tilgjengelig fra: <https://www.trivector.se/> (Hentet: 06.04 2021).

Truls Vaa, A. G., Fridulv Sagberg, Torkel Bjørnskau og Guro Berge (2002) *Faktorer som påvirker kjørefart*

Litteraturstudier og hypoteser. TØI.

Tørset, T. et al. (2008) *Regional transportmodell for Delområder Brukerveiledning til applikasjon*

Tørset, T. et al. (2013) *CUBE -Regional persontransportmodell versjon 3*.

Tørset, T. og Svaboe, G. (2020) *TravelVu and TravelViewer in Trondheim*.

Ulleberg, P. (2002) *Påvirkning av subgrupper av unge førere og deres passasjerer*.

Vegdirektoratet (2014a) *Geometrisk utforming av veg- og gatekryss [Håndbok V121]*. Statens vegvesen.

Vegdirektoratet (2014b) *Veileder i trafikkdata [Håndbok V714]*. Statens vegvesen.

Vegdirektoratet (2015) *Nytte-kostnadsanalyser ved bruk av transportmodeller*. Statens vegvesen.

Vegdirektoratet (2018) *Konsekvensanalyser [Håndbok V712]*. Statens vegvesen.

Vaa, T. et al. (2002) *Faktorer som påvirker kjørefart*.

Webster, F. V. (1958) *Traffic signal settings (No. 39)*. London, U.K.: Road Research Laboratory.

Vedlegg

Vedlegg A: Excel-dokument med kryssinformasjon for X-kryss

Kryssstype	L_Bg_LG_X	Lengdegrad	Bredegrad	Vikeplikt_h	FG_ait0_X	FG_ait1_X	Retning_FG				Retning_FG						
							lon1_X	lat1_X	X	lat1_X	lon2_X	lat2_X	X	lat2_X			
X-kryss	63.422430	1C 10.428042	63.42243	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.409722	1C 10.373455	63.409722	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.402740	1C 10.326231	63.40274	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.419058	1C 10.422918	63.419058	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.428533	1C 10.470306	63.428533	Høyrevikeplikt	50	50 NA	NA	NA	NA	50 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.428504	1C 10.511184	63.428504	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
X-kryss	63.425511	1C 10.46398	63.425511	NA	50	50 Laverre	Laverre	Laverre	Laverre	50 Høyere	Høyere	10.463980	63.425511	50 Høyere	Høyere	10.463980	63.425511
X-kryss	63.405550	1C 10.464131	63.40555	NA	50	50 Laverre	Laverre	Laverre	Laverre	50 Høyere	Høyere	10.465820	63.404960	50 Høyere	Høyere	10.463838	63.406086
X-kryss	63.351122	1C 10.338732	63.351122	NA	30	30 Laverre	Laverre	Laverre	Laverre	40 Høyere	Høyere	10.340051	63.350499	40 Høyere	Høyere	10.336377	63.351697
X-kryss	63.347157	1C 10.364638	63.347157	Høyrevikeplikt	30	40 NA	NA	NA	NA	40 NA	NA	NA	NA	40 NA	NA	NA	NA
X-kryss	63.356687	1C 10.397937	63.356687	NA	50	30 Laverre	Laverre	Laverre	Laverre	30 Høyere	Høyere	10.397838	63.357114	30 Høyere	Høyere	10.399961	63.356255
X-kryss	63.425061	1C 10.383347	63.425061	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA
X-kryss	63.419599	1C 10.421062	63.419599	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA
X-kryss	63.361868	1C 10.385785	63.361868	NA	50	30 Laverre	Laverre	Laverre	Laverre	30 Høyere	Høyere	10.387624	63.361340	30 Høyere	Høyere	10.384763	63.362431
X-kryss	63.428929	1C 10.395915	63.428929	Høyrevikeplikt	30	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA	30 NA	NA	NA	NA

