

Gustav Hetty

Reduksjon av konfliktpunkter i plan- og toplanskryss

En sammenlignende studie av kryssløsninger som avviker venstresving på alternative måter gjennom trafikksimuleringer

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Juni 2022

Gustav Hetty

Reduksjon av konfliktpunkter i plan- og toplanskryss

En sammenlignende studie av kryssløsninger som avviker venstresving på alternative måter gjennom trafikksimuleringer

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Arvid Aakre
Juni 2022

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



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I Norge gjennomføres en betydelig andel av alle reiser med personbil. Det er store samfunnsøkonomiske kostnader knyttet til både reisetid, kjøring og ulykker i biltrafikken. Et effektivt og sikkert transportsystem som gir god trafikkavvikling er derfor viktig. I en del vegkryss er venstresving den mest kritiske bevegelsen. Venstresvingende er ofte i konflikt med to eller flere trafikkstrømmer samtidig, og har i mange tilfeller lav prioritet. Det finnes både kryssløsninger og reguleringsformer som avvikler venstresving på nye måter. I denne oppgaven sammenlignes et tradisjonelt og et alternativt toplanskryss, samt forbudt og tillatt venstresving i et lite nettverk. Begge løsningene reduserer antall konflikter som må håndteres samtidig for venstresvingende.

Første del av arbeidet innebar en kartlegging av relevant litteratur knyttet til eksisterende og alternative kryss, samt tilknyttede temaer. På bakgrunn av dette ble to kryssløsninger valgt ut for nærmere undersøkelse; (1) sammenligne et «diverging diamond interchange» (DDI) med et tradisjonelt ruterkryss, og (2) undersøke effekten av forbud mot venstresving i et vikepliktskryss sammenlignet med tillatt venstresving. I tilfellet med forbudt venstresving må trafikantene som skal til venstre først ta til høyre og deretter snu i en rundkjøring nedenfor. For å finne representative verdier for geometri og trafikkmengder ble ulike vegstrekninger i Trøndelag og på Østlandet undersøkt. Det ble laget idealiserte modeller av kryssene i Sidra og Aimsun, og gjennomført simuleringer for ulike trafikkmengder. Simuleringene ble gjennomført for å sammenligne reisetid, forsinkelse og utslipp.

Resultatene fra simuleringene viser at reisetid og forsinkelse reduseres i et DDI sammenlignet med ruterkryss for lave og moderate trafikkmengder. DDI ser også ut til å avvikle trafikken fra rampene mer effektivt enn ruterkryss. Eksempler fra utlandet viser at DDI kan bygges innenfor et tilsvarende areal som dagens kryssløsninger, men fra norske vegmyndigheters side har det tidligere vært en viss skepsis til denne typen løsninger. Forbud mot venstresving gir redusert reisetid ved høye trafikkmengder for 150, 250 og 400 meter avstand mellom kryss og rundkjøring. Reduksjonen blir mindre med økende avstand mellom kryss og rundkjøring. Forsinkelsen i vikepliktskrysset reduseres i alle tilfeller. Resultatene fra Sidra viser reduksjon i utslipp, og resultatene fra Aimsun tyder på økte utslipp. I praksis kan eksisterende skilt og infrastruktur benyttes for å innføre forbud mot venstresving flere steder. Simuleringene er gjennomført med forenklede modeller hvor kun trafikkstrømmene som skal analyseres er inkludert. Dette medfører begrensninger i simuleringene, noe som er viktig å være klar over ved tolking av resultatene.

Arbeidet med oppgaven har vist at det finnes alternative kryssløsninger og reguleringsformer som kan være aktuelle for bruk i Norge. Utvikling og bruk av denne typen løsninger kan gi mer effektiv trafikkavvikling enn dagens løsninger. DDI ser ut til å håndtere lave trafikkmengder bedre enn ruterkryss, og gir effektiv trafikkavvikling fra rampene. Det er også en krysstype som kan tilpasses til ulike trafikkmengder og fordelinger. Forbud mot venstresving kan gi redusert reisetid ved høye trafikkmengder, særlig ved kort avstand mellom kryss og snumulighet. Redusert forsinkelse i selve krysset kan også gi fordeler med tanke på trafiksikkerhet og avvikling av andre trafikkstrømmer. En utfordring med denne løsningen er at det trolig kun vil være snakk om noen timer i løpet av løpet av døgnet hvor den gir nevneverdig gevinst. Totalt sett er resultatene lovende for begge løsningene, og det er potensiale for å arbeide videre med ideene.

Abstract

A significant proportion of all journeys in Norway are made by car. There are considerable costs associated with both travel time, queuing, and traffic accidents. An efficient and safe transport system that provides good traffic flow is therefore important. At several different junctions, the left turn is the most critical movement. Left turners are often in conflict with two or more traffic flows at the same time and have low priority in many cases. There are examples of both junctions and forms of regulation that address this issue by conducting the left turn in new ways. This thesis compares a traditional and an alternative interchange, as well as prohibited and permitted left turns in a small network. Both solutions reduce the number of conflicts that left turners must handle simultaneously.

Work on the thesis began by reviewing literature related to existing and alternative intersections, and related topics. Based on this, two solutions were selected for further investigation; (1) compare a "diverging diamond interchange" (DDI) with a traditional roundabout interchange, and (2) examine the effect of prohibited left turn in a yielding intersection compared with permitted left turn. In the case of prohibited left turn, drivers who are going left must first turn right and then make a U-turn in the following roundabout. To find representative values for geometry and traffic volumes, various road sections in Trøndelag and Eastern Norway were examined. Idealized models of the two solutions were made in Sidra and Aimsun, and simulations were carried out for different traffic volumes. The simulations were performed to compare travel time, delay, and emissions.

The results from the simulations show that travel time and delay are reduced in a DDI compared to a roundabout interchange for low and moderate traffic volumes. DDI also seems to divert traffic from the ramps more efficiently. Examples from abroad show that DDI can be built within a similar area as current interchanges, but from the Norwegian road authorities' side, there has previously been some scepticism about such solutions. Prohibition of left turns reduces travel time at high traffic volumes for 150-, 250- and 400-meters distance between the intersection and roundabout. The reduction becomes smaller with increasing distance between the intersection and the roundabout. The delay in the intersection is reduced in all cases. The results from Sidra show a reduction in emissions, whilst the results from Aimsun indicate increased emissions. In practice, existing signs and infrastructure can be used to implement prohibited left turns. The simulations were conducted with simplified models which only included the traffic flows relevant to the analysis. This entails limitations in the simulations, which are important to be aware of when interpreting the results.

This thesis has shown that there are alternative interchanges and forms of regulation that can be used in Norway. Development and use of such solutions can provide more efficient traffic management than current solutions. DDI seems to handle low traffic volumes better than the roundabout interchange and provides efficient traffic flow from the ramps. It is also an intersection that can be adapted to different traffic volumes and distributions. Prohibition of left turns can reduce travel time at high traffic volumes, especially for short distances between the intersection and turning point. Reduced delay at the intersection itself can also provide benefits in terms of traffic safety. A challenge with this solution is that it might only be beneficial for a few hours of the day. Overall, the results are promising for both solutions, and there is potential for further work on the ideas.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i løpet av vårsemesteret 2022. Oppgaven er det avsluttende arbeidet i forbindelse med masterstudiet Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet – NTNU. Oppgaven teller 30 studiepoeng, og utgjør med det hele arbeidskravet for det siste semesteret av sivilingeniørutdanningen. Arbeidet med temaet ble påbegynt med en prosjektoppgave høsten 2021, og denne masteroppgaven bygger videre på det arbeidet.

Opgaven sammenligner en ny og en eksisterende krysstype, og en ny måte å regulere eksisterende veger på. Det er benyttet to ulike simuleringsprogrammer for å sammenlikne reisetid, forsinkelse og utslipp i begge tilfeller. Krysstypen «diverging diamond interchange» sammenliknes med et tradisjonelt planskilt ruterkryss. I tillegg sammenliknes tillatt og forbudt venstresving i et lite nettverk.

Jeg ønsker å takke min veileder Arvid Aakre for god oppfølging i arbeidet med oppgaven. Innspill og samtaler om oppgaven og temaet generelt har vært til stor hjelp gjennom hele semesteret. Takk også til Sigrid, som har bidratt både i oppgaveskrivingen og til å gjøre mine 5 år ved NTNU så fine.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Trondheim, juni 2022



Gustav Hetty

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Figurer	viii
Tabeller	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål og problemstilling	3
1.3 Oppgavens oppbygning	4
2 Teori	5
2.1 Trafikkavvikling	5
2.1.1 Venstresving	5
2.1.2 Norske normaler og kryssløsninger	7
2.1.3 Regulering	14
2.2 Alternative kryssløsninger	16
2.3 Trafikksikkerhet	23
2.4 Utslipp og miljøhensyn	26
2.5 Modellering	29
2.5.1 Sidra intersection 9	30
2.5.2 Aimsun Next	33
3 Skisser	37
3.1 To felts DDI med vikeplikt	37
3.2 Forbud mot venstresving	39
4 Metode	42
4.1 Litteratursøk	42
4.2 Modeller	43
4.3 Simuleringer	50
5 Resultater	54
5.1 Egnethet for norske forhold	54
5.2 DDI sammenlignet med ruterkyss	55
5.2.1 Reisetid	55
5.2.2 Forsinkelse	57
5.2.3 Utslipp	60
5.3 Begrensing av venstresving	62
5.3.1 Reisetid	62

5.3.2	Forsinkelse	66
5.3.3	Utslipp	70
6	Diskusjon	72
6.1	Egnethet for norske forhold	72
6.2	DDI sammenlignet med ruterkryss	73
6.2.1	Reisetid	73
6.2.2	Forsinkelse	73
6.2.3	Utslipp	74
6.2.4	Variasjon i trafikkmengden	74
6.3	Begrensing av venstresving	75
6.3.1	Reisetid	75
6.3.2	Forsinkelse	76
6.3.3	Utslipp	77
7	Konklusjon	78
	Referanser	79
	Vedlegg	83

Figurer

Figur 1: Fotografi som viser kø fra Klettkrysset og ut på E6 i sørgående retning fra Trondheim (Svaan, 2020).....	2
Figur 2: Skisse av planene for motorveg gjennom Grünerløkka i Oslo (Nasjonalbiblioteket).....	2
Figur 3: Konfliktpunkter for venstresvingende i et T-kryss hvor sekundærvegen har vikeplikt (Statens Vegvesen, 2013).....	5
Figur 4: Ruter for venstresving ved begrenset og fullt forbud mot venstresving langs en bestemt gate (Hajbabaie, Medina, & Benekohal, 2010)	6
Figur 5: Prinsippskisse av T-kryss (Statens Vegvesen, 2013)	9
Figur 6: Prinsippskisse av X-kryss (Statens Vegvesen, 2013)	10
Figur 7: Prinsippskisse av rundkjøring (Statens Vegvesen, 2013)	10
Figur 8: Prinsippskisse av trompetkryss (Statens Vegvesen, 2013)	11
Figur 9: Prinsippskisse av kombinert ruter- og kløverbladkryss (Statens Vegvesen, 2013)	12
Figur 10: Flyfoto av kryss med rundkjøring over E6 i Trondheim (Kartverket, 2021)	12
Figur 11: Flyfoto av diamantkryss utenfor Jessheim.....	13
Figur 12: Tabell hentet fra V121 med kriteriene for valg av kryssløsning (Statens Vegvesen, 2013)	13
Figur 13: Prinsippskisse av et DDI (Hughes et al., 2010)	17
Figur 14: Kjøremonster og -retninger i et DDI (Bared, Edara, & Jagannathan, 2005)	17
Figur 15: Kjøremonster og -retninger i et tradisjonelt diamantkryss (Bared, Edara, & Jagannathan, 2005).....	18
Figur 16: Flyfoto fra Odense som viser krysset før ombygging (Det Kgl. Bibliotek, 2022)	19
Figur 17: Konfliktpunkter i et diamantkryss (Vejdirektoratet, 2015)	20
Figur 18: Flyfoto fra Odense som viser krysset etter ombygging til DDI (Det Kgl. Bibliotek, 2022).....	21
Figur 19: Konfliktpunkter i et DDI (Vejdirektoratet, 2015)	21
Figur 20: Kjøremonster for venstresving og rett igjennom i RCUT (Hughes et al., 2010).....	22
Figur 21: Prinsippskisse av MUT (Wikipedia, 2021)	23
Figur 22: Utvikling av antall drepte og hardt skadde i trafikken fra 1970 til 2020 (Statistisk sentralbyrå, 2021).....	23
Figur 23: Utvikling av antall drepte og hardt skadde i trafikken fra 2000 til 2020 (Statistisk sentralbyrå, 2021).....	24
Figur 24: Andelen ulykker med personskade for ulike ulykkestyper (Transportøkonomisk institutt, 2021).....	24
Figur 25: Mulige konfliktpunkter i T- og X kryss (Statens Vegvesen, 2013)'	25
Figur 26: Sammenhengen mellom overførbar kinetisk energi, kollisjonsvinkler og hastighet (Candappa et al., 2014)	26
Figur 27: Norske klimagassutslipp i 2020 (Miljødirektoratet, 2021)	27
Figur 28: Klimagassutslipp fra ulike kjøretøy i perioden 1990 til 2020 (Miljødirektoratet, 2021)	27
Figur 29: De fire kjøremodusene som benyttes for utslippsberegninger i Sidra (Sidra solutions, 2021)	32
Figur 30: Oversiktsbilde over dialogboksen «Volumes» i Sidra, hvor trafikkmengder og andel tunge kjøretøy defineres (Sidra solutions, 2021).....	33
Figur 31: Lenke, node og sentroide i en Aimsun modell (Aimsun, 2022)	35

Figur 32: Oversiktsbilde av en OD-matrise hvor trafikkmengder mellom sentroider defineres i Aimsun (Aimsun, 2022)	36
Figur 33: Rute for venstresving og rett igjennom et ruterkryss	37
Figur 34: Rute for venstresving og rett igjennom et DDI	38
Figur 35: Rute for venstresving i et nettverk hvor venstresving er tillatt	40
Figur 36: Rute for venstresving i et nettverk hvor venstresving er forbudt	40
Figur 37: Flytskjema for prosessen med å bygge modeller	43
Figur 38: Modellen av ruterkryss i Aimsun	45
Figur 39: Modellen av DDI i Aimsun	45
Figur 40: Modellen av ruterkryss i Sidra	46
Figur 41: Forenklet modell av krysningspunktet i DDI i Sidra	46
Figur 42: Oversiktsbilde av modellen med venstresving tillatt i Aimsun	47
Figur 43: Oversiktsbilde av modellen med venstresving forbudt i Aimsun	47
Figur 44: T-kryss ved tillatt og forbudt venstresving i Aimsun	48
Figur 45: Rundkjøring ved tillatt og forbudt venstresving i Aimsun	48
Figur 46: Oversiktsbilde av modellen med venstresving tillatt i Sidra	48
Figur 47: Oversiktsbilde av modellen med venstresving forbudt i Sidra	49
Figur 48: T-kryss ved tillatt og forbudt venstresving	49
Figur 49: Rundkjøring ved tillatt og forbudt venstresving i Sidra	49
Figur 50: Skisse av ruterkryss med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse	51
Figur 51: Skisse av DDI med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse	51
Figur 52: Skisse av kryss med venstresving tillatt med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse	52
Figur 53: Skisse av kryss med venstresving forbudt med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse	52
Figur 54: Reisetider for venstresving i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresvingende	55
Figur 55: Reisetider for ruten rett igjennom i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresvingende	55
Figur 56: Prosentvis endring i reisetid mellom ruterkryss og DDI for venstresvingende ved 50 prosent andel venstresving	56
Figur 57: Prosentvis endring i reisetid mellom ruterkryss og DDI for bevegelsen rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving	56
Figur 58: Forsinkelse sørfra i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	57
Figur 59: Forsinkelse østfra inn mot ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	57
Figur 60: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	58
Figur 61: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	58
Figur 62: Forsinkelse inn mot krysset østfra ved 50 prosent andel venstresving	59
Figur 63: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	59
Figur 64: Utslipp i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	60
Figur 65: Prosentvis endring i utslipp mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving	60
Figur 66: Prosentvis endring i utslipp mellom ruterkryss og DDI ved 75 prosent andel venstresving	61

Figur 67: Reisetider for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	62
Figur 68: Reisetider rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	63
Figur 69: Prosentvis endring i reisetid mellom tillatt og forbudt venstresving for venstresvingende ved 50 prosent andel venstresving	63
Figur 70: Prosentvis endring i reisetid rett igjennom krysset ved tillatt og forbudt venstresving og 50 prosent andel venstresving	64
Figur 71: Reisetider for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	64
Figur 72: Reisetider rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	65
Figur 73: Prosentvis endring i reisetid for venstresvingende mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving.....	65
Figur 74: Prosentvis endring i reisetid rett igjennom krysset ved tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving.....	66
Figur 75: Forsinkelse for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring.....	66
Figur 76: Forsinkelse inn mot rundkjøring østfra ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	67
Figur 77: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving	67
Figur 78: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving	68
Figur 79: Forsinkelse for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring.....	68
Figur 80: Forsinkelse østfra inn mot rundkjøringen ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	69
Figur 81: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving	69
Figur 82: Utslipp totalt ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	70
Figur 83: Prosentvis endring i utslipp mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving	70
Figur 84: Utslipp totalt ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring	71
Figur 85: Prosentvis endring i utslipp mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving	71
Figur 86: Alternativ utforming av rundkjøringen ved forbud mot venstresving	75

Tabeller

Tabell 1: Oppsummering av resultatene fra studien	7
Tabell 2: Relevante normaler og veiledere med beskrivelse	8
Tabell 3: Relevante skiltplater og beskrivelse av deres betydning	15
Tabell 4: Skilt som benyttes i rundkjøring samt forslag til skilt for DDI med samarbeid ..	39
Tabell 5: Forslag til skilting ved forbud mot venstresving	41
Tabell 6: Stikkord og søkestrenger som er benyttet til litteratursøk innenfor hvert tema	42
Tabell 7: Verdier for avstander, vegbredder og rundkjøringer i ulike ruterkryst	44
Tabell 8: Kjorefeltbredder for de ulike vegtypene i ruterkryst og DDI	44
Tabell 9: Verdier for kjorefeltbredde på de ulike vegtypene	47
Tabell 10: Trafikkmengder og andel lange kjøretøy i scenariene som er brukt for simuleringer med ruterkryst og DDI	50
Tabell 11: Trafikkmengder og andel lange kjøretøy i scenariene som er brukt i simuleringer ved tillatt og forbudt venstresving	50

1 Introduksjon

I dette kapitlet omtales bakgrunnen for oppgaven. Først beskrives problemet og relaterte temaer. Deretter presenteres problemstillingen med tilhørende forskningsspørsmål. Til slutt presenteres oppgavens formål, samt en beskrivelse av oppgavens oppbygning.

1.1 Bakgrunn

Et velfungerende og trygt transportsystem er en viktig bestanddel i alle utviklede land. I et langstrakt land som Norge med utfordrende terreng er det vegene som har knyttet oss sammen i århundrer. I 2020 foregikk 81,7 prosent av all reising i Norge med personbil (Statistisk sentralbyrå, 2020). En stor andel av godstransporten gjennomføres også med lastebil på vegen. Det er derfor trygt å si at de aller fleste er enten direkte eller indirekte avhengig av vegene.

Et av områdene hvor det oppstår problemer i vegnettet er i kryssene. Hovedregelen i trafikken er at en har vikeplikt ovenfor trafikk fra høyre dersom annet ikke er angitt. I tilfeller hvor en veg har høyere trafikkmengde enn de tilknyttede vegene, hender det at denne vegen gis forkjørsrett. De tilknyttede vegene får da vikeplikt ovenfor denne vegen. I en del slike kryss er det venstresvingbevegelsen som er kritisk med tanke på kapasiteten. Årsaken er at venstresvingende i dette tilfellet har vikeplikt ovenfor minst to trafikkstrømmer, og dermed lav prioritet. Erfaringene fra kryss hvor forkjørsrett og vikeplikt innføres er at farten øker på vegen med forkjørsrett, og reduseres på vegen med vikeplikt (Transportøkonomisk institutt, 2017). Det finnes flere eksempler på vikepliktskryss hvor det er svært krevende å utføre venstresving ved høye trafikkmengder. Problemer med forsinkelse for venstresving kan avhjelpes på ulike måter. Ekstra kjørefelt og kanalisering av disse kan bidra til bedre avvikling. Dersom det er tilstrekkelig med areal tilgjengelig kan krysset bygges om til en rundkjøring, som i en del tilfeller gir bedre avvikling av trafikken (Transportøkonomisk institutt, 2015). Rundkjøring fungerer likevel aller best når trafikkb belastningen er relativt lik på alle armene. Dersom enkelte armer har større trafikkb belastning, kan det skape forsinkelse på armene med mindre trafikk. Nye kryssløsninger eller regulering som avvikler trafikken på alternative måter er lite utprøvd i Norge.

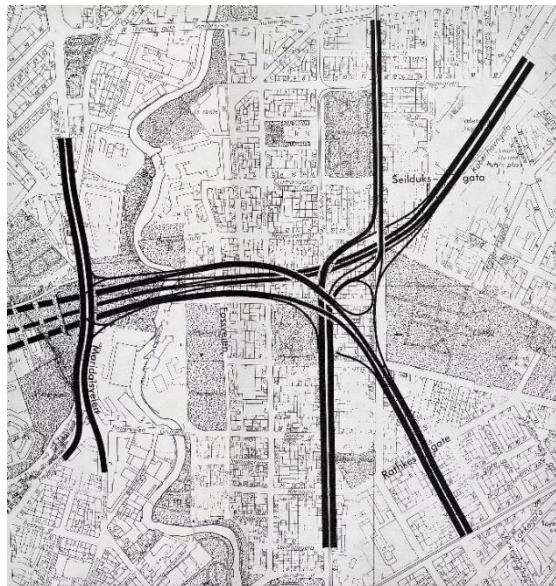
I tilknytning til motorveger er det krav til gode og effektive kryssløsninger som er tilpasset trafikkmengden. Allikevel finnes det eksempler på motorvegkryss som ikke har tilstrekkelig kapasitet og derfor ikke fungerer som tiltenkt. I ytterste konsekvens kan dette skape kø som strekker seg bakover fra krysset og ut på motorvegen. Et eksempel på dette er det nybygde Klettkrysset sør for Trondheim, hvor køen daglig stekker seg bakover hele rampen og ut på motorvegen i ettermiddagsrushet (Morken, 2022). Figur 1 viser kø ut på motorvegen i Klettkrysset. Et annet eksempel er Sinsenkrysset i Oslo, hvor det er svært mye kø og forsinkelse på grunn av for lite kapasitet i krysset (Riaz, 2013).



Figur 1: Fotografi som viser kø fra Klettkrysset og ut på E6 i sørgående retning fra Trondheim (Svaan, 2020)

Et sentralt dokument for de som jobber innenfor samferdsel i Norge er «Nasjonal transportplan». Nasjonal transportplan er en plan for hvordan man skal nå det overordnede målet innenfor transportsektoren. Målet er et transportsystem som er effektivt, miljøvennlig og trygt innen 2050 (Samferdselsdepartementet, 2021). Målet i nasjonal transportplan er svært omfattende, og legger føringer for hvordan det skal arbeides med transport og veger i årene fremover.

Ønsket om et trygt og effektivt transportsystem med moderne og sikre veger er ikke nytt. I starten av 1960-årene ble det lagt store planer for utbygging av motorvegnettet i Norge. Disse planene var motivert av køer og trafikkaos i de store byene, høye dødstall på vegene og tro på privatbilens viktighet. Med sterk inspirasjon fra motorvegene i USA ble det lagt planer om nærmere 800 km motorveg i Norge. I Oslo skulle blant annet slottsplassen og hele kvartaler på Grünerløkka vike for motorveg dersom planleggerne fikk viljen sin (Kvernberg, 2021). Figur 2 viser et planlagt kryss midt på Grünerløkka. I Trondheim var planen at trehusene langs Bakklandet skulle byttes ut med fire felts motorveg. I dag vil antagelig de fleste være glade for at disse planene ikke ble gjennomført. Det var allikevel pengemangel, og ikke hensyn til bymiljø og verneverdige bygg som satt en stopp for planene.



Figur 2: Skisse av planene for motorveg gjennom Grünerløkka i Oslo (Nasjonalbiblioteket)

Det er vanskelig å si hvilken betydning en storstilt utbygging av motorveger i Norge ville hatt. Det er likevel rimelig å anta at det ikke ville ha løst alle problemene som eksisterer i dag. Ett av disse problemene er kø, som tillegg til å være belastende for førerne og bymiljøet medfører en betydelig samfunnsøkonomisk kostnad. Den samfunnsøkonomiske kostnaden knyttet til køkjøring er avhengig av flere variabler, og estimatene varierer i ulike beregninger. Transportøkonomisk institutt (TØI) har gjennomført beregninger av skadestkostnaden ved køkjøring (Transportøkonomisk institutt, 2020). Skadestkostnaden er i dette tilfellet den kostnaden bilturen påfører samfunnet som følge av utslipp og kø. I en storby, med 100 000 innbyggere eller mer, er skadestkostnaden omtrent 5 kroner pr kjøretøy pr kilometer. En beregning gjennomført av NAF i 2013 anslo at kostnaden av køen inn mot Oslo var omtrent 6,6 milliarder det året (NRK, 2013). NAF anslo også at denne kostnaden ville mer enn dobles innen 2030 dersom trafikkveksten fortsatte, uten at det ble gjennomført tiltak for å bøte på problemet. Det virker altså klart at reduksjon i kø kan gi en samfunnsøkonomisk gevinst.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å undersøke hvorvidt alternative kryss og reguleringsformer med færre konfliktpunkter kan føre til redusert reisetid og forsinkelse. På lang sikt er målet at slike kryss og reguleringsformer skal kunne benyttes på norske veier. I litteraturgjennomgangen som følger beskrives alternative kryssløsninger som kan fungere godt i Norge. Det er også mulig at dagens kryss kan reguleres og anvendes på nye måter som kan gi reduksjon i forsinkelse og reisetid. På bakgrunn av dette er følgende problemstilling utformet:

Finnes det kryssløsninger eller konsepter for avvikling av trafikk som presterer bedre enn dagens etablerte kryssløsninger?

Problemstillingen definerer temaet for oppgaven og det arbeidet som er gjort i forbindelse med den. For å begrense omfanget av oppgaven og svare på problemstillingen er følgende forskningsspørsmål satt opp:

- 1. Finnes det etablerte alternative kryssløsninger som egner seg for norske forhold?*
- 2. Finnes det alternativer som presterer bedre enn dagens toplanskryss?*
- 3. Kan begrensning av muligheten for enkelte svingebevegelser gi bedre prestasjon totalt sett i et nettverk?*

Forskningsspørsmålene har vært styrende for arbeidet med oppgaven, og strukturen på denne besvarelsen. Spørsmål 1 er benyttet til diskusjon av funnene i teoridelen, og for å foreslå løsninger til utprøving i spørsmål 2 og 3. Spørsmål 2 og 3 besvares ved å sammenligne en eksisterende og velprøvd løsning med et alternativ.

1.3 Oppgavens oppbygning

Oppgaven består av 7 hoveddeler. Den første delen er introduksjonen, hvor bakgrunnen for oppgaven samt problemstilling og forskningsspørsmål presenteres. Deretter følger en gjennomgang av det teoretiske grunnlaget. Her presenteres relevant informasjon fra norske aktører, og resultater fra forskning og litteratur innenfor ulike temaene. I del tre presenteres forslag og skisser til egne kryssløsninger basert både på funnene i teorien, og egne tanker og ideer. Del fire av rapporten beskriver metoden som er benyttet. Her beskrives arbeidet med å finne relevant litteratur kort, før det beskrives i detalj hvordan modellene som er brukt i simuleringene er bygd opp. I del fem presenteres resultater for både reisetid, forsinkelse og utslipp for de ulike løsningene. Etter dette følger en diskusjon av resultatene, hvor både deres gyldighet og implikasjoner diskuteres. Siste del inneholder en konklusjon hvor resultatene og deres betydning oppsummeres. Her presenteres også egne tanker og ideer om videre arbeid med løsningene som er foreslått i oppgaven.

2 Teori

Litteratur fra en rekke kilder er undersøkt for å få oversikt over relevante temaer og bedre innsikt rundt de ulike aspektene ved kryss og trafikkavvikling. Informasjon fra norske aktører som Statens vegvesen, Statistisk sentralbyrå og Transportøkonomisk institutt utgjør en betydelig del av kapittelet. Flere forskningsartikler innenfor de aktuelle temaene er også lest, og resultatene fra disse presenteres her. Kapittelet bygger videre på arbeidet som ble gjort i prosjektoppgaven, og enkelte deler av det vil derfor ha store likheter med det som ble presentert i prosjektoppgaven.

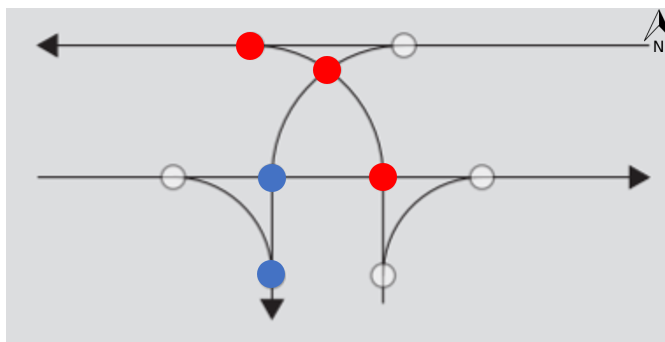
2.1 Trafikkavvikling

Både i kryss og langs strekninger er det ulike sett med lover og regler som sørger for god og effektiv avvikling av trafikken. I mange tilfeller innebærer dette at trafikkstrømmene tildeles prioritet i forhold til hverandre på en eller annen måte. I kryss er det nesten alltid en form for prioritet mellom trafikkstrømmene. Tildeling av prioritet skaper ofte forsinkelse for trafikkstrømmen som blir nedprioritert.

2.1.1 Venstresving

I vikepliktsregulerte eller uregulerte kryss er det ofte venstresvingbevegelsen som er mest problematisk å avvikle. Bortsett fra i lysregulerte kryss med egen venstresvingfase vil venstresvingende være i konflikt med en eller to trafikkstrømmer. Særlig ved høye trafikkmengder kan disse konfliktene skape store forsinkelser for venstresvingende. I litteraturen som omhandler alternative kryssløsninger er et av hovedtemaene reduksjon av antallet konflikter. I mange tilfeller innebærer det nye måter å avvikle venstresving på, siden dette er bevegelsen med flest konflikter. Reduksjon av antallet konflikter totalt sett vil ofte bedre avviklingen gjennom krysset.

Figur 3 er hentet fra V121, og redigert for å tydeliggjøre konfliktpunkter for venstresvingende i et vikepliktskryss. Primærvegen går i dette tilfellet i retning øst-vest. Røde prikker viser hvor venstresvingende fra sekundærvegen er i konflikt med andre trafikkstrømmer. Blå prikker indikerer hvor venstresvingende fra primærvegen er i konflikt med andre trafikkstrømmer.



Figur 3: Konfliktpunkter for venstresvingende i et T-kryss hvor sekundærvegen har vikeplikt (Statens Vegvesen, 2013)

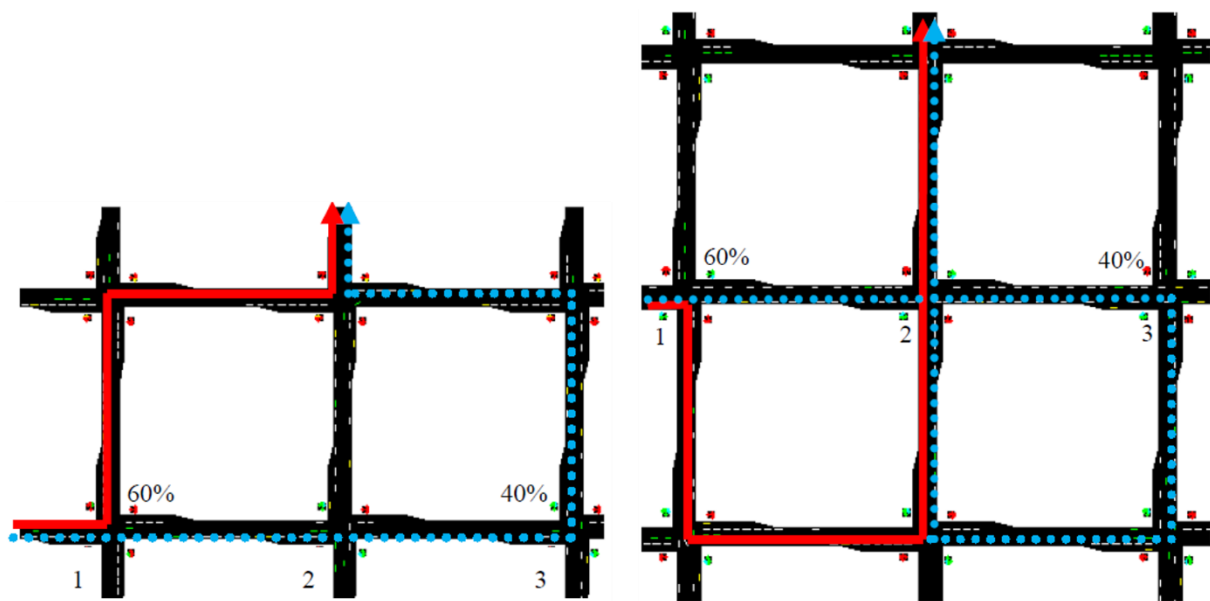
Som Figur 3 viser vil man i et standard forkjørsregulert T-kryss som venstresvingende fra sekundærvegen måtte vike for trafikken fra både høyre og venstre, i tillegg til venstresvingende på hovedvegen. Man er altså i konflikt med all kryssende trafikk, og har veldig lav prioritet i krysset. Det er begrenset med internasjonal litteratur og forskning som tar for seg denne problematikken for uregulerte og forkjørsregulerte kryss, men dette er en situasjon mange trafikanter vil kjenne igjen.

For signalregulerte kryss er det gjennomført forskning som ser på problematikken med avvikling av venstresving. En studie fra Portugal gjennomført i 2010 så på effekten av å forby venstresving i et nettverk med høyt trafikkerte veier og signalregulerte kryss (Hajbabaie, Medina, & Benekohal, 2010). Forfatterne modellerte et rektangulært nettverk, hvor en av gatene hadde høyere trafikkmengde enn resten. Deretter ble tre strategier testet:

1. Venstresving tillat overalt
2. Venstresving tillat i enkelte kryss langs veien med høy trafikk
3. Venstresving forbudt i alle kryss langs veien med høy trafikk

Det ble lag til grunn at 5 prosent svingte til venstre, 85 prosent kjørte rett frem og at 10 prosent svingte til høyre. Effekten av disse tiltakene ble vurdert ut ifra gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy og antallet turer produsert. Simuleringsprogrammet IDTSOP ble brukt for å gjennomføre disse forsøkene.

Figur 4 viser hvordan venstresving kan gjennomføres i en situasjon hvor det er forbud mot venstresving i enkelte og i alle kryss. Nettverket til venstre viser situasjonen ved strategi 2, og venstresving forbudt i kryss 2. Heltrukken rød linje og stiplet blå stripe viser to mulige kjøremønstre for venstresvingende i denne situasjonen. Nettverket til høyre viser situasjonen i strategi 3. Her venstresving forbudt i både kryss 1, 2 og 3.



Figur 4: Ruter for venstresving ved begrenset og fullt forbud mot venstresving langs en bestemt gate (Hajbabaie, Medina, & Benekohal, 2010)

Studien gav interessante resultater som er oppsummert i Tabell 1. Både forbud mot venstresving i annen hvert kryss og i hvert kryss førte til økning i antall turer produsert, og reduksjon i gjennomsnittlig forsinkelse.

Tabell 1: Oppsummering av resultatene fra studien

Strategi	Antall turer produsert	Gjennomsnittlig forsinkelse
1	-	-
2	+6,6%	-10,7%
3	+9,1%	-3,1%

Forbud mot venstresving i annethvert kryss gav 6,6 prosent økning i antall turer produsert, og 10,7 prosent reduksjon av gjennomsnittlig forsinkelse. Forbud mot venstresving i alle kryss gav 9,1 prosent økning i antall turer produsert og 3,1 prosent reduksjon i gjennomsnittlig forsinkelse. For alle resultatene ble det gjennomført en statistisk analyse i form av en T-test. Denne viste at endringene både i turproduksjon og forsinkelse for strategi 2 og 3 i forhold til strategi 1 var statistisk signifikant. Studien konkluderer med at begrensning av mulighet for venstresving kan føre til bedre trafikkavvikling, særlig når andelen venstresvingene er lav i forhold til andelen som skal rett frem.

En lignende studie undersøkte hvorvidt begrensning av venstresving ved gitte trafikkmengder kunne gi en effekt på turproduksjonen (DePrator, Hitchcock, & Gayah, 2017). Det ble tatt utgangspunkt i et symmetrisk kvadratisk nettverk med lysregulerte kryss. Tre ulike situasjoner ble deretter simulert og sammenlignet i dette nettverket:

1. Venstresving alltid tillatt
2. Venstresving forbudt
3. Venstresving forbudt utenom ved veldig høye og veldig lave trafikkmengder.

Forbud mot venstresving gir økt kapasitet i selve krysset, men påfører de som må kjøre en omveg som følge av forbudet en ulempe. Forbud mot venstresving ga totalt sett gode resultatet for trafikkmengder i nærheten av kapasiteten. Turproduksjonen økte, og trafikkflyten ble forbedret. For veldig lave og veldig høye trafikkmengder gav forbud mot venstresving derimot en reduksjon i antallet produserte turer. Forbud mot venstresving utenom ved veldig høye og lave trafikkmengder gav gode resultater. I dette tilfellet økte turproduksjonen, og trafikkflyten ble forbedret. En sensitivitetsanalyse viste at tidsrommene med forbud mot venstresving bør begrenses til når det er strengt nødvendig. Forfatterne konkluderer med at dynamisk regulering for både enkeltstående kryss og i nettverk kan være fordelaktig, og at det bør forskes videre på.

2.1.2 Norske normaler og kryssløsninger

I Norge er Vegdirektoratet myndighetsorgan for offentlige veger. Vegdirektoratet har ansvaret for vegnormalene og veilederne som gjelder for bygging og drift av offentlige veger og gater (Statens Vegvesen, 2019). I Tabell 2 er normaler og veiledere innenfor aktuelle temaer listet opp, sammen med en kort beskrivelse av deres innhold. Ikke alle av disse er benyttet og direkte sitert i oppgaven, men alle er undersøkt.

Tabell 2: Relevante normaler og veiledere med beskrivelse

Vegnormal (N) / Veileder (V)	Beskrivelse
N100 Veg- og gateutforming	Omhandler gjeldende krav for dimensjonering av nye veger og gater. Stiller blant annet krav til linjeføring og tverrprofil på vegene, og krav til kryss og avkjørsler.
N101 Trafikksikkert sideterreng og vegsikringsutstyr	Omhandler utformingen av vegers sideterreng og bruk av sikringsutstyr. Herunder blant annet bruk av rekkverk langs sidene og som midtdeler.
V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss	Omhandler geometrisk utforming av vegkryss, beskriver fordeler og ulemper ved de ulike kryssene og viser hvordan de bør plasseres.
N300 Trafikkskilt	Omhandler de tekniske bestemmelsene og retningslinjene som gjelder for trafikkskilt.
N302 Vegoppmerking	Omhandler systemet for oppmerking av veger, og bruken av dette. En viktig normal, siden vegoppmerkingen skal være gjennomgående lik og konsekvent over hele landet.
N303 Trafikksignalanlegg	Omhandler bestemmelsene som gjelder for bruk, utforming og oppsetting av signalanlegg. Dimensjonering av tider og virkemåte for signalanlegg.
V322 Trafikksignalanlegg	Omhandler bakgrunnen for planlegging, oppsettelse og drift og vedlikehold av trafikksignalanlegg.
V721 Risikovurderinger i vegtrafikken	Omhandler metoder som anvendes for kvalitativ og kvantitativ vurdering av risiko. Veiledningen er tett koblet til de forskrifter og regler som gjelder for vegeiere.

Kryssløsninger

N100 Veg- og gateutforming angir standard krav for utforming av veger og gater (Statens Vegvesen, 2021). Kravene utdypes i håndbok V121, Geometrisk utforming av veg- og gatekryss (Statens Vegvesen, 2013). Håndbok V121 beskriver kryssløsninger innenfor de to hovedkategoriene plankryss og planskilte kryss. Oversikten under viser krysstypene som er beskrevet i V120, og hvilken hovedkategori de faller innenfor. Krysstypene i kursiv er ikke beskrevet i V120, men er allikevel nevnt siden de er brukt flere steder.

Plankryss:

- T-kryss
- X-kryss
- Rundkjøringer

Planskilte kryss:

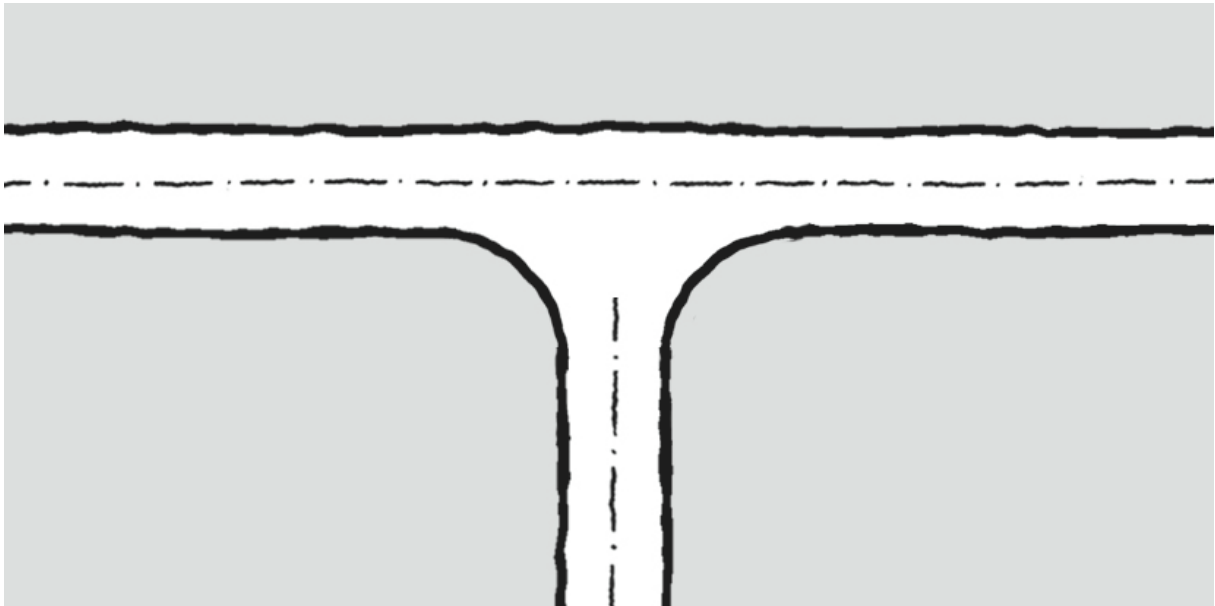
- Trompetkryss
- Kløverblad- og ruterkryss
- *Diamantkryss*
- *Rundkjøring på midten*

Plankryss

Plankryss anlegges på ulike vegtyper, og typen er avhengig av fartsgrense og trafikkmengde. Fordelen med denne typen kryss er at de er velkjente og etablerte løsninger som trafikantene er vant til. I forhold til planskilte kryss er de også relativt billige og enkle å etablere. T- og X-kryss kan reguleres på ulike måter avhengig av behov.