Vedlegg B: Excel-dokument med kryssinformasjon for T-kryss

Krysstype	L_BG_LG_R	Lengdegrad	Breddegrad	FG_alt0_T	FG_alt1_T	lon1_T	Retning_FG_lat1_T	FG_alt_lon1_T	FG_alt_lat1_T	Vikeforhold	Forste_lat
T-kryss	63.367151, 1C 10.352600	63.367151	63.367151	50	30	Lavere	Lavere	10.353481	63.366612		
T-kryss	63.362350, 1C 10.350024	63.362350	63.362350	50	30	Lavere	Lavere	10.353803	63.361419		
T-kryss	63.393987, 1C 10.334267	63.393987	63.393987	40	30	Lavere	Høyere	10.341146	63.399591		
T-kryss	63.427217, 1C 10.442367	63.427217	63.427217	50	50	Lavere	Høyere	10.440566	63.426887		
T-kryss	63.410313, 1C 10.472434	63.410313	63.410313	60	50	Lavere	Lavere	10.472435	63.410313		
T-kryss	63.412117, 1C 10.540092	63.412117	63.412117	50	30	Høyere	Lavere	10.538659	63.412116		
T-kryss	63.386840, 1C 10.408009	63.386840	63.386840	50	50	Høyere	Lavere	10.407036	63.386200		
T-kryss	63.413300, 1C 10.432378	63.413300	63.413300	50	30	Lavere	Lavere	10.431383	63.413341		
T-kryss	63.383013, 1C 10.370852	63.383013	63.383013	60	50	Lavere	Høyere	10.369954	63.383005		
T-kryss	63.389827, 1C 10.412783	63.389827	63.389827	50	50	Lavere	Lavere	10.412800	63.389423		
T-kryss	63.394241, 1C 10.409928	63.394241	63.394241	40	30	Høyere	Lavere	10.411122	63.394552		
T-kryss	63.353433, 1C 10.397693	63.353433	63.353433	50	50	Lavere	Høyere	10.398965	63.353822		Høyrevikeplikk Forste_lat
T-kryss	63.397035, 1C 10.369013	63.397035	63.397035	30	30	NA	NA	NA	NA		Høyrevikeplikk Forste_lat
T-kryss	63.396061, 1C 10.360073	63.396061	63.396061	40	30	Høyere	Høyere	10.361466	63.396003		Høyrevikeplikk Forste_lat
T-kryss	63.395538, 1C 10.370844	63.395538	63.395538	30	30	NA	NA	NA	NA		Høyrevikeplikk Forste_lat

	Retning1	Krav1	Sving1	Forste2	Retning2	Krav2	Sving2	Forste3	Retning3	Krav3	Sving3
Høyere	63.396993	Venstresving	Forste_Ion	Lavere	10.368614	Venstresving	Forste_lat	Lavere	63.397303	Rett fram	
Høyere	63.395968	Venstresving	Forste_Ion	Høyere	10.360516	Rett fram	Forste_Ion	Lavere	63.395787	Rett fram	
Høyere	63.395905	Venstresving	Forste_Ion	Høyere	10.370999	Rett fram	Forste_Ion	Lavere	10.370396	Rett fram	