T-kryss

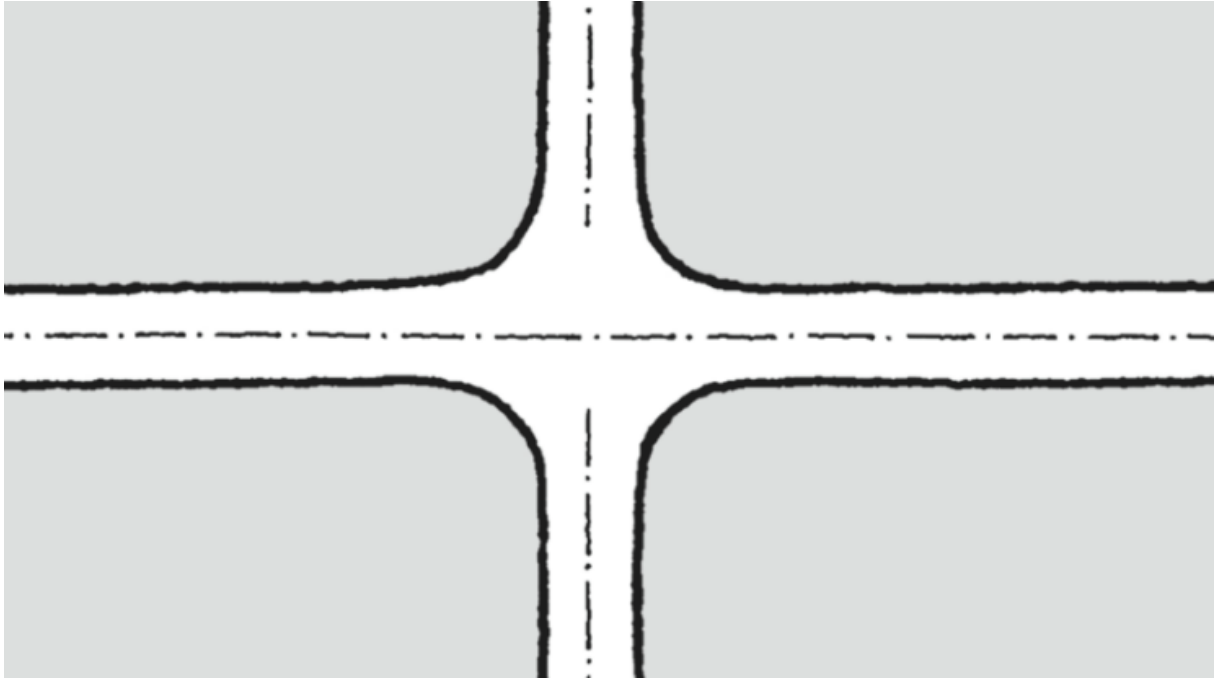
T-kryss er den enkleste krysstypen beskrevet i veiledningen. Krysstypen kan reguleres med både høyreregulering, forkjørsrett og signalanlegg. Krysset kan bygges relativt enkelt, men kan også kanaliseres for en eller flere av bevegelsene (Statens Vegvesen, 2013). Kanalisering innebærer at kjørefeltene separeres fysisk for å bedre avviklingen. Utenfor tettbygde områder er T-kryss ofte regulert med forkjørsrett for hovedvegen og vikeplikt for den vegen som kobler seg på. I tettbygde områder er T-kryss ofte regulert med vanlig høyreregulering, men også her kan enkelte gater ha forkjørsrett. Figur 5 viser en prinsippskisse av et T-kryss.



Figur 5: Prinsippskisse av T-kryss (Statens Vegvesen, 2013)

X-kryss

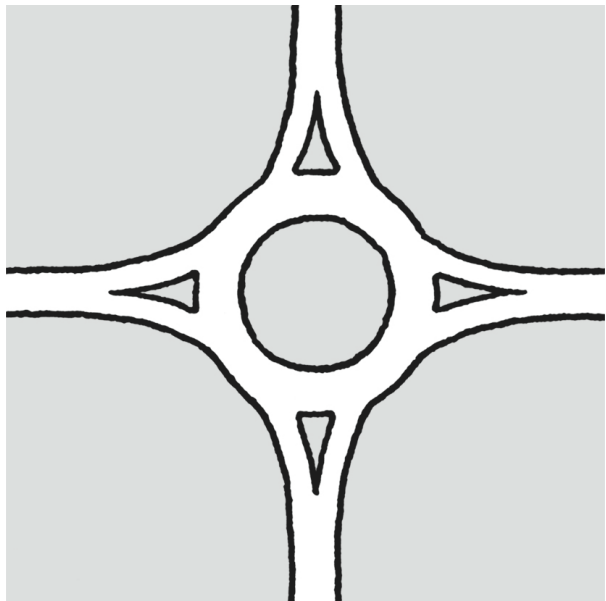
X-kryss er mest i bruk for gater og områder med tett bebyggelse. Ved store trafikkmengder er X-kryss oftest signalregulert. Dersom krysset ikke skal signalreguleres, anbefales det i V121 at det heller anlegges to forskjøvne T-kryss fremfor et X-kryss (Statens Vegvesen, 2013). Årsaken er at avviklingen blir dårlig ved høyere trafikkmengder uten signalregulering. Figur 6 viser en prinsippskisse av et uregulert X-kryss.



Figur 6: Prinsippskisse av X-kryss (Statens Vegvesen, 2013)

Rundkjøringer

Rundkjøringer har som oftest fire armer, men de kan også færre eller flere armer. De aller fleste rundkjøringer har enten ett eller to sirkulerende kjørefelt. Rundkjøring brukes oftest og fungerer best der det er relativt lik trafikkmengde på de forskjellige armene (Statens Vegvesen, 2013). I disse tilfellene vil rundkjøringen gi god avvikling av trafikken. Dersom trafikkmengden er ulik på de forskjellige armene vil ofte armene med lite trafikk få lavere prioritet enn armene med mye trafikk. Figur 7 viser en prinsippskisse av en rundkjøring.



Figur 7: Prinsippskisse av rundkjøring (Statens Vegvesen, 2013)

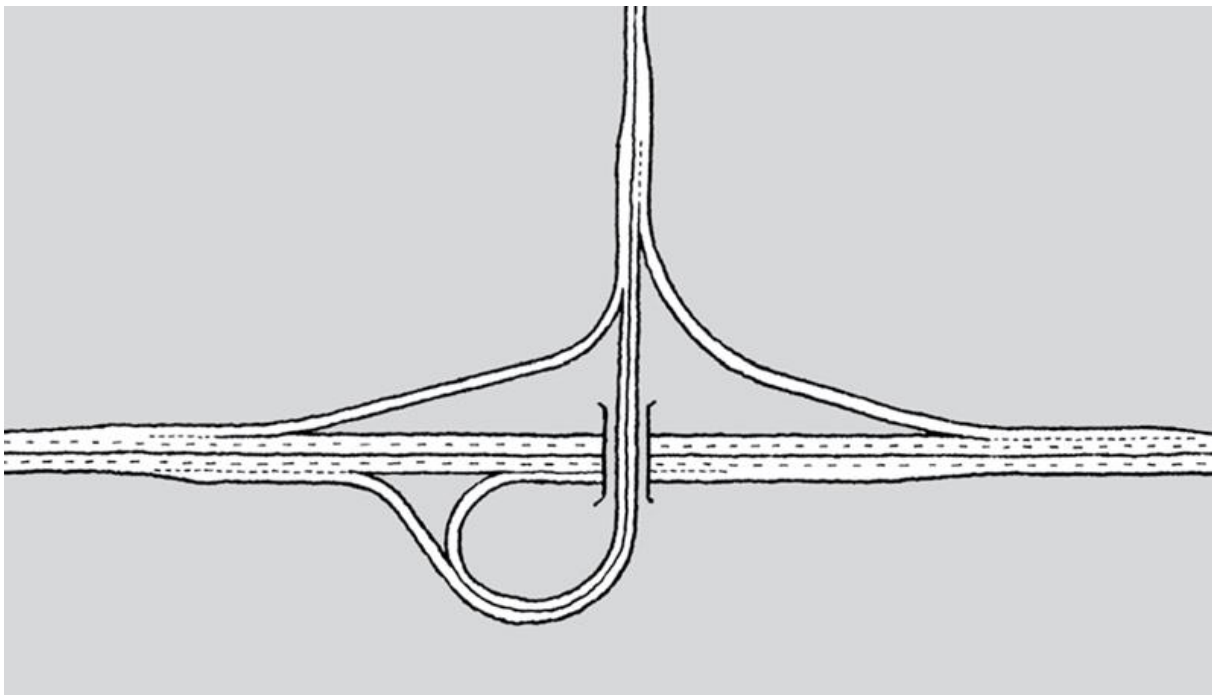
Planskilte kryss

På motor- og motortrafikkveger er det krav til at kryss skal være planskilte. Også på andre typer veger med mye trafikk vil det i mange tilfeller være fornuftig med planskilte kryss (Statens Vegvesen, 2013). Fordelen med planskilte kryss er at de gir prioritet og god avvikling for gjennomgående trafikk både på primær- og sekundærvegen. De vanligste typene planskilte kryss er trompetkryss, ruterkryss og kløverbladkryss samt varianter av disse. Planskilte kryss kan ofte tilpasses for å passe inn med eksisterende infrastruktur, omkringliggende terreng og trafikksituasjonen.

Felles for alle planskilte kryss er at ramper benyttes for å knytte primærvegen og sekundærvegen sammen. Rampen fungerer også som en buffer for trafikk fra hovedvegen dersom det er mye trafikk i påkoblingspunktet med sekundærvegen. Trafikk som skal ut på primærvegen benytter også ramper. Disse trafikantene skal tilpasse seg trafikken på primærvegen og finne en luke de kan entre i. Ved høye trafikkmengder er det vanlig at trafikken på primærvegen hjelper til med dette ved å gi plass eller tilpasse farten.

Trompetkryss

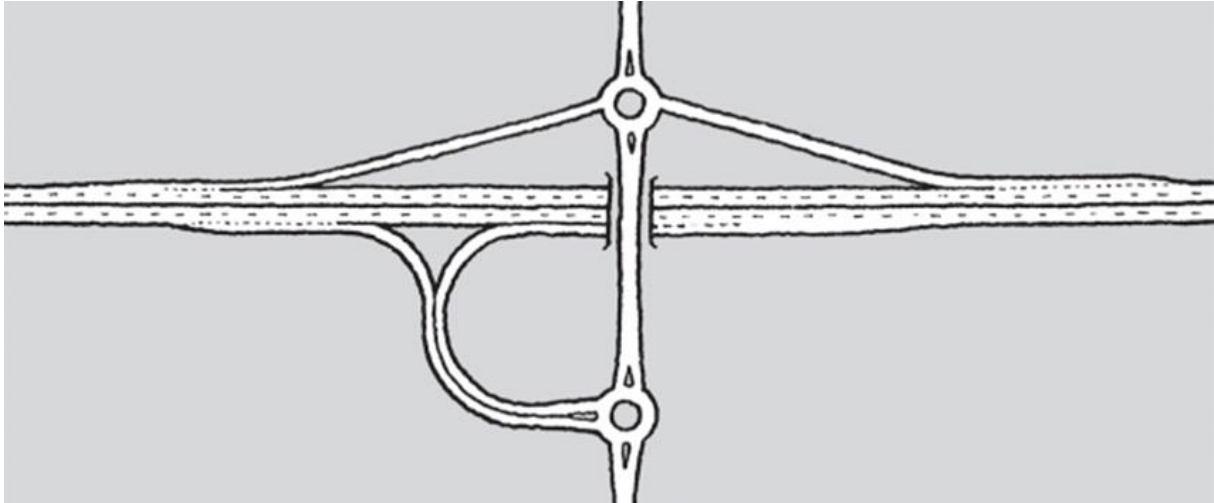
Trompetkryss minner i stor grad om T-kryss, både i utseende og virkemåte. Krysstypen benyttes der en sekundærveg skal kobles planskilt på en primærveg. Trompetkryss kan utformes på forskjellige måter, og tilpasses til terrenget rundt. Sekundærvegen kan krysse enten over eller under primærvegen, avhengig av hva som passer best med terrenget ellers. Figur 8 viser en prinsippskisse av et trompetkryss.



Figur 8: Prinsippskisse av trompetkryss (Statens Vegvesen, 2013)

Kløverblad- og ruterkryss

Kløverblad- og ruterkryss brukes der en sekundærveg krysser en primærveg. Kryssene kan sånn sett sies å tjene samme funksjon som et X-kryss gjør i gater og byområder. Både kløverblad- og ruterkryss utformes i all hovedsak med ordinære rundkjøringer i påkoblingspunktene på sekundærvegen. Figur 9 viser en kombinasjon av ruterkryss øverst og kløverbladkryss nederst.



Figur 9: Prinsippskisse av kombinert ruter- og kløverbladkryss (Statens Vegvesen, 2013)

Rundkjøring på midten

Kryssløsningen er ikke beskrevet i normalene, men er brukt en del på norske veger. Her benyttes en rundkjøring i krysset over motorvegen. Rundkjøringen er oftest seksarmet, med to armer fra sekundærvegen og 4 armer knyttet til motorvegen. Figur 10 viser et eksempel på denne løsningen ved Leangen, øst i Trondheim.



Figur 10: Flyfoto av kryss med rundkjøring over E6 i Trondheim (Kartverket, 2021)

Diamantkryss

En lite brukt krysstype som ikke beskrevet i normalene. Likner et ruterkryss, men rampene kobles på sekundærvegen med T-kryss istedenfor rundkjøringer. Kryssløsningen bør unngås med mindre trafikkmengden på sekundærvegen er svært lav (Nordahl, 2020). Figur 11 viser et diamantkryss ved Jessheim.



Figur 11: Flyfoto av diamantkryss utenfor Jessheim

Valg av kryssløsning

Håndbok V121 beskriver også hvilke kvaliteter et godt kryss skal ha. Kryssene skal blant annet ha gode siktforhold, harmonisere med omgivelse og lokalt særpreg samt ha veldefinerte areal for ulike trafikantgrupper. De viktigste premissene for valg og utforming av kryss er allikevel trafikksikkerhet og avvikling av trafikk. Figur 12 viser en oversikt over hvilke kryssløsninger som kan benyttes ved ulike dimensjoneringsklasser, trafikkmengder og fartsgrenser.

Dimensjonerings-klasse Primærveg	ÅDT	Fartsgrense	T-kryss	X-kryss	Rundkjøring	Planskilt
H1	0–12 000	60	X	X	X	
H2	0–4 000	80	X		X	
H3	0–4 000	90	X		X	
H4	4 000–6 000	80	X		X	X
H5	6 000–12 000	90	X		X	X
H6	>12 000	60	X	X	X	X
H7	>12 000	80				X
H8	12 000–20 000	100				X
H9	>20 000	100				X
H _o 1	0–1 500	80	X		X	
H _o 2	1 500–4 000	80	X		X	
Sa1	<1 500	50	X	X		
Sa2	>1 500	50	X	X	X	
Sa3	≤1 500	80	X			

Figur 12: Tabell hentet fra V121 med kriteriene for valg av kryssløsning (Statens Vegvesen, 2013)

Oversikten viser at særlig X-kryss er uønsket i mange tilfeller. I V121 foreslås det og heller anlegge to forskjøvnede T-kryss istedenfor ett X-kryss der hvor det ikke er signalregulering eller for høy trafikkmengde og fartsgrense.

Nåværende utgave av håndbok V121 ble utgitt i 2013. Siden den gang har det skjedd endringer som gjør at tabellen i Figur 12 ikke er helt i samsvar med gjeldende regler og praksis. I et rundskriv fra 2015 presiseres det at rundkjøring kun unntaksvis skal anlegges på riksveg i dimensjoneringsklasse H2 – H5 (Statens Vegvesen, 2015).

2.1.3 Regulering

For å sikre god avvikling av trafikken gjennom kryss eksisterer det ulike sett med regler på norske veier. Det finnes både generelle regler som i prinsippet alltid gjelder, og regler som angis ved skilt eller signal. I dette kapitlet beskrives de mest brukte reguleringsformene samt skiltene som brukes for å antyde dette.

Høyreregulering

Hovedregelen i trafikken i Norge er at man skal vike for trafikk fra høyre. Regelen omtales ofte bare som «høyreregelen», og gjelder dersom annen regulering ikke er angitt. For kryss hvor alle armene har relativt lik og lav trafikkmengde er dette en løsning som fungerer godt. I tettbygde områder og gater med lite trafikk er det som oftest høyreregelen som gjelder.

Vikeplikt og forkjøringsrett

I tilfeller hvor en veg i et nettverk har betydelig større trafikkmengde, eller har høyere standard enn vegene rundt begynner etterlevelsen av høyreregelen etter hvert å synke. Slike forhold skaper tvil om vikeplikt og prioritet (Transportøkonomisk institutt, 2017). I slike tilfeller innføres det oftest forkjøringsrett på vegen med mest trafikk, med tilhørende vikeplikt for veier som kobler seg på eller krysser forkjøringsvegen. Det er også et alternativ å innføre enkeltstående forkjøringskryss, men det er ikke ønskelig at reguleringen veksler fra kryss til kryss på samme strekning (Transportøkonomisk institutt, 2017). I sentrale områder er det vanlig at gjennomfartsveier og «hovedveier» reguleres som forkjøringsveier, men lokale forhold er bestemmende.

Rundkjøring

Til tross for at rundkjøringer er mye brukt i Norge, finnes det ingen trafikkregler som gjelder særskilt for kjøring i rundkjøring (Statens Vegvesen, 2021). Utover påbudt kjøretretning, er det kun paragraf tre i vegtrafikkloven som gjelder i rundkjøringer.

Vegtrafikklovens §3:

«Enhver skal ferdes hensynsfullt og være aktpågivende og varsom så det ikke kan oppstå fare eller voldes skade og slik at annen trafikk ikke unødig blir hindret eller forstyrret» (Lovdata, 1965).

Førerene har altså ansvar for å sikre god og trygg ferdsel i rundkjøring. Tilpasning av farten, signalisering med blinklys og plassering i kjørebanelen for å vise hvor man skal er viktig. Ved kjøring inn mot rundkjøring har man vikeplikt for trafikk ifra begge retninger, og vikeplikt for de som er i rundkjøringen. Dersom det er to eller flere felt inn mot rundkjøringen eller i rundkjøringen er det vanlig å ligge til høyre dersom man skal til høyre eller rett frem. Trafikk som skal til venstre, ligger til venstre.

Signalregulering




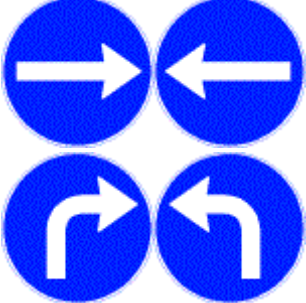
Signalregulering skiller kryssende trafikkstrømmer fra hverandre i tid, og bytter på hvilke av strømmene som har prioritet. Signalregulering gjennomføres på ulike måter. Avhengig av trafikkmengden kan det blant annet innføres egne venstresvingfaser, og fasene kan optimaliseres for ulike trafikkmengder gjennom døgnet.

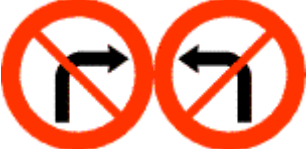


De vanligste er enten tidsstyrte eller trafikkstyrte anlegg. Tidsstyrte anlegg opererer etter faste skjemaer for signalene og opererer uavhengig av trafikken. Trafikkstyrte anlegg tar hensyn til trafikkmengden på vegene inn mot krysset, og tilpasser seg dette (Transportøkonomisk institutt, 2015). På større veger med høye trafikkmengder og signalregulerte kryss er det ikke uvanlig at signalanleggene kobles samme, og tilpasses til hverandre. Hensikten er å sikre best mulig avvikling, men det kan også benyttes til å for eksempel prioritere kollektivtrafikk.

Skilt

Det finnes nærmere 300 offentlige trafikkskilt i Norge. Disse brukes for å opplyse førerne om fartsgrenser, reguleringsform, forbud og påbud, farer, vegvisning med mer. Langs riks- og fylkesveger er det Statens Vegvesen som har skiltmyndighet, og for kommunale veger er det kommunen som har skiltmyndighet (Lovdata, 2005). Kommunen kan i enkelte tilfeller tildeles skiltmyndighet for strekninger med riks- og fylkesveg. I Tabell 3 vises skiltplater som er relevante for denne oppgaven. Skiltplater og beskrivelser er hentet fra skiltforskriften, (Lovdata, 2005).

Tabell 3: Relevante skiltplater og beskrivelse av deres betydning

Skiltplate	Beskrivelse
	<i>Vikeplikt.</i> Angir at kjørende har vikeplikt i begge retninger på kryssende veg.
	<i>Forkjørsveg.</i> Skiltet angir at kjørende fra sideveg eller kryssende veg er pålagt vikeplikt.
	<i>Påbudt rundkjøring.</i> Skiltet angir at kommende rundkjøring er påbudt, og viser kjøreretningen.
	<i>Påbudt kjøreretning.</i> Skiltene angir hvilken retning kjørende skal forlate krysset i. Skiltene brukes også for å angi kjøreretning i gater med envegskjøring.

	<p><i>Svingeforbud.</i> Skiltene angir forbud mot sving i en bestemt retning. Gjelder for det krysset hvor skiltet er plassert, eller neste kryss etter skiltet.</p>				
	<p><i>Fareskilt, rundkjøring.</i> Varsler kommende rundkjøring.</p>				
	<p><i>Fareskilt, trafikksignal.</i> Varsler kommende signalregulert kryss.</p>				
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">100 m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0,2-1,3 km</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">08-17 (08-15)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px; color: red;">18-20</td> </tr> </table>	100 m	0,2-1,3 km	08-17 (08-15)	18-20	<p><i>Underskilt.</i> Kan brukes til å angi forskjellig type informasjon knyttet til hovedskiltet. Eksemplene som er vist, angir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avstand frem til der hovedskiltet blir gjeldende • Strekning hvor hovedskiltet gjelder • Tidsrom for når hovedskiltet gjelder
100 m					
0,2-1,3 km					
08-17 (08-15)					
18-20					

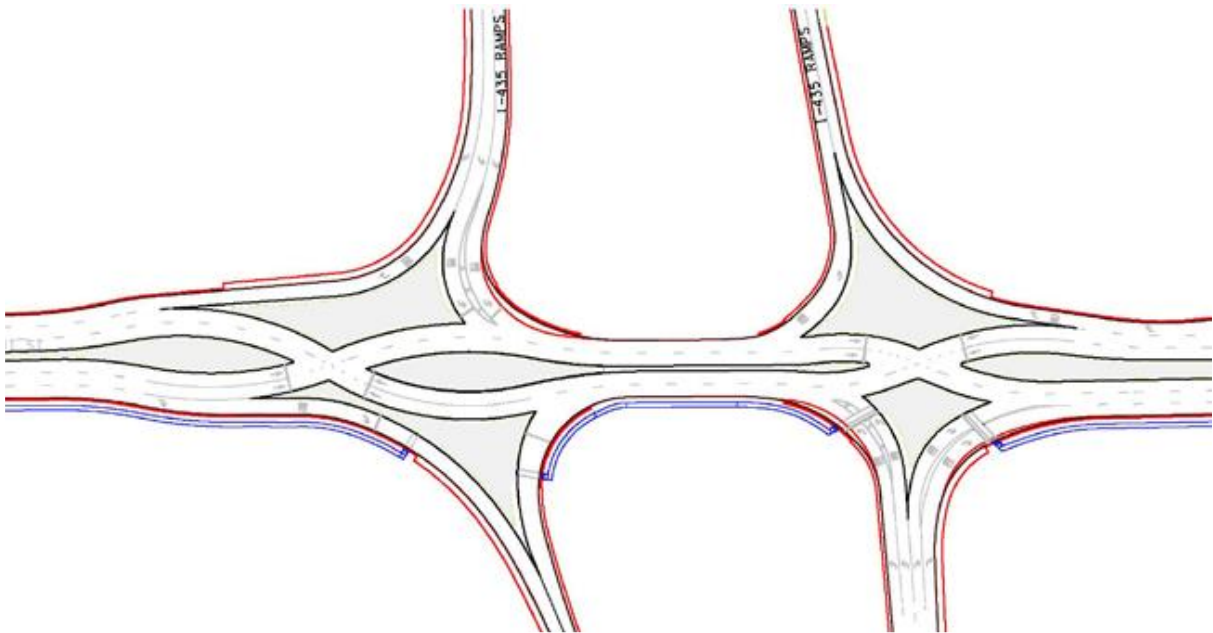
2.2 Alternative kryssløsninger

Det finnes få eksempler på kryssløsninger i Norge som avviker særlig fra løsningene beskrevet i V121. I enkelte land benyttes det derimot en del kryssløsninger som er fremmede i Norge. Nord-Amerika er et foregangsland i arbeidet med denne typen kryss, og har eksperimentert med alternative kryssløsninger i en lengre periode allerede.

En sentral rapport utgitt av FHWA gir en grundig gjennomgang av de mest brukte og anerkjente alternative kryssløsningene i USA (Hughes, Jagannathan, Sengupta, & Hummer, 2010). Tre av disse kryssene beskrives her i detalj. Det første krysset har en interessant virkemåte som ikke er utprøvd i Norge. I Danmark er det bygget et slikt kryss relativt nylig. De to andre kryssene har interessante virkemåter, selv om kryssene ikke nødvendigvis kan anvendes direkte i Norge.

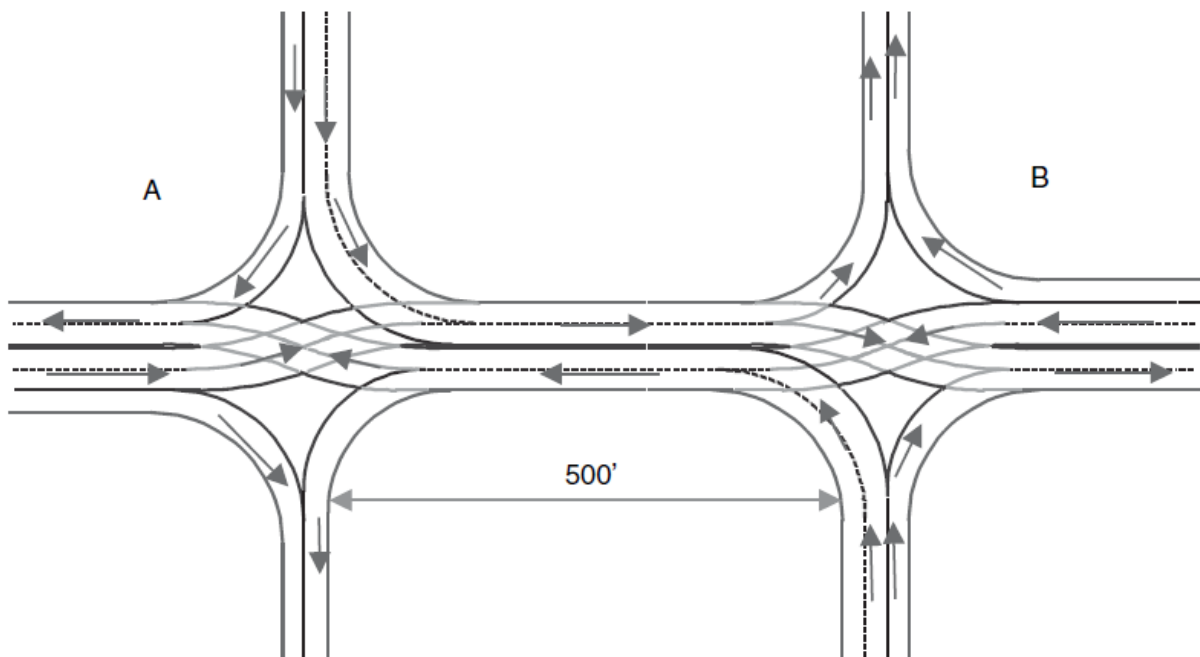
Diverging diamond interchange (DDI)

DDI kalles også for double crossover diamond interchange (DCD). Krysset skiller seg både fra andre alternative løsninger og tradisjonelle kryss. DDI brukes som et planskilt motorvegkryss, på samme måte som kløverblad og ruterkryss brukes i Norge. I et DDI reduseres antallet konfliktpunkter ved at trafikken på primærvegen føres over på venstresiden før rampene fra motorvegen kobles på. Fordelen med dette er at man i alle krysninger kun må ta hensyn til trafikk fra en side. Dermed fjernes en del av konfliktpunktene som gjerne oppstår for venstresvingende. Det er ikke funnet eksempler på denne krysstypen som er regulert på andre måter enn med signalregulering. Det er allikevel trafikkteknisk mulig å regulere krysset uten signalanlegg, for eksempel med vikeplikt. Figur 13 viser en prinsippskisse av et DDI.



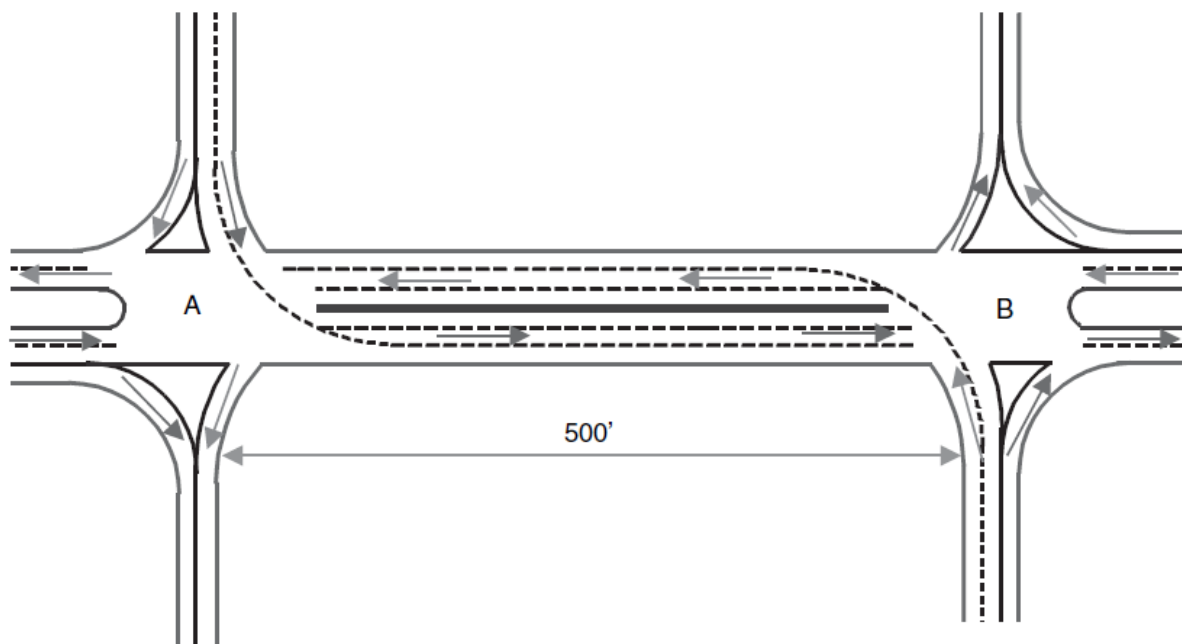
Figur 13: Prinsippskisse av et DDI (Hughes et al., 2010)

Krysstypen er godt beskrevet i litteraturen, både i forskningsartikler og ulike rapporter. Felles for det meste av litteraturen er at den er basert på amerikanske kryss og trafikkforhold. Resultatene som presenteres og forholdene som sammenlignes må derfor sees i lys av dette. En studie fra 2005 sammenlignet lysregulert DDI med et signalregulert diamantkryss (Bared, Edara, & Jagannathan, 2005). Figur 14 viser også et DDI, med piler som indikerer kjøremønsteret for de ulike svingebevegelesene.



Figur 14: Kjøremønster og -retninger i et DDI (Bared, Edara, & Jagannathan, 2005)

Figur 15 viser utformingen av diamantkrysset som sammenlignes med DDI i studien. Også her indikerer pilene og de stiplede linjene kjøremønsteret for de ulike svingebevegelesene.



Figur 15: Kjøremønstre og -retninger i et tradisjonelt diamantkryss (Bared, Edara, & Jagannathan, 2005)

Studien ble gjennomført ved bruk av mikrosimuleringsverktøyet VISSIM. Simuleringene ble gjennomført for ulike trafikkmengder i kryssene; lav, moderat, høy og rush. Simuleringene gir verdier for forsinkelse, antall stopp, kø og kapasitet. Det ble gjennomført forsøk for kryss med både fire og seks felt. Resultatene som gjengis her kommer fra forsøkene med fire felt.

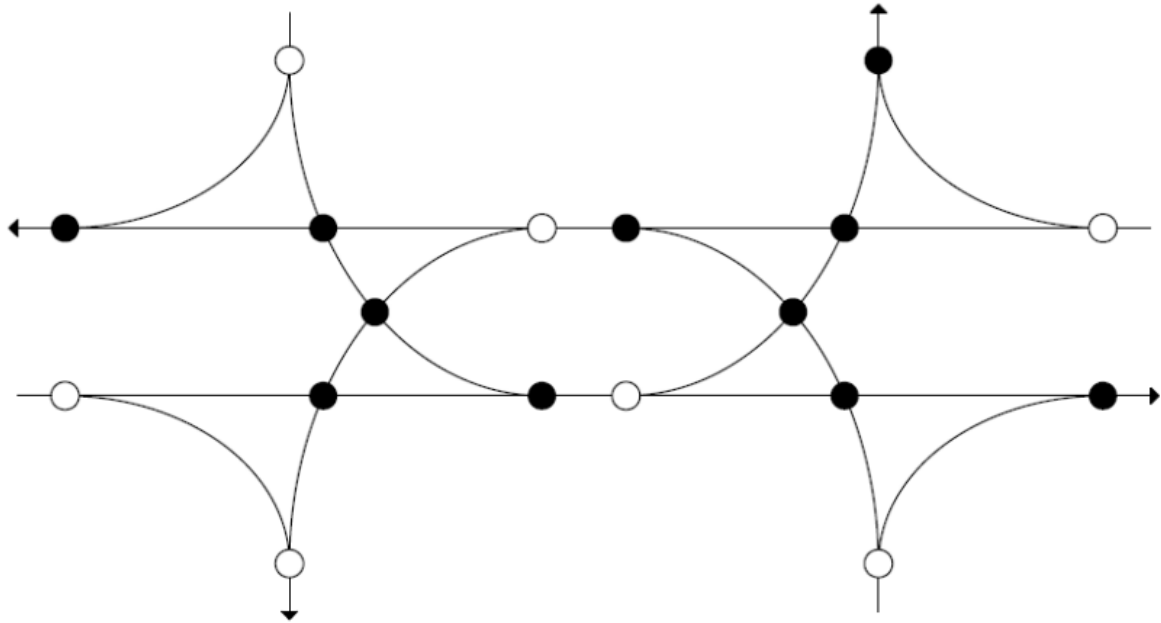
Resultatene viste at krysstypene presterer omtrent likt ved lave og moderate trafikkmengder. Ved høye trafikkmengder presterer DDI bedre enn den tradisjonelle løsningen, både med tanke på kapasitet, kølengde og gjennomsnittlig forsinkelse. Ved høye trafikkmengder halveres forsinkelsen i et DDI sammenlignet med diamantkryss.

Som tidligere nevnt er DDI mest brukt i USA, med over 150 kryss og flere under bygging (WSDOT, 2021). Det finnes også enkelte DDI i Europa. I den danske byen Odense er et tidligere signalregulert diamantkryss ombygget til et signalregulert DDI (Vejdirektoratet, 2015). Etter ombygning er forsinkelsen i krysset redusert og kapasiteten økt. Figur 16 viser krysset før ombygning. I dette tilfellet er krysset regulert med et signalanlegg i tre faser. Ved høye trafikkmengder ble enkelte av rampene til tider fullstendig tilbakeblokkert, og køen strakte seg bakover ut på motorvegen (Vejdirektoratet, 2015).



Figur 16: Flyfoto fra Odense som viser krysset før ombygging (Det Kgl. Bibliotek, 2022)

Figur 17 viser de sorte punktene hvor primærkonflikter som påvirker trafikkavviklingen oppstår i et signalregulert diamantkryss som dette. Totalt er det 11 punkter hvor de ulike trafikkstrømmene er i konflikt med hverandre gjennom et slikt kryss. Dette er konflikter hvor trafikkstrømmer krysser hverandre eller flettes sammen.



Figur 17: Konfliktpunkter i et diamantkryss (Vejdirektoratet, 2015)

Figur 18 viser krysset etter ombygning. Det er ikke gjort store inngrep for å frigjøre plass til det nye krysset, og det er heller ikke gjort veldig store forandringer området. Det nye krysset har altså ikke særlig større arealbehov enn det gamle. Den største forandringen er naturligvis kjøremønsteret gjennom krysset. Teknisk Ukeblad lagde en artikkel om dette krysset i 2015. Her ble kryssets virkemåte og prosessen med byggingen av krysset i Danmark beskrevet for norske lesere (Olsen, 2015). I den forbindelse uttalte sjefsingeniør i Statens vegvesen, Tor Jakob Smeby blant annet følgende til Teknisk Ukeblad:

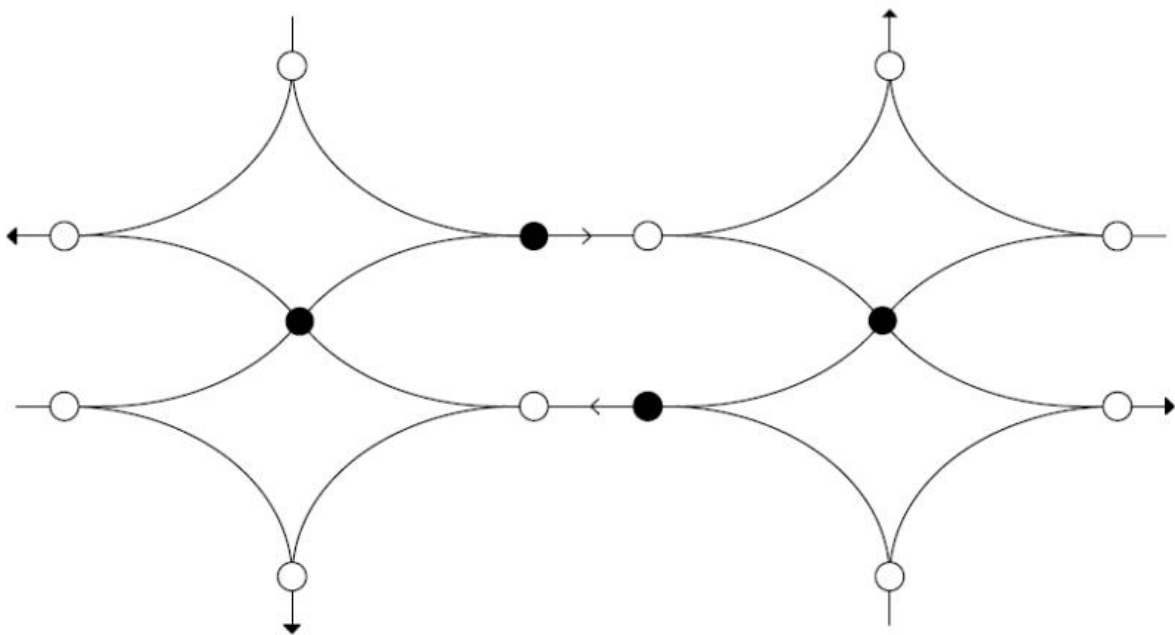
«– Teoretisk har det mye for seg, men i Norge ønsker vi ikke slike løsninger. Vi bruker et lite antall standardløsninger som folk kjenner.»

Erfaringene med krysset er ifølge det danske Transport-, Bygnings- og Boligministeriet svært gode. Det nye kjøremønsteret har gitt redusert reisetid til tross for økt trafikkmengde sammenlignet med det gamle krysset (Transport-, Bygnings- og Boligministeriet, 2019).



Figur 18: Flyfoto fra Odense som viser krysset etter ombygging til DDI (Det Kgl. Bibliotek, 2022)

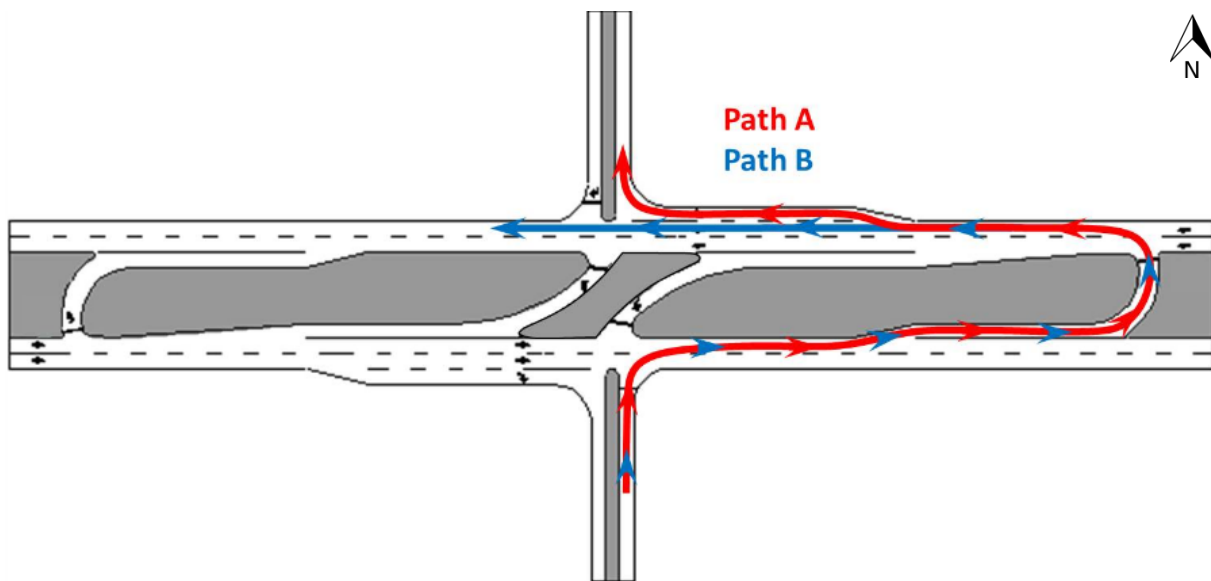
Figur 19 viser de sorte punktene hvor det oppstår primærkonflikter som påvirker trafikkavviklingen i et signalregulert DDI. I dette tilfellet er det kun fire punkter, som er betraktelig færre enn de 11 punktene i diamantkrysset. Denne reduksjonen i antall konflikter er hovedgrunnen til at dette krysset gir bedre avvikling av trafikken og lavere forsinkelse, siden lyskryssene kan operere med to istedenfor tre faser.



Figur 19: Konfliktpunkter i et DDI (Vejdirektoratet, 2015)

Restricted crossing U-turn intersection (RCUT)

RCUT kalles også for et «superstreet»-kryss. I dette krysset må trafikk fra sekundærvegen (nord-sør) alltid kjøre til høyre. Kjøretøy som skal rett frem eller til venstre må deretter gjennomføre en U-sving, slik at de kommer inn i krysset igjen på primærvegen (øst-vest). Der vil de komme inn i krysset igjen, og ha mulighet til å kjøre rett frem eller gjennomføre enten høyre- eller venstresving. Denne krysstypen kan reguleres både med og uten signalanlegg, avhengig av trafikkmengden (Hughes et al., 2010). Av bevegelsesmønsteret i krysset følger det at RCUT er best egnet der en stor andel av trafikken fra sekundærvegen skal til venstre. I mange tilfeller vil da en høy andel også gjennomføre U-sving, slik at denne ofte er signalregulert. Figur 20 viser en prinsippskisse av et RCUT, hvor primærvegen går øst-vest. I figuren vises kjøremønsteret for bevegelsen rett frem (A) og venstresving (B) for trafikk på sekundærvegen.

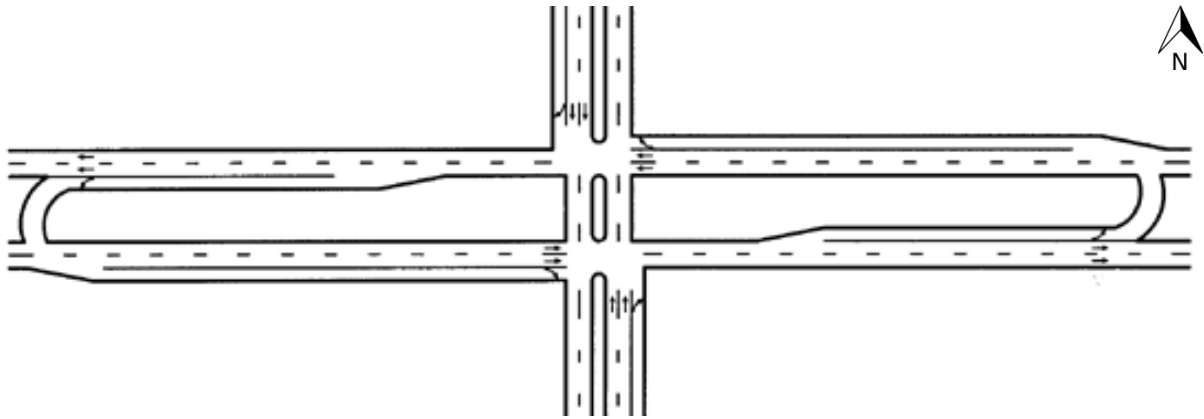


Figur 20: Kjøremønstre for venstresving og rett igjennom i RCUT (Hughes et al., 2010)

I dette krysset gjennomføres U-svingen i arealet mellom kjørefeltene på hovedvegen, altså i midtdeleren. For at det skal være plass til at også lange kjøretøy kan gjennomføre u-sving anbefaler FHWA en midtdeler som er 40 – 70 fot (ca. 12 – 21 m) bred (Bared, 2009). Midtdeler brukes relativt sjelden der i plankryss i Norge. Det benyttes heller ikke midtdeler med dimensjoner i nærheten av det som kreves for denne krysstypen. Et RCUT kryss vil altså kreve et betraktelig større areal enn det noen av dagens plankryss gjør.

Median U-turn intersection (MUT)

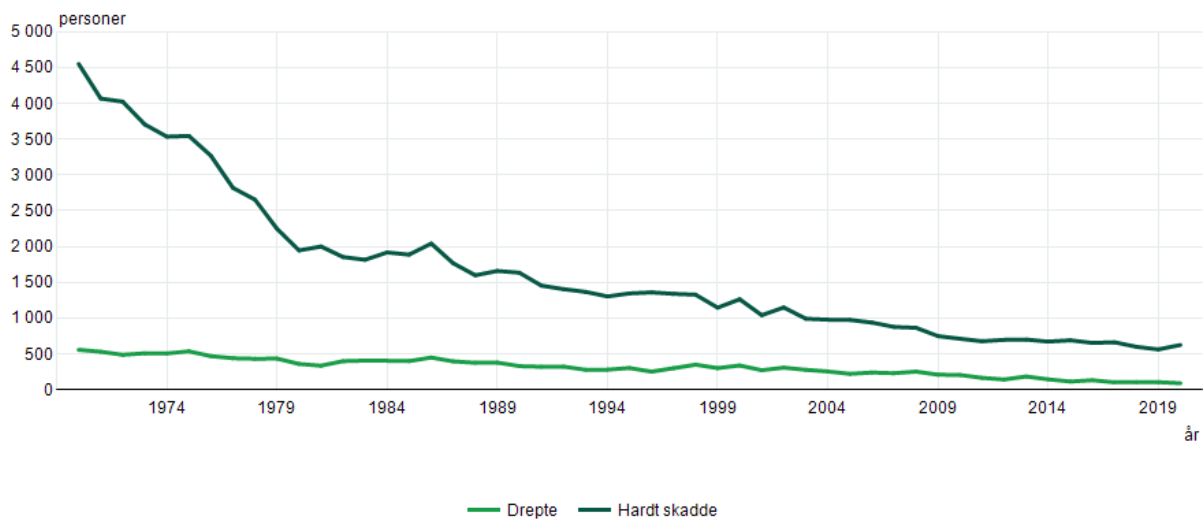
MUT reduserer problematikken med venstresving ved å fjerne muligheten for å gjennomføre venstresving i selve krysset. Førere på primærvegen (øst-vest) som skal til venstre må først kjøre gjennom krysset. Deretter kan de gjennomføre en u-sving, og så kjøre tilbake til krysset igjen. Her gjennomføres en høyresving, og totalt sett har man da gjennomført en venstresving. Førere som skal til venstre fra sekundærvegen (nord-sør) må først ta til høyre, deretter gjennomføre en u-sving og kjøre rett igjennom krysset. Muligheten for å kjøre rett gjennom krysset er til stede både for primær- og sekundærvegen. Dette sikrer at trafikanter som skal rett frem ikke blir unødvendig forsinket. Fordelen er at det kan være grønt i motgående retninger samtidig, uten behov for egen venstresvingfase. U-svingen kan for en del trafikkmengder reguleres med vikeplikt for de som gjennomfører den. Figur 21 viser en prinsippskisse av et MUT.



Figur 21: Prinsippskisse av MUT (Wikipedia, 2021)

2.3 Trafikksikkerhet

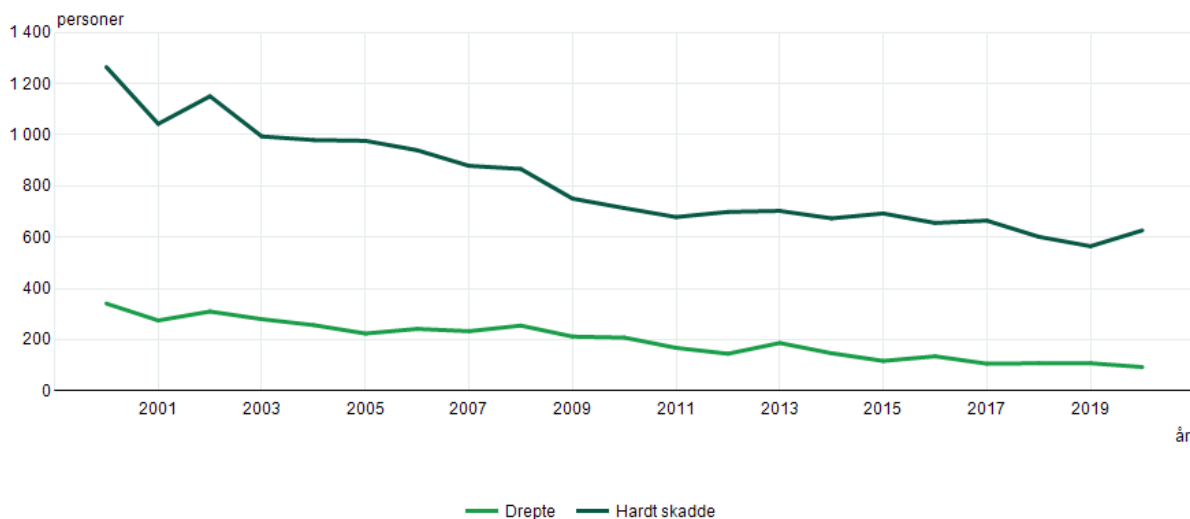
Siden toppåret 1970 og frem til 2021 er antallet drepte i trafikken redusert fra 560 til under 100. Reduksjonen har skjedd på tross av en betydelig økning i antall kjørte kilometer pr år i den samme perioden (Statistisk sentralbyrå, 2021). Måltrettet arbeid fra både norske myndigheter og andre aktører er årsaken til reduksjonen. Utover 70 og 80-tallet kom regler om bruk av setebelter, og dette ble etter hvert påbudt både for fører og alle passasjerer. Figur 22 viser utviklingen i antall drepte og hardt skadde i trafikken fra 1970 til 2020. Antall hardt skadde ble drastisk redusert gjennom 70-tallet, og det antas at bruk av setebelter bidro til denne reduksjonen. Reduksjonen etter dette og reduksjonen i antall hardt skadde skyldes blant annet forbedring av sikkerhet på kjøretøyene, økt kunnskap innenfor akuttmedisin og godt arbeid med trafikksikkerhet.



Figur 22: Utvikling av antall drepte og hardt skadde i trafikken fra 1970 til 2020 (Statistisk sentralbyrå, 2021)

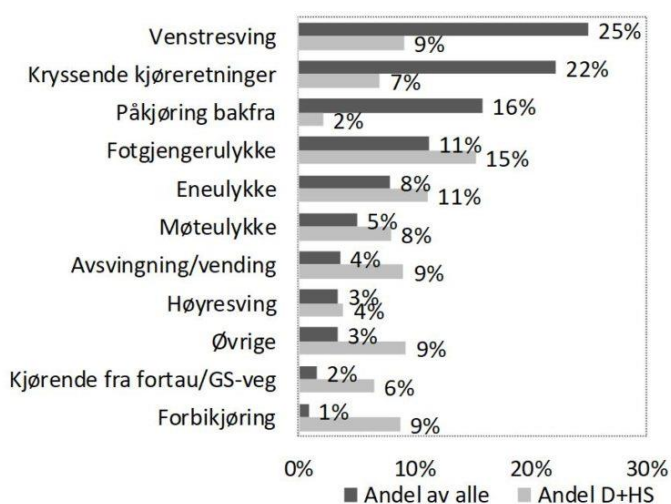
I 2001 fastsatt stortinget Nullvisjonen, en visjon om null drepte og hardt skadde i trafikken (Samferdselsdepartementet, 2021). Et viktig prinsipp i Nullvisjonen er at trafikksikkerhet skal ligge til grunn ved planlegging og utforming av infrastruktur og transportsystemer. Figur 23 viser utviklingen i antall drepte og hardt skadde mellom 2000 og 2020. Denne utviklingen tyder på at arbeidet med Nullvisjonen har hatt en betydelig effekt. Som et ledd i arbeidet med nullvisjonen har stortinget vedtatt et delmål om maksimalt 350 drepte eller

hardt skadde i trafikken i 2030. Det er samfunnsøkonomiske vurderinger som ligger bak dette målet, siden det ville blitt svært ressurskrevende å tolke målet i nullvisjonen helt bokstavelig. Sammen med blant annet politi og fylkeskommunene utarbeider Statens Vegvesen nasjonale tiltaksplaner for trafikksikkerhet for å nå Stortingets mål (Statens Vegvesen, 2021).



Figur 23: Utvikling av antall drepte og hardt skadde i trafikken fra 2000 til 2020 (Statistisk sentralbyrå, 2021)

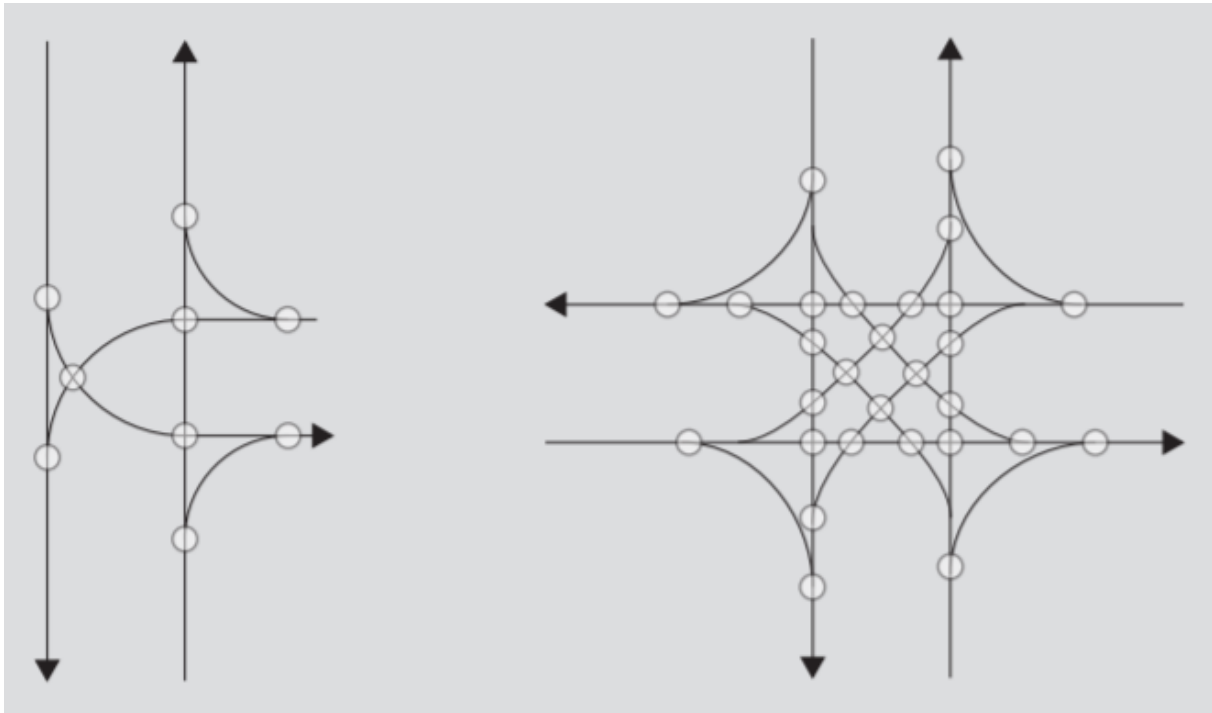
I perioden mellom 2005 og 2020 var 70 prosent av dødsulykkene langs norske veier enten møteulykker (36 prosent) eller utforkjøringsulykker (34 prosent) (Ringen, 2020). I samme periode skjedde 8 prosent av dødsulykkene i kryss. Dersom man inkluderer ulykker med hardt skadde og ulykker med personskade endrer bildet seg. Nærmere 40 prosent av disse ulykkene skjer i kryss. Figur 24 viser andelen ulykker med personskade for ulike ulykkestyper i plankryss, og andelen drepte og hardt skadde for hver av ulykkestypene.



Figur 24: Andelen ulykker med personskade for ulike ulykkestyper (Transportøkonomisk institutt, 2021)

Også her peker venstresving seg ut som en problematisk svingebevegelse. At en stor andel av ulykkene med personskade skjer i kryss, er ikke overraskende. Figur 25 viser mulige konfliktpunkter i T- og X-kryss med tanke på trafikkavvikling. Den illustrerer også utfordringene i disse kryssene med tanke på ulykker. For en venstresving i et T-kryss er det 3 punkter hvor kollisjonsulykker med andre trafikkstrømmer kan skje. I et X-kryss øker dette antallet til 5 punkter. At farten i mange tilfeller er relativt lav, i hvert fall for et av

kjøretøyene involvert, bidrar til å redusere konsekvensen av disse ulykkene. Allikevel er det som statistikken viser et betydelig skadepotensial i denne typen kryss.



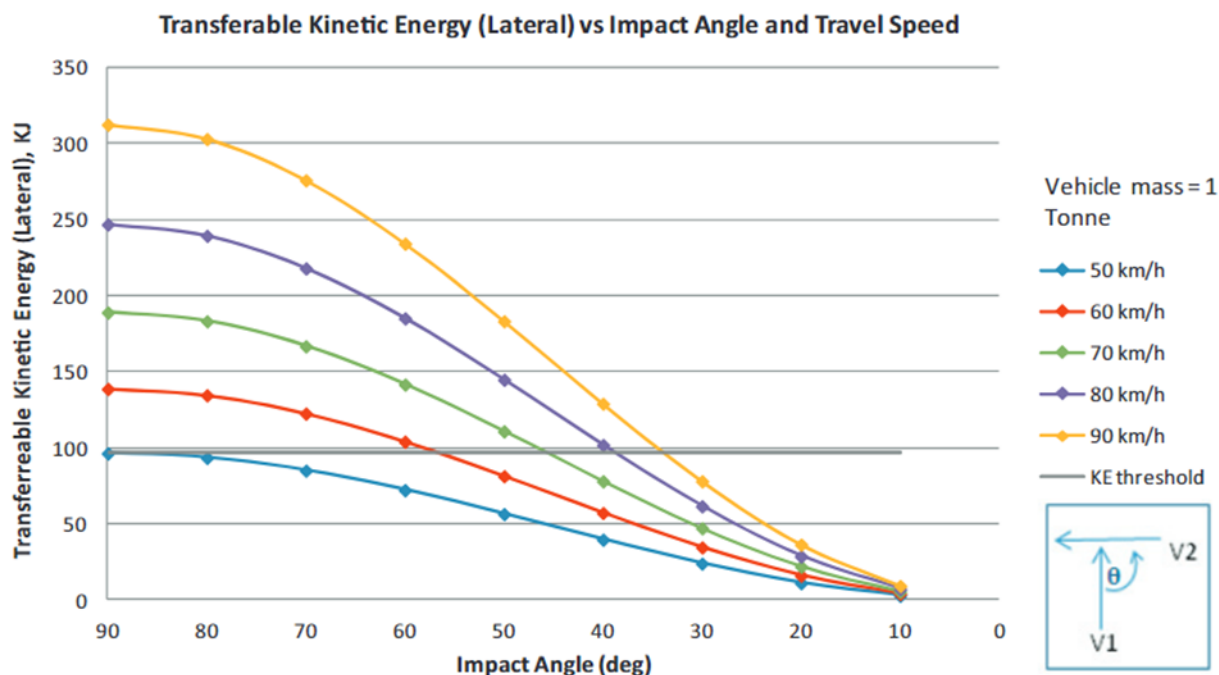
Figur 25: Mulige konfliktpunkter i T- og X kryss (Statens Vegvesen, 2013)'

Ved lave hastigheter vil skadeomfanget med tanke på personskade ofte være begrenset i disse krysstypene. Det er allikevel et stort potensial for materielle skader. Det kan føre til betydelige kostnader, selv om det er begrenset med personskade.

Trafikksikkerhet og forhindring av ulykker vil naturligvis være et sentralt tema ved utforming av nye kryssløsninger og prinsipper for trafikkavvikling. En studie som så på dette temaet fant at mange av dagens kryssløsninger ikke er ideelt utformet med tanke på sikkerhet (Candappa, Logan, Nes, & Corben, 2014). Studien ble innledet en analyse av ulykkene i Victoria, Australia. Det ble deretter gjennomført en gjennomgang av relevant litteratur før forfatterne utviklet og prøvde ut ulike prinsipper. Denne studien resulterte i både sentrale hovedprinsipper for sikkerhet og kryssutforminger som inkorporerer disse. Hovedprinsippene som foreslås i denne studien er:

- Begrensing av hastigheten gjennom kryss til 50 km/h
- Unngå 90 graders kollisjonsvinkler
- Separere myke trafikanter fra vegen der hvor hastigheten er over 30 km/h
- Begrensing av antall konfliktpunkter
- Tilrettelegging for gjensidig ansvar i kryssene

Figur 26 er hentet fra studien, og viser sammenhengen mellom overførbar kinetisk energi og kollisjonsvinkler ved ulike hastigheter.



Figur 26: Sammenhengen mellom overførbart kinetisk energi, kollisjonsvinkler og hastighet (Candappa et al., 2014)

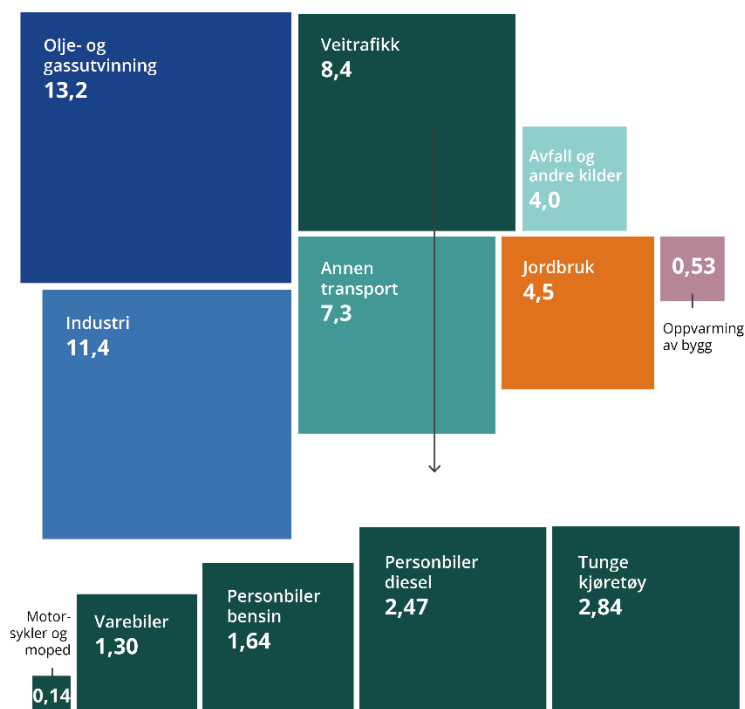
Den grå horisontale linjen representerer en grenseverdi for hvor mye kinetisk energi et gjennomsnittlig menneske tåler, 96,5 kJ. Figuren viser at selv for hastigheter på 80- 90 km/h blir den overførbare kinetiske energien tolererbar ved kollisjonsvinkler under 40-30 grader (Candappa et al., 2014).

Mange av konseptene for alternative kryssløsninger baserer seg på å dele opp venstresvingbevegelsen. En grunntanke som flere konsepter baserer seg på er å gjennomføre venstresving med en høyresving etterfulgt av u-sving. En studie fra Florida sammenlignet forekomsten av ulykker i kryss med direkte venstresving og kryss med høyresving etterfulgt av u-sving (Dissanayake, Lu, Castillo, & Yi, 2002). Forfatterne valgte ut kryss med tilsvarende trafikkmengde og antall kjørefelt, men med ulik løsning for venstresvingende. Videomateriale fra kryssene ble samlet inn, og analysert. I tillegg ble ulykkesdata fra kryssene samlet inn og analysert. Funnene i studien viste at direkte venstresving gav flere konflikter enn høyresving etterfulgt av u-sving. Direkte venstresving gav også mer alvorlige konflikter.

2.4 Utslipp og miljøhensyn

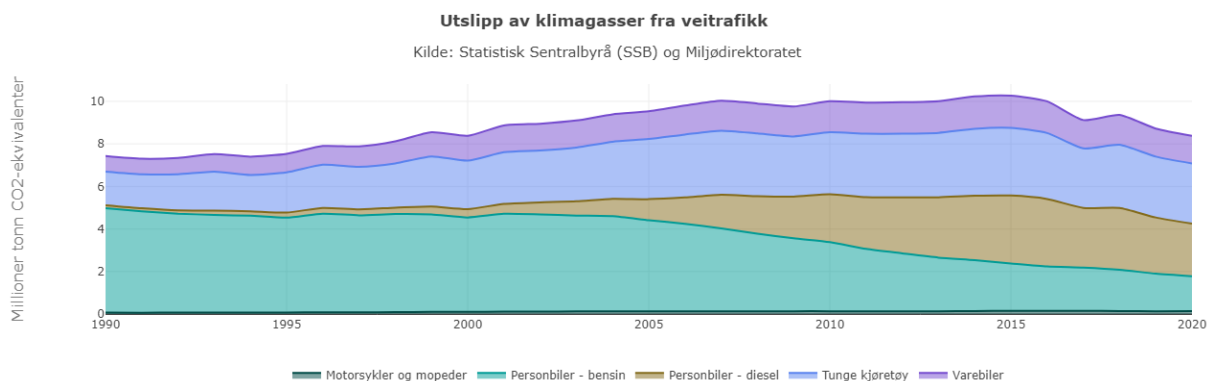
Ifølge miljødirektoratet slapp Norge ut 49,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i løpet av 2020 (Miljødirektoratet, 2021). Utslippene ble redusert med 1 million tonn ekvivalenter fra 2019 til 2020. I 2020 stammet 8,4 millioner tonn av utslippene fra vegtrafikken. Dette omfatter utslipp fra tunge kjøretøy, personbiler, varebiler og MC. Figur 27 viser Norges utslipp fordelt på hovedkategoriene. Totalt sett utgjør transport den største kategorien med 15,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Norges totale klimagassutslipp



Figur 27: Norske klimagassutslipp i 2020 (Miljødirektoratet, 2021)

Som Figur 28 viser har utslippene fra vegtrafikken vært mer eller mindre stabile siden 1990, til tross for en stor økning i kjørelengden. Modernisering og effektivisering av kjøretøyparken har bidratt til at utslippene ikke har økt. Reduksjonen i utslipp fra 2015 tilskrives i stor grad elektrifisering av personbilparken og overgang til biodrivstoff for tunge kjøretøy.



Figur 28: Klimagassutslipp fra ulike kjøretøy i perioden 1990 til 2020 (Miljødirektoratet, 2021)

Fra myndighetene sin side er det et ønske om at byene skal være fine og attraktive plasser å bo, og at utslippene skal være lave. Det er derfor vedtatt et nullvekstmål for personbiltransport. Nullvekstmålet for personbiltrafikk legger opp til at de største byene skal redusere klimagassutslipp, luftforurensing, støy og kø. Det er tenkt at veksten i persontransport skal tas av kollektivtransport (Klima- og miljødepartementet, 2021). TØI har gjennomført en framskriving av transportbehovet mellom 2018 og 2050. Innen 2050 er det ventet omtrent 18 prosent økning i antallet turer og 33 prosent økning i persontransportarbeidet (Madslie, Hulleberg, & Kwong, 2019). En viktig forutsetning for

disse framskrivingene er at de gjelder for en situasjon hvor det ikke blir innført tiltak eller virkemidler som påvirker etterspørselen etter transport.

Bymiljøavtaler

I Norge har staten inngått såkalte byvekstavtaler med flere av de største byene og byregionene. Byvekstavtaler er et viktig virkemiddel i arbeidet med å nå nullvekstmålet. Disse avtalene innebærer at staten finansierer 50 prosent av kostnadene ved utbygging av store kollektivprosjekter. Resten av finansieringen kommer fra innkreving av bompenger og andre bidrag. Staten har til nå inngått fire byvekstavtaler (Samferdselsdepartementet, 2021):

- Osloområdet
- Bergensområdet
- Nord – Jæren
- Trondheimsområdet

Også større samferdselsprosjekter kan være en del av bymiljøavtalene. Særlig prosjekter av nasjonal og regional betydning. Nullvekstmålet må fortsatt ligge til grunn, og ofte har disse prosjektene et aspekt knyttet til kollektivreiser. Et eksempel på et slikt prosjekt er Nydalsbrua på Sluppen i Trondheim. Prosjektet er en del av en større satsing i området, som vil bedre avviklingen for kollektivtransport og privatbiler (Miljøpakken, 2021).

Staten bidrar også med midler til mindre tiltak for kollektiv, sykkel og gange gjennom en belønningsordning. Et viktig aspekt med belønningsordningen er at økning i kollektivtransporten skal tas på bekostning av personbiltransporten.

«Ordningen skal stimulere til bedre framkommelighet, miljø og helse i storbyområdene ved å dempe veksten i personbiltransport og øke antallet kollektivreiser på bekostning av reiser med personbil.» (Samferdselsdepartementet, 2021).

Staten har foreløpig belønningsavtaler med fem byer/regioner:

- Grenland
- Tromsø
- Nedre Glomma
- Kristiansand
- Buskerudbyen

En begrensning med disse avtalene er at veksten i persontransport skal tas med kollektivtransport, sykkel og gange. Dermed begrenses tiltakene som kan gjennomføres, siden alle tiltak som bedrer avvikling av trafikken kan føre til en økning i turer med privatbil. Det er allikevel mulig at omlegging av trafikk og stenging av gater for biltrafikk fører til økt press på nye steder i trafikken. Da kan det bli aktuelt med tiltak som bedrer trafikkavviklingen også innenfor disse avtalene.

Forhold som påvirker utslipp

En studie gjennomført i Kuwait i 2011 så på utslipp fra kjøretøy ved kjøring i kø og tett trafikk. Ti forskjellige kjøretøy med ulik kilometerstand, alder og motoreffekt var med i forsøket. Apparatet «Auto Gas Emission Analyzer» ble plassert i eksosrøret og målte utslippene fra kjøretøyene underveis, samt temperatur og omdreininger pr minutt for motoren. Deretter ble det foretatt kjøreturer med alle kjøretøyene rundt i Kuwait sentrum på tidspunkter med mye trafikk. Målinger fra tomgangskjøring og sakte akselerasjon ble deretter analysert. Resultatene fra forsøket viste at alle kjøretøy hadde lavere utslipp ved sakte akselerasjon enn ved tomgangskjøring. Utslippene var også høyere for bilene med

høy kilometerstand sammenlignet med de som hadde lav kilometerstand (Elmi & Rifai, 2012).

En litteraturstudie gjennomført av Pandian, Gokhale og Ghoshal i 2009 presenterer en rekke interessante funn. Forfatterne ønsket å se på effekten trafikk og kjøretøy har på utslipp i nærheten av vegkryss. De så derfor på relevant litteratur innenfor hovedkategoriene trafikk, utforming av veger og kjøretøy. Noen interessante funn fra artikkelen er listet opp under:

Trafikk:

- Utslipp fra kjøretøy er høyere i overgangen fra tomgang til akselerasjon enn ved tomgangskjøring.
- Veksling mellom kjøring i trafikk med fri flyt og kø fører til høyere utslipp.

Utforming av veg:

- Drivstofforbruk og utslipp er svært avhengig av utforming og strukturen på veger og gater.
- Utslipp er høyere ved signalregulerte kryss enn ved rundkjøringer.
- En studie fra Sverige hvor et signalregulert kryss ble erstattet med en rundkjøring viste at utslippene ble redusert med omtrent 30 prosent som følge av dette.

Kjøretøy:

- Utslippene fra kjøretøy øker med alderen og økende kilometerstand.

Funnene som oppsummeres i denne artikkelen stammer fra ulike typer studier gjennomført i forskjellige deler av verden. En del av studiene er gjennomført ved bruk av simuleringer, mens andre er gjennomført gjennom feltobservasjoner. Resultatene fra disse studiene er naturligvis ikke identiske, men de har store likheter. Forfatterne konkluderer med at utslipp fra trafikken påvirkes av trafikkavvikling, gateutforming og egenskaper ved kjøretøy. (Pandian, Gokhale, & Ghosal, 2009)

En studie fra Canada gjennomført i 2014 så på sammenhengen mellom trafikkmengder, køkjøring og utslipp i tettbygde områder (Alam, Ghafghazi, & Hatzopoulou, 2014). Et tettbygd nabolag i Montreal, Canada ble modellert i en transportmodell. Ulike strategier for å redusere utslipp og luftforurensing ble dermed tatt med i modellen. Hovedstrategiene var:

- Spredning av intern trafikk gjennom stenging av gater og envegskjøring
- Reduksjon av gjennomfartstrafikk

Resultatene fra denne studien viste at reduksjon av gjennomfartstrafikken reduserte utslippene mest. Spredning av trafikken gav en liten reduksjon i utslippene, men hadde en positiv effekt på luftkvaliteten. Dette skyldtes at utslippene ble spredt utover større områder. Studien konkluderer med at kjøremønster og trafikkbelastning kan påvirke utslipp av klimagasser og hvor store områder som blir berørt av disse utslippene.

2.5 Modellering

Det er flere fordeler ved å bruke simuleringsverktøy til å teste ulike kryssløsninger og konsepter for trafikkavvikling. Simuleringer krever relativt lite tid og ressurser for å gjennomføres, særlig sammenlignet med forsøk i felt. Resultatene produseres fortløpende, og er tilgjengelig umiddelbart. Dermed kan flere forsøk gjennomføres over en kort

tidsperiode. Simuleringer muliggjør også forsøk som ikke ville vært forsvarlig å gjennomføre på ekte. Simuleringer har naturligvis også sine begrensinger. Den som gjennomfører simuleringene, må ha god kunnskap til modelleringsverktøyet og dets begrensinger. Dersom simuleringer skal gjennomføres for et bestemt område er man avhengig av at inndataen er detaljert og av god kvalitet for å kunne stole på resultatene. Innhenting og validering av denne inndataen er ofte tidkrevende og kostbar. Selv om flere verktøy nå leverer realistiske simuleringer av god kvalitet, har de sine begrensinger. Derfor er det viktig å være bevisst over begrensingene til det simuleringsprogrammet man anvender.

Det finnes i hovedsak to ulike måter å simulere trafikk på, stokastisk eller deterministisk. Stokastiske simuleringsmodeller tar hensyn til at ulike parametere vil variere blant førere. Resultatene fra stokastiske simuleringer kan derfor variere selv om inngangsparameterne er like. Derfor er det viktig å gjennomføre flere simuleringer og beregne gjennomsnittlige verdier utfra disse. Deterministiske simuleringer tar ikke hensyn til individuelle forskjeller, og vil gi samme resultat for like simuleringer.

Det finnes også ulike detaljnivåer simuleringer kan gjennomføres på. Det høyeste detaljningsnivået finnes i mikroskopiske modeller, deretter kommer mesoskopiske modeller og til slutt makroskopiske modeller. I tillegg finnes det hybrider mellom disse.

Mikroskopisk

Her modelleres individuelle kjøretøy hver for seg, og er avhengige av hverandre. Hvordan disse kjøretøyene interagerer med hverandre vil påvirke avviklingen og trafikkbildet. Feltskifte, vegvalg og bilfølgemodeller er eksempler på modeller på mikronivå. Mikroskopiske modeller egner seg når det skal gjennomføres detaljerte simuleringer og analyser av ett enkelt kryss eller små nettverk.

Mesoskopisk

I dette nivået simuleres ikke kjøretøyene individuelt, men man ser på grupper av kjøretøy. Det tas ikke hensyn til individuelle forskjeller, men det ses heller på atferden i gruppen som helhet. Mesoskopiske modeller er i likhet med mikroskopiske modeller velegnet for å gjennomføre enkle simuleringer av ett enkelt kryss eller små nettverk.

Makroskopisk

I en makroskopisk modell sees det ikke på individuelle kjøretøy eller klynger av kjøretøy, men hele trafikkstrømmer. Disse trafikkstrømmene er basert på gjennomsnittlige verdier som beskriver føreres atferd. Makromodeller brukes gjerne for å beskrive store områder, og har gjerne et lengre tidsperspektiv.

2.5.1 Sidra intersection 9

SIDRA ble lansert for første gang helt tilbake i 1984, og er utviklet av det australske selskapet Sidra Solutions. Navnet er et akronym for "Signalized (and unsignalized) Intersection Design and Research Aid". SIDRA er et mikro-analytisk program som kan brukes til å analysere både enkeltstående kryss og sammensatte nettverk (Sidra solutions, 2021).

Beregningene kan gjennomføres med SIDRA sine egne modeller, eller med modellene fra Highway Capacity Model (HCM). Det er også mulighet for å justere ulike parametre og inngangsverdier for å tilpasse modellene til ulike forhold. Beregningsmodellene analyserer kjørefelt med tilhørende svingebevegelser hver for seg, og beskriver trafikkavviklingen i kryss og nettverk basert på dette. Ulike trafikantgrupper som tunge og lette kjøretøy,

busser, trikk/bybane, syklistar og fotgjengere kan modelleres. Disse gruppene kan tildeles egne signalfaser, kjørefelt eller segmenter av kjørefelt på enkelte strekninger.

Rundkjøringer

I SIDRA sin standardmodell for modellering av rundkjøringer er det den sirkulerende strømmen i rundkjøringen som er avgjørende for trafikkavviklingen. I denne strømmen er kritisk tidsluke og følgetid viktige parametre som benyttes for å beregne og beskrive trafikkavviklingen. Disse parameterne er definert i ITS Terminology (Appel, Aakre, & Kronborg, 2018):

Kritisk tidsluke (Critical gap): Minimum tidsluke i sekunder som kreves mellom påfølgende kjøretøy i en trafikkstrøm for at en gjennomsnittlig fører entrer eller krysser denne trafikkstrømmen.

Følgetid (Follow up headway): Gjennomsnittlig tidsluke mellom påfølgende kjøretøy i en tett trafikkstrøm som benytter samme tidsluke for å entre eller krysse en konflikterende trafikkstrøm.

Både trafikkmengden og den geometriske utformingen av rundkjøringen vil påvirke disse parameterne. Forhold som påvirker følgetiden er (Sidra solutions, 2021):

- Rundkjøringens diameter
- Bredden på feltene i rundkjøringen
- Antall felt i tilfarten
- Antall sirkulerende felt i rundkjøringen
- Vinkel og radius på tilfarten
- Sirkulerende strøm

Disse forholdene vil også påvirke den kritiske tidsluken, siden disse parameterne er avhengig av hverandre. Kritisk tidsluke vil også påvirkes direkte av antall sirkulerende felt og størrelsen på den sirkulerende strømmen, samt bredden på tilfarten. En økning i forholdene som er listet opp over vil føre til en reduksjon i kritisk tidsluke og følgetid. Reduksjon i kritisk tidsluke betyr i praksis at førere aksepterer en mindre luke i den sirkulerende strømmen når de entrer. Reduksjon i følgetid betyr at flere førere vil benytte en gitt tidsluke.

Forkjørskryss

Kapasiteten og trafikkavviklingen i et forkjørskryss er avhengig av trafikkstrømmen på den prioriterte vegen, og trafikkstrømmen som ønsker å entre denne vegen. Forskjellene i prioritet gjør at det blir en konflikt mellom de to trafikkstrømmene i krysset. I likhet med rundkjøringer er kritisk tidsluke og følgetid viktige parametre også her. Den kritiske tidsluken og følgetiden er basert på trafikken på primærvegen.

Kritisk tidsluke og følgetid vil variere mellom de ulike svingebevegelsene i et kryss. I et X-kryss er det 4 bevegelser hvor disse parameterne får betydning:

1. Venstresving fra sekundærveg ut på primærveg
2. Høyresving fra sekundærveg ut på primærveg
3. Venstresving fra primærveg inn på sekundærveg
4. Kryssing av primærveg

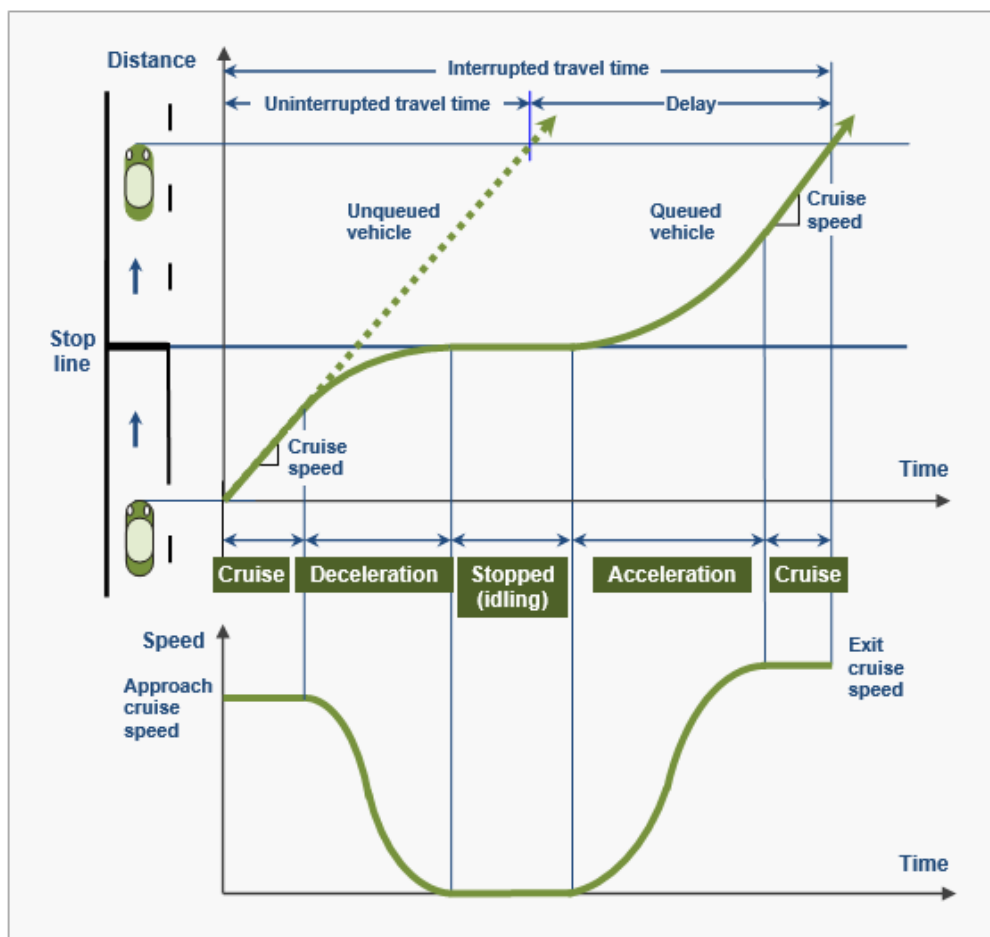
Beregningsmodellen i SIDRA har standardverdier for kritisk tidsluke og følgetid for de ulike bevegelsene. Både kritisk tidsluke og følgetid vil allikevel variere, blant annet basert på antall felt på primærvegen og trafikkmengden (Sidra solutions, 2021).