Vedlegg C: Excel-dokument med kryssinformasjon for signalregulerte kryss

Krysstype	L_BG_LG_L	Lengdegrad	Breddegrad	FG_alt0_L	FG_alt1_L	Retning_FG_1			Retning_FG_2			
						lon1_L	lat1_L	_L	lon2_L	lat2_L	_L	
Lyskryss	63.411995, IC 10.351443	63.411995	63.411995	40	30	Lavere	Lavere	10.350410	63.412205	NA	NA	NA
Lyskryss	63.417590, IC 10.353680	63.417590	63.417590	49	50	Lavere	Høyere	10.355268	63.417960	NA	NA	NA
Lyskryss	63.414850, IC 10.366863	63.414850	63.414850	50	40	Lavere	Høyere	10.366862	63.414850	NA	30 Høyere	10.368745
Lyskryss	63.431894, IC 10.387303	63.431894	63.431894	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.429047, IC 10.392623	63.429047	63.429047	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.427507, IC 10.393045	63.427507	63.427507	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.416023, IC 10.431043	63.416023	63.416023	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.437018, IC 10.435915	63.437018	63.437018	40	30	Lavere	Høyere	10.435914	63.437018	NA	NA	NA
Lyskryss	63.441547, IC 10.432471	63.441547	63.441547	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.441576, IC 10.456450	63.441576	63.441576	50	30	Høyere	Høyere	10.457244	63.441788	NA	NA	NA
Lyskryss	63.433079, IC 10.403727	63.433079	63.433079	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Lyskryss	63.411581, IC 10.361529	63.411581	63.411581	50	30	Lavere	Høyere	10.360542	63.411319	NA	NA	NA
Lyskryss	63.422426, IC 10.412608	63.422426	63.422426	40	30	Høyere	Lavere	10.411715	63.421730	NA	30 Lavere	10.412699
Lyskryss	63.422811, IC 10.394447	63.422811	63.422811	50	40	Høyere	Lavere	10.395639	63.422953	NA	NA	NA
Lyskryss	63.382937, IC 10.318697	63.382937	63.382937	60	30	Lavere	Høyere	10.320371	63.383536	NA	NA	NA