Trafikkstrømmen på primærvegen beregnes med en teori som tar utgangspunkt i at bilene på primærvegen i stor grad kjører sammen i klynger. Klyngene gjør at det i perioder vil være svært krevende for trafikk fra sekundærvegen å svinge inn på primærvegen. For trafikk på sekundærvegen kan situasjonen sammenlignes med et tilfelle hvor det er rødt lys i et signalregulert kryss.

Utslipp

Beregningene i SIDRA gir også estimater for utslipp og drivstofforbruk. Disse verdiene oppgis for lette og tunge kjøretøy, busser, tunge kjøretøy og opptil seks egendefinerte kjøretøyklasser (Sidra solutions, 2021). Drivstofforbruk og utslipp beregnes for hvert felt, og for kjøretøy i kø og frie kjøretøy hver for seg. Til slutt summeres dette opp, og totalverdier for utslipp og forbruk kan avleses.

SIDRA bergegner utslipp på bakgrunn av fire kjøremodus. Cruise, nedbremsing, tomgang og akselerasjon. Detaljnivået gjør at modellen blir langt mer nøyaktig enn enklere modeller som baserer seg på for eksempel gjennomsnittlig hastighet. Figur 29 viser en typisk stopp-start syklus, og viser alle stegene i det et kjøretøy går fra cruise til stopp og tilbake til cruise igjen.

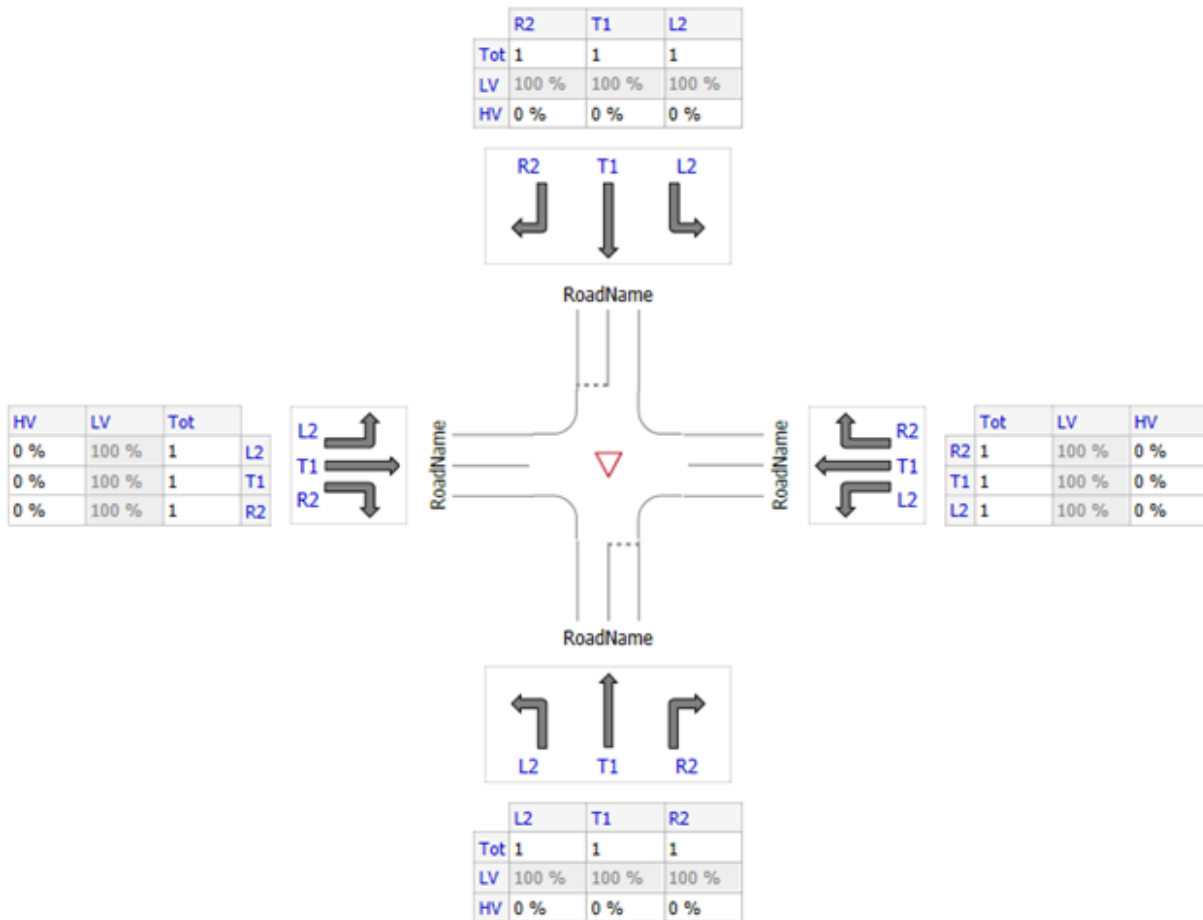


Figur 29: De fire kjøremodusene som benyttes for utslippsberegninger i Sidra (Sidra solutions, 2021)

Trafikk

I Sidra defineres trafikkvolumet for hvert kjørefelt/svingebevegelse. I funksjonen «Volumes» kan brukeren selv definere trafikkmengder og andel tungtrafikk. Alle tillatte svingebevegelser og kjøreretninger må tildeles et trafikkvolum. Derfor må ikke modellene

inneholde andre bevegelser enn de som skal være med i simuleringene. Figur 30 viser dialogboksen for et vikepliktsregulert X-kryss hvor alle svingebevegelser er tillatt.



Figur 30: Oversiktsbilde over dialogboksen «Volumes» i Sidra, hvor trafikkmengder og andel tunge kjøretøy defineres (Sidra solutions, 2021)

2.5.2 Aimsun Next

Trafikkmodelleringsverktøyet Aimsun Next er utviklet av Aimsun. Aimsun ble grunnlagt i 1997, men har røtter enda lenger tilbake (Aimsun, 2022). I dag er Aimsun en del av Yunex Traffic Group. Aimsun Next er en lisensprogramvare som kan kjøpes i ulike versjoner, avhengig av hvor mange funksjoner kunden har behov for. Programvaren støtter trafikkmodeller på meso- og mikroskopisk nivå, samt hybridsimuleringer på micro-meso og meso-makro nivå. Aimsun kan dermed brukes både til å modellere omfattende trafikknettverk for hele regioner, eller enkeltstående vegkryss.

Muligheten til å gjennomføre mikrosimuleringer er en stor fordel med Aimsun. Kjøretøyene kan modelleres individuelt, og øvrig trafikk og forholdene rundt blir tatt hensyn til. Også forskjeller mellom ulike førere og kjøretøy blir tatt hensyn til. Mikrosimuleringen benytter seg av en modell for bilfølge (Car following model), kjørefeltskifte (Lane change model) og tidsluke (Gap acceptance model) (Aimsun, 2022). Det er viktig å være bevisst på at disse mikrosimuleringene er stokastiske. Det innebærer som tidligere nevnt at resultatene fra hver simulering kan avvike noe fra hverandre. Derfor må det gjennomføres flere simuleringer for samme tilfelle og deretter beregnes et gjennomsnitt av disse for å få resultater med en viss sikkerhet.

Bilfølgemodell

Bilfølgemodellen brukes for å beskrive akselerasjon, nedbremsing og avstanden til kjøretøyet som ligger foran. Modellen beskriver altså matematisk hvordan en fører vil oppføre seg basert på kjøretøyet foran, og fartsgrensen. Modellen som benyttes i Aimsun baseres på Gipps «car following model» (Aimsun, 2022). Modellen baserer seg på akselerasjon og retardasjon. Akselerasjonen beskriver i dette tilfellet kjøretøyets ønske om å oppnå en viss hastighet, og retardasjonen beskriver begrensingen som skapes på grunn av kjøretøyet som ligger foran. Modellen beregner hastigheten til et kjøretøy basert på opprinnelig hastighet, maksimal akselerasjon, ønsket hastighet og hastigheten på kjøretøyet foran.

Kjørefeltskiftemodell

Modellen Aimsun benytter for kjørefeltskifte er en beslutningsmodell som forsøker å beskrive førernes oppførsel. Modellen baseres på behovet for feltskifte, ønsket om feltskifte og muligheten for feltskifte. Nødvendigheten for et feltskifte er avhengig av tillatte svingebevegelser for kjørefeltene, trafikk- og kø forhold samt avstanden til neste sving eller kryss. Hvorvidt det er ønskelig å gjennomføre et feltskifte er i stor grad avhengig av om forholdene kan forbedres ved et feltskifte. Dersom det er høyere hastighet i et annet felt eller mindre kø vil modellen anta at føreren ønsker å gjennomføre et feltskifte. Muligheten for å gjennomføre et feltskifte er avhengig av det aktuelle kjøretøyets posisjon i forhold til andre kjøretøy og utformingen av vegen. Modellen tar også hensyn til tre vanlige motivasjoner førere har for å gjennomføre et feltskifte. Disse motivasjonene er trafikkforhold, at en er plassert i feil kjørefelt, og hvorvidt det faktisk er nødvendig å gjennomføre feltskifte.

Tidslukemodell

Tidslukemodellen brukes for å beskrive atferden til sjåføren i kryss og situasjoner med vikeplikt. Hvorvidt en fører er villig til å krysse eller entre trafikkstrømmen den har vikeplikt ovenfor er avhengig av tidslukene i denne trafikkstrømmen. Modellen i Aimsun tar i dette tilfellet hensyn til hastigheten på kjøretøyene, avstand mellom kjøretøy og tilgjengelig akselerasjon. Disse verdiene brukes til å beregne den nødvendige tidsluken for å krysse eller entre trafikkstrømmen.

En fører som står i et kryss med vikeplikt og venter på en mulighet til å kjøre, vil bli mer utålmodig jo lengder den blir nødt til å vente. Etter hvert som tiden går, vil føreren ofte akseptere en kortere tidsluke enn den teoretisk nødvendige tidsluken. En enkel måte å si dette på er at tiden som kreves av føreren ikke nødvendigvis er lik tiden som teoretisk er nødvendig. Nødvendig tidsluke vil altså i mange tilfeller minke etter hvert som tiden går. En tidsluke som er større enn førerens krav til tidsluke vil kunne benyttes.

Samarbeidsmodell

I noen tilfeller kan trafikkmengden på hovedvegen være så stor at den som har vikeplikt i realiteten ikke har noen tidsluker tilgjengelig. I en reell trafikksituasjon vil trafikantene på hovedvegen oppfatte dette, og oftest vil en hjelpe til ved å gi avkall på sin forkjørsrett og vike for den føreren som egentlig har vikeplikt. En del trafikanter hjelper også tunge kjøretøy i lignende situasjoner, og gir slipp på sin forkjørsrett der hvor det er gagner et tungt kjøretøy. Tunge kjøretøy vil ofte hjelpe hverandre i stor grad. Aimsun har en samarbeidsmodell som kan aktiveres for å ta hensyn til dette. Denne kan benyttes både på forskjellige svingebevegelser og på ulike kjøretøy. Samarbeidsgraden kan også justeres mellom null og hundre prosent. Null samarbeid betyr i praksis at alle følger regler for

vikeplikt, og ved hundre prosent samarbeid vil det nærmest være fletting mellom trafikkstrømmene.

Nettverk

Simuleringer i Aimsun gjøres i et nettverk bestående av ulike elementer. De mest brukte elementene er lenker, noder og sentroider. Jo mer komplisert et nettverk er, jo flere elementer består det av.

Lenker

Lenker er et eller flere kjørefelt med samme kjøreretning. Et eksempel på en lenke er vegstrekningen mellom to kryss. Antallet kjørefelt kan enkelt justeres, og det kan opprettes identiske kopier av lenkene. Det er også mulig å snu kjøreretningen på en lenke.

Node

En node er der hvor lenkene kobles sammen. Noder kan ha flere lenker med trafikk både innover og utover. Eksempler på noder er rundkjøringer og kryss.

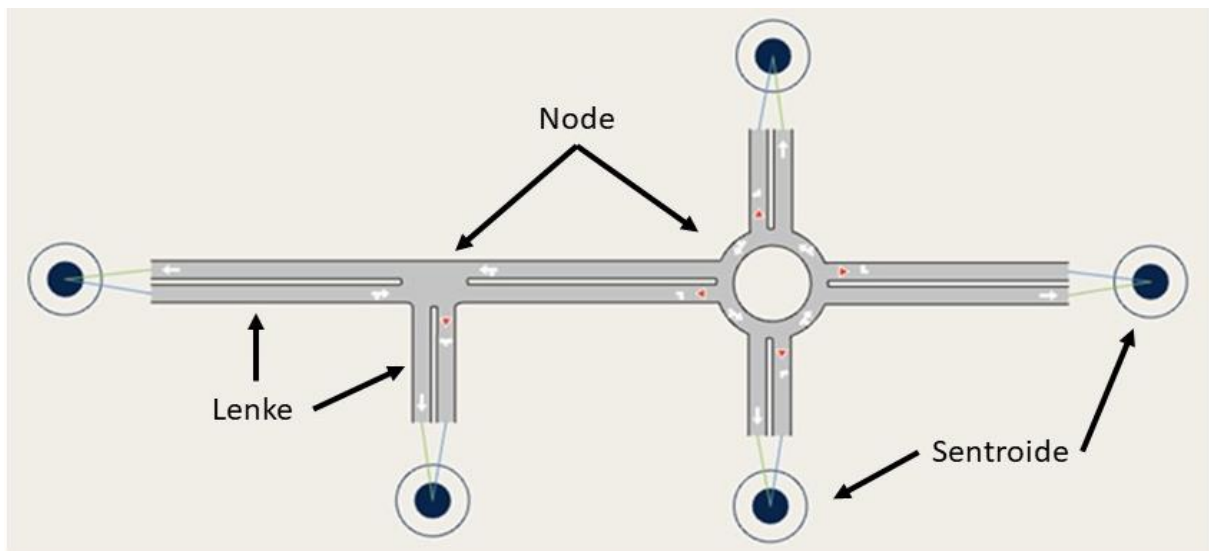
Sentroider

Sentroider er punkter som plasseres i utkanten av nettverkene og kobles sammen med lenkene. Turer produseres til og fra sentroidene.

OD - matrise

En OD-matrise beskriver hvor mange turer som produseres mellom hver sentroide. Brukeren angir antallet turer, og kan når som helst endre dette.

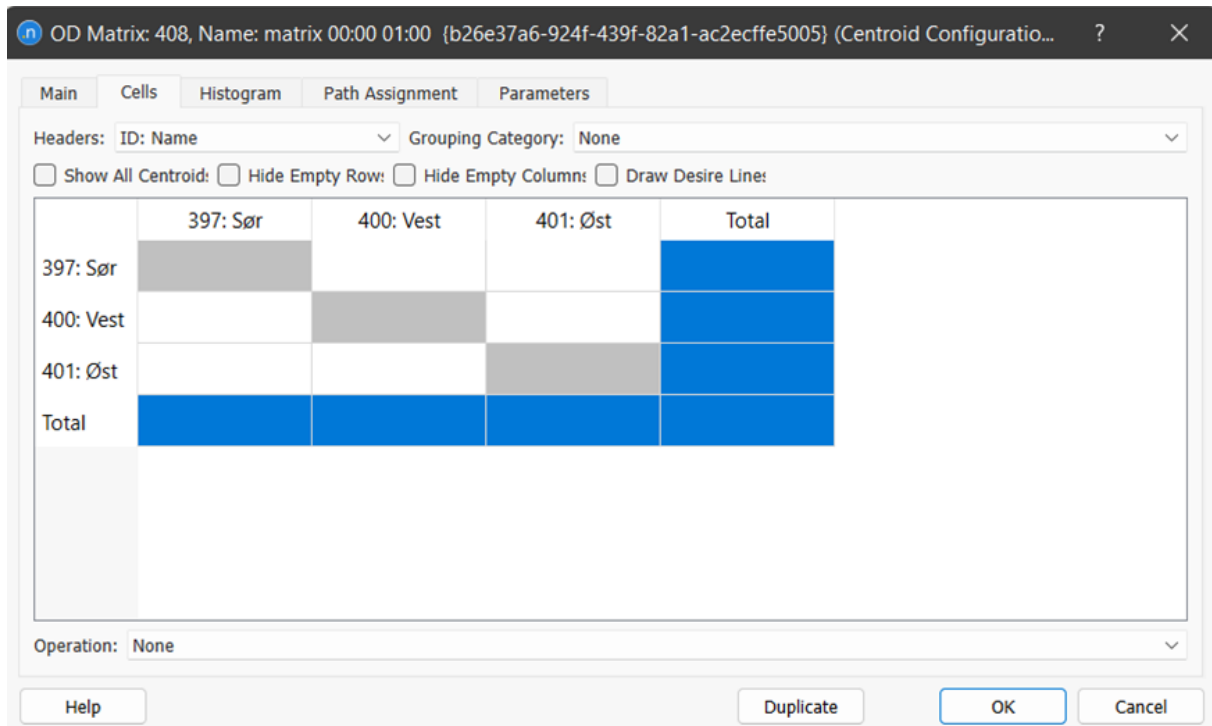
Figur 31 viser lenker, noder og sentroider slik de ser ut i en Aimsunmodell. I figuren består nettverket av en firearmet rundkjøring og et T-kryss langs en tenkt hovedveg.



Figur 31: Lenke, node og sentroide i en Aimsun modell (Aimsun, 2022)

Trafikk

I Aimsun kan trafikken defineres enten ut fra trafikktilstander, eller ved bruk av sentroider og OD-matriser. Ved bruk av trafikktilstander defineres trafikkmengden på hver av lenkene, sammen med andelen som gjennomfører ulike svingebevegelser. Trafikktilstander likner i stor grad på måten trafikkmengder defineres i Sidra. Ved bruk av sentroider og OD-matriser defineres start- og slutt punkt for ulike trafikkstrømmer, samt størrelsen på disse. Trafikkstrømmene foretar deretter rutevalgene automatisk. Figur 32 viser en OD-matrise for et T - kryss med tre sentroider.



Figur 32: Oversiktsbilde av en OD-matrise hvor trafikkmengder mellom sentroider defineres i Aimsun (Aimsun, 2022)

I denne matrisen definerer brukeren hvor mange som reiser som utføres mellom de ulike sentroidene. I modellen vil sentroiden reisen utføres fra markeres i rødt, og sentroiden reisen går til markeres i gult. Dette gjør sentroider og OD-matriser til en intuitiv måte å definere trafikkmengder på, samtidig som faren for feil reduseres.

Utslipp

Det er også mulig å modellere utslipp og drivstofforbruk fra simuleringene i Aimsun. Gjennom å aktivere en av modellene for utslipp og eventuelt drivstofforbruk vil Aimsun produsere resultater for dette. Begge deler finnes i fanen for «Statistics» innenfor «Outputs to Generate» i det aktuelle scenariet. Det er to ulike modeller som kan benyttes for å beregne utslipp, QUARTET (1992) og Panis et al (2006).

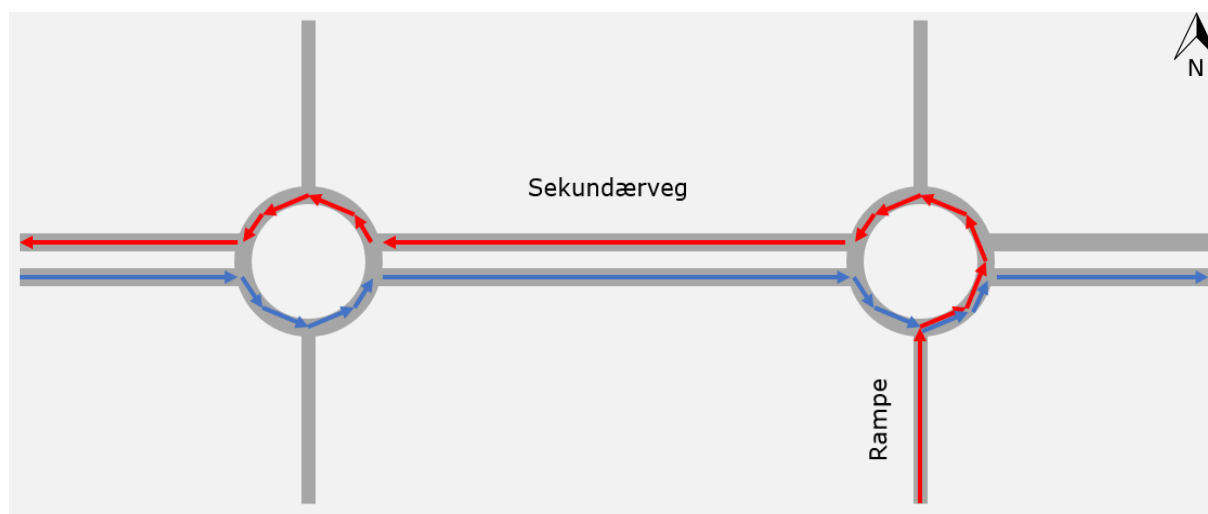
3 Skisser

I denne delen presenteres egenproduserte skisser med forslag til alternative kryssløsninger. Den eksisterende løsningen skissene skal sammenlignes med presenteres også. Forslagene tar utgangspunkt i eksisterende kryss og reguleringsformer, eksisterende alternative kryssløsninger og kunnskapen som er innhentet fra den øvrige litteraturen. Først presenteres et forslag til et nedskalert DDI som er tilpasset norske forhold. Det er tenkt å benytte en form for vikepliktsregulering i krysningspunktene. Deretter presteres et forslag til forbud mot venstresving basert på prinsippene i RCUT og MUT. I denne løsningen er det tenkt å innføre forbud mot venstresving i vanlige kryss til fordel for u-sving i en tilknyttet rundkjøring.

3.1 To felts DDI med vikeplikt

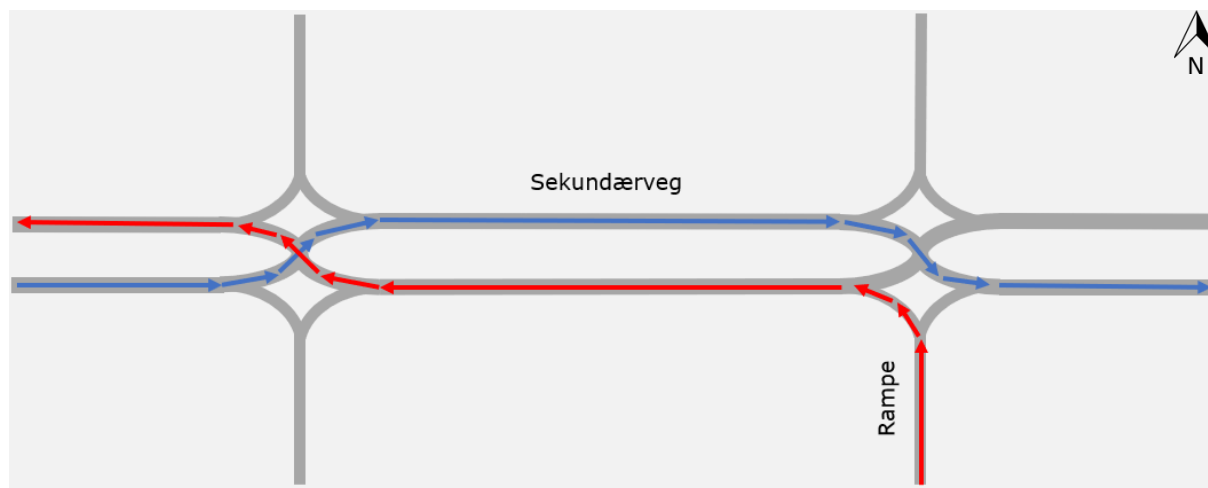
Tradisjonelt sett har DDI blitt brukt istedenfor et signalregulert diamantkryss, som i eksempelet fra Danmark. I en slik situasjon har DDI vist seg å fungere bra, og redusert forsinkelsen. Det er også mulig å se for seg et DDI som ikke er signalregulert, men heller fungerer med en form for vikepliktsregulering i krysningspunktene. Der hvor rampene kobler seg på hovedvegen vil det trolig være tilstrekkelig med vanlig fletting for de fleste trafikkmengder. En annen mulighet er å gi trafikken på rampene vikeplikt ovenfor hovedvegen. En slik løsning vil sikre at hovedvegen ikke blir nedprioritert i for stor grad, men kan til gjengjeld gi mer kø på rampene. For å unngå kø på rampene som strekker seg utover på motorvegen det valgt å benytte fletting inn på sekundærveg fra rampene.

Figur 33 viser hvordan et tradisjonelt ruterkryss ser ut og fungerer i prinsipp. Den røde og blå ruten viser hvordan henholdsvis venstresving fra motorvegen og bevegelsen rett gjennom krysset på sekundærvegen (vest-øst) utføres i dette krysset. Trafikken som skal gjennomføre venstresving må ofte vike for trafikken som skal rett gjennom i rundkjøringen. Ved høye trafikkmengder kan dette føre til betydelig forsinkelse for venstresvingende. I verste fall kan det skape kø som strekker seg bakover på rampen og ut på motorvegen. Ved fartsgrense 110 km/t på motorvegen kan det fort oppstå farlige situasjoner som følge av dette.



Figur 33: Rute for venstresving og rett igjennom et ruterkryss

Figur 34 viser hvordan et DDI ser ut og fungerer i prinsipp. Den røde og blå ruten viser hvordan de samme bevegelsene som i ruterkrysset gjennomføres i et DDI. Som Figur 34 viser er ikke venstresvingende fra rampen i konflikt med de som skal rett igjennom krysset. Venstresvingende på rampen havner kun i en konflikt, som er fletting med trafikk i samme kjøreretning ut på sekundærvegen. En ulempe med dette krysset er at trafikken på sekundærvegen er i konflikt med hverandre i krysningspunktene.





Figur 34: Rute for venstresving og rett igjennom et DDI

Det er ikke innlysende hvem som skal gis prioritet i krysningspunktene på sekundærvegen. For trafikanter vil det trolig virke naturlig at man viker for trafikk fra høyre. Man vil da ha vikeplikt i et av kryssene, og forkjøringsrett i det andre. For mange vil dette være en rettferdig måte å tildele prioritet på. Det er også mulig å se for seg en løsning hvor prioriteten tilpasses til trafikkbelastningen gjennom døgnet. Dersom trafikken er størst i retning øst – vest på morgenen og vest – øst om ettermiddagen kan prioriteten tilpasses dette for å gi mest mulig effektiv avvikling.

En tredje mulighet er et vikepliktskryss som baserer seg på samarbeid. Det eksisterer ikke en slik reguleringsform i norske normaler per nå, men man kan se for seg en løsning som likner det en har i rundkjøringer. I et slikt kryss kan en eller begge retninger ha vikeplikt inn i krysset, men det kan legges opp til samarbeid mellom trafikkstrømmene i krysset. Dersom trafikantene er flinke til å lese trafikken og tilpasse seg til lukene i trafikken, kan dette gi god avvikling.

Ved en løsning som baseres på samarbeid mellom trafikantene i krysningspunktet må det være tydelig for trafikantene at det skal samarbeides. En måte å gjøre dette på er å skilte på en tilsvarende måte som i rundkjøringer. Tabell 4 viser skiltene som brukes i en rundkjøring, samt eget forslag til skilt som kunne vært brukt i en løsning med samarbeid i DDI. Skiltplatene er hentet fra og basert på skiltene i skilteforskriften.

Tabell 4: Skilt som benyttes i rundkjøring samt forslag til skilt for DDI med samarbeid

Rundkjøring	DDI med samarbeid
	

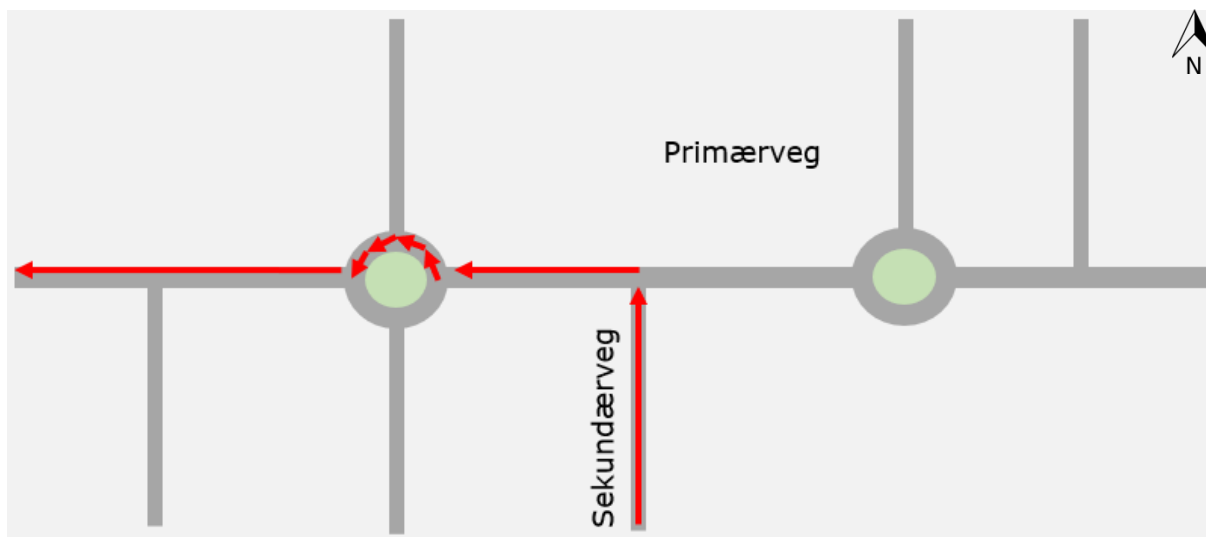
Med tanke på både trafiksikkerhet og avvikling kan det være en fordel at kun en av retningene har vikeplikt. Det virker da fornuftig at en viker for trafikk fra høyre. For trafikanter med forkjørsrett kan det da skiltes med kun et skilt, som indikerer at det skal samarbeides i krysset. Forslaget over er et eksempel på skilt som kunne vært brukt til dette.

3.2 Forbud mot venstresving

På hovedveger både i og utenfor tettbygde områder er det ofte en kombinasjon av T – kryss og rundkjøringer. Hovedvegen er ofte forkjørsregulert, og ved høye trafikkmengder kan dette føre til betydelig forsinkelse i T – kryss. Særlig i tettbygde områder, hvor trafikken både på primær – og sekundærveg kan være høy. I slike tilfeller vil det ofte være venstresving ut på hovedvegen som har størst forsinkelse, siden man i dette tilfellet har vikeplikt for begge kjøreretningene på hovedvegen. I en slik situasjon kan det tenkes at både forsinkelsen og reisetiden totalt sett reduseres dersom man heller tar til venstre i krysset, og deretter gjennomfører en u – sving i nærmeste rundkjøring. Gevinsten vil være at forsinkelsen i T – krysset reduseres, siden man kun er i konflikt med en trafikkstrøm ved gjennomføring av venstresving. U – sving i rundkjøringen vil føre til at forsinkelsen kan øke for de som kommer i motsatt retning på hovedvegen, siden de må vike for de som snur. Et ekstra kjørefelt i rundkjøringen på denne siden vil gjøre at u-svingende og de som skal rett frem kan benytte rundkjøringen samtidig.

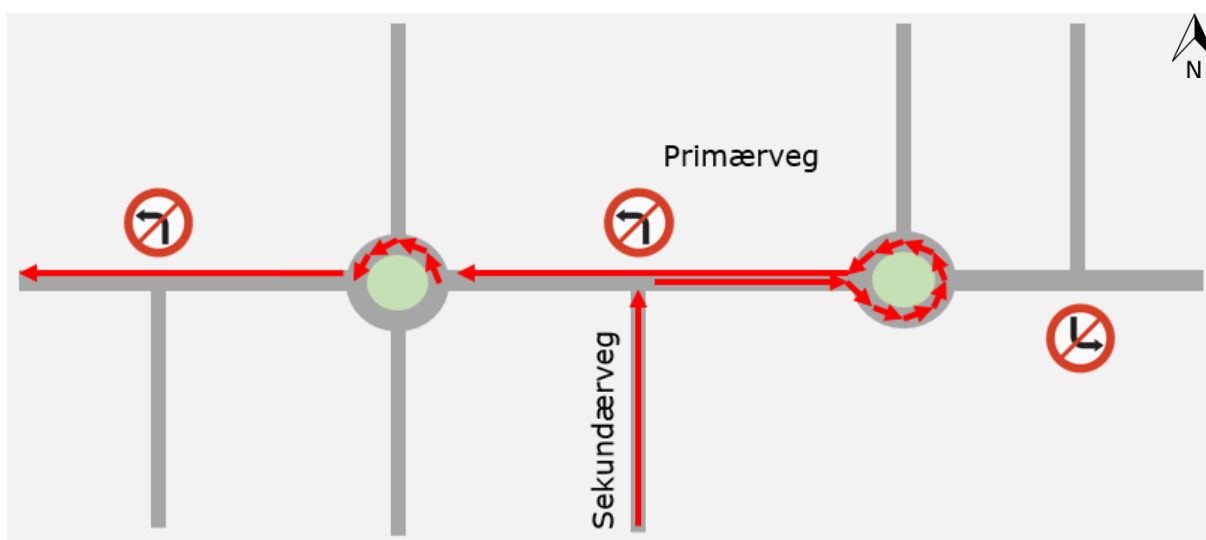
Denne løsningen er basert på virkemåten i RCUT og MUT kryssene som er beskrevet tidligere. Hovedprinsippet i disse er også at venstresving deles inn i to bevegelser, nemlig høyresving etterfulgt av u-sving. Til forskjell fra disse krysstypene vil det ikke være behov for ombygging eller store tiltak for å gjennomføre den foreslåtte løsningen. Dersom rundkjøringene er store nok til at også lange kjøretøy kan gjennomføre u – sving, er det i prinsippet bare behov for skilting.

Figur 35 viser hvordan venstresving fra en sekundærveg utføres i et vanlig vikepliktskryss. I dette tilfellet er venstresvingende i konflikt med trafikken i begge retninger på primærvegen. Ved høye trafikkmengder kan dette gi en betydelig forsinkelse for venstresvingende. Fordelen med løsningen er at trafikanter på primærvegen som har forkjørsrett blir prioritert, og kun har konflikter i rundkjøringene.



Figur 35: Rute for venstresving i et nettverk hvor venstresving er tillatt


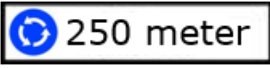

Figur 36 viser hvordan bevegelsen med venstresving kan gjennomføres dersom det er forbudt med venstresving ut på primærvegen. Skiltene er hentet fra skiltforskriften.



Figur 36: Rute for venstresving i et nettverk hvor venstresving er forbudt

Forbud mot venstresving kan skiltes med de skiltene som eksisterer i skiltforskriften per i dag. Både venstresving forbudt samt påbudt høyresving er skilt som kan benyttes til dette. Ved bruk av underskilt kan det også indikeres hvor langt det er frem til rundkjøringen hvor man kan snu. Tabell 5 viser forslag til hvordan det kan skiltes på sekundærvegene for å opplyse trafikantene om at venstresving er forbudt, og at de som skal til venstre må ta til høyre og så snu i neste rundkjøring. Skiltene er hentet fra skiltforskriften.

Tabell 5: Forslag til skilting ved forbud mot venstresving

Før krysset	I krysset
 	

Hensikten med skiltet før krysset er å opplyse føreren om at det er påbudt med høyresving i krysset de er på veg til. Underskiltet er ment å opplyse førerne om hvor langt det er frem til neste rundkjøring på primærvegen. I selve krysset kan det benyttes venstresving forbudt skilt for å understreke at det er forbudt å svinge til venstre.

4 Metode

I denne delen beskrives metodene som er benyttet i arbeidet med oppgaven. Først beskrives metoden for litteratursøk etter faglitteratur, samt arbeidet med innhenting av informasjon fra statlige etater og andre aktører. Deretter beskrives oppbyggingen av modellene i Sidra og Aimsun. Både utforming av kryssene, bruk av programmene og definering av trafikkmengder beskrives. Til slutt beskrives metoden som benyttes for å sammenligne resultatene fra simuleringene. Deler av arbeidet ble gjort i prosjektoppgaven. Beskrivelsen av metoden bygger videre på beskrivelsen i prosjektoppgaven.

4.1 Litteratursøk

Litteratursøk etter forskningsartikler er hovedsakelig gjennomført ved bruk av stikkord og søkestrenger i søkemotoren Google Scholar. Også NTNU Universitetsbiblioteket sin tjeneste Oria er brukt, men i mindre grad. For andre kilder enn vitenskapelige artikler er vanlige Google søk benyttet.

Søk i Google Scholar resulterer ofte i mange treff. Algoritmen som benyttes i søket tar hensyn til flere faktorer, deriblant tittel, tekst og siteringsgrad. Dermed presenteres ofte de mest relevante artiklene fremst i søket. Scholar har også en funksjon som forenkler prosessen med å undersøke siterte kilder. Det er allikevel svakheter ved Scholar. I prinsippet gjennomføres søket over hele internett, ikke bare i vitenskapelige kilder og journaler (Google Scholar, 2021). Resultater merket med «fulltext@NTNU» er fagfellevurderte artikler fra en troverdig kilde. Kun fagfellevurderte forskningsartikler er brukt i denne rapporten. Utover dette er litteraturen valgt på bakgrunn av relevant tittel og abstract.

Litteratursøket ble gjennomført ved bruk av stikkord, og ulike sammensetninger av disse. Innledningsvis ble det gjennomført en idedugnad, hvor ulike stikkord knyttet til hvert av temaene ble satt opp i et tankekart. Tankekartet ble deretter redigert, slik at de 5-10 mest relevante stikkordene for hvert tema stod igjen. Deretter ble disse benyttet til å bygge opp søkestrengene som er brukt i litteratursøket. Tabell 6 viser stikkord og søkestrenger innenfor de ulike temaene.

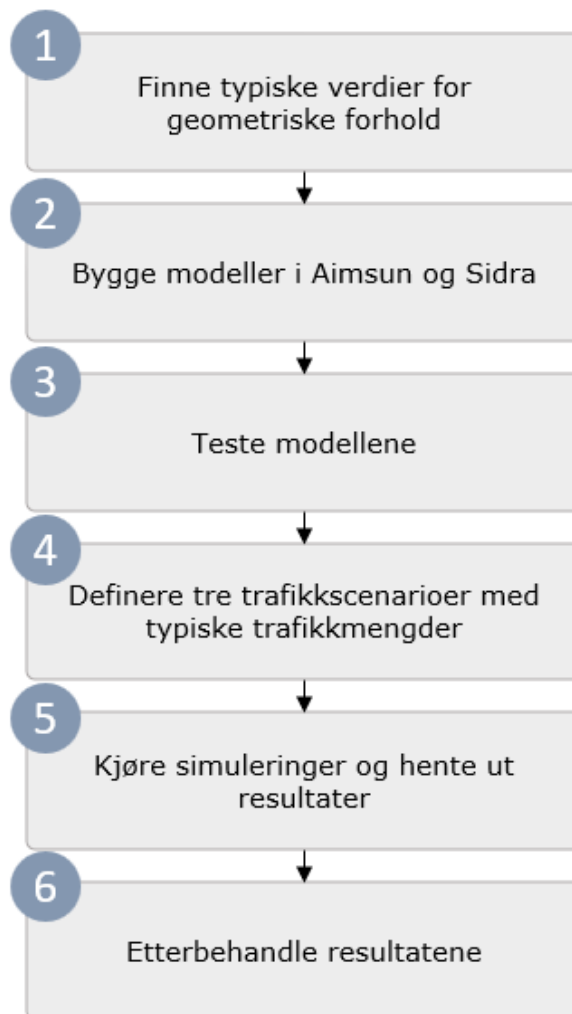
Tabell 6: Stikkord og søkestrenger som er benyttet til litteratursøk innenfor hvert tema

Tema	Søkestrenger
Trafikkavvikling	Håndbok kryss, Håndbok kapasitet
Trafikksikkerhet I kryss	Traffic safety, traffic safety intersection, accident analysis intersection, accident prevention intersection
Dagens kryssløsninger	Håndbok kryss, håndbok planskilte kryss
Venstresving	Left turn intersection, left turn conflicts intersection, left turn capacity intersection
Utslipp	Vehicle emissions intersection, emission reduction intersection, emissions during congestion
Alternative kryssløsninger	Alternative intersection design, innovative intersections, high capacity intersection

Informasjon fra statlige aktører og andre kilder er som sagt funnet ved bruk av vanlige Google søk. Et slik søk består av det aktuelle temaet, pluss eventuelt relevant aktør. Et eksempel på en slik søkestreng er «Trafikkulykker Norge statistisk sentralbyrå».

4.2 Modeller

Det er laget modeller av de ulike kryssene og løsningene som skal testes i både Sidra og Aimsun. De to programmene er ulike, både i virkemåte og i bruk. For å kunne sammenligne resultatene er det derfor lagt vekt på å holde modellene så enkle som mulig. Både svingebevegelsene som er inkludert i modellen, og den geometriske utformingen er så lik som mulig. I enkelte tilfeller vil symbolene i modellen ikke alltid stemme overens med trafikkbildet som simuleres. Årsaken er måten programmene virker på, og har ikke praktisk betydning for simuleringene. Figur 37 viser prosessen som ble fulgt for å bygge modellene.



Figur 37: Flytskjema for prosessen med å bygge modeller

Modellene som benyttes i simuleringene er relativt enkle, idealiserte modeller og er ikke basert på faktiske kryss eller områder. Dermed der det få frihetsgrader i simuleringene som gjennomføres, og en unngår at stedlige forhold påvirker resultatene. Det er allikevel gjort flere tilnærminger til norske forhold for å sikre en viss relevans. Kjørefeltbredder for de ulike vegtypene er hentet fra Vegnormal N100. Et utvalg av kryss og hovedveger er studert for å finne typiske avstander og verdier for geometriske forhold. Disse undersøkelsene er gjort for å sikre en relevans for norske forhold, ikke for å etterligne et

spesifikt kryss. Målefunksjonen i Google Maps (Google, 2021) er benyttet til dette. Denne kan blant annet benyttes for å finne avstanden mellom objekter og arealet til et merket område.

Modell for ruterkryss og DDI:

Det er laget en modell for et tradisjonelt ruterkryss, og et DDI. Virkemåten for disse kryssene er relativt ulike, men arealbehovet er sammenlignbart. Eventuelle fotgjengere er sett bort ifra i disse modellene. For å finne typiske verdier for størrelsesforhold og geometri er det tatt utgangspunkt i fire ulike ruterkryss. Kryssene er mer eller mindre tilfeldig utvalgt langs E6 mellom Oslo og Hamar. Denne strekningen er valgt fordi den er et godt eksempel på en lengre, sammenhengende strekning av moderne firefelts motorveg. Det er også gode flyfoto tilgjengelig langs strekningen. En annen tilsvarende strekning er E18 sørover fra Oslo, og funnene er kryssjekket med verdier herfra. Tabell 7 viser hvilke kryss som ble undersøkt, samt hvilke verdier som ble hentet fra disse.

Tabell 7: Verdier for avstander, vegbredder og rundkjøringer i ulike ruterkryss

Kryss	Sentervstand mellom rundkjøringene	Diameter på rundkjøringene	Sirkulerende felt i rundkjøringene
Vienkrysset, E6 (Hamar)	170 meter	40 meter	1 felt
Tangen, E6 (Tangen)	155 meter	35 meter	1 felt
Jessheim Nord, E6 (Jessheim)	225 meter	40 meter	1 felt
Skedsmovollen, E6 (Skedsmokorset)	280 meter	35 / 30 meter	1 / 2 felt
Simuleringer	180 meter	40 meter	1 felt

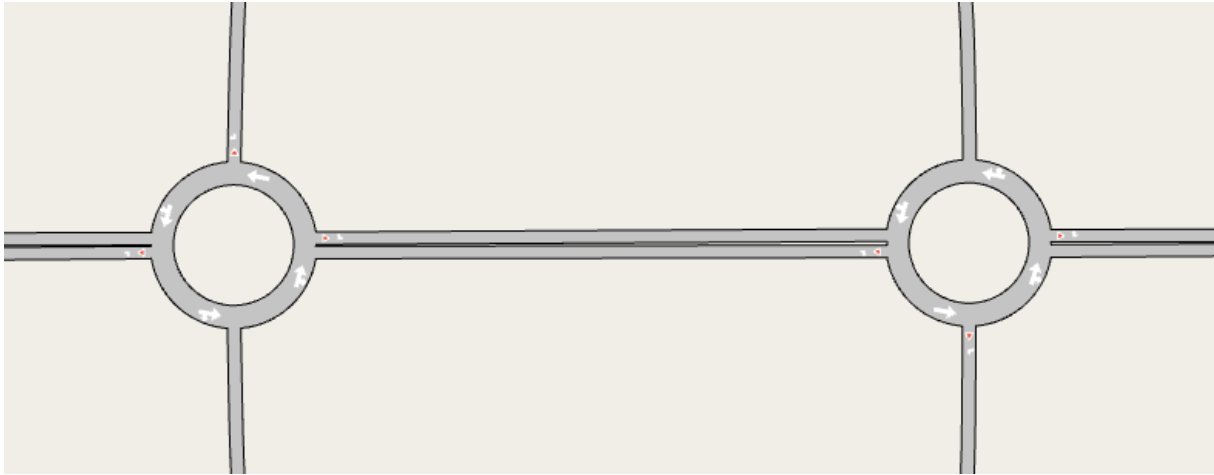
De idealiserte verdiene som benyttes i simuleringene er basert på disse verdiene samt ingeniørmessige vurderinger knyttet til modellene. Tabell 8 oppsummerer verdier for kjørefeltbredde på de ulike vegtypene i krysset. Verdiene er hentet fra Vegnormal N100 (Statens Vegvesen, 2021).

Tabell 8: Kjørefeltbredder for de ulike vegtypene i ruterkryss og DDI

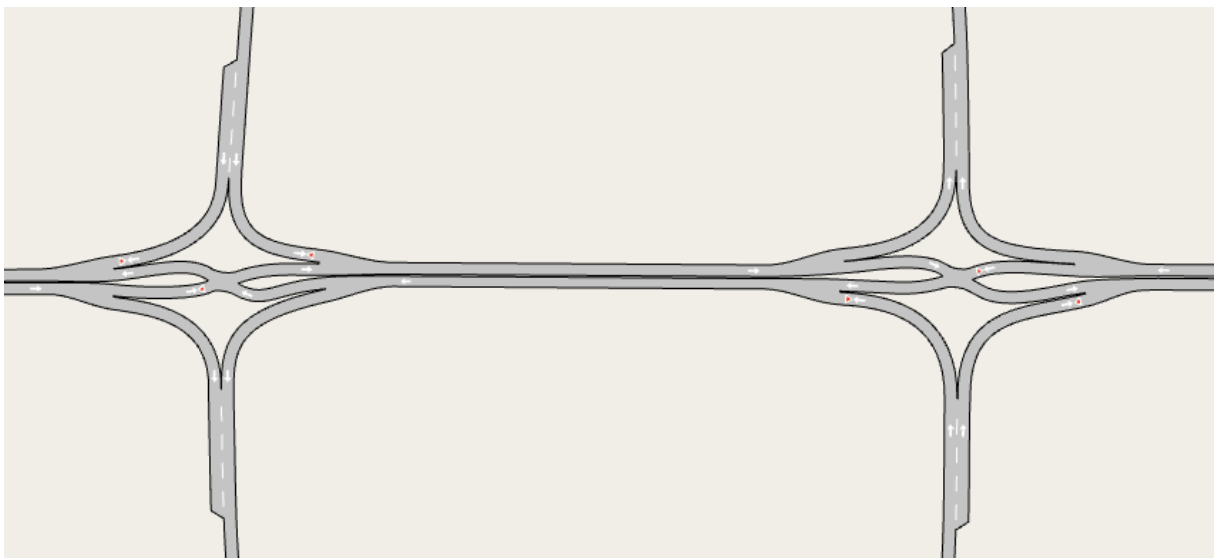
Vegtype	Kjørefeltbredde
Sekundærveg	3,25 meter
Rampe, motorveg	3,5 meter
Rundkjøring	6 meter

I Aimsun ble modellen for ruterkryss laget først. Deretter ble det opprettet en kopi av dette hvor rundkjøringene ble fjernet, og krysset tilpasset til et DDI innenfor de samme rammene som det opprinnelige ruterkrysset. Rampene ble til slutt koblet sammen med krysset, så symmetrisk som mulig. I krysningspunktene på sekundærvegen ble det gitt vikeplikt ovenfor trafikk fra høyre. Her ble det i tillegg opprettet en samarbeidsmodell for de to kryssende trafikkstrømmene. Samarbeidsmodellen sikrer at trafikanter med vikeplikt blir hjulpet frem, og bedrer med det trafikkavviklingen i krysset.

Aimsun modellene for sammenligning av ruterkryss og DDI vises under. Figur 38 viser et utsnitt av modellen med ruterkryss, med tilhørende ramper og sekundærveg. Figur 39 viser et utsnitt av modellen med DDI.

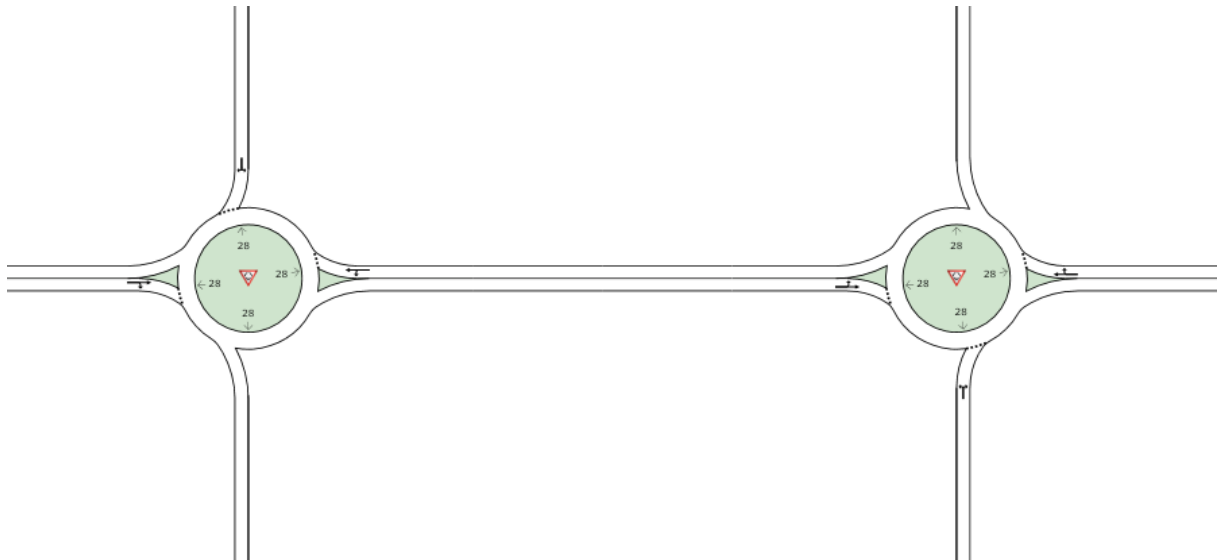


Figur 38: Modellen av ruterkryss i Aimsun



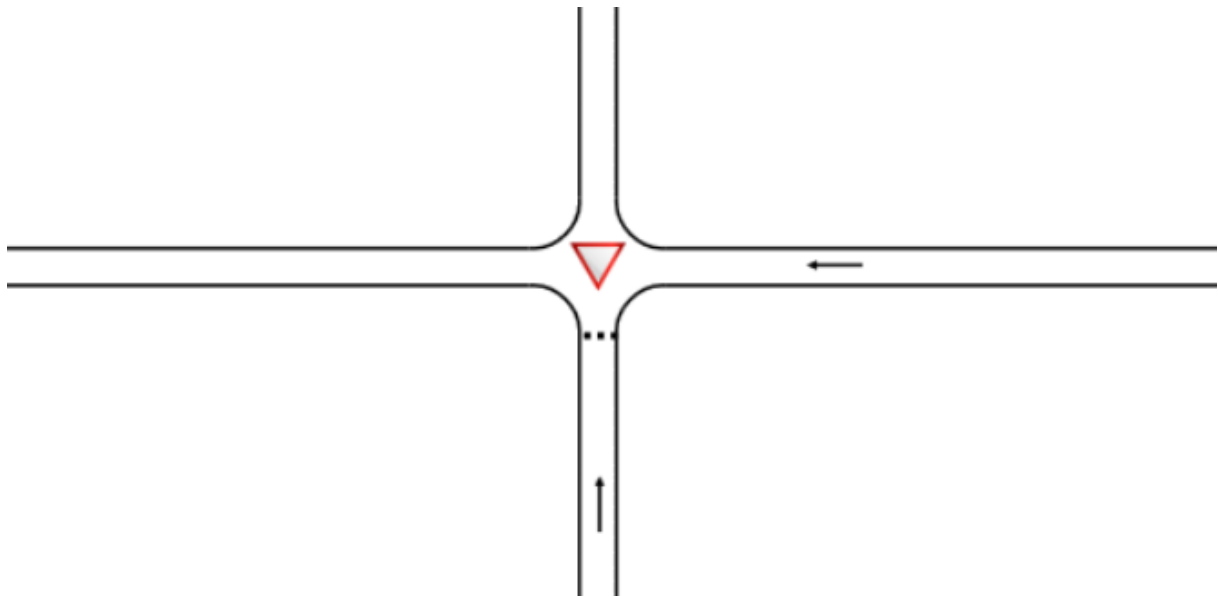
Figur 39: Modellen av DDI i Aimsun

I Sidra er modellene laget hver for seg. På grunn av måten Sidra virker er dette en enklere og ryddigere måte å bygge opp modellene på. Ruterkrysset består av to rundkjøringer hvor armene er tilpasset for å etterligne et ruterkryss. Rampene inn og ut av rundkjøringen er av typen «One way approach», og sekundærvegen er av typen «Two way road». Figur 40 viser ruterkryss i Sidra.



Figur 40: Modellen av ruterkryss i Sidra

Det ble laget en modell av et DDI bestående av to tilpassede vikepliktskryss. Denne modellen viste seg å ikke fungere som tiltenkt, og er derfor ikke benyttet. Modellen og beskrivelse av oppbygningen finnes i vedlegg 2. Det ble isteden laget en enkel modell for å simulere trafikken i krysningpunktet på sekundærvegen, som vist i Figur 41. Denne modellen består av to envegskjørte veger som krysset hverandre, hvor den ene retningen har vikeplikt ovenfor den andre.



Figur 41: Forenklet modell av krysningpunktet i DDI i Sidra

Modellene i Sidra oppleves mer «rigide» enn de i Aimsun, siden brukeren ikke får den samme muligheten til å tilpasse geometrien og detaljene som man har i Aimsun. Virkemåten er allikevel tilnærmet lik.

Modell for venstresving:

Det er laget modeller med tre ulike avstander mellom rundkjøring og venstresving. For hver av avstandene er det en modell hvor venstresving er tillatt, og en hvor venstresving er forbudt. Siden det er biltrafikken som skal undersøkes er det ikke inkludert fotgjengere

i disse modellene. Modellene og simuleringene blir med det enklere, og resultatene kan lettere sammenliknes direkte. Det er tatt utgangspunkt i tre veger i Trondheim for å finne fornuftige verdier for avstanden mellom rundkjøring og venstresving;

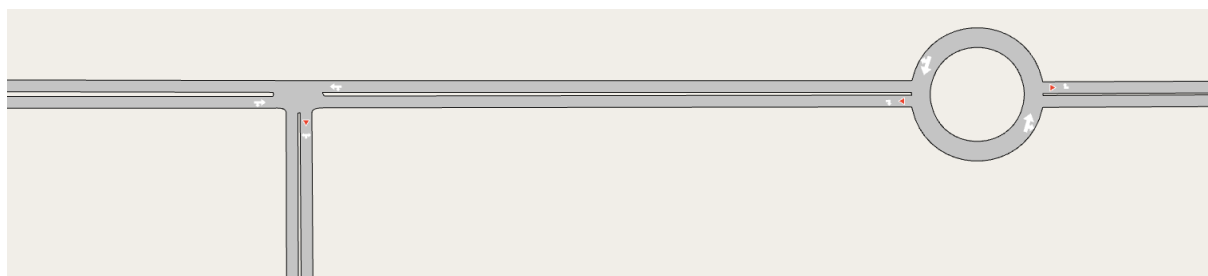
- Kong Øysteins Veg (Tyholt)
- Innherredsveien (Solsiden)
- Byåsveien (Byåsen)

Basert på avstander målt langs disse vegene, samt ingeniørmessige vurderinger ble verdiene 150, 250 og 400 meter valgt som avstand mellom venstresving og rundkjøring. Tabell 9 oppsummerer kjørefeltbredde for de ulike vegtypene i modellene. Verdiene er hentet fra Vegnormal N100 (Statens Vegvesen, 2021).

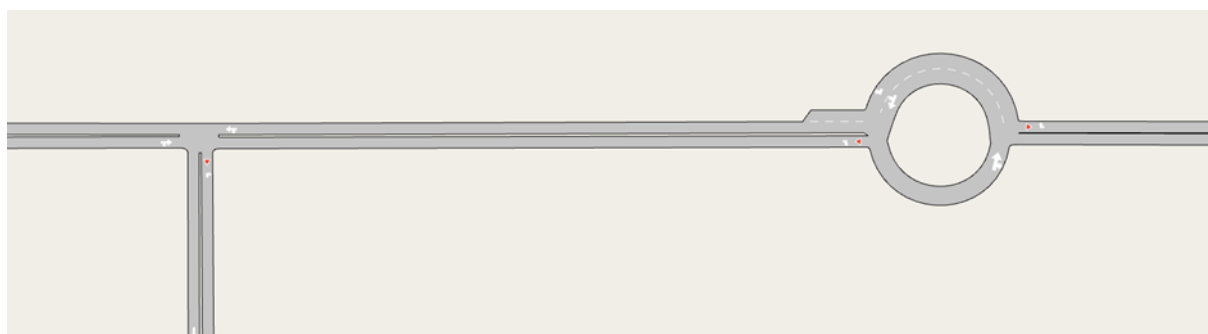
Tabell 9: Verdier for kjørefeltbredde på de ulike vegtypene

Vegtype	Kjørefeltbredde
Primærveg	3,25 meter
Sekundærveg	3 meter
Rundkjøring	5 meter

Under vises modellene som er laget for å gjennomføre simuleringene med ulik regulering av venstresving i Aimsun. Figur 42 viser et oversiktsbilde av modellen med 150 meter mellom kryss og rundkjøring, og venstresving tillatt. Denne modellen ble laget først, og deretter ble det opprettet en kopi hvor muligheten for venstresving ble fjernet i krysset. I denne modellen ble det også lagt til et felt i rundkjøringen, samt et 15 meter langt flettefelt på hovedvegen ut fra rundkjøringen. Figur 43 viser modellen hvor venstresving er forbudt i krysset. Til slutt ble det opprettet kopier av disse igjen, hvor avstanden mellom rundkjøring og kryss ble økt til henholdsvis 250 og 400 meter.

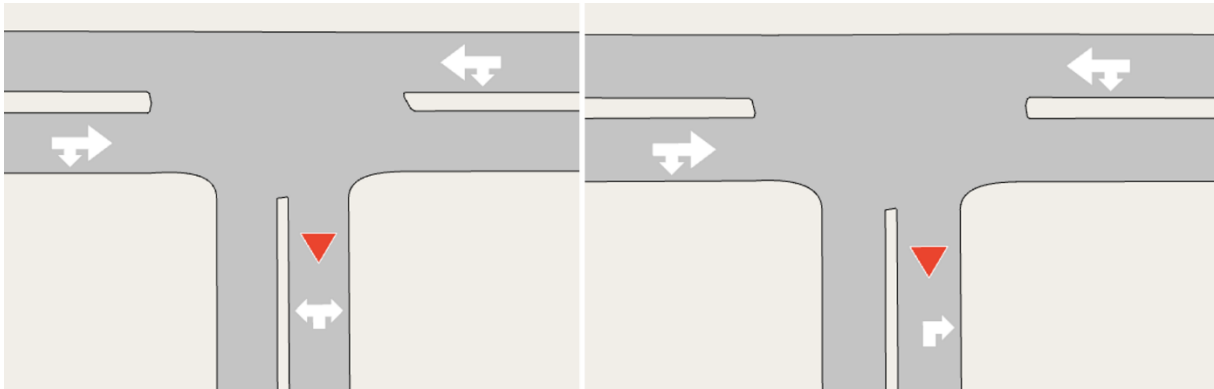


Figur 42: Oversiktsbilde av modellen med venstresving tillatt i Aimsun



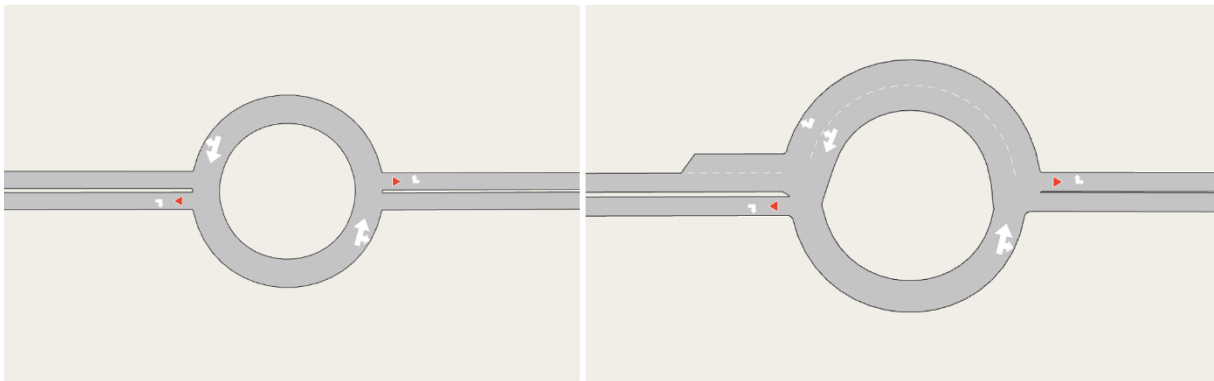
Figur 43: Oversiktsbilde av modellen med venstresving forbudt i Aimsun

Figur 44 viser hvordan de to ulike reguleringsformene i krysset ser ut. I krysset til venstre er venstresving tillatt, og i krysset til høyre er venstresving forbudt.



Figur 44: T-kryss ved tillatt og forbudt venstresving i Aimsun

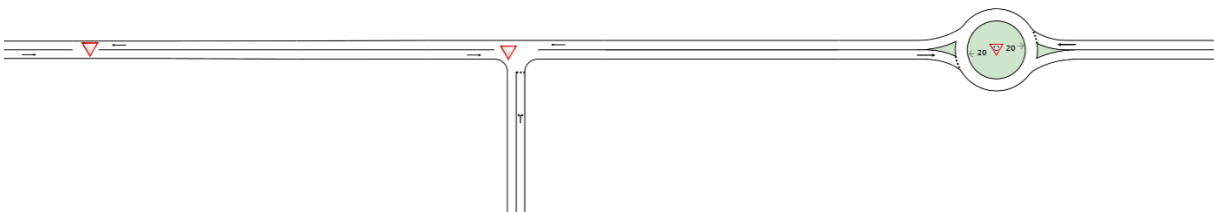
Figur 45 viser utformingen av de to ulike rundkjøringene. Rundkjøringen til venstre hører til modellen hvor venstresving er tillatt, og rundkjøringen til høyre hører til modellen hvor venstresving er forbudt.



Figur 45: Rundkjøring ved tillatt og forbudt venstresving i Aimsun

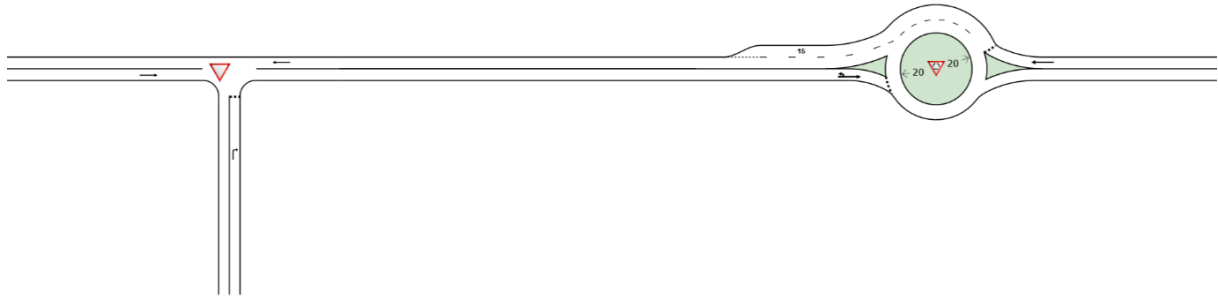
Figur 46 og 47 viser modellene for simulering av venstresving i Sidra. Disse modellene ligner i stor grad på modellene fra Aimsun. Forskjellen er at det i Sidra ikke er mulig å angi null trafikk på en svingebevegelse. Derfor er det kun svingebevegelsene som er inkludert i simuleringene som er angitt med piler.

Sidra modellen hvor venstresving er tillatt har i tillegg et ekstra kryss til venstre, som kun består av hovedvegen og derfor egentlig ikke er et kryss. Det ekstra krysset må inkluderes i denne modellen for å få funksjonen som måler reisetid til å fungere. Det har ingen innvirkning på krysset ellers.



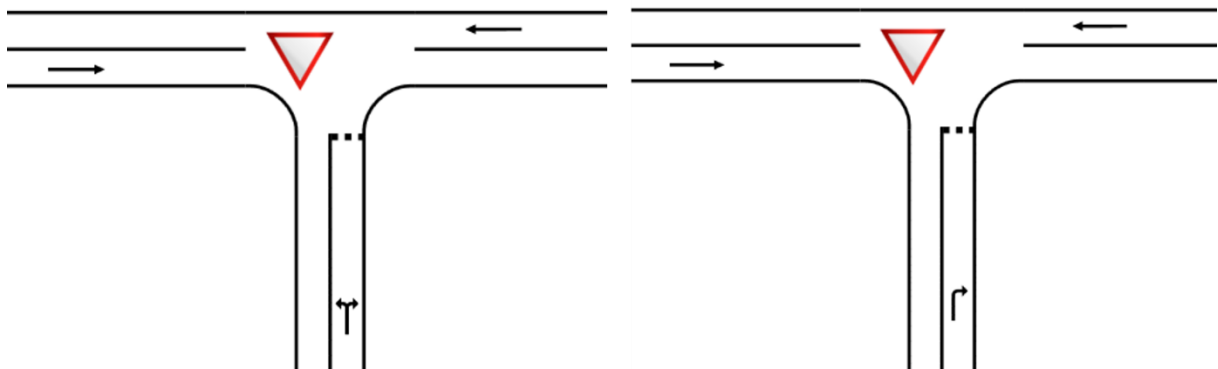
Figur 46: Oversiktsbilde av modellen med venstresving tillatt i Sidra

Figur 47 viser et utsnitt av modellen hvor venstresving er tillat, med 150 meter imellom krysset og rundkjøringene. Figur 48 viser et utsnitt av modellen hvor venstresving er forbudt.



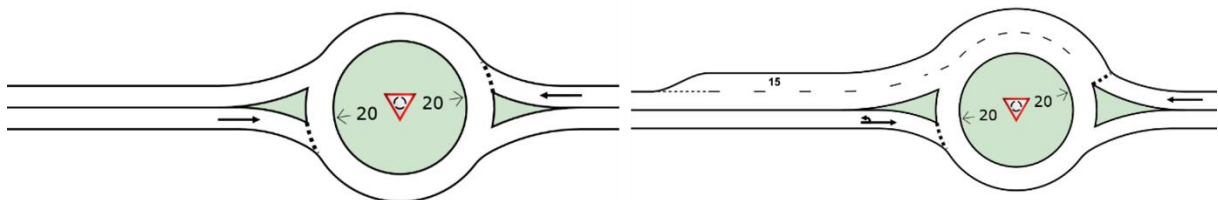
Figur 47: Oversiktsbilde av modellen med venstresving forbudt i Sidra

Figur 48 viser utforming og oppmerkingen av krysset med tillatt venstresving til venstre og med forbudt venstresving til høyre. Her vises det også tydelig hvilke andre bevegelser som er med i simuleringene.



Figur 48: T-kryss ved tillatt og forbudt venstresving

I tilfellet med forbud mot venstresving, må trafikantene som skal til venstre gjennomføre en u-sving i rundkjøringen. Derfor må denne bevegelsen aktiveres i tilfellet med forbudt venstresving. Figur 49 viser rundkjøringen med tillatt venstresving til venstre, og forbudt venstresving til høyre.



Figur 49: Rundkjøring ved tillatt og forbudt venstresving i Sidra

Trafikkmengder

Det er satt opp tre ulike trafikkscenarioer til simuleringene med motorvegkryss og begrensing av venstresving. Siden det ikke skal sees på et spesifikt kryss eller strekning, er det ikke gjennomført tellinger av trafikk eller innhentet detaljerte trafikkdata. På de samme strekningene som verdier for geometri og avstander ble innhentet, ble også tall for

ÅDT og andel lange kjøretøy hentet ut. Basert på disse verdiene og ingeniørmessige vurderinger ble scenariene satt opp. I begge tilfellene er trafikkmengdene ment å representere fra normal til høy trafikk i en rushtime. Det er valgt relativt høye andeler lange kjøretøy, for å ta hensyn til både tungtransport og en eventuell bussrute langs strekningen.

For simuleringene med ruterkruss og DDI ble trafikkmengdene i Tabell 10 benyttet. I dette tilfellet ble det kjørt simuleringer med trafikk fra rampene ut på sekundærvegen, og fra sekundærvegen ut på rampene. Det ble gjennomført simuleringer hvor halvparten av trafikken gjennomførte venstre- og høyresving av og på rampene, og hvor 75 prosent gjennomførte venstresving og 25 prosent høyresving.

Tabell 10: Trafikkmengder og andel lange kjøretøy i scenariene som er brukt for simuleringer med ruterkruss og DDI

Scenario	Trafikk ramper	Trafikk sekundærveg	Andel lange kjøretøy [%]
1	300	1000 (500 i hver retning)	15
2	400	1200 (600 i hver retning)	15
3	500	1500 (750 i hver retning)	15

For simuleringene med forbudt og tillatt venstresving ble trafikkmengdene i Tabell 11 benyttet. Det ble først gjennomført simuleringer hvor halvparten av trafikken på sekundærvegen gjennomførte høyre og venstresving. Deretter ble det gjennomført simuleringer hvor 75 prosent gjennomførte venstresving, og 25 prosent høyresving.

Tabell 11: Trafikkmengder og andel lange kjøretøy i scenariene som er brukt i simuleringer ved tillatt og forbudt venstresving

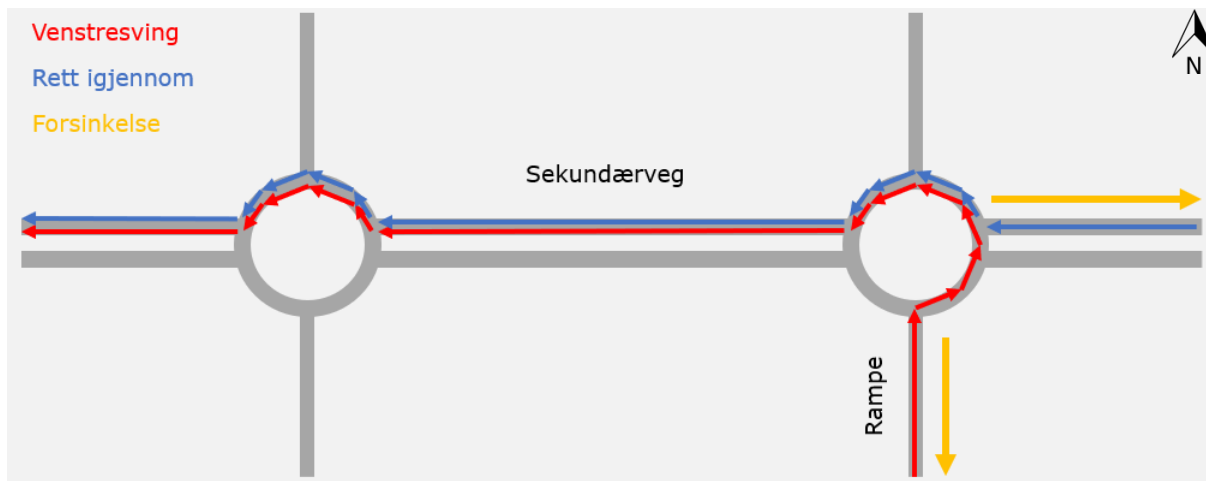
Scenario	Trafikk hovedveg	Trafikk sekundærveg	Andel lange kjøretøy [%]
1	1000 (500 i hver retning)	300	10
2	1200 (600 i hver retning)	400	10
3	1400 (700 i hver retning)	500	10

4.3 Simuleringer

Simuleringene gir en rekke ulike resultater, og det er ikke realistisk eller nødvendig å analysere og sammenligne alle disse resultatene. Det er derfor nødvendig å bestemme hvilke verdier og resultater fra simuleringene som skal analyseres. I begge tilfeller er hensikten med alternativ utforming og regulering at forsinkelsen og reisetid på sekundærveg og rampe skal reduseres. Det er også ønskelig at dette ikke skal føre til for stor forsinkelse på primærveg og sekundærveg. Det er derfor hentet ut reisetid for to sentrale ruter i hvert av nettverkene, samt forsinkelse på enkelte av vegene. I tillegg er det hentet ut data for totalt CO2 utslipp for alle simuleringene. Sidra gir resultater for utslipp automatisk, og i Aimsun er utslippsmodellen til Panis et al (2006) aktivert. Rutene det er hentet ut data for reisetid på omtales som «venstresving» og «rett igjennom» i begge tilfeller, både ved simuleringene med venstresving og ruterkruss og DDI. «Venstresving» og «rett igjennom» går i alle tilfeller mellom de samme himmelretningene:

- Venstresving: sør-vest
- Rett igjennom: øst-vest

I simuleringene med ruterkryss og DDI er det hentet ut resultater for forsinkelse på rampen sørfra og sekundærvegen inn mot krysset østfra. Reisetid er hentet for ruten venstresvingende fra rampen følger, samt ruten de som skal rett igjennom krysset i retning øst-vest følger. Figur 50 viser hvor det er hentet ut verdier for forsinkelse og reisetid i simuleringene med ruterkryss.



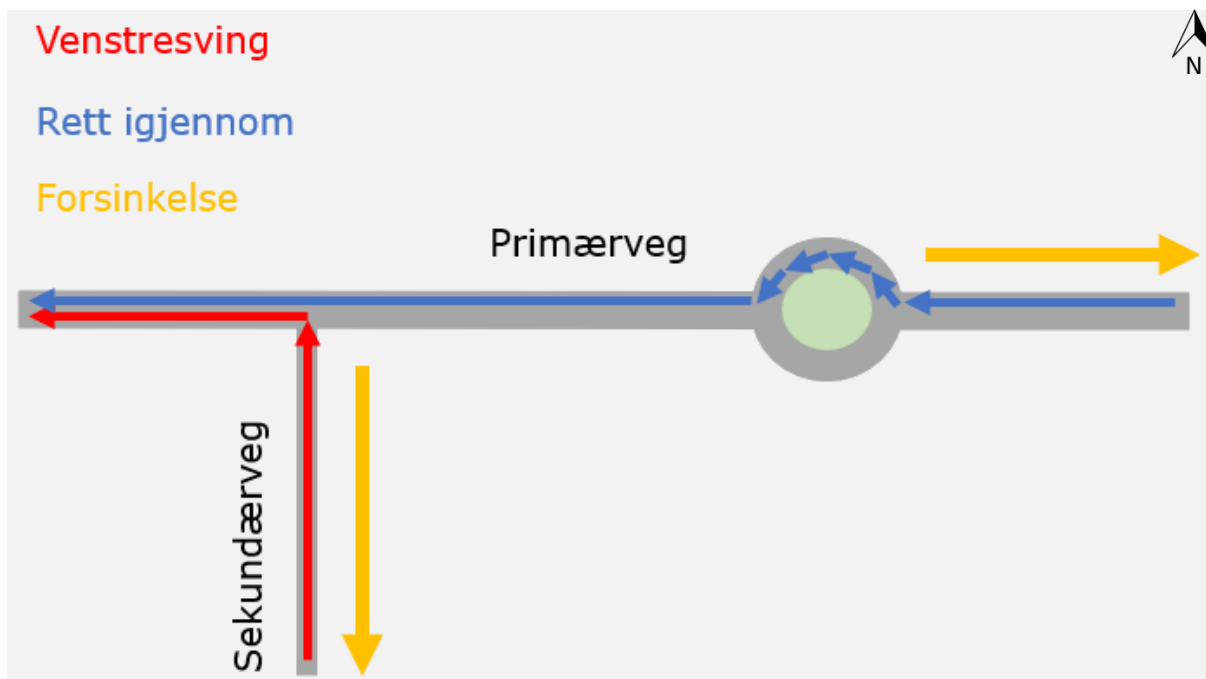
Figur 50: Skisse av ruterkryss med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse

Figur 51 viser hvor det er hentet ut verdier for forsinkelse og reisetid i simuleringene med DDI.



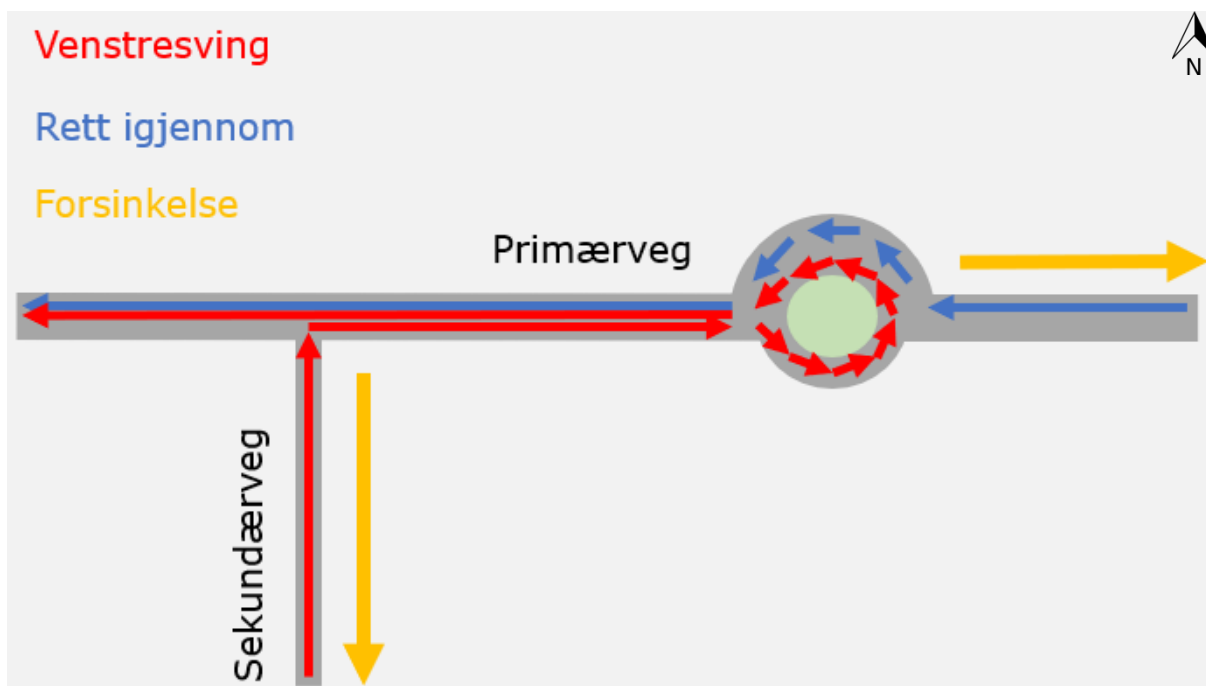
Figur 51: Skisse av DDI med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse

I simuleringene med venstresving er det hentet resultater for forsinkelse på sekundærvegen, samt inn mot rundkjøringen østfra. Reisetid er hentet ut på ruten venstresvingende fra sekundærvegen følger, og ruten rett igjennom krysset i retning øst-vest. Det er også hentet verdier for utslipp totalt i alle simuleringene. Figur 52 viser rutene det er hentet ut reisetid fra og retningene det er målt forsinkelse i simuleringene hvor venstresving er tillatt.



Figur 52: Skisse av kryss med venstresving tillatt med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse

Tilsvarende som over viser Figur 53 hvilke ruter det er hentet ut reisetid fra og retningene det er målt forsinkelse i simuleringene hvor venstresving er forbudt.



Figur 53: Skisse av kryss med venstresving forbudt med ruter og retninger hvor det er målt reisetid og forsinkelse

I Sidra kommer resultatene fra simuleringene direkte i ulike rapporter som brukeren kan hente ut. Det produseres også egne rapporter for de rutene som er definert. I Aimsun ble det opprettet ti scenarier for hver av simuleringene, samt en gjennomsnittsberegning for de ti scenariene. Verdier for forsinkelse og utslipp ble hentet fra gjennomsnittsberegningen. Deretter ble hvert scenario undersøkt individuelt, for å finne det scenariet med verdier som liknet mest på gjennomsnittet. Verdier for reisetid på de to rutene ble hentet fra scenarioet som i størst grad tilsvarte gjennomsnittet. All dataen ble overført til Excel, og systematisert for videre analyse der.

Tolkning av resultatene

Simuleringene gir store mengder resultater, og for å kunne sammenligne de ulike løsningene på en fornuftig måte er det nødvendig å etterbehandle disse. Det er derfor valgt å se på den prosentmessige endringen i resultatene for både reisetid, forsinkelse og utslipp ved de ulike løsningene. Den prosentvise endringen finnes ved å trekke verdien for ruterkryss/venstresving tillat fra verdien for DDI/venstresving forbudt. Dette deles så på verdien for ruterkryss/venstresving tillat, og til slutt ganges alt med 100. Excel er benyttet i arbeidet med etterbehandling av resultatene.

Negativ verdi for den prosentmessige endringen innebærer at reisetiden, forsinkelsen eller utslippene er redusert ved DDI eller forbudt venstresving. Positiv verdi innebærer da følgelig en økning av det samme ved DDI eller forbudt venstresving. Hensikten med å fremstille resultatene på denne måten er først og fremst at det gjør det lett å vurdere nytten av tiltakene. Negative verdier innebærer en forbedring ved den alternative løsningen, og positive verdier innebærer en forverring. En annen fordel med å gjøre dette er at mengden resultater reduseres betraktelig.

Prosentvis endring sier ikke noe direkte om størrelsen på noen av verdiene. En endring i forsinkelse fra 4 sekunder til 2 sekunder vil fremstilles som 50 prosent reduksjon. En så høy reduksjon høres veldig bra ut, men i realiteten vil det ha lite å si med tanke på trafikkavviklingen. I dette tilfellet ville differansen mellom tallene gitt et bedre bilde av den faktiske endringen. Fordelen med å se på prosentvis endring er at tilfellene hvor endringen er stor blir godt illustrert. Det blir med andre ord lettere å se om det er stor relativ forskjell i tallene som sammenlignes. I tillegg til dette presenteres representative verdier for reisetid, forsinkelse og utslipp direkte. Disse verdiene illustrerer størrelsene det er snakk om, og setter resultatene i kontekst.

5 Resultater

Resultatkapittelet er delt inn i tre deler, en del til hvert av forskningsspørsmålene. I den første delen oppsummeres de viktigste funnene fra litteraturstudiet. Videre presenteres sentrale resultater fra trafikksimuleringene som er gjort i forbindelse med forskningsspørsmål 1 og 2. Her presenteres resultater innenfor hovedkategoriene reisetid, forsinkelse og utslipp. Resultatene kan sees i sin helhet på tabellform i vedlegg 1.

5.1 Egnethet for norske forhold

Funnene fra fagartikler og litteratur som er beskrevet i teorikapittelet viser at det flere mulige gevinster ved å utforske alternative kryssløsninger i Norge. I en del eksisterende kryssløsninger er venstresving den mest kritiske bevegelsen både med tanke på forsinkelse og sikkerhet. Det finnes flere alternative kryss som gir sikrere og mer effektiv avvikling av nettopp venstresvingen. Tilsvarende gevinster kan også være mulig å hente gjennom ny bruk av eksisterende kryss.

Resultater fra flere studier viser at begrensning av venstresving kan føre til mindre forsinkelse og bedre trafikkavvikling totalt sett. Både RCUT og MUT som ble beskrevet tidligere baserer seg på å dele opp venstresving i flere deler, slik at venstresvingende kan håndtere en konflikt om gangen. På grunn av størrelse, utforming og regulering er både RCUT og MUT lite egnet for direkte bruk i Norge. Det er allikevel flere interessante prinsipper fra de to kryssene som kan anvendes gjennom ny regulering innenfor eksisterende kryss og nettverk. DDI er et eksempel på en kryssløsning som kan benyttes i Norge, særlig i en nedskalert versjon med enkelte andre tilpasninger.

I sentrale områder med mye trafikk benyttes det ofte rundkjøringer for å sikre god trafikkavvikling. Kartleggingen av noen sentrale «hovedveger» i Trondheim viste at rundkjøring er mye brukt på flere forkjøringsregulerte veger. Langs veger som dette ligger forholdene allerede godt til rette for å innføre regulering tilsvarende forbudet mot venstresving som er foreslått i denne oppgaven.