Vedlegg D: Excel-dokument med kryssinformasjon for rundkjøring

Kryssstype	L_Bg_LG_R	Lengdegrad	Breddegrad	FG_alt0_R	FG_alt1_R	Retning_FG_1		FG_alt1_lon1	R	FG_alt_lat1	FG_alt2_R	Retning_FG_2		FG_alt_lon2	R	FG_alt_lat2
						lon1_R	lat1_R					lon2_R	lat2_R			
Rundkjøring	63.390351, 1C 10.346974	63.390351	63.390351	60	30	Høyere	Lavere	10.347669	63.390403	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.387533, 1C 10.328952	63.387533	63.387533	60	40	Lavere	Høyere	10.328952	63.387533	NA	30	Høyere	Lavere	10.329168	63.387209	NA
Rundkjøring	63.438251, 1C 10.407449	63.438251	63.438251	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.439583, 1C 10.405122	63.439583	63.439583	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.439366, 1C 10.463372	63.439366	63.439366	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.419821, 1C 10.436815	63.419821	63.419821	50	30	Lavere	Høyere	10.436815	63.419821	NA	30	Høyere	Lavere	10.437702	63.419928	NA
Rundkjøring	63.413538, 1C 10.412048	63.413538	63.413538	50	40	Høyere	Høyere	10.413439	63.413369	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.399537, 1C 10.404127	63.399537	63.399537	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.411143, 1C 10.489959	63.411143	63.411143	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.424912, 1C 10.535855	63.424912	63.424912	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.432126, 1C 10.408184	63.432126	63.432126	50	30	Lavere	Lavere	10.408055	63.431855	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.408734, 1C 10.403344	63.408734	63.408734	50	30	Lavere	Høyere	10.403473	63.409120	NA	30	Høyere	Lavere	10.403193	63.408418	NA
Rundkjøring	63.360349, 1C 10.400608	63.360349	63.360349	50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Rundkjøring	63.430084, 1C 10.451241	63.430084	63.430084	50	40	Lavere	Høyere	10.451241	63.430084	NA	30	Høyere	Lavere	10.451241	63.430084	NA
Rundkjøring	63.382784, 1C 10.434687	63.382784	63.382784	60	50	Lavere	Høyere	10.433829	63.382587	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Vedlegg E: Kode for X-kryss

```
#STEG 1)
library(readxl)
Kryssexcel_X <- read_excel("C:/Users/Karen.kolstad/R/Jsontest/Kryssexcel_100521.xlsx", sheet = "xkryss",
  col_types = c("text", "text", "numeric",
               "numeric", "text", "numeric", "text", "text",
               "numeric", "numeric", "numeric", "text", "text", "numeric",
               "numeric"))

Xkryss <- turer
names(Kryssexcel_X)[names(Kryssexcel_X) == "FG_alt1_X...7"] <- "FG_alt1_X"
X=15; #hvilket kryss som kjøres
#-----

#STEG 2)
#Avstandsberegning
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]]$avstand <- 6378.137*acos(cos((as.numeric(Xkryss[[11]][[i]]$V2))*pi/180)
      *cos(Kryssexcel_X$Breddegrad[X]*pi/180)
      *cos(Kryssexcel_X$Lengdegrad[X]*pi/180-(as.numeric(Xkryss[[11]][[i]]
$V1))*pi/180)
      +sin((as.numeric(Xkryss[[11]][[i]]$V2))*pi/180)
      *sin(Kryssexcel_X$Breddegrad[X]*pi/180))*1000
#Kun lagre de som er innenfor 100 m fra kryssets midtpunkt pluss den før og den etter
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]] <- Xkryss[[11]][[i]] %>%
  mutate(avstand2 = avstand, avstand3 = avstand)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]]$avstand2 <- dplyr::lag(Xkryss[[11]][[i]]$avstand2)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]]$avstand3 <- dplyr::lead(Xkryss[[11]][[i]]$avstand3)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]] <- subset(Xkryss[[11]][[i]], avstand <= 100 | avstand2 <= 100 | avstand3 <= 100)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$tid_start[i] <- (Xkryss[[11]][[i]]$datetimes[1])
Xkryss <- subset(Xkryss, !is.na(tid_start))
#Interpoler mellom de to første og to siste og lag nye rader med resultatene
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$antall[i] <- length(Xkryss[[11]][[i]]$datetimes)

for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$antallminus1[i] <- as.numeric(Xkryss$antall[i] - 1)

for(i in 1:nrow(Xkryss)){
  a <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[1],Xkryss[[11]][[i]]$avstand[2]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V1[1],Xkryss[[11]]
[[i]]$V1[2]), xout=100);
  b <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[1],Xkryss[[11]][[i]]$avstand[2]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V2[1],Xkryss[[11]]
[[i]]$V2[2]), xout=100);
  c <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[1],Xkryss[[11]][[i]]$avstand[2]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V4[1],Xkryss[[11]]
[[i]]$V4[2]), xout=100);
  d <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[1],Xkryss[[11]][[i]]$avstand[2]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V5[1],Xkryss[[11]]
[[i]]$V5[2]), xout=100);

  e <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]
$avstand[Xkryss$antall[i]]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V1[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]$V1[Xkryss$antall[i]]),
xout=100);
  f <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]
$avstand[Xkryss$antall[i]]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V2[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]$V2[Xkryss$antall[i]]),
xout=100);
  g <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]
$avstand[Xkryss$antall[i]]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V4[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]$V4[Xkryss$antall[i]]),
xout=100);
  h <- approx(c(Xkryss[[11]][[i]]$avstand[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]
$avstand[Xkryss$antall[i]]),c(Xkryss[[11]][[i]]$V5[Xkryss$antallminus1[i]],Xkryss[[11]][[i]]$V5[Xkryss$antall[i]]),
xout=100);

  Xkryss[[11]][[i]] <- rbind(data.frame(V1=as.numeric(a[[2]][[1]]),V2=as.numeric(b[[2]]
[[1]]),V3=NA,V4=as.numeric(c[[2]][[1]]),V5=round(as.numeric(d[[2]]
[[1]])),datetimes=NA,avstand=100,avstand2=NA,avstand3=NA),
  Xkryss[[11]][[i]],data.frame(V1=as.numeric(e[[2]][[1]]),V2=as.numeric(f[[2]]
[[1]]),V3=NA,V4=as.numeric(g[[2]][[1]]),V5=round(as.numeric(h[[2]]
[[1]])),datetimes=NA,avstand=100,avstand2=NA,avstand3=NA))
}

#Endre format på datetimes til dato-klokkeslett
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$antall[i] <- length(Xkryss[[11]][[i]]$datetimes)
```

```

library(lubridate)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]]$datetimes <- round(as.numeric(Xkryss[[11]][[i]]$V4))
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]]$datetimes <- as_datetime(Xkryss[[11]][[i]]$datetimes)
#Kun lagre de som er innenfor 100 m fra kryssets midtpunkt
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss[[11]][[i]] <- subset(Xkryss[[11]][[i]], avstand <= 100)
#-----

#STEG 3)
#Slette ikke-representative turer
#Krav 1
Xkryss <- subset(Xkryss, antall >= 5)
#Krav 2
Xkryss <- subset(Xkryss, antall <= 120)
#Krav 3
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$avstand_min[i] <- min(Xkryss[[11]][[i]]$avstand)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$avstand_forste[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$avstand[2]
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$antall[i] <- length(Xkryss[[11]][[i]]$datetimes)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$antallminus1[i] <- as.numeric(Xkryss$antall[i] - 1)
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$avstand_siste[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$avstand[Xkryss$antallminus1[i]]
Xkryss <- subset(Xkryss, avstand_forste >= 70 & avstand_siste >= 70)
#Krav 4
Xkryss <- subset(Xkryss, avstand_min <= 50)
#Krav 5
Xkryss <- subset(Xkryss, timediff <= 600)
#-----

#STEG 4)
#Vil finne tid gjennom kryss
#Tidspunkt for første koordinat

for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$tid_start[i] <- (Xkryss[[11]][[i]]$datetimes[1])
Xkryss$tid_start <- as_datetime(Xkryss$tid_start)

#Tidspunkt for siste koordinat
for(i in seq_along(Xkryss$siste_lon))
  Xkryss$antall[i] <- ceiling(length(Xkryss[[11]][[i]]$datetimes))
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$tid_slutt[i] <- (Xkryss[[11]][[i]]$datetimes[Xkryss$antall[i]])
Xkryss$tid_slutt <- as_datetime(Xkryss$tid_slutt)

#Forskjellen mellom sluttid og starttid = tidsdifferanse
for(i in 1:nrow(Xkryss))
  Xkryss$timediff[i] <- difftime(Xkryss$tid_slutt[i], Xkryss$tid_start[i], units = "secs")
#-----