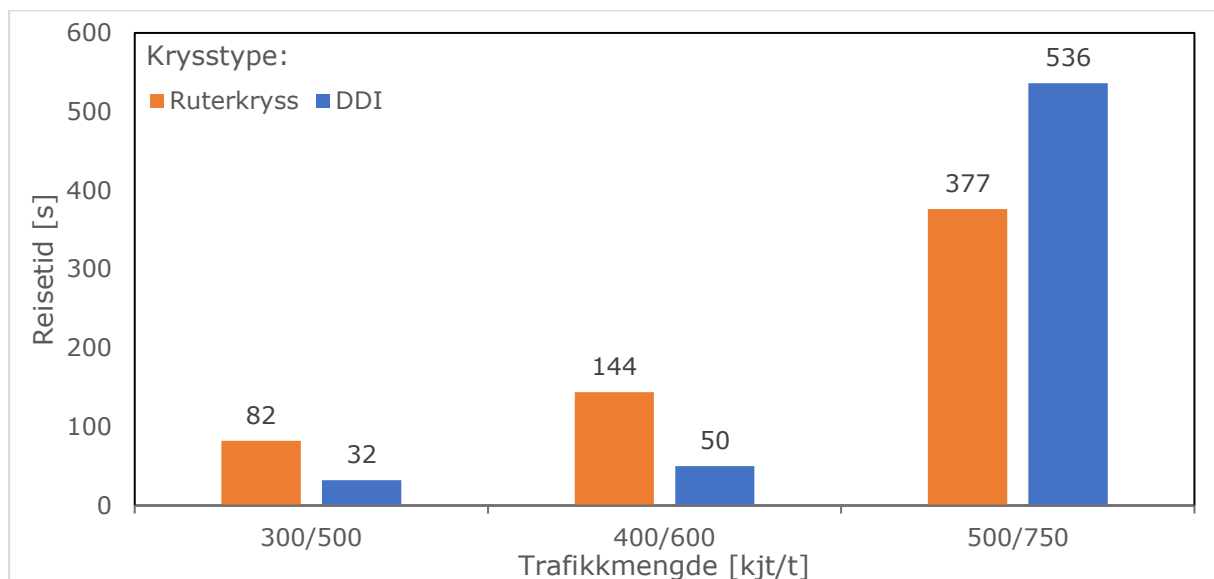
I tillegg til det trafikktekniske, kan alternative kryssløsninger ha flere andre positive effekter. En krysstype som DDI kan bygges innenfor prinsippene for sikre vegkryss foreslått av Candappa et al. i studien fra 2014. På denne måten kan trafikksikkerheten ivaretas og kanskje kan faren for alvorlige ulykker reduseres. Fjerning av tradisjonell venstresving kan også føre til en reduksjon i antallet mindre alvorlige ulykker. Det finnes flere studier som peker på at mer effektiv trafikkavvikling og mindre køkjøring kan føre til reduksjon i utslippene fra trafikken. Forbedring av trafikksikkerhet og reduksjon i utslipp er tett knyttet til uttalte politiske mål. Alternative kryssløsninger kan også bidra til økt kapasitet, uten at arealbehovet øker nevneverdig. Eksempelet fra Danmark hvor et tradisjonelt diamantkryss ble bygget om til DDI viser nettopp dette. Uttalelsene fra sjefsingeniør Smeby i Statens vegvesen viser at det er en viss skepsis til slike kryssløsninger i Norge. Dette kan legge begrensinger på videre arbeid innenfor temaet.

5.2 DDI sammenlignet med ruterkruss

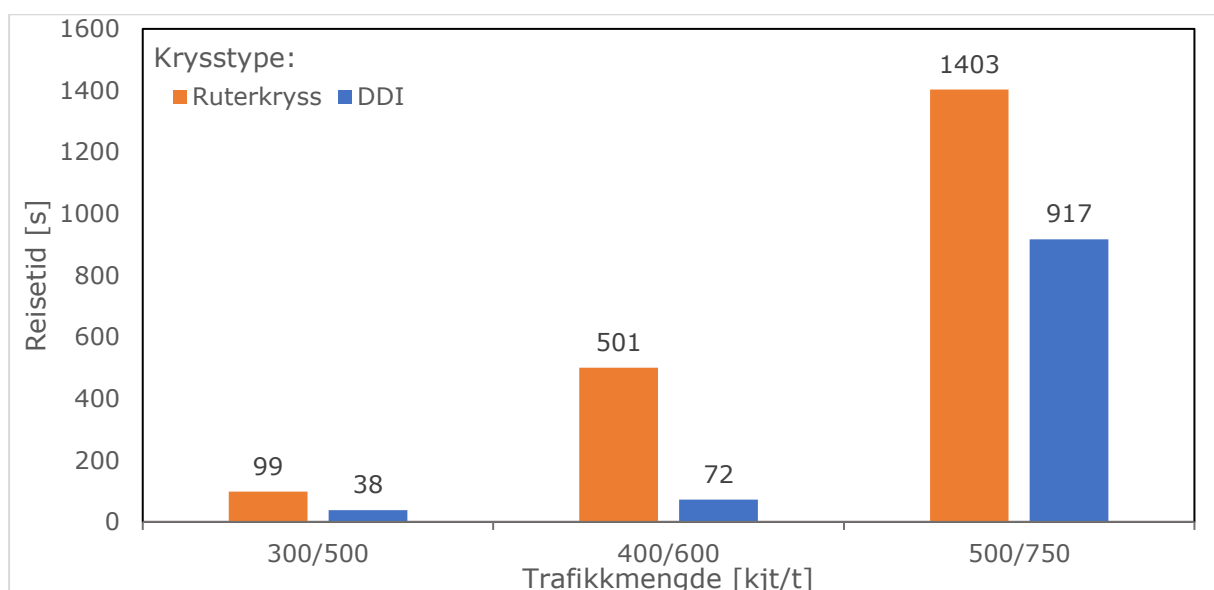
Simuleringene er gjennomført for å sammenligne ruterkruss og DDI med tanke på reisetid, forsinkelse og utslipp. For å gi et inntrykk av størrelsene det er snakk om innenfor de ulike kategoriene presenteres noen av resultatene direkte. I tillegg presenteres prosentvis endring i de ulike verdiene, slik at effekten lett kan vurderes. En negativ prosentvis endring innebærer at reisetid, forsinkelse eller utslipp er redusert i DDI sammenlignet med ruterkruss.

5.2.1 Reisetid

Figur 54 viser reisetidene på ruten for venstresving i ruterkruss og DDI ved 50 prosent andel venstresvingende. Figur 55 viser reisetidene på ruten rett igjennom krysset. 75 prosent andel venstresvingende gir tilsvarende resultater, men reisetidene øker jevnt over.



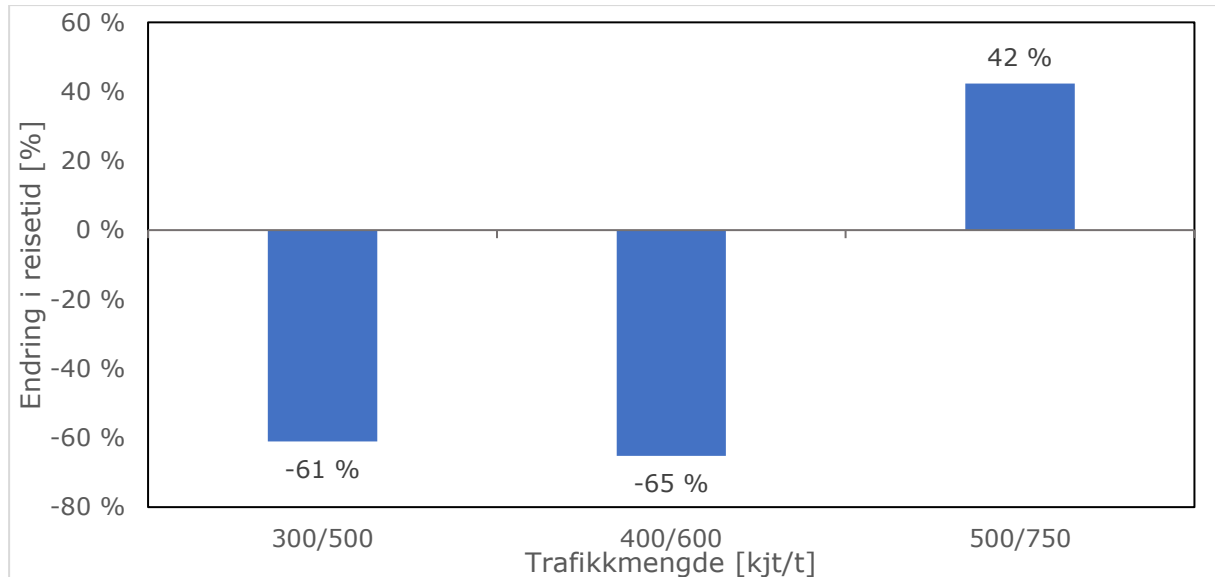
Figur 54: Reisetider for venstresving i ruterkruss og DDI ved 50 prosent andel venstresvingende



Figur 55: Reisetider for ruten rett igjennom i ruterkruss og DDI ved 50 prosent andel venstresvingende

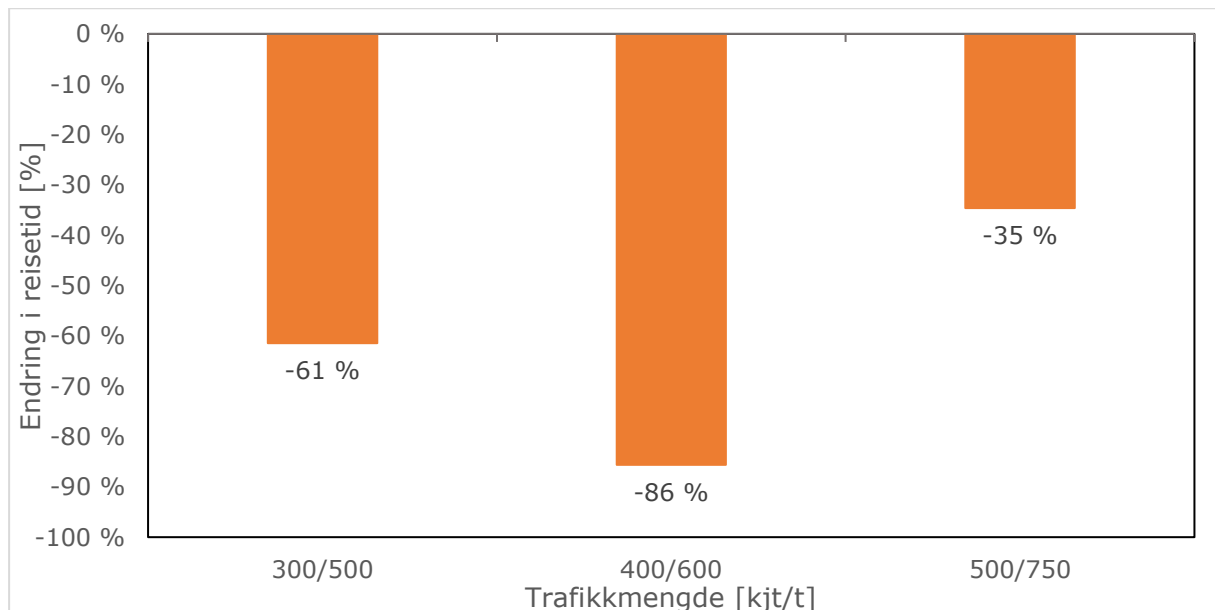
Som Figur 54 viser, blir reisetidene for venstresvingende relativt høye ved høye trafikkmengder for både ruterkryst og DDI. Det samme ser en på ruten rett igjennom krysset.

Ved 50 prosent andel venstresving viser simuleringene i Aimsun at reisetiden for venstresvingende reduseres i et DDI sammenlignet med et ruterkryst for lave og moderat trafikkmengder. Ved høye trafikkmengder øker reisetiden. Figur 56 viser den prosentvise endringen i reisetid for venstresvingende i ruterkryst og DDI for de tre ulike trafikkmengdene.



Figur 56: Prosentvis endring i reisetid mellom ruterkryst og DDI for venstresvingende ved 50 prosent andel venstresving

For trafikk rett igjennom krysset reduseres reisetiden i alle trafikksenarioer. Figur 57 viser den prosentmessige endringen i reisetid for ruten rett igjennom i ruterkryst og DDI for de tre ulike trafikkmengdene.

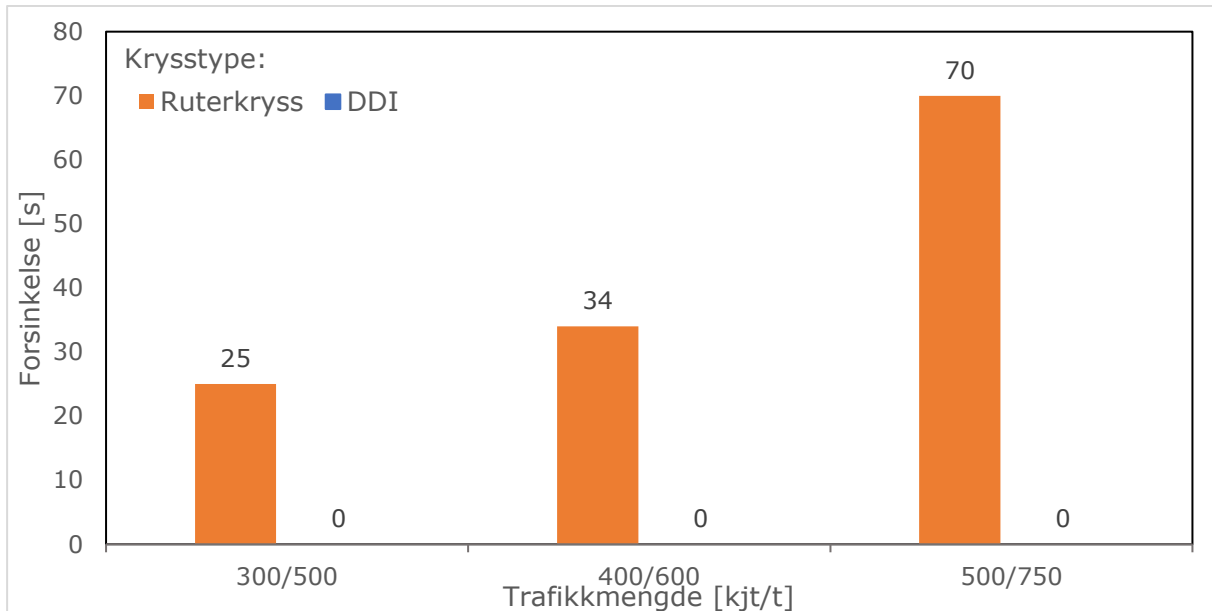


Figur 57: Prosentvis endring i reisetid mellom ruterkryst og DDI for bevegelsen rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving

Ved 75 prosent andel venstresving viser simuleringene at reisetiden øker for venstresvingende ved trafikkscenario 2 og 3. Det samme observeres for bevegelsen rett igjennom krysset. Ved høye trafikkmengder gir 75 prosent andel venstresvingende en særdeles høy reisetid i både DDI og ruterkryss.

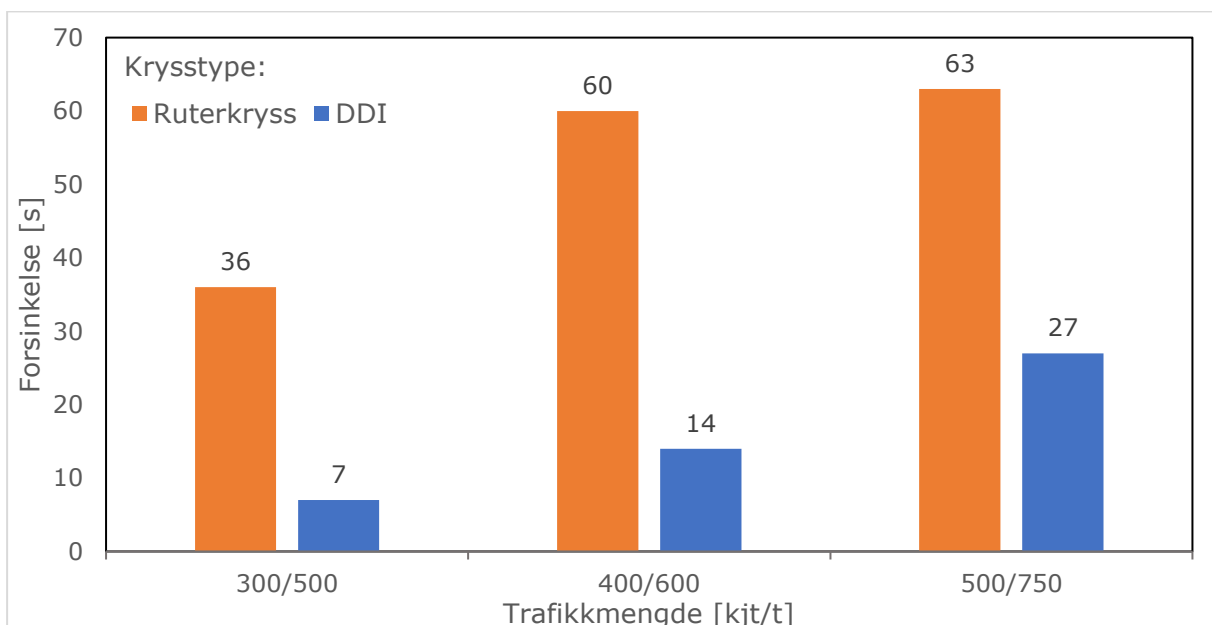
5.2.2 Forsinkelse

Figur 58 viser forsinkelsen sørfra på rampen for ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving. Som en ser, blir det omtrent ingen forsinkelse på rampen i DDI.



Figur 58: Forsinkelse sørfra i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving

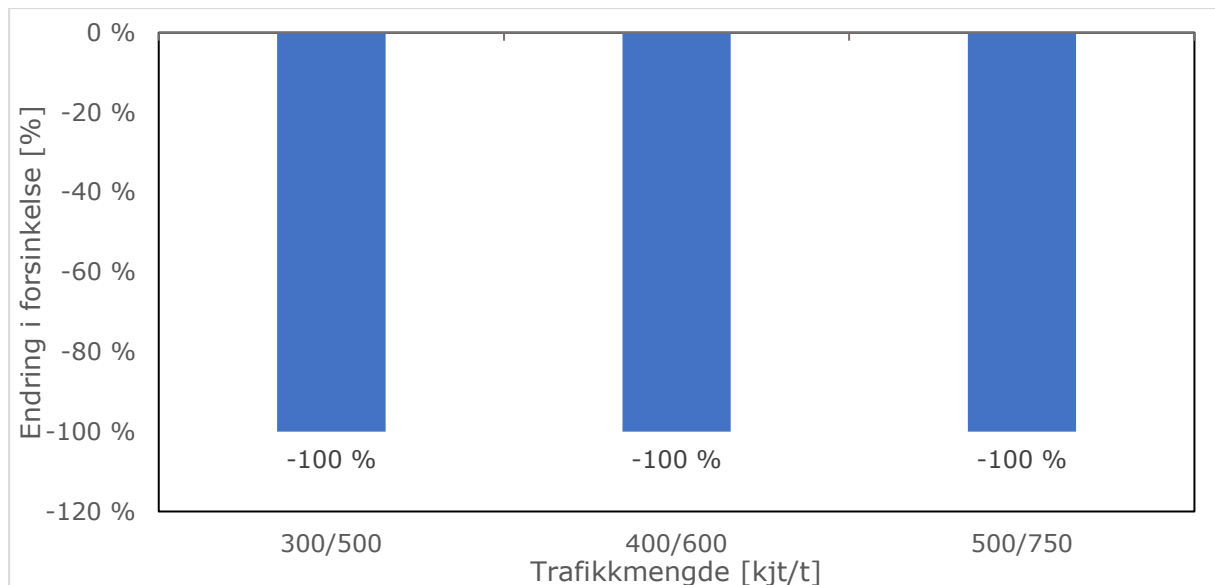
Figur 59 viser forsinkelsen østfra inn mot krysset på sekundærvegen. Her blir det også en betydelig forsinkelse i DDI, men den er stadig høyere i ruterkrysset.



Figur 59: Forsinkelse østfra inn mot ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving

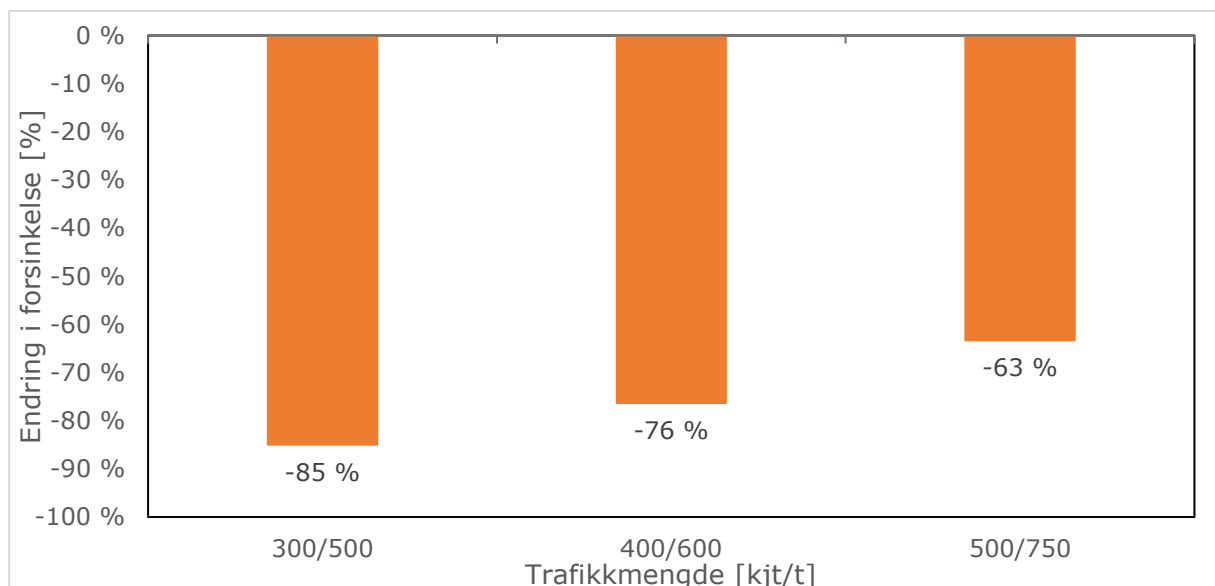
Simuleringene i Aimsun viser at forsinkelsen både i sør og øst reduseres i et DDI sammenlignet med ruterkryst. I ruterkrystet øker forsinkelsen i takt med økende trafikkmengde, særlig sørfra. Den samme trenden observeres både for 50 og 75 prosent venstresvingandel.

Figur 60 viser prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom ruterkryst og DDI for de tre ulike trafikkmengdene, ved 50 prosent andel venstresving. Siden det ikke er noen forsinkelse i DDI, blir forsinkelsen redusert med 100 prosent i alle tilfeller sammenlignet med ruterkrystet.



Figur 60: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom ruterkryst og DDI ved 50 prosent andel venstresving

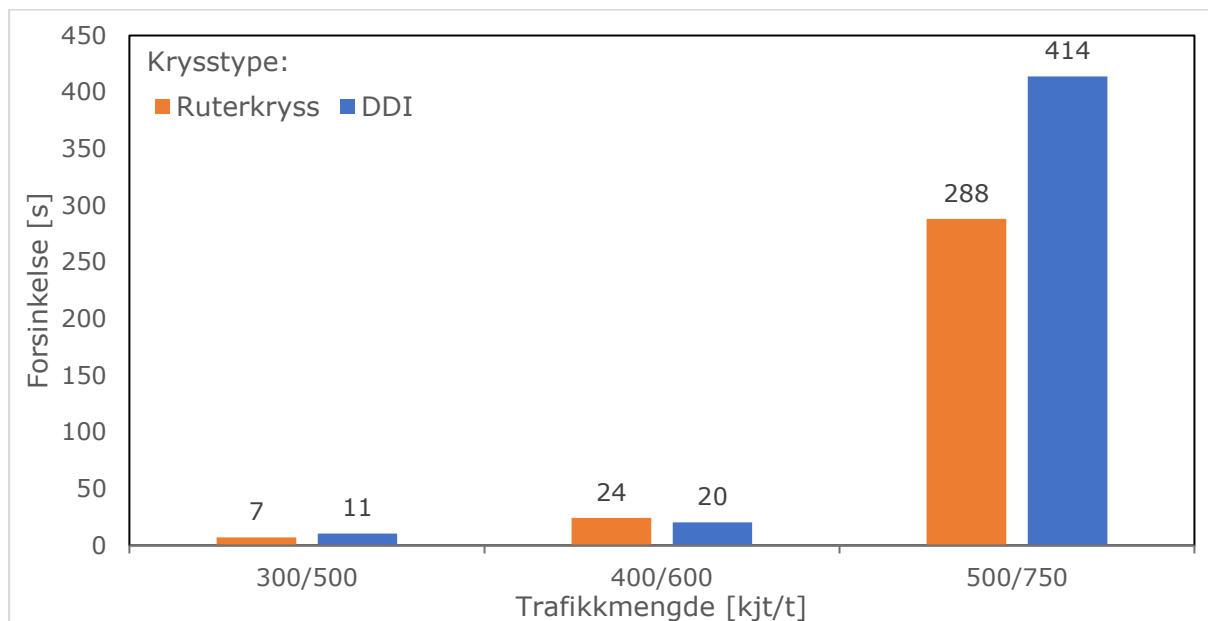
Figur 61 viser prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom ruterkryst og DDI for de tre ulike trafikkmengdene, ved 50 prosent andel venstresving.



Figur 61: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom ruterkryst og DDI ved 50 prosent andel venstresving

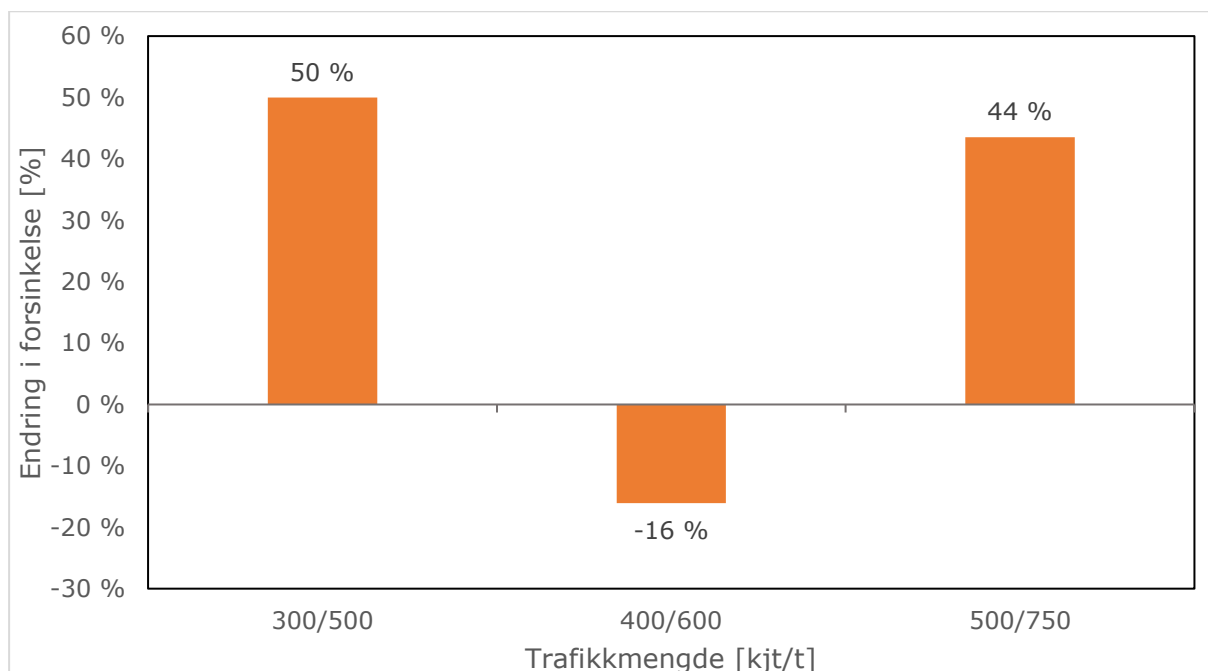
I Sidra er det på grunn av problemene med fullskalamodellen av DDI kun produsert resultater for forsinkelse i øst. Denne modellen skiller seg fra Aimsun modellen ved at det ikke er noe samarbeids i vikepliktskrysset. Forskjellen blir særlig tydelig i trafikksenario 3, hvor forsinkelsen er betraktelig høyere i DDI sammenlignet med ruterkryss.

Figur 62 viser forsinkelsen østfra inn mot krysset ved 50 prosent andel venstresving. I trafikksenario 1 og 2 er forsinkelsen omtrent lik i ruterkrysset og DDI.



Figur 62: Forsinkelse inn mot krysset østfra ved 50 prosent andel venstresving

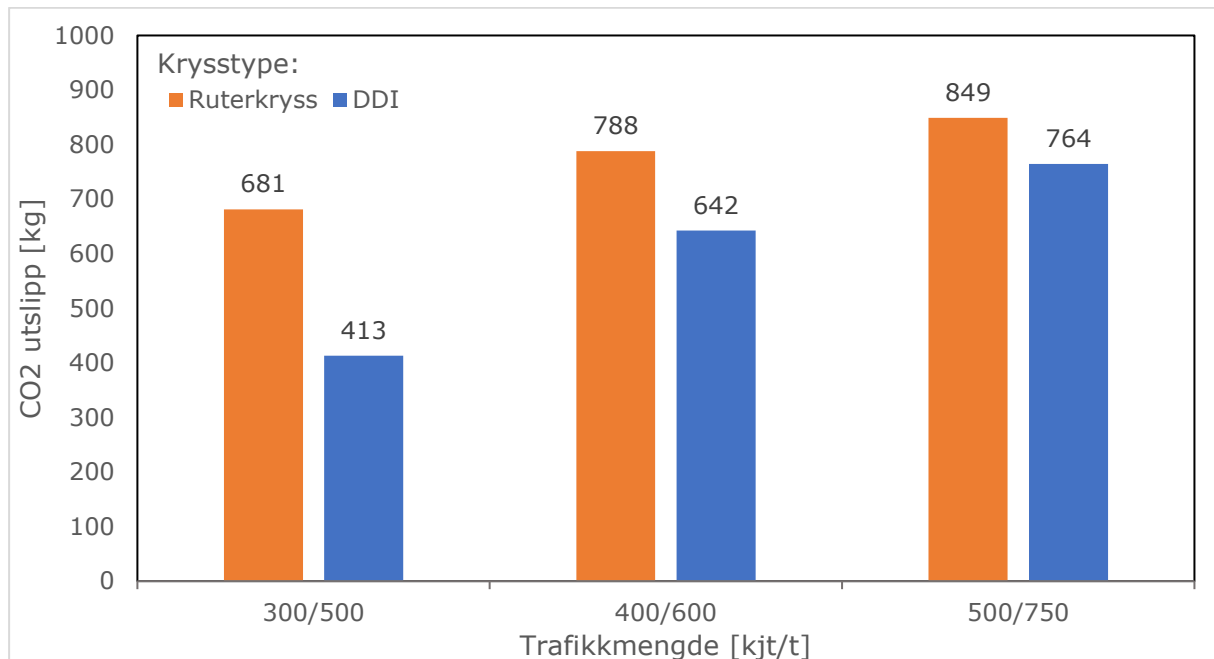
Figur 63 viser prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom DDI og ruterkryss for de tre ulike trafikkmengdene ved 50 prosent andel venstresving. Ved lave og moderate trafikkmengder er forsinkelsene relativt lave for både ruterkryss og DDI.



Figur 63: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving

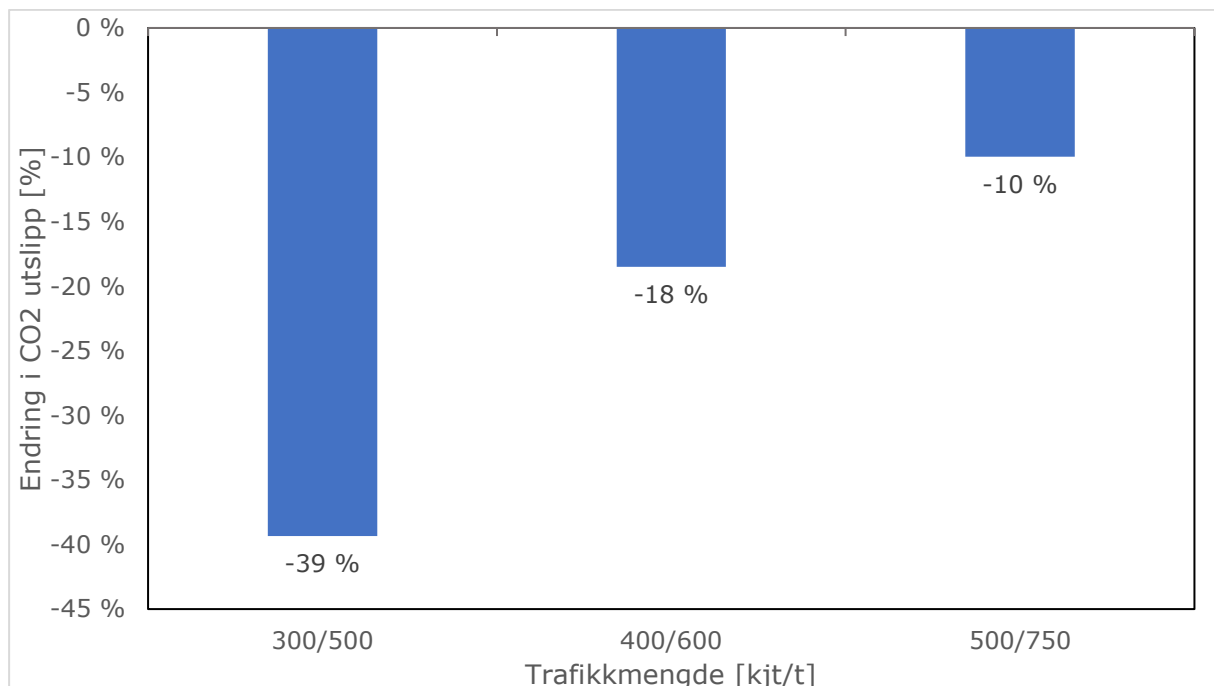
5.2.3 Utslipp

Figur 64 viser utslippene i Aimsun for både DDI og ruterkryss ved 50 prosent andel venstresving.



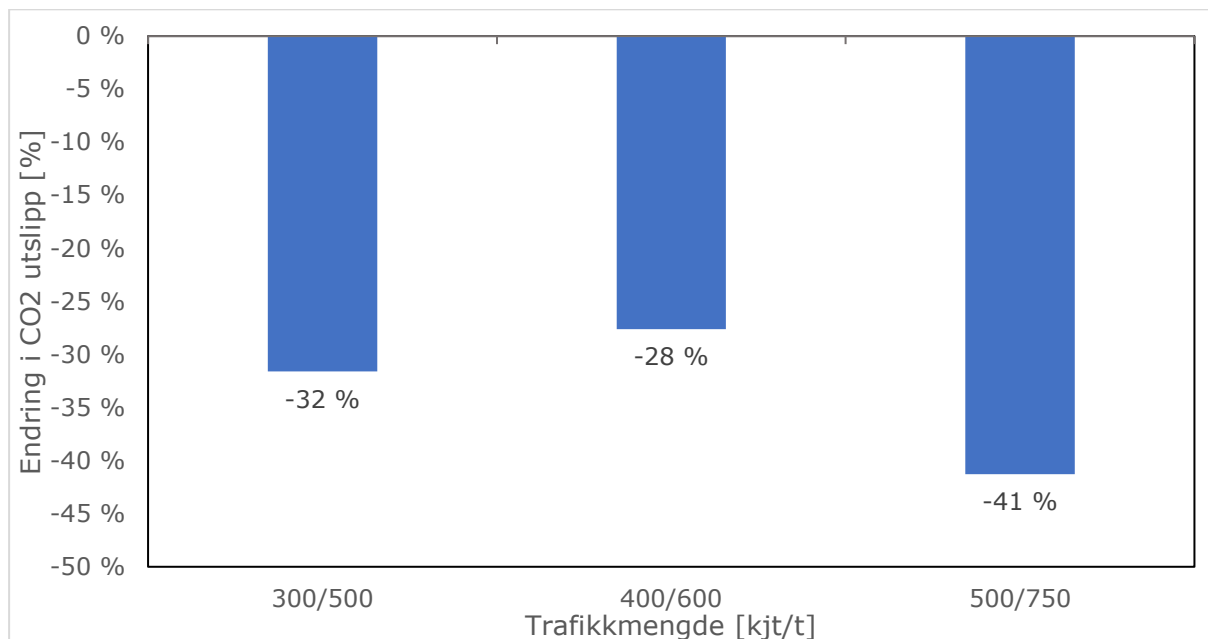
Figur 64: Utslipp i ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving

Resultatene viser at utslippene er lavere i DDI sammenlignet med ruterkryss for alle trafikkmengder. Ved 50 prosent andel venstresving minsker differansen med økende trafikkmengde, og i trafikscenarior 3 er forskjellen relativt liten. Figur 65 viser prosentvis endring i CO2 utslipp mellom ruterkryss og DDI, ved 50 prosent andel venstresvingende.



Figur 65: Prosentvis endring i utslipp mellom ruterkryss og DDI ved 50 prosent andel venstresving

Ved 75 prosent andel venstresving er utslippene fortsatt jevnt over høyere i ruterkruss enn i DDI, for alle trafikkmengder. Figur 66 viser prosentvis endring i CO2 utslipp mellom ruterkruss og DDI, ved 75 prosent andel venstresvingende.



Figur 66: Prosentvis endring i utslipp mellom ruterkruss og DDI ved 75 prosent andel venstresving

5.3 Begrensing av venstresving

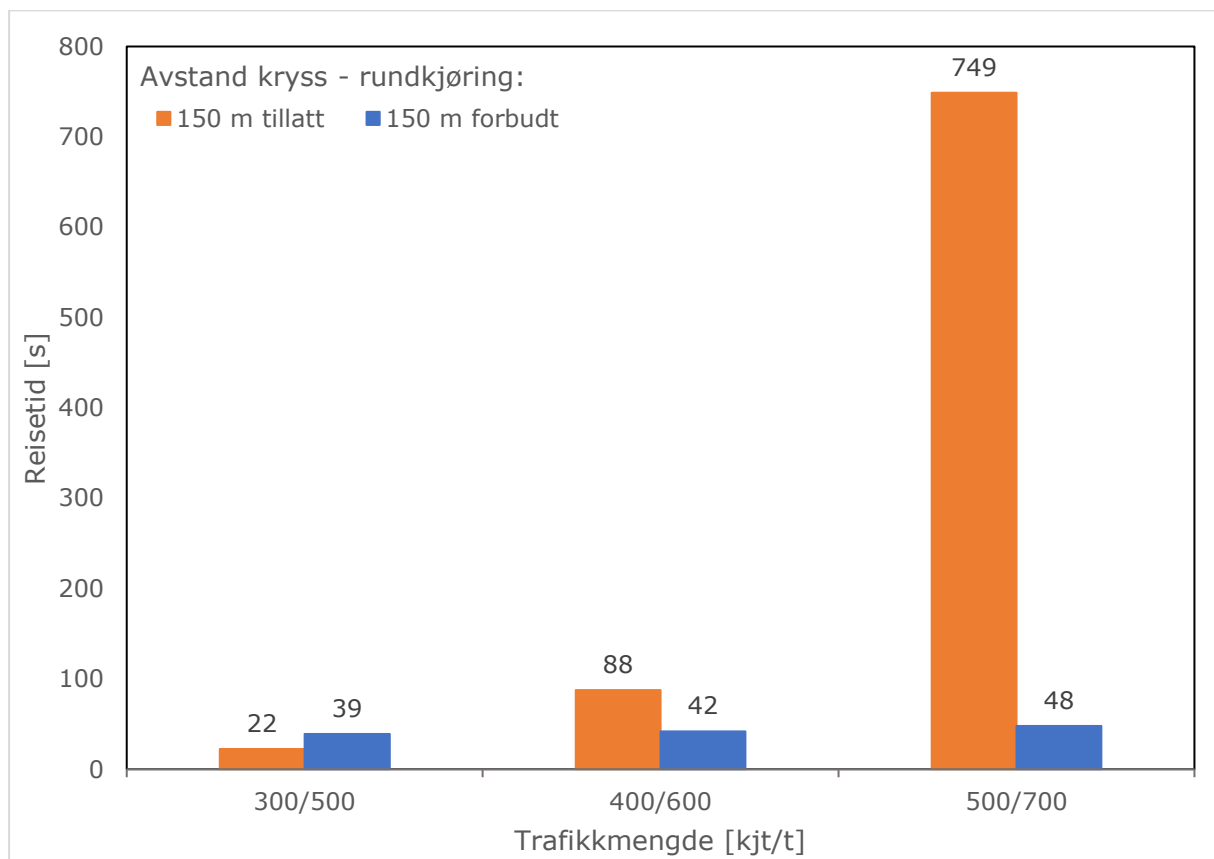
Tanken med å fjerne muligheten for venstresving er at reisetiden totalt sett skal reduseres ved at forsinkelsen i krysset reduseres. Først presenteres noen representative resultater for reisetid, forsinkelse og utslipp for å sette verdiene i kontekst og vise størrelsene det er snakk om. Deretter presenteres den prosentmessige endringen, som gjør det enkelt å vurdere effekten av tiltaket. Negativ prosentvis endring innebærer at reisetid, forsinkelse og utslipp reduseres ved forbud mot venstresving.