```

```

#STEG 5)
#Vinkel for å finne svingebevegelse (venstresving, rett fram eller høyresving)
#Må først finne første og siste koordinat
for(i in seq_along(Xkryss$forste_lon))
  Xkryss$forste_lon[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$V1[1]
for(i in seq_along(Xkryss$forste_lat))
  Xkryss$forste_lat[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$V2[1]

for(i in seq_along(Xkryss$siste_lon))
  Xkryss$siste_lon[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$V1[Xkryss$antall[i]]
for(i in seq_along(Xkryss$siste_lat))
  Xkryss$siste_lat[i] <- Xkryss[[11]][[i]]$V2[Xkryss$antall[i]]

#Kan så finne vinkel
library(trip)
Xkryss$kryssvinkel <- 0
for(i in 1:nrow(Xkryss)){
  first_column <- c(as.numeric(Xkryss$forste_lon[i]),
as.numeric(Kryssexcel_X$Lengdegrad[X]), as.numeric(Xkryss$siste_lon[i]))
  second_column <- c(as.numeric(Xkryss$forste_lat[i]),
as.numeric(Kryssexcel_X$Breddegrad[X]), as.numeric(Xkryss$siste_lat[i]))

  x <- data.frame(first_column, second_column)
  Xkryss$kryssvinkel[i] <- trackAngle(x)

#Og definere svingebevegelse
Xkryss$kryssvinkel[is.na(Xkryss$kryssvinkel)] <- 0
Xkryss$lonBA <- as.numeric(Xkryss$forste_lon) - Kryssexcel_X$Lengdegrad[X] #BA lon
Xkryss$latBA <- as.numeric(Xkryss$forste_lat) - Kryssexcel_X$Breddegrad[X] #BA lat
Xkryss$lonBC <- as.numeric(Xkryss$siste_lon) - Kryssexcel_X$Lengdegrad[X] #BC lon
Xkryss$latBC <- as.numeric(Xkryss$siste_lat) - Kryssexcel_X$Breddegrad[X] #BC lat
for (i in seq_along(Xkryss$svingebevegelse))
  if ((Xkryss$kryssvinkel[i] >= 50 && Xkryss$kryssvinkel[i] <= 130 || Xkryss$kryssvinkel[i] >= 230 &&
Xkryss$kryssvinkel[i] <= 310) && Xkryss$lonBA[i]*Xkryss$latBC[i] > Xkryss$latBA[i]*Xkryss$lonBC[i]) {
    Xkryss$svingebevegelse[i] <- 'Høyresving'
  } else if (Xkryss$kryssvinkel[i] >= 140 && Xkryss$kryssvinkel[i] <= 220) {
    Xkryss$svingebevegelse[i] <- 'Rett fram'
  } else if ((Xkryss$kryssvinkel[i] >= 50 && Xkryss$kryssvinkel[i] <= 130 || Xkryss$kryssvinkel[i] >= 230 &&
Xkryss$kryssvinkel[i] <= 310) && Xkryss$lonBA[i]*Xkryss$latBC[i] < Xkryss$latBA[i]*Xkryss$lonBC[i]) {
    Xkryss$svingebevegelse[i] <- 'Venstresving'
  } else {
    Xkryss$svingebevegelse[i] <- 'Annen svingebevegelse'
  }
}
Xkryss <- subset(Xkryss, svingebevegelse != 'Annen svingebevegelse')
#-----

#STEG 6)
#Vikende eller ikke vikende
Kryssexcel_X[is.na(Kryssexcel_X)] <- 0
for (i in seq_along(Xkryss$fart1))
  if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X])) ||
(Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X])) ||
(Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X])) ||

```

```

      (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  Xkryss$vikkeforhold[i] <- "Vikende"
} else if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  Xkryss$vikkeforhold[i] <- "Vikende"
} else if (Kryssexcel_X$Vikeplikt_h[X] == "Høyrevikeplikt" && (Xkryss$svingebevegelse[i] == "Rett fram" ||
Xkryss$svingebevegelse[i] == "Venstresving"))){
  Xkryss$vikkeforhold[i] <- "Vikende"
} else{
  Xkryss$vikkeforhold[i] <- "Ikke vikende"
}
}
#-----
#STEG 7)
#Fart1 og Fart2 (fartsgrenser på veglenker inn og ut av krysset)
for (i in seq_along(Xkryss$fart1))
  if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  Xkryss$fart1[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt1_X[X]
} else if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$forste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X]) && (Xkryss$forste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
  Xkryss$fart1[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt2_X[X]
} else{
  Xkryss$fart1[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt0_X[X]
}
}
for (i in seq_along(Xkryss$fart2))
  if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$siste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$siste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Høyere") && ((Xkryss$siste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$siste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$siste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$siste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon1_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat1_X[X] ==
"Lavere") && ((Xkryss$siste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon1_X[X]) && (Xkryss$siste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat1_X[X]))){
  Xkryss$fart2[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt1_X[X]
}