5.3.1 Reisetid

Sidra

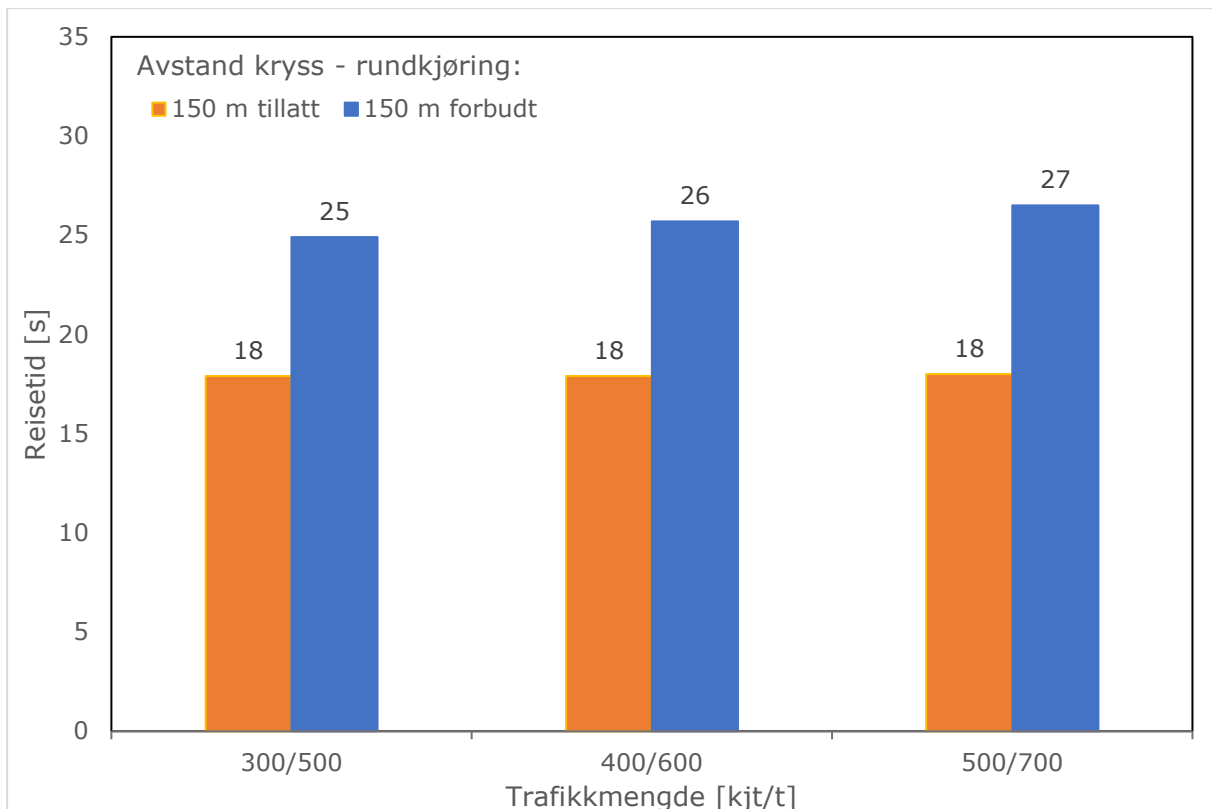
Simuleringene i Sidra viser at forbud mot venstresving gir kortere reisetid for venstresvingende ved trafikkscenario 2 og 3. For trafikkscenario 3 blir besparelsen svært høy. For trafikk på ruten rett igjennom krysset øker reisetiden i alle trafikkscenarioer. Resultatene viser tilsvarende trender for simuleringer med 50 og 75 prosent venstresving, men utslagene blir noe større ved 75 prosent venstresving.

Figur 67 viser reisetidene på ruten for venstresving ved tillatt og forbudt venstresving. Andelen venstresvingende er 50 prosent og avstanden mellom kryss og rundkjøring er 150 meter.



Figur 67: Reisetider for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

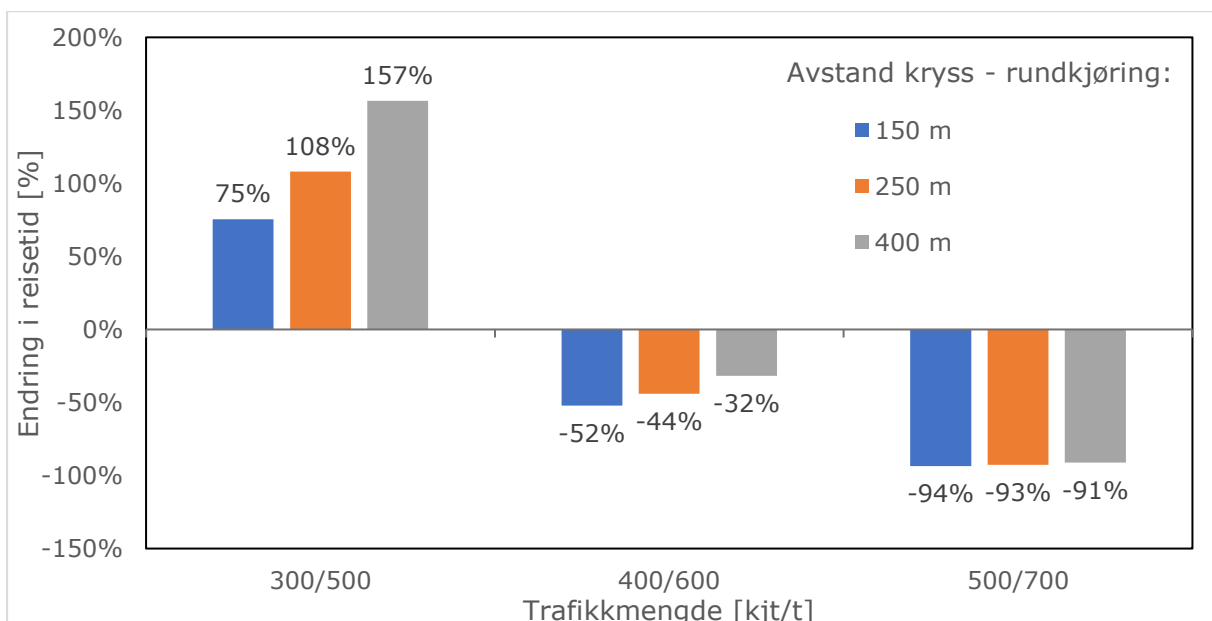
Figur 68 viser reisetidene på ruten rett igjennom krysset ved tillatt og forbudt venstresving. Andelen venstresvingende er 50 prosent og avstanden mellom kryss og rundkjøring er 150 meter.



Figur 68: Reisetider rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

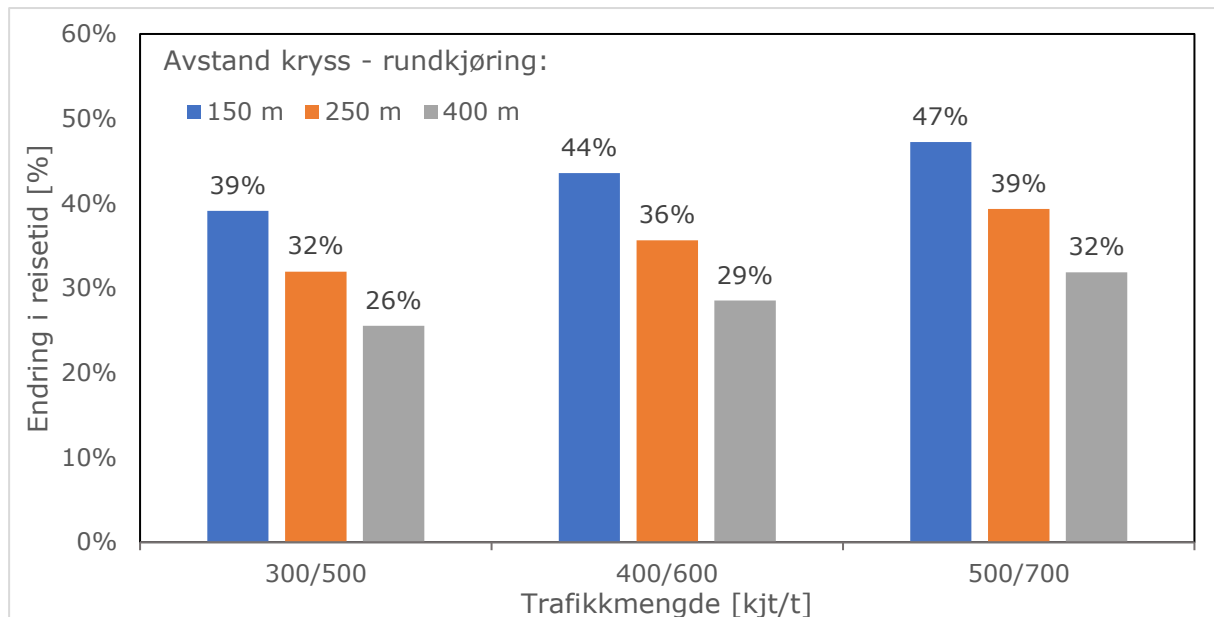
Som tallene viser, gir forbud mot venstresving betraktelig kortere reisetid for venstresvingende ved høye trafikkmengder. På ruten rett igjennom krysset øker reisetidene ved alle trafikkmengder.

Figur 69 viser den prosentvise endringen i reisetid for venstresvingende mellom tillatt og forbudt venstresving for de tre avstandene.



Figur 69: Prosentvis endring i reisetid mellom tillatt og forbudt venstresving for venstresvingende ved 50 prosent andel venstresving

Figur 70 viser differansen i reisetid mellom forbudt og tillatt venstresving for kjørende rett igjennom krysset ved de tre avstandene.

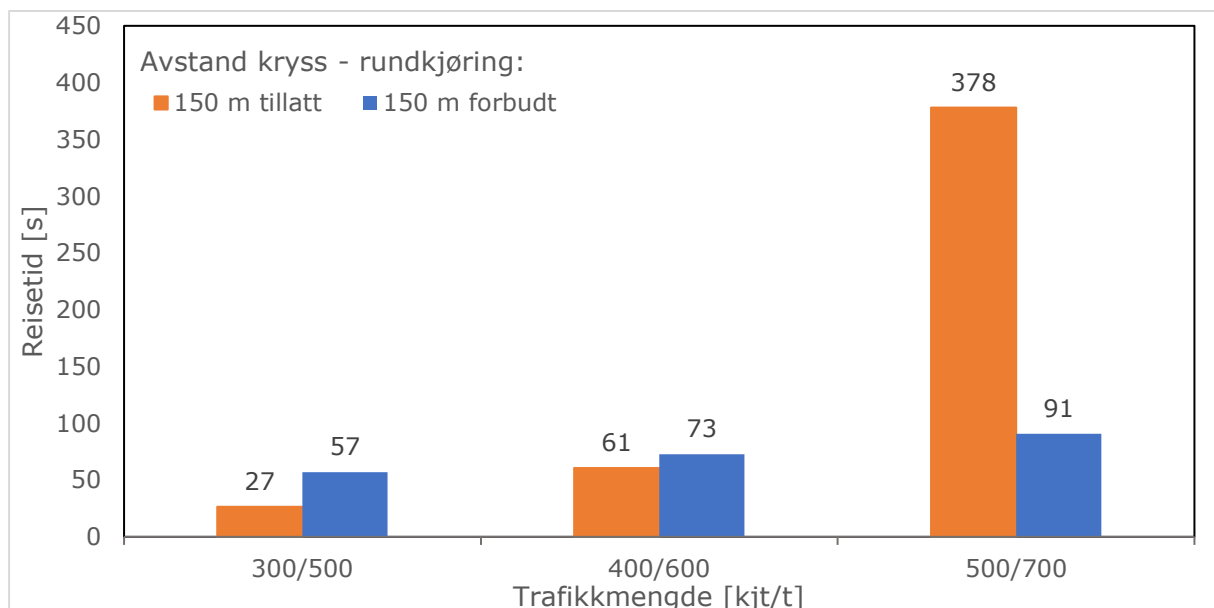


Figur 70: Prosentvis endring i reisetid rett igjennom krysset ved tillatt og forbudt venstresving og 50 prosent andel venstresving

Aimsun

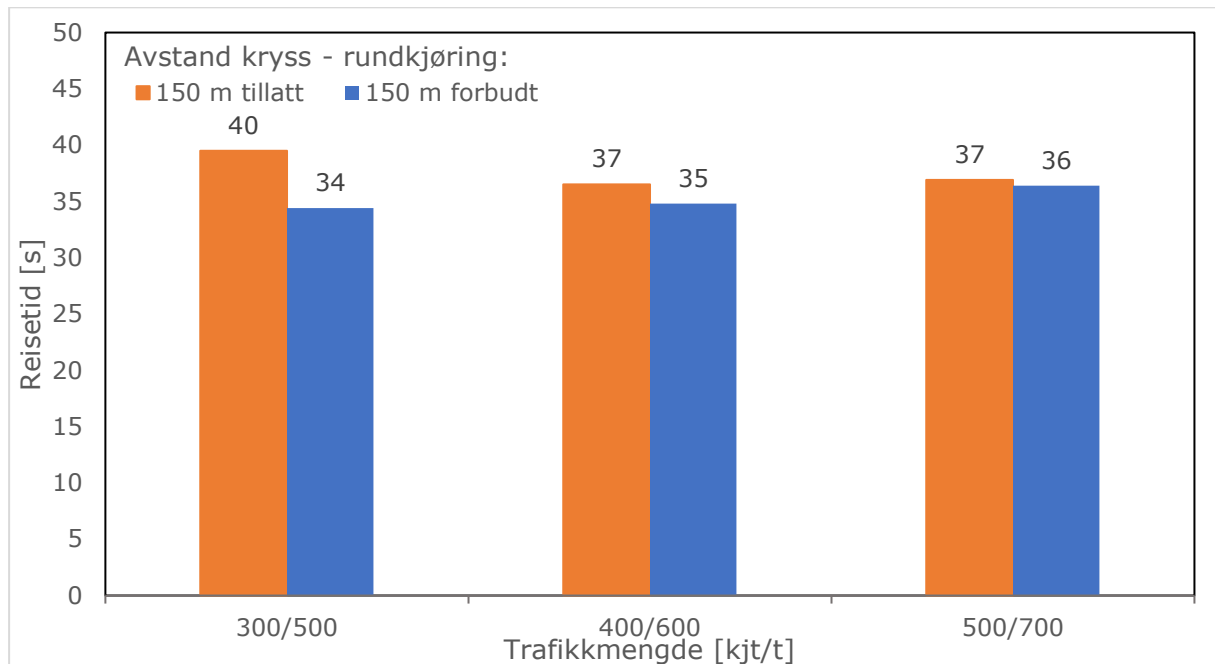
Resultatene fra Aimsun viser et litt annet bilde. For venstresvingende er det først ved trafikkscenario 3 at forbud mot venstresving gir lavere reisetid. For trafikk rett igjennom krysset reduseres reisetiden i alle tilfeller. Reduksjonen i reisetid er relativt beskjeden sammenlignet med endringene som observeres for venstresvingende.

Figur 71 viser reisetidene på ruten for venstresving ved tillatt og forbudt venstresving. Andelen venstresvingende er 50 prosent og avstanden mellom kryss og rundkjøring er 150 meter.



Figur 71: Reisetider for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

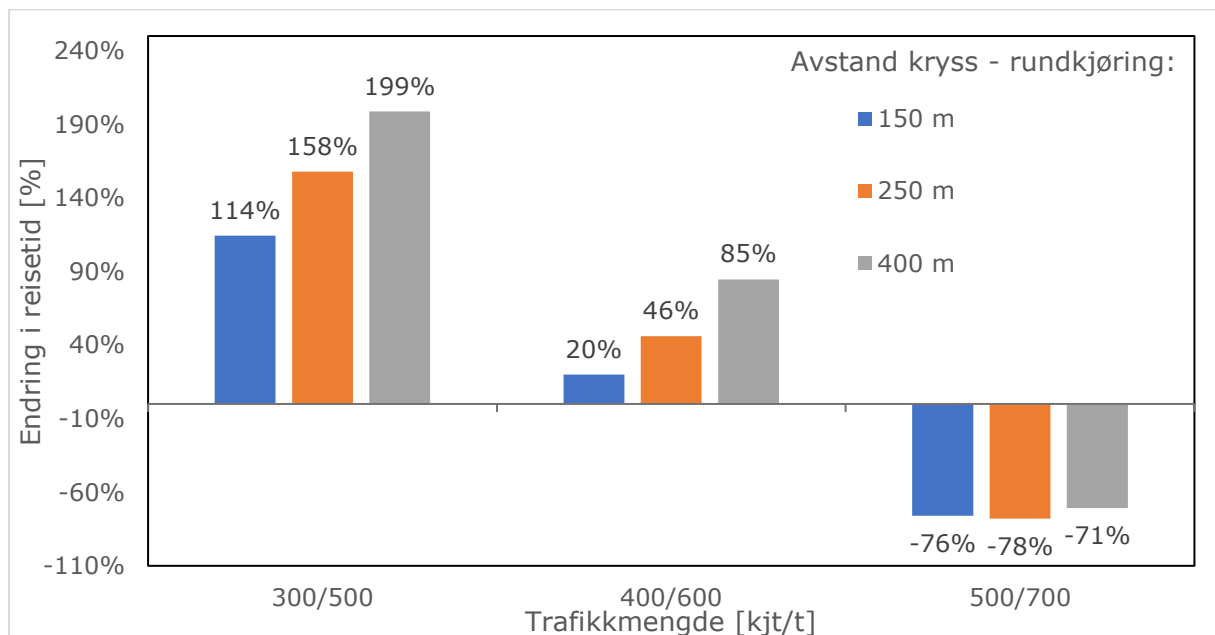
På ruten rett igjennom krysset reduseres reisetidene ved forbudt sammenlignet med tillatt venstresving. Figur 72 viser reisetidene ved 50 prosent andel venstresvingende og 150 meter mellom kryss og rundkjøring.



Figur 72: Reisetider rett igjennom krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

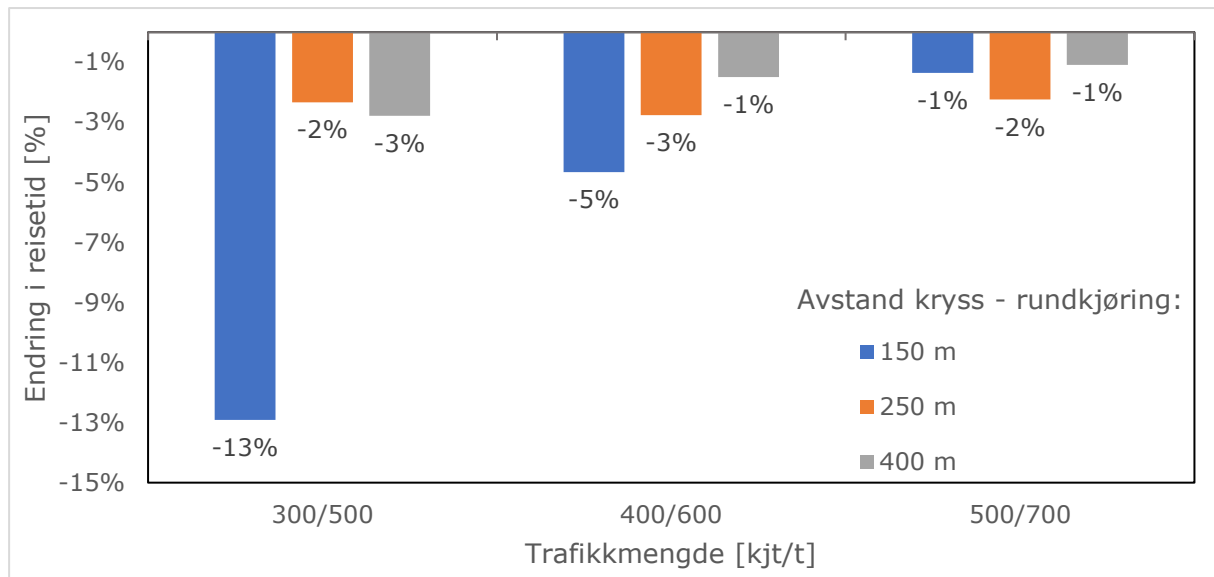
For venstresvingende er det først ved høye trafikkmengder at reisetiden reduseres totalt sett. Det ekstra kjørefeltet i rundkjøringen ser ut til å fungere godt, og gjør at reisetiden rett igjennom krysset reduseres i alle tilfeller.

Figur 73 viser prosentvis endring i reisetid for venstresvingende mellom forbudt og tillatt venstresving for de ulike avstandene.



Figur 73: Prosentvis endring i reisetid for venstresvingende mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

Figur 74 viser prosentvis endring i reisetid rett igjennom krysset ved forbudt og tillatt venstresving for de ulike trafikkmengdene og avstandene.



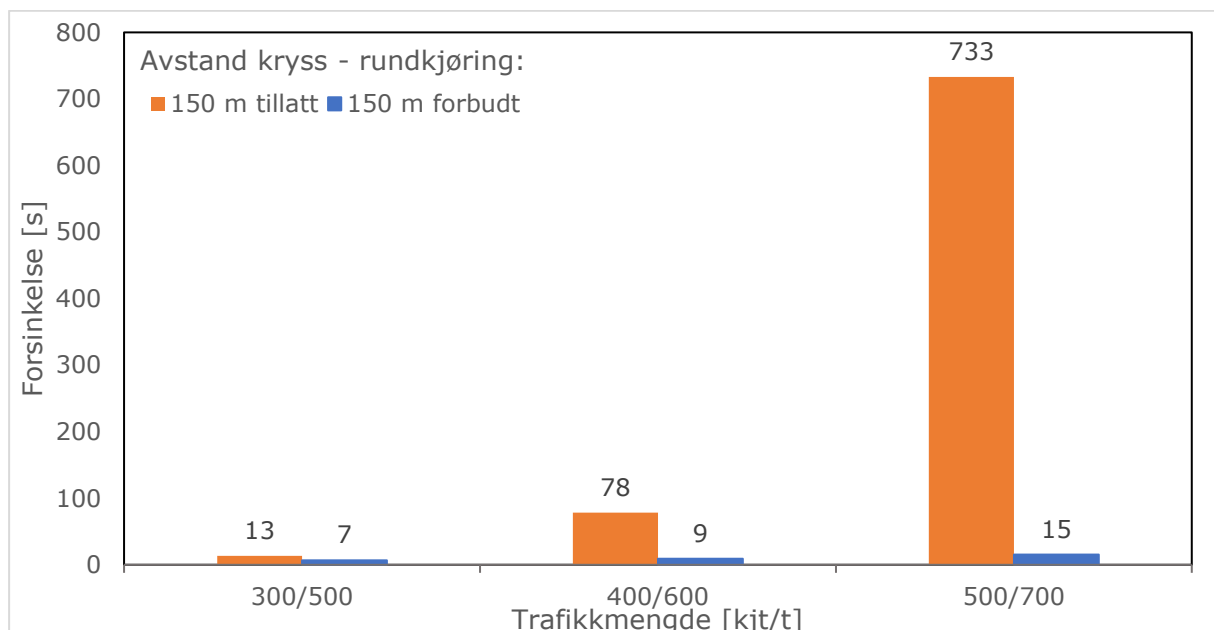
Figur 74: Prosentvis endring i reisetid rett igjennom krysset ved tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

5.3.2 Forsinkelse

Sidra

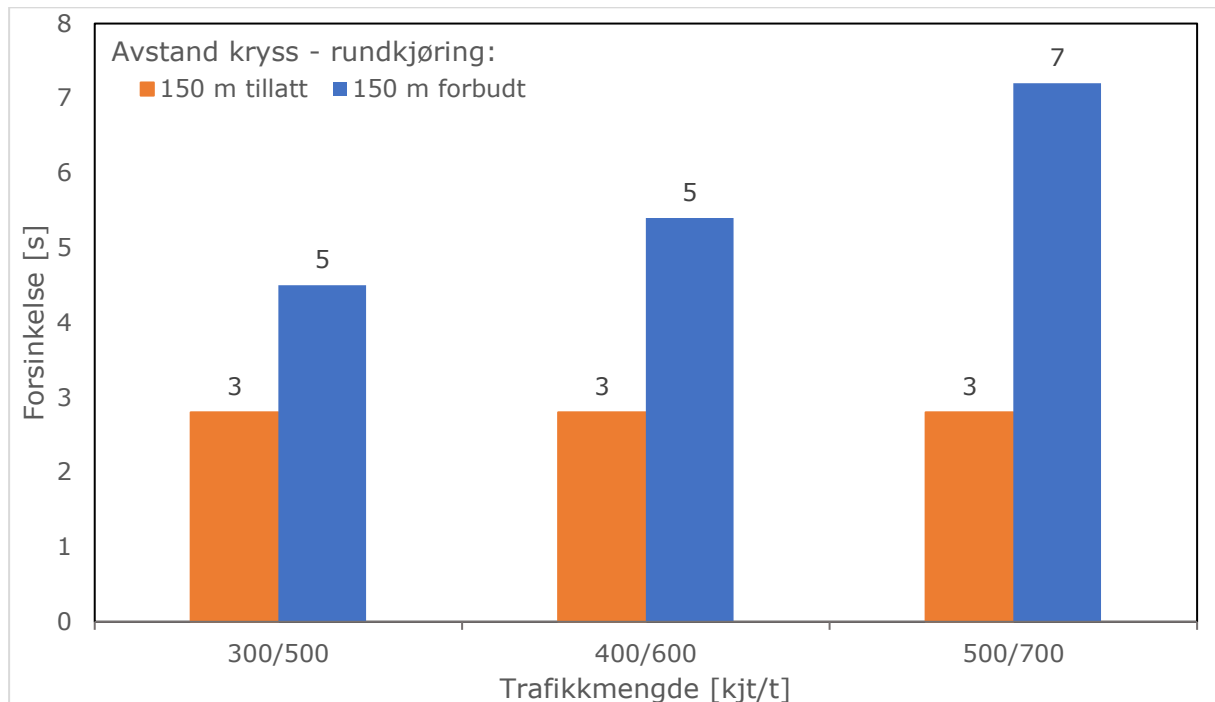
I Sidra reduseres forsinkelsen fra sør i alle trafikksituasjonene, og igjen blir utslagene for trafikksenario 3 svært store. Resultatene viser tilsvarende resultater for både 50 og 75 prosent venstresving, med høyere besparelser for tilfellet med 75 prosent venstresving.

Figur 75 viser forsinkelsen sørfra i vikeplikt-krysset ved tillatt og forbudt venstresving for 50 prosent andel venstresvingende og 150 meter mellom kryss og rundkjøring. Tilsvarende utvikling observeres for 250 og 400 meter mellom kryss og rundkjøring.



Figur 75: Forsinkelse for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

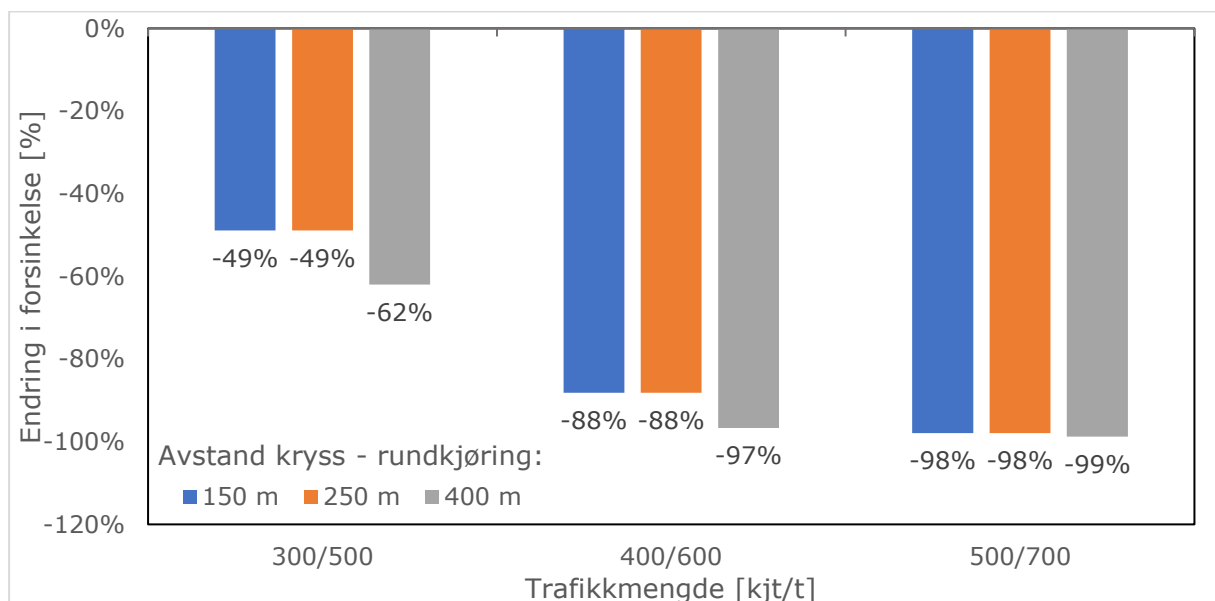
Østfra inn mot rundkjøringen gir forbudet mot venstresving en liten økning i forsinkelsen. Figur 76 viser forsinkelsen østfra ved tillatt og forbudt venstresving for 150 meter mellom kryss og rundkjøring.



Figur 76: Forsinkelse inn mot rundkjøring østfra ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

For moderate og høye trafikkmengder gir forbud mot venstresving en betydelig reduksjon i forsinkelse sørfra i vikepliktskrysset. Økningen i forsinkelse inn mot rundkjøringen østfra er langt mer beskjeden.

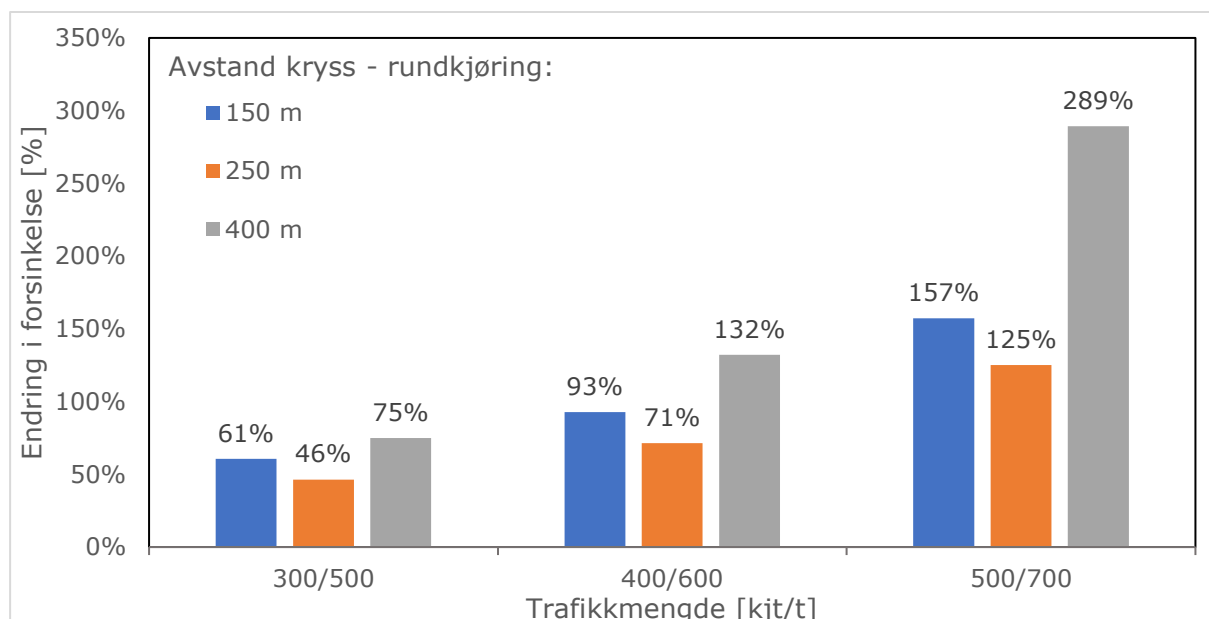
Figur 77 viser prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving for de ulike avstandene og trafikkszenarioene. Venstresvingandelen er 50 prosent.



Figur 77: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

Østfra øker forsinkelsen i alle trafikksenarioene, men økningen er ikke stor i antall sekunder. Resultatene påvirkes ikke særlig av andelen som gjennomfører venstresving.

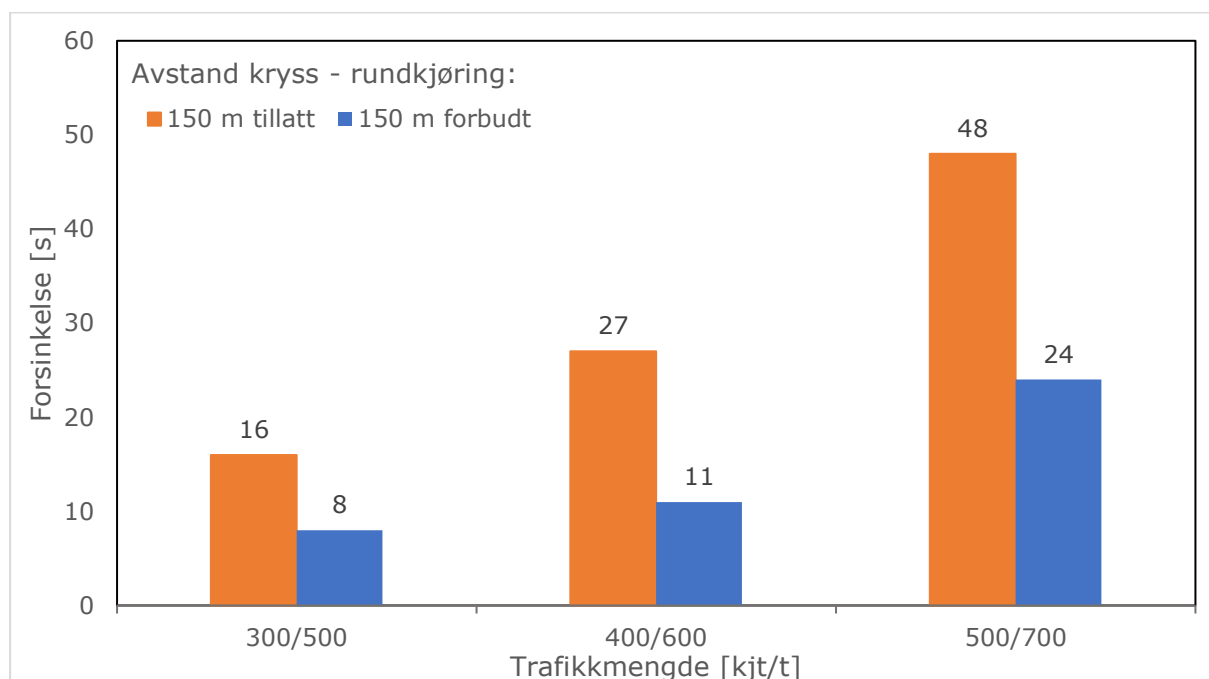
Figur 78 viser prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom tillatt og forbudt venstresving. Venstresvingandelen er 50 prosent.



Figur 78: Prosentvis endring i forsinkelse østfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

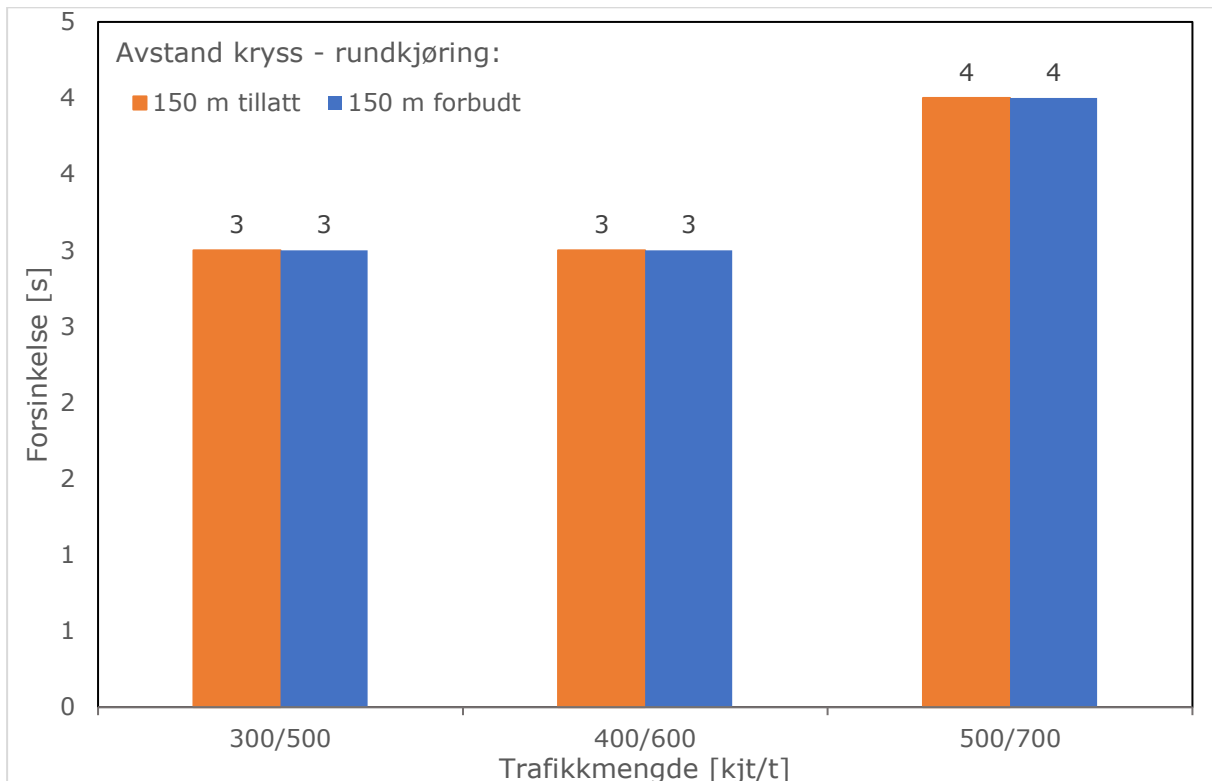
Aimsun

Forsinkelsen fra sør reduseres i alle tilfeller ved simuleringene i Aimsun. Reduksjonen øker med økende trafikkmengde, og er noe større ved 75 prosent andel venstresving enn ved 50 prosent. Figur 79 viser forsinkelsen sørfra ved tillatt og forbudt venstresving.



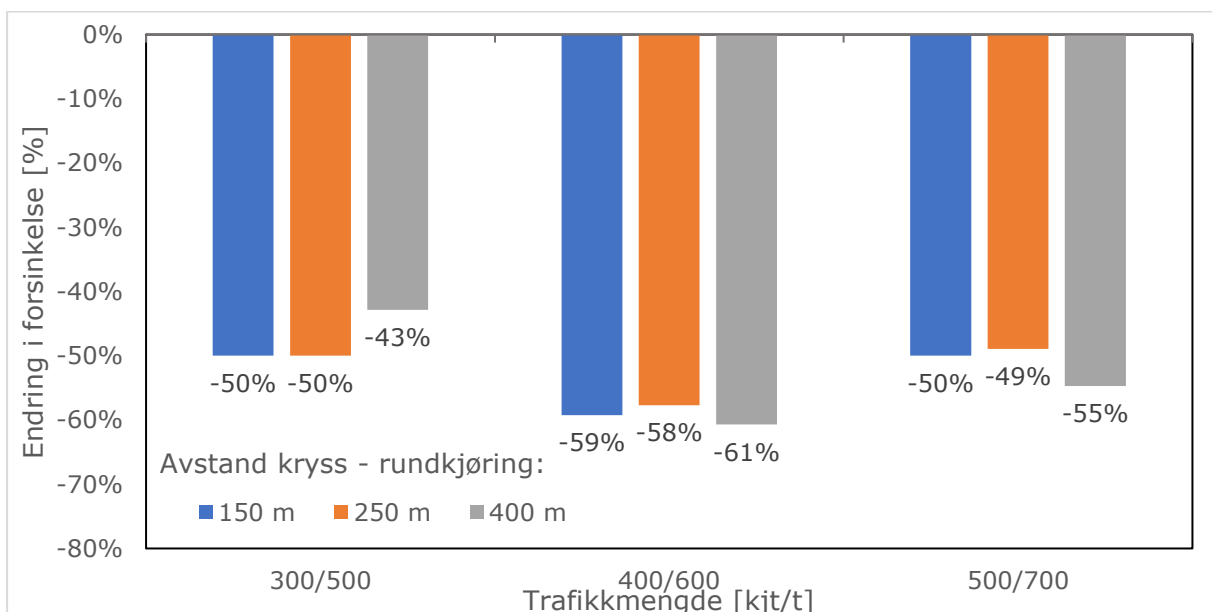
Figur 79: Forsinkelse for venstresvingende i krysset ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

Østfra in mot rundkjøringen blir det ingen endring i forsinkelsen ved 50 prosent andel venstresving, og helt ubetydelige endringer ved 75 prosent andel venstresving. Figur 80 viser forsinkelsen østfra ved tillatt og forbudt venstresving.



Figur 80: Forsinkelse østfra inn mot rundkjøringen ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

Figur 81 viser prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving for ulike trafikkmengde og avstand mellom kryss og rundkjøring. Venstresvingandelen er 50 prosent.



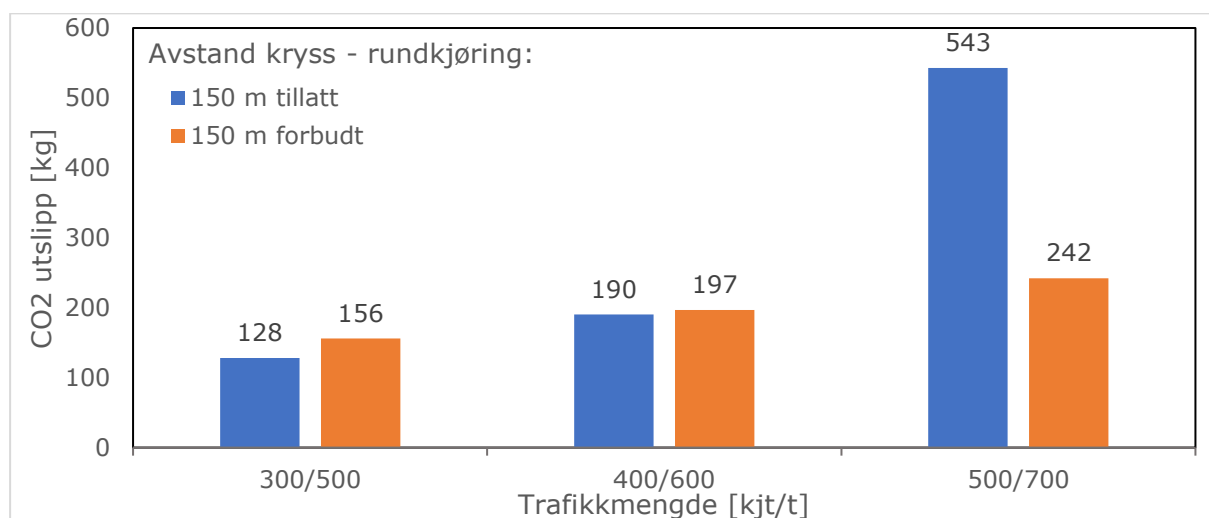
Figur 81: Prosentvis endring i forsinkelse sørfra mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

I øst er det som nevnt ingen endring i forsinkelsen ved 50 prosent venstresving, og ubetydelig endring ved 75 prosent venstresving. Følgelig er det da heller ingen nevneverdig prosentvis endring i forsinkelsen.