```



```

    } else if ((Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere")&&((Xkryss$siste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X])&&(Xkryss$siste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))||
    (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Høyere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Høyere")&&((Xkryss$siste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X])&&(Xkryss$siste_lat[i] >
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))||
    (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere")&&((Xkryss$siste_lon[i] < Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X])&&(Xkryss$siste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))||
    (Kryssexcel_X$Retning_FG_lon2_X[X] == "Lavere" && Kryssexcel_X$Retning_FG_lat2_X[X] ==
"Lavere")&&((Xkryss$siste_lon[i] > Kryssexcel_X$FG_alt_lon2_X[X])&&(Xkryss$siste_lat[i] <
Kryssexcel_X$FG_alt_lat2_X[X]))){
    Xkryss$fart2[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt2_X[X]
  } else{
    Xkryss$fart2[i] <- Kryssexcel_X$FG_alt0_X[X]
  }
}

#Reisetid gjennom kryss
aks = 1 #[m/s^2]
for (i in seq_along(Xkryss$reisetid_i_fartsgrense))
  if (Xkryss$fart1[i] == Xkryss$fart2[i]){
    Xkryss$reisetid_i_fartsgrense[i] <- (100/(Xkryss$fart1[i]/3.6)) + (100/(Xkryss$fart2[i]/3.6))
  } else if (Xkryss$fart1[i] < Xkryss$fart2[i]){
    Xkryss$reisetid_i_fartsgrense[i] <- (100/(Xkryss$fart1[i]/3.6)) +
      (((Xkryss$fart2[i]/3.6)^2 - (Xkryss$fart1[i]/3.6)^2)/2*aks) / ((Xkryss$fart2[i]/3.6 + Xkryss$fart1[i]/3.6)/2)
  }
  +
  (100-((Xkryss$fart2[i]/3.6)^2 - (Xkryss$fart1[i]/3.6)^2)/2*aks)/(Xkryss$fart2[i]/3.6)
  } else if (Xkryss$fart1[i] > Xkryss$fart2[i]){
    Xkryss$reisetid_i_fartsgrense[i] <- (100/(Xkryss$fart2[i]/3.6)) +
      (abs((Xkryss$fart2[i]/3.6)^2 - (Xkryss$fart1[i]/3.6)^2)/2*aks)/(Xkryss$fart1[i]/3.6 + Xkryss$fart2[i]/3.6)/2 +
      ((100-abs((Xkryss$fart1[i]/3.6)^2 - (Xkryss$fart2[i]/3.6)^2)/2*aks)/(Xkryss$fart1[i]/3.6)
  }else{
    Xkryss$reisetid_i_fartsgrense[i] <- "Ukjent"
  }
}
#-----

#STEG 8)

#Forsinkelse
Xkryss$forsinkelse <- Xkryss$timediff - Xkryss$reisetid_i_fartsgrense
assign( paste("Xkryss", X, sep = "_"), Xkryss)
#-----

#STEG 9)
#Lagre alle i felles datasett
X_kryss_samlet <- rbind(Xkryss_1,Xkryss_2,Xkryss_3,Xkryss_4,Xkryss_5,
  Xkryss_6,Xkryss_7,Xkryss_8,Xkryss_9,Xkryss_10,
  Xkryss_11,Xkryss_12,Xkryss_13,Xkryss_14)

```

Vedlegg F: Kode for steg 6 i T-kryss

```
#STEG 6)
#Vikende eller ikke vikende
Tkryss$vikedeforhold <- 0
for (i in seq_along(Tkryss$vikedeforhold))
  if (Kryssexcel_T$Retning_FG_lon1_T[X] == "Lavere" &&
      (Kryssexcel_T$Retning_FG_lat1_T[X] == "Høyere") && (Tkryss$forste_lon[i] <
      Kryssexcel_T$FG_alt_lon1_T[X]) && (Tkryss$forste_lat[i] >
      Kryssexcel_T$FG_alt_lat1_T[X])){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if (Kryssexcel_T$Retning_FG_lon1_T[X] == "Lavere" &&
      (Kryssexcel_T$Retning_FG_lat1_T[X] == "Lavere") && (Tkryss$forste_lon[i] <
      Kryssexcel_T$FG_alt_lon1_T[X]) && (Tkryss$forste_lat[i] <
      Kryssexcel_T$FG_alt_lat1_T[X])){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if (Kryssexcel_T$Retning_FG_lon1_T[X] == "Høyere" &&
      (Kryssexcel_T$Retning_FG_lat1_T[X] == "Høyere") && (Tkryss$forste_lon[i] >
      Kryssexcel_T$FG_alt_lon1_T[X]) && (Tkryss$forste_lat[i] >
      Kryssexcel_T$FG_alt_lat1_T[X])){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if (Kryssexcel_T$Retning_FG_lon1_T[X] == "Høyere" &&
      (Kryssexcel_T$Retning_FG_lat1_T[X] == "Lavere") && (Tkryss$forste_lon[i] >
      Kryssexcel_T$FG_alt_lon1_T[X]) && (Tkryss$forste_lat[i] <
      Kryssexcel_T$FG_alt_lat1_T[X])){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if (Tkryss$svingebevegelse[i] == "Venstresving"){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else {
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Ikke vikende"
  }
}

for (i in seq_along(Tkryss$vikedeforhold))
  if ((Kryssexcel_T[X] == "Høyrevikeplikt") && (Tkryss$forste_lat[i] >
      Kryssexcel_T$Krav1[X]) && (Kryssexcel_T$Sving1[X] == "Venstresving")){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if ((Kryssexcel_T[X] == "Høyrevikeplikt") && (Tkryss$forste_lon[i] <
      Kryssexcel_T$Krav2[X]) && (Kryssexcel_T$Sving1[X] == "Venstresving")){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if ((Kryssexcel_T[X] == "Høyrevikeplikt") && (Tkryss$forste_lon[i] >
      Kryssexcel_T$Krav2[X]) && (Kryssexcel_T$Sving1[X] == "Rett fram")){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if ((Kryssexcel_T[X] == "Høyrevikeplikt") && (Tkryss$forste_lat[i] <
      Kryssexcel_T$Krav3[X]) && (Kryssexcel_T$Sving1[X] == "Rett fram")){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else if ((Kryssexcel_T[X] == "Høyrevikeplikt") && (Tkryss$forste_lon[i] <
      Kryssexcel_T$Krav3[X]) && (Kryssexcel_T$Sving1[X] == "Rett fram")){
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- "Vikende"
  } else {
    Tkryss$vikedeforhold[i] <- Tkryss$vikedeforhold[i]
  }
}
#-----
```

Vedlegg G: Kode for justert hastighet i rundkjøring

```
#Justert hastighet
for (i in seq_along(R_kryss_samlet$forsinkelse))
  if (R_kryss_samlet$svingebevegelse[i] == "Venstresving"){
    R_kryss_samlet$forsinkelse[i] <- R_kryss_samlet$forsinkelse[i]+(15/
(R_kryss_samlet$fart1[i]/(3.6)))+(15/(R_kryss_samlet$fart2[i]/(3.6)))-(60/
(20/(3.6)))
  } else if (R_kryss_samlet$svingebevegelse[i] == "H?yresving"){
    R_kryss_samlet$forsinkelse[i] <- R_kryss_samlet$forsinkelse[i]+(15/
(R_kryss_samlet$fart1[i]/(3.6)))+(15/(R_kryss_samlet$fart2[i]/(3.6)))-(20/
(20/(3.6)))
  }else if (R_kryss_samlet$svingebevegelse[i] == "Rett fram"){
    R_kryss_samlet$forsinkelse[i] <- R_kryss_samlet$forsinkelse[i]+(15/
(R_kryss_samlet$fart1[i]/(3.6)))+(15/(R_kryss_samlet$fart2[i]/(3.6)))-(40/
(20/(3.6)))
  }else{
    R_kryss_samlet$forsinkelse[i] <- R_kryss_samlet$forsinkelse[i]
  }
}
```

Vedlegg H: Oversikt over endrede hastighetsgrenser i Scenario 3

Sorgenfri - Sandgata/ Sandgata - Sorgenfri			
A/B	B/A	Nedkodet fartsgrense (FM_SPEED)	Fartsgrense NVDB
575359	575360	40	50
575358	575359	40	50
575355	575357	30	50
575354	575355	30	50
561345	731538	30	60
561346	561347	30	60
561349	461350	30	60
561351	561352	30	60
561352	731532	30	60
561355	561356	30	60
561357	561358	30	50
561358	561360	30	50
561362	561363	30	50
561363	561364	30	50
561364	561365	30	50
561365	561366	30	50
561372	561373	30	50
561374	561375	30	50
561377	561378	30	50
561378	731517	30	50
561382	561383	30	50
561384	561386	30	40
561387	561388	30	40
561390	561391	30	40
561392	580662	30	40
579764	580662	30	40
579764	583459	30	40
574440	583459	30	40
Bakklandet - Solsiden/ Solsiden - Bakklandet			
A/B	B/A	Nedkodet fartsgrense (FM_SPEED)	Fartsgrense NVDB
575717	575720	40	50
575720	575722	40	50
575725	575726	40	50
575726	575732	40	50
575732	575733	40	50
575735	731511	40	50
575764	731547	40	50
575796	731548	40	50
575796	575797	40	50