5.3.3 Utslipp

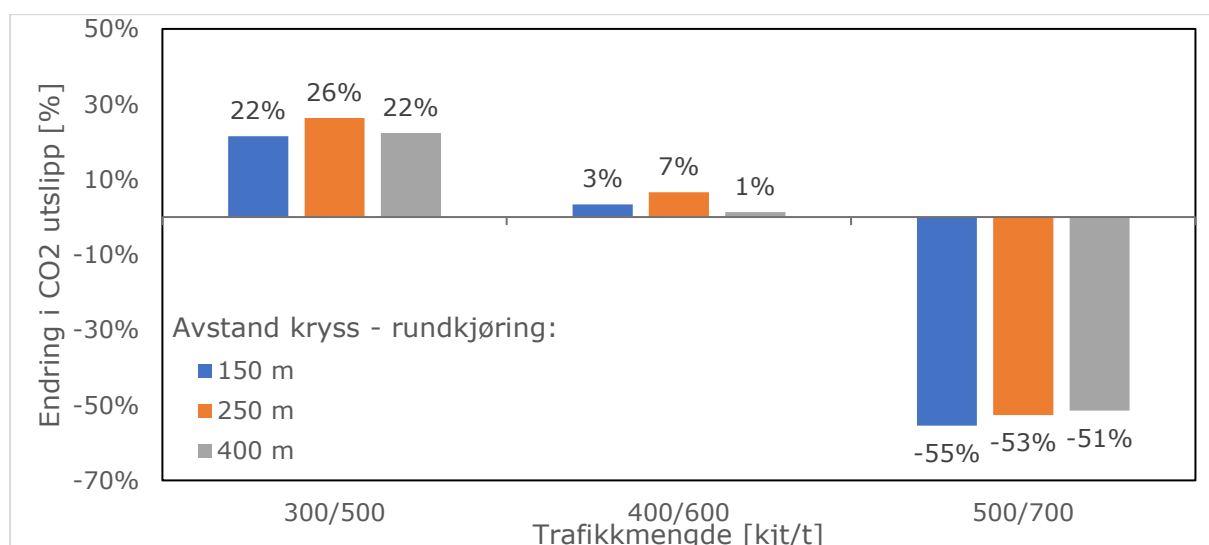
Sidra

I Sidra viser resultatene fra simuleringene at utslippene totalt sett reduseres ved forbud mot venstresving ved høye trafikkmengder. Utslippene reduseres også litt i trafikkszenario 2 ved 75 prosent andel venstresvingende. I likhet med de andre resultatene fra Sidra blir utslagene svært store ved trafikkszenario 3. Endringen i utslipp fra trafikkszenario 2 til 3 er betraktelig større enn endringen fra scenario 1 til 2. Figur 82 viser utslippene ved tillatt og forbudt venstresving. Venstresvingandelen er 50 prosent, og avstanden mellom kryss og rundkjøring er 150 meter.



Figur 82: Utslipp totalt ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

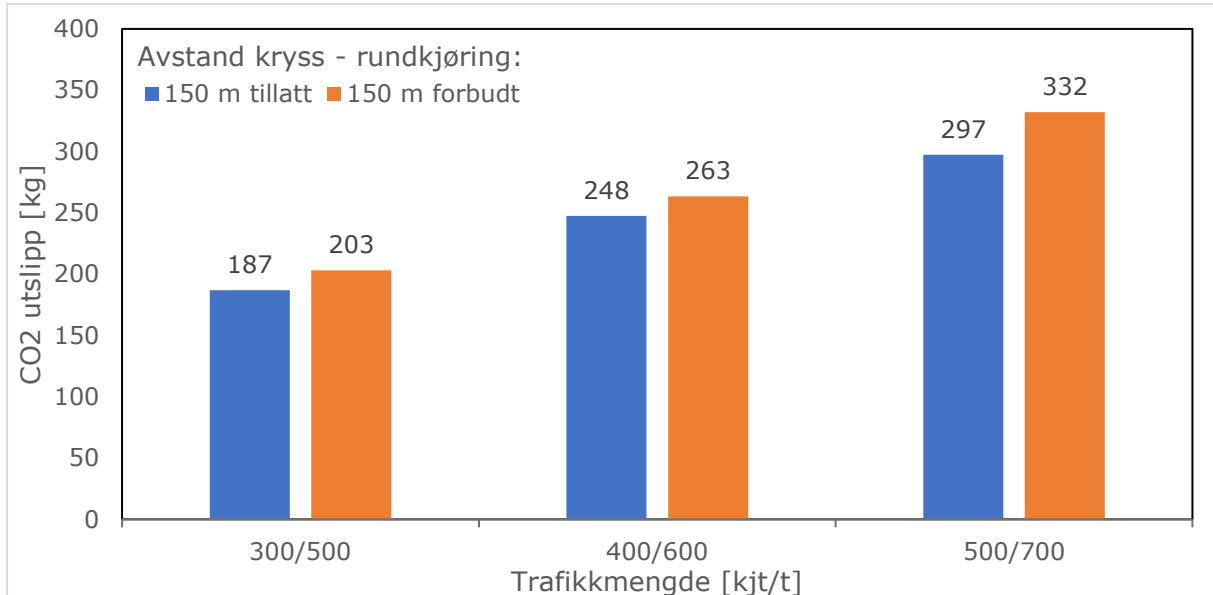
Figur 83 viser den prosentvise endringen i utslipp mellom venstresving tillatt og forbudt, for de tre trafikkszenarioene og ulike avstandene. Venstresvingandelen er 50 prosent.



Figur 83: Prosentvis endring i utslipp mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

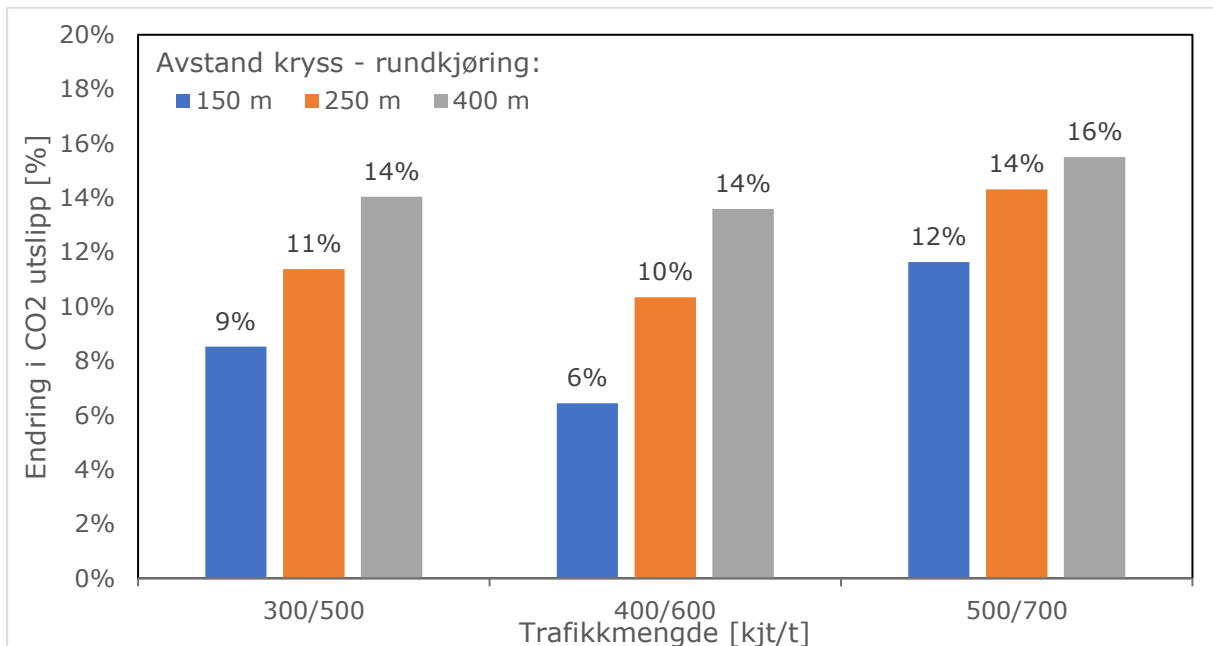
Aimsun

Forbudt mot venstresving gir økte utslipp i alle tilfeller ved simuleringene i Aimsun. Både økning i trafikkmengde og økning i avstand fører til en økning i utslipp. Ved 75 prosent andel venstresvingende er utslippene noe høyere enn ved 50 prosent. Økningen i utslipp fra trafikkszenario 2 til 3 er større enn økningen fra scenario 1 til 2 både ved 50 og 75 prosent andel venstresvingende. Figur 84 viser utslippene ved tillatt og forbudt venstresving. Venstresvingandelen er 50 prosent, og avstanden mellom kryss og rundkjøring er 150 meter.



Figur 84: Utslipp totalt ved 50 prosent andel venstresving og 150 meter avstand mellom kryss og rundkjøring

Figur 85 viser prosentvis endring i utslipp mellom venstresving tillatt og forbudt for de tre trafikkszenarioene og avstandene. Venstresvingandelen er 50 prosent.



Figur 85: Prosentvis endring i utslipp mellom tillatt og forbudt venstresving ved 50 prosent andel venstresving

6 Diskusjon

6.1 Egnethet for norske forhold

Forskningsspørsmål 1 spør om det finnes alternative kryssløsninger som egner seg for norske forhold. Arbeidet med denne oppgaven har vist at det finnes både alternative kryssløsninger og reguleringsformer som kan være aktuelle i Norge. En utfordring med en del alternative kryssløsninger er at de krever betydelig mer areal enn dagens norske løsninger. Det kan allikevel være mulig å nyttiggjøre prinsippene i disse løsningene gjennom å regulere kryss på nye måter. Utformingen av norske byer og tettsteder med forkjøringsregulerte hovedveger som ofte har en eller flere rundkjøringer gir interessante muligheter for ny regulering i området.

Etter at planene om storstilt utbygging av motorveger ble skrinlagt på 60-tallet har det ikke vært noen utpreget vilje for å bygge store og dominerende veganlegg i Norge. Ofte er det heller fokus på å begrense inngrepene i naturen, og bygge så små konstruksjoner som mulig. Det er antydnet at behovet for kapasitet på vegene vil øke fremover. Da blir det behov for å tenke på nye måter for å avvikle trafikken om man ikke ønsker å bygge større. En fordel med en del alternative krysstyper er at de kan gi økt kapasitet sammenliknet med tradisjonelle kryss uten at arealbehovet nødvendigvis øker. Eksemplet med ombygging av diamantkryss til DDI i Danmark viser dette. Det finnes også flere muligheter for nytenkning innenfor bruk av eksisterende infrastruktur. Flere kryssløsninger som baserer seg på å dele opp svingebevegelser har vist seg å fungere godt andre steder i verden. Begrensning av muligheten for venstresving er en av måtene allerede eksisterende veger og kryss i Norge kan anvendes på nye måter. Forholdene ligger også til rette for slike løsninger med tanke på eksisterende skilt og reguleringsformer som er tilgjengelig.

Den høye graden av samarbeid i trafikken taler for at de alternative løsningene som foreslås i denne oppgaven kan fungere godt. Samarbeidet som ofte observeres i rundkjøringer, vikepliktskryss og ved fletting kan også tenkes anvendt i nye krysstyper. Bedre utnyttelse og tilrettelegging for denne typen samarbeid kan gjøre det mulig med nye typer kryss. En utfordring med dette er at samarbeidet i en del tilfeller skjer på tross av reguleringen, og ikke på grunn av den. Det kan være utfordrende å regulere kryss på en måte som innbyr til denne typen samarbeid i alle trafikkbilder, og ikke bare ved høye trafikkmengder.

En annen utfordring med å basere nye løsninger på samarbeid er at de vil være avhengig av trafikantene for å fungere godt både med tanke på trafikkavvikling og sikkerhet. Selv om graden av samarbeid i Norge er god, kan en ikke regne med 100 prosent samarbeidsvilje blant alle trafikanter. Særlig ved kryssende trafikkstrømmer som skal samarbeide kan det oppstå utrygge situasjoner dersom reguleringen ikke er tydelig nok. Det kan også tenkes at beslutningstagere som arbeider med trafikk, nullvekstmål og byplanlegging ikke umiddelbart vil være positive til denne typen løsninger. Ved å øke kapasiteten og forbedre fremkommeligheten for biler kan man risikere at flere velger å benytte bil. Det kan også være at man med å gjennomføre slike prosjekter løser et problem som i realiteten kun er til stede noen timer i løpet av et døgn. Det er ikke gitt at både ressurser og areal til vil bli prioritert til å løse denne typen problemer for bilister fremover.

6.2 DDI sammenlignet med ruterkryss

Forsknings spørsmål 2 spør om det finnes realistiske alternative kryssløsninger som presterer bedre enn dagens planskilte kryss. Resultatene fra simuleringene viser at to felts DDI med samarbeid i krysningpunktene på sekundærvegen kan fungere godt. I trafikkscenario 3 blir reisetiden og forsinkelsen betraktelig høyere enn forventet. Verdiene for reisetid og forsinkelse tyder på at kryssene er overbelastet ved disse trafikkmengdene. Det er en svakhet ved modellene at de ikke er kalibrert mot norske forhold. Kombinasjonen av overbelastning og manglende kalibrering gjør at resultatene fra simuleringene ved høye trafikkmengder ikke nødvendigvis gir et helt riktig bilde. Som følge av dette bør en være forsiktig med å trekke for mange konklusjoner fra resultatene hvor kryssene er overbelastet.

6.2.1 Reisetid

Resultatene viser at reisetiden synker for venstresving i DDI sammenlignet med ruterkryss i trafikkscenario 1 og 2, og for alle trafikkscenarioer rett igjennom ved 50 prosent andel venstresving. Reisetiden øker ved trafikkscenario 2 og 3 på begge rutene ved 75 prosent andel venstresving, og her er reisetidene svært høye i DDI. Det kan altså virke som at DDI håndterer lave trafikkmengder godt, og gir mer effektiv avvikling enn ruterkryss. En forskjell verdt å notere seg er at DDI ser ut til å håndtere høye trafikkmengder og overbelastning dårligere enn ruterkryss. I trafikkscenario 1 og 2 viser observasjoner fra «Animated simulation» at køen på sekundærvegen oppstår inn mot krysningpunktene fra øst og vest. I trafikkscenario 3 oppstår det også kø mellom krysningpunktene. Denne køen virker å være kritisk for avviklingen i krysningpunktene, og gir en betydelig forsinkelse.

For trafikkscenario 3 og til dels 2, særlig ved 75 prosent andel venstresving, virker kapasiteten å være oversteget for både ruterkryss og DDI. Det var ikke forventet så høye reisetider for disse trafikkmengdene, og det kan ha flere årsaker. Som allerede nevnt er ikke modellene kalibrert opp mot noen tilsvarende norske kryss. Modellene er heller ikke optimalisert med tanke på utformingen, og særlig ruterkrysset kunne vært utformet mer realistisk rundt rundkjøringene. Trafikkmengdene er basert på en forenklet beregning av timestrafikk ut ifra et anslag på ÅDT. Det kan tenkes at kryssløsninger med flere felt ville blitt valgt dersom de opptredende trafikkmengdene var så høye som i trafikkscenario 2 og særlig 3 i maksimaltimene.

6.2.2 Forsinkelse

Resultatene viser at forsinkelsen inn mot krysset både sørfra og østfra reduseres i alle trafikkscenarioer i DDI sammenlignet med ruterkryss. Resultatene fra reisetiden tyder allikevel på at man finner igjen noe av denne forsinkelsen andre steder i krysset. Reduksjonen i forsinkelse på disse områdene gir derfor ikke et fullgodt bilde av forsinkelsen totalt sett i krysset.

På rampen sørfra er det omtrent ingen forsinkelse i DDI, hverken ved 50 eller 75 prosent andel venstresving. Dette tyder på at trafikken på rampen raskt klarer å flette inn i trafikken på sekundærvegen. Selv om venstresvingende får igjen forsinkelsen andre steder i krysset, er det en stor fordel at det ikke er nevneverdig forsinkelse på rampene. Kø fra rampene som strekker seg ut på motorvegen er som tidligere nevnt svært alvorlig med tanke på trafikkikkerheten. En ulykke hvor stillestående trafikk blir påkjørt bakfra på motorvegen kan få fatale følger. I noen tilfeller kan det derfor hende at økt forsinkelse og

reisetid på sekundærvegen er å foretrekke fremfor kø på rampene som strekker seg ut på motorvegen.

Det er begrenset hvor mye en kan tolke ut ifra resultatene fra Sidra med tanke på prestasjonen til DDI sammenlignet med ruterkryss. De gir dog en god indikasjon på forsinkelsen i krysningpunktet mellom to trafikkstrømmer hvor den ene har vikeplikt. Ved trafikkscenario 1 og 2 er forsinkelsen tilnærmet lik den som observeres i rundkjøringen i ruterkrysset. Ved trafikkscenario 3 blir forsinkelsen betraktelig høyere, og kapasiteten i krysset virker å være oversteget. Allikevel tyder dette på at krysstypen fungerer ganske godt så lenge det kun er to trafikkstrømmer som krysser hverandre. Resultatene kommer også fra et kryss hvor den ene strømmen har full vikeplikt. En løsning hvor trafikantene i større grad samarbeider vil antagelig kunne håndtere større trafikkmengder.

6.2.3 Utslipp

Resultatene viser at utslippene jevnt over er lavere i DDI enn i ruterkryss. Lavere utslipp kan skyldes både at det er mindre køkjøring og bedre trafikkavvikling i DDI. Det kan også være at noe av reduksjonen i utslipp skyldes at både venstresving og rett igjennom bevegelsen vil være litt kortere i DDI enn i ruterkrysset. Avstanden blir kortere siden man slipper å kjøre i rundkjøringen, men vil kun utgjøre noen få meter på hver av rutene. Allikevel vil det utgjøre en mer betydelig avstand totalt sett, og kan derfor være med å forklare i hvert fall en del av utslippsreduksjonen.

6.2.4 Variasjon i trafikkmengden

I simuleringene er det kun sett på variasjon i andelen som svinger til venstre og høyre av og på rampene. Det er ikke sett på variasjon i trafikken på sekundærvegen. Hvis sekundærvegen for eksempel er en veg med mye pendlertrafikk, er det naturlig å anta at trafikken ville variert også her. Det vil da være naturlig å forvente at trafikken er høyere i en retning om morgenen, og tilsvarende i motsatt retning om ettermiddagen. Dersom trafikken fordeles på en slik måte ved høyere trafikkmengder, kan det være fornuftig å vurdere mulighetene for varierende regulering. Om krysset reguleres med vikeplikt for en av retningene, er det som tidligere nevnt i hvert fall to muligheter for tildeling av forkjørsrett og vikeplikt. En mulighet er som i simuleringene, med vikeplikt for trafikk fra høyre. Trafikantene vil da ha vikeplikt i det første krysset de kommer til og forkjørsrett i det det andre. En fordel med denne løsningen er at den trolig vil oppleves veldig naturlig for trafikantene.

En annen mulighet er å tildele forkjørsretten til den kjøreretningen som har mest trafikk. Dersom retningen med mest trafikk endres gjennom dagen, vil dette innebære at forkjørsrett og vikeplikt i krysset også må endres. Med tanke på avviklingen kan dette være fornuftig, og avhengig av trafikkmengden kan forsinkelsen totalt sett reduseres med en slik regulering. En utfordring er at trafikantene kan oppleve å komme til et kryss hvor reguleringen er ulik det den var forrige gang de kjørte der. En slik situasjon kan være forvirrende for sjåførene, og i verste fall skape farlige situasjoner. Samtidig er det ikke særlig ulikt det man opplever i et lyskryss, hvor man noen ganger kommer til grønt lys og andre ganger til rødt lys. En annen utfordring er at forsinkelsen kan bli svært stor for trafikantene som ikke blir prioritert gjennom krysset. For

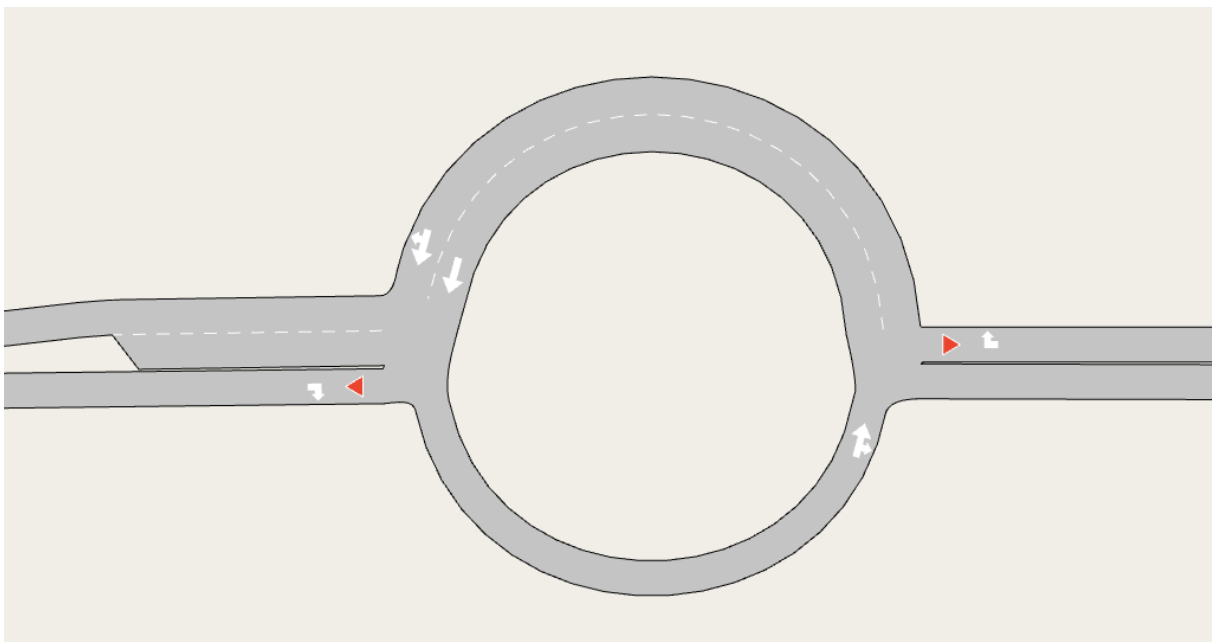
6.3 Begrensing av venstresving

Forskningsspørsmål 3 spør om begrensing av enkelte svingebevegelser kan gi bedre prestasjon totalt sett i et nettverk. Simuleringene viser at forbud mot venstresving kan gi redusert reisetid ved høye trafikkmengder. Det fører også til at forsinkelsen for trafikk på sekundærvegen reduseres i alle tilfeller. Ved høye trafikkmengder gir resultatene fra både Sidra og Aimsun svært høye reisetider og forsinkelser i simuleringene med tillatt venstresving. Trafikkscenario 3 gir altså en overbelastning i krysset. Gitt trafikkmengdene i trafikkscenario 3 var det forventet at venstresving ut på primærvegen ville bli svært krevende.

6.3.1 Reisetid

Resultatene fra Sidra og Aimsun viser den samme trenden, ved at forbudt venstresving gir redusert reisetid ved høyere trafikkmengder. Reduksjonen i reisetid avtar med økende avstand mellom kryss og rundkjøring. En forskjell er at Aimsun kun gir besparelse i reisetid ved trafikkscenario 3, mens Sidra gir besparelse i scenario 2 og 3. Resultatene fra Sidra viser at reisetiden rett igjennom krysset øker i alle tilfeller, mens reisetiden rett igjennom er omtrent uendret i resultatene fra Aimsun.

Observasjoner fra «animated simulation» i Aimsun tyder på at modellen med et ekstra kjørefelt i rundkjøringen for trafikk som skal rett igjennom fungerer godt. Et problem med denne løsningen er flettingen ut av rundkjøringen. I modellene er det i prinsippet trafikken rett igjennom som har vikeplikt og må tilpasse seg venstresvingende ved fletting. En utforming hvor venstresvingende må vike ovenfor trafikk rett igjennom ut av rundkjøringen ville ha gitt bedre prioritet til trafikken på primærvegen. Figur 86 viser en bedre utforming av rundkjøringen for trafikk på primærvegen. Her må trafikk på ruten for venstresving vike for trafikk som skal rett igjennom i flettingen ut av rundkjøringen.



Figur 86: Alternativ utforming av rundkjøringen ved forbud mot venstresving

Ved 400 meter avstand mellom krysset og rundkjøringen gir forbud mot venstresving 800 meter ekstra kjørelengde. Ved en hastighet på 50 km/t vil det ta omtrent 1 minutt å kjøre denne ekstra distansen. Dermed må den ekstra forsinkelsen ved venstresving være på

over 1 minutt i krysset for at det skal lønne seg å kjøre til høyre og snu i rundkjøringen. Ved synkende avstand mellom krysset og rundkjøringen vil den ekstra forsinkelsen ved venstresving som kreves for at det skal lønne seg å snu i rundkjøringen reduseres. Det er derfor rimelig å at fordelene ved å ta til høyre og snu i rundkjøringen vil fortsette å øke med synkende avstand mellom krysset og rundkjøringen.

I en situasjon hvor trafikkmengden er for høy og et vikepliktsregulert T-kryss som dette ikke fungerer tilstrekkelig, er ofte alternativet å bygge om til rundkjøring. Oppretting av en rundkjøring er kostbart og krever større areal. Det må da vurderes om investeringen vil redusere forsinkelsen nok til at det lønner seg å bygge om. Resultatene tyder på at situasjonen i krysset forbedres ved forbud mot venstresving, men at det for lave trafikkmengder vil øke reisetiden. Dersom man vurderer en ombygging av krysset, kan det derfor være aktuelt å sammenligne kostnaden av ombygging med kostnaden av å innføre forbud mot venstresving. Det kan tenkes at forbud mot venstresving vil lønne seg sammenlignet med ombygging, selv om reisetiden øker noe.

Rundkjøringene vil ha mer enn to armer i virkeligheten. Det tenkes at forbud mot venstresving vil gi økt forsinkelse også for de andre armene i rundkjøringen, som resultatene fra Sidra viser for trafikk østfra. Forsinkelsene og reisetidene vil da totalt sett øke mer enn det som observeres i simuleringene. Det kan dermed være at forbud mot venstresving ikke fungerer like godt totalt sett som resultatene fra denne oppgaven tyder på.

6.3.2 Forsinkelse

Resultatene fra både Sidra og Aimsun viser at forsinkelsen sørfra reduseres i alle tilfeller. Østfra øker forsinkelsen noe i Sidra modellen, og er uendret i Aimsun modellen. At det ikke blir noen økt forsinkelse østfra i Aimsun er ikke nødvendigvis helt realistisk. Til tross for at trafikk rett igjennom har sitt eget kjørefelt i rundkjøringen, virker det sannsynlig at økt trafikkmengde i rundkjøringen vil skape en liten forsinkelse. Økningen i Sidra skyldes antagelig at modellen med ekstra kjørefelt ikke fungerer så godt som tiltenkt, som også ble diskutert med tanke på reisetiden. Dersom trafikanter som skal rett igjennom ikke oppfatter at de har et kjørefelt i rundkjøringen «reservert» for seg, vil de måtte ta hensyn til trafikken i rundkjøringen. Med økende trafikk i rundkjøringen på grunn av forbud mot venstresving vil det da bli en økt forsinkelse inn mot rundkjøringen fra øst.

Det kan være rimelig å forvente en øking i forsinkelsen østfra selv med eget kjørefelt i rundkjøringen for trafikk rett igjennom. Dersom denne forsinkelsen ikke er stor, kan det være at løsningen lønner seg totalt sett. Fordelen er at forsinkelsen i krysset reduseres betraktelig i tilfellet hvor venstresving er forbudt. Reduksjonen i forsinkelse kan også føre til kortere reisetid totalt sett for venstresvingende. Også med tanke på trafiksikkerhet kan redusert forsinkelse i vikepliktskrysset være positivt. Når forsinkelsen og ventetiden øker, vil ofte den kritiske tidsluken for sjåfører reduseres. Reduksjon i kritisk tidsluke innebærer at man er villig til å kjøre ut i mindre luker i trafikken, og kan i verste fall gi økt fare for ulykker. Særlig ved kryss som er ulykkesutsatte kan det være aktuelt å se på mulighetene for å forby venstresving, dersom det finnes en mulighet for å gjennomføre en u-sving i nærheten. Forbud mot venstresving er også i tråd med det som foreslås i studien gjennomført av Candappa et al. i 2014. Begrensning av antallet konfliktpunkter ble nevnt som et av hovedprinsippene for trafiksikre kryss. Ved å kun tillate høyresving fra sekundærvegen ut i T-kryss fjernes flere av konfliktpunktene med kryssende trafikkstrømmer.

6.3.3 Utslipp

Resultatene fra Sidra viser at utslippene reduseres for alle avstander mellom kryss og rundkjøring ved trafikkscenario 3. Ved lave trafikkmengder er det en liten økning i utslippene for alle avstander. I Aimsun øker utslippene i alle tilfeller. Sidra og Aimsun bruker ulike modeller for å beregne utslipp, og det var derfor ventet at de ville gi ulike resultater.

Resultatene fra Sidra er omtrent som forventet, ved at det må en betydelig mengde kø og tomgangskjøring til før det gir lavere utslipp ved å kjøre lenger. Det blir samme typen utslag i dataene for utslipp som for reisetid og forsinkelse, ved at dataene for trafikkscenario 3 skiller seg betydelig fra scenario 2 og 3. Endringen er markant større fra scenario 2 til 3 enn den er fra scenario 1 til 2. Årsaken kan være at forsinkelsene blir svært høye i trafikkscenario 3 ved tillatt venstresving. Denne køen innebærer svært lange perioder med tomgangskjøring, som kan gi en del utslipp. Det er tidligere diskutert om det er realistisk å forvente så høye forsinkelser, og det samme gjelder for utslippene som skyldes denne forsinkelsen.

Dataene fra Aimsun viser en annen utvikling, nemlig at utslippene øker med økende avstand og trafikkmengde. Som tidligere nevnt kreves det en viss tilleggsforsinkelse for venstresvingende før det lønner seg å svinge til høyre og snu i rundkjøringen. Denne forsinkelsen har sammenheng med avstanden mellom krysset og rundkjøringen. På samme måte kunne en tenkt seg at det finnes en grense for hvor høy forsinkelsen må være før det gir lavere utslipp å heller kjøre litt lenger. Resultatene fra Sidra tyder på dette, ved at differansen mellom utslippene synker ved økende trafikkmengder. I Aimsun derimot øker utslippene både med avstand og trafikkmengden. Siden resultatene er såpass ulike, er det ikke mulig å si noe konkret om effekten forbud mot venstresving har på utslippene ut ifra disse resultatene.

7 Konklusjon

Arbeidet med denne oppgaven har vist at det finnes både alternative kryssløsninger og reguleringsformer som kan benyttes i Norge for å redusere reisetid og forsinkelse. Et alternativt kryss som kan fungere godt er DDI. Arealbehovet til DDI tilsvarer behovet til eksisterende løsninger, og krysset kan tilpasses etter behov. En del andre alternative kryssløsninger krever betraktelig større areal enn kryssene som benyttes i dag. Dette arealbehovet gjør flere av kryssene uegnet for bruk i Norge, men prinsippene de er basert på kan allikevel benyttes. Regulering med venstresving forbudt til fordel for høyresving og påfølgende u-sving er et eksempel på hvordan disse prinsippene kan utnyttes.

DDI er en krysstype som har flere fordeler ved seg. Simuleringene har vist at trafikken avvikles effektivt med vikeplikt i krysningpunktene på sekundærvegen ved moderate trafikkmengder. Samarbeid mellom trafikantene i krysningpunktet gir spesielt god trafikkavvikling. Sammenlignet med et tradisjonelt ruterkryss reduseres reisetiden i DDI ved moderate trafikkmengder, og trafikken fra rampene flettes raskt inn på sekundærvegen. Faren for kø som strekker seg ut på motorvegen fra rampene virker å være redusert i DDI sammenlignet med ruterkryss. Med tanke på trafiksikkerheten er det en stor fordel å unngå kø fra rampene utover på motorvegen. Fra vegmyndighetenes side har det tidligere vært en uttalt skepsis til denne typen kryssløsninger. I videre arbeid vil det være aktuelt å undersøke om det er ønskelig å innføre nye toplanskryss i Norge. Dersom det er tilfellet, kan det være fornuftig å forhøre seg med danske vegmyndigheter om deres erfaringer med krysset i Odense. Erfaringene fra Danmark kan gi bedre forståelse for krysstypen, samt fordeler og ulemper som bør undersøkes nærmere.

Forbud mot venstresving er en enkel idé som trolig kan gjennomføres uten store investeringer. En viktig forutsetning er at venstresvingende har en mulighet for å gjennomføre u-sving etter de har tatt til høyre. Ved høye trafikkmengder viser resultatene at forbud mot venstresving gir kortere reisetid for både 150, 250 og 400 meter mellom kryss og rundkjøring. Forsinkelsen i krysset reduseres for alle trafikkmengder ved forbud mot venstresving. Mindre forsinkelse i krysset gir bedre flyt i trafikken, som igjen kan føre til at kritisk tidsluke sjeldnere reduseres for trafikk på sekundærvegen. Forbud mot venstresving gir også færre konfliktpunkter i krysset. Til sammen kan dette være en fordel med tanke på trafiksikkerheten. I videre arbeid med denne ideen kan det være lurt å se på effekten av forbud mot venstresving i et større nettverk med flere involverte trafikkstrømmer. Muligheten for å innføre forbud mot venstresving ved høye trafikkmengder, og ha vanlig regulering ellers kan også være interessant å se nærmere på.

Referanser

- Aimsun. (2022). *Aimsun* . Hentet fra Aimsun Quick Facts :
<https://www.aimsun.com/about-aimsun/>
- Aimsun. (2022). *Aimsun next* . Hentet fra <https://www.aimsun.com/aimsun-next/>
- Alam, A., Ghafghazi, G., & Hatzopoulou, M. (2014). Traffic Emissions and Air Quality near Roads in Dense Urban Neighborhood. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2427(9), ss. 83-92.
- Alternative intersections. (u.d.). *Alternative Intersections*. Hentet fra
<https://alternativeintersections.org/>
- Appel, K., Aakre, A., & Kronborg, P. (2018). *ITS Terminology - Terms & Definitions*. Oslo : Statens Vegvesen .
- Barcelo, J., Garcia, D., & Pernarnau, J. (2005). *METHODOLOGICAL NOTES ON COMBINING MACRO, MESO AND MICRO MODELS FOR TRANSPORTATION ANALYSIS*.
- Bared, J. (2009). Federal Highway Administration. Hentet fra
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09057/index.cfm>
- Bared, J., Edara, P., & Jagannathan, R. (2005). Design and operational performance of double crossover intersection and diverging diamond interchange. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1912(1), ss. 31 - 38.
- Candappa, N., Logan, D., Nes, N. V., & Corben, B. (2014). An exploration of alternative intersection designs in the context of Safe System. *Accident Analysis & Prevention*, 74, ss. 314-323.
- DePrator, A. J., Hitchcock, O., & Gayah, V. V. (2017). Improving Urban Street Network Efficiency by Prohibiting Conflicting Left Turns at Signalized Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2622(6), ss. 58-69.
- Det Kgl. Bibliotek. (2022). *Danmark set fra luften*. Hentet fra
<http://www5.kb.dk/danmarksetfraluften/#zoom=17&lat=55.361103351326385&lng=10.345820188795187>
- Dissanayake, S., Lu, J. J., Castillo, N., & Yi, P. (2002). Should direct left turns from driveways be avoided? A safety perspective. *Institute of Transportation Engineers*, 72(6), ss. 26-29.
- Elmi, A., & Rifai, N. (2012). Pollutant emissions from passenger cars in traffic congestion situation in the State of Kuwait: options and challenges. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(4), ss. 619 - 624.
- Google. (2021). *Google Maps*. Hentet fra <https://www.google.no/maps/>

- Google Scholar . (2021). *Search* . Hentet fra <https://scholar.google.com/intl/en/scholar/help.html>
- Hajbabaie, A., Medina, J. C., & Benekohal, R. F. (2010). Effects of ITS-based left turn policies on network performance. *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, ss. 80-84.
- Hill, A. (2020). *ITS International*. Hentet fra <https://www.itsinternational.com/its8/products/aimsun-next-update-focuses-vrus>
- Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D., & Hummer, J. (2010). *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*. Washington: Federal Highway Administration.
- Hummer, J., Ray, B., Daleiden, A., Jenior, P., & Knudsen, J. (2014). *Restricted crossing u-turn intersection*. Washington: Federal Highway Administration .
- Kartverket. (2021). *Norgeskart*. Hentet fra <https://www.norgeskart.no/>
- Klima- og miljødepartementet. (2021). *Gode bymiljø og bærekraftige byer*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/bymiljo-og-barekraftige-byer/id2344800/>
- Kvernberg, A. (2021, September 20). «En ikke altfor dominerende konstruksjon», mente byplanleggerne. Slik skulle de gjøre Oslo til «bilens by». *Aftenposten* . Hentet fra <https://www.aftenposten.no/historie/i/V94wod/en-ikke-altfor-dominerende-konstruksjon-mente-byplanleggerne-slik-skulle-de-gjoere-oslo-til-bilens-by>
- Lovdata. (1965). *Vegtrafikkloven*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1965-06-18-4>
- Lovdata. (2005). *Skiltforskriften*. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-10-07-1219>
- Madslie, A., Hulleberg, N., & Kwong, C. K. (2019). *Framtidens transportbehov. Framskrivninger for person- og godstransport 2018-2050*. Transportøkonomisk institutt.
- Miljødirektoratet. (2021). *Miljøstatus*. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-veitrafikk/>
- Miljøpakken. (2021). *Miljøpakken* . Hentet fra Nydalsbrua (ny bru på Sluppen): <https://miljopakken.no/prosjekter/sluppen-bru>
- Morken, A. A. (2022, Januar 4). Klettkrysset skal utbedres: – Det må forventes stenging i kortere perioder. *Avisa Sør-Trøndelag*. Hentet fra <https://www.avisast.no/nyheter/i/mryXRE/klettkrysset-skal-utbedres-maa-forvente-trafikale-utfordringer>
- Nordahl, R. (2020). *Store Norske Leksikon* . Hentet fra Veikryss : <https://snl.no/veikryss>
- NRK. (2013, 08 26). Prisen på køkaoset i 2030: 76 millioner kroner. Hentet fra <https://www.nrk.no/valg/2013/ko-koster-76-mill.-per-dag-i-2030-1.11201678>

- NTNU. (2021). *Finne kilder*. Hentet fra <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Hvordan+v%C3%A6re+kildekritisk>
- Olsen, S. J. (2015, April 15). Her må danskene snart kjøre på venstre side av veien. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/her-ma-danskene-snart-kjore-pa-venstre-side-av-veien/222376>
- Pandian, S., Gokhale, S., & Ghosal, A. K. (2009). Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections. *Transportation Research Part D*, 14(3), ss. 180 - 196.
- Riaz, W. (2013, Juni 26). Denne køen må du bli vant til. Aftenposten . Hentet fra <https://www.aftenposten.no/oslo/i/ngJvm/denne-koeen-maa-du-bli-vant-til>
- Ringen, S. (2020). *Dybdeanalyser av dødsulykker i vegtrafikken 2019*. Statens vegvesen.
- Samferdselsdepartementet. (2021). *Nasjonal transportplan 2022-2033*.
- Samferdselsdepartementet. (2021). *Nasjonal transportplan 2022-2033*. Hentet fra 7 Nullvisjon for drepte og hardt skadde.
- Samferdselsdepartementet. (2021). *Regjeringen*. Hentet fra Byvekstavtaler og belønningsavtaler: <https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/kollektivtransport/belonningsordningen-bymiljoavtaler-og-byvekstavtaler/id2571977/>
- Sidra solutions. (2021). *Sidra intersections*. Hentet fra <https://www.sidrasolutions.com/software/sidra-intersection>
- Statens vegvesen. (1985). Kapasitet i kryss. *Kapasitet i kryss*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2012). *Tydeliggjøring av vikepliktsforhold i kryss og vurdering av forkjørsregulering av veier*. Lillehammer: Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2013, Oktober 14). V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss. *V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss*. Norge: Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2015). NA-rundskriv 2015/15. *Nye føringer for hovedveger - Etablering av rundkjøringer, omkjøringsveger og miljøgater*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2019). *Myndighetsforhold i vegbygging*. Hentet fra Statens Vegvesen: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/nyheter/myndighetsforhold-i-vegbygging/>
- Statens Vegvesen. (2020). *Klimagassutslipp fra veitrafikk*. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo-og-omgivelser/klima/>
- Statens Vegvesen. (2021). *Kjøre i rundkjøringer*. Hentet fra Trafikkregler: <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/trafikkregler/kjoring-i-rundkjoringer/>
- Statens Vegvesen. (2021, Juni 22). N100 Veg- og gateutforming. *N100 Veg- og gateutforming*. Norge: Statens Vegvesen.

- Statens Vegvesen. (2021). *Trafikksikkerhet* . Hentet fra <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/trafikksikkerhet/>
- Statens vegvesen. (u.d.). *Vegkart*. Hentet fra <https://vegkart.atlas.vegvesen.no/>
- Statistisk sentralbyrå. (2020). *Statistisk sentralbyrå*. Hentet fra Bil og transport: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/faktaside/bil-og-transport>
- Statistisk sentralbyrå. (2021). *Trafikkulykker med personskaade*. Hentet fra <https://www.ssb.no/statbank/table/12043/tableViewLayout1/>
- Svaan, T. (2020). Trondheim.
- Transport-, Bygnings- og Boligministeriet. (2019). *Regeringen*. Hentet fra Sådan er det gået med det dynamiske ruderanlæg: <https://www.regeringen.dk/nyheder/2019/saadan-er-det-gaaet-med-det-dynamiske-ruderanlaeg/>
- Transportøkonomisk institutt. (2015). *Trafikksikkerhetshåndboken*. Hentet fra Signalregulering i kryss: <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc658/>
- Transportøkonomisk institutt. (2015). *Trafikksikkerhetshåndboken*. Hentet fra Rundkjøringer: <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc622/>
- Transportøkonomisk institutt. (2017). *Trafikksikkerhetshåndboken*. Hentet fra Vikepliktregulering i kryss: <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc656/>
- Transportøkonomisk institutt. (2020, 03 20). *Dette koster veitrafikken samfunnet*. Hentet fra <https://www.toi.no/samfunnsokonomiske-analyser/dette-koster-veitrafikken-samfunnet-article36129-1648.html>
- Transportøkonomisk institutt. (2021). *Trafikksikkerhetshåndboken*. Hentet fra Kanalisering av kryss: <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc621/>
- Vejdirektoratet. (2015). Diverging Diamond Interchange (DDI) in Odense, Denmark. Hentet fra <https://nfmv.dk/wp-content/uploads/2015/11/Diverging-Diamond-Interchange-DDI-in-Odense.pdf>
- Wikipedia. (2021). *Michigan left*. Hentet fra https://en.wikipedia.org/wiki/Michigan_left
- WSDOT. (2021). *Washington State Department of Transportation*. Hentet fra Diverging diamond interchange: <https://wsdot.wa.gov/travel/traffic-safety-methods/diverging-diamond-interchange>
- Aakre, A. (2021). Priority intersections (including roundabouts). *Lecture notes* .

Vedlegg

Vedlegg 1 – Resultater

Vedlegg 2 – DDI modell Sidra

Vedlegg 1 – Resultater

Ruterkryst og DDI

Reisetid

Sidra, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryst – reisetid [s]		DDI – reisetid [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	37	29	-	-
400/600	46	47	-	-
500/750	65	252	-	-

Sidra, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryst – reisetid [s]		DDI – reisetid [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	42	34	-	-
400/600	56	97	-	-
500/750	79	427	-	-

Aimsun, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryst – reisetid [s]		DDI – reisetid [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	82	99	32	38
400/600	144	501	50	72
500/750	377	1403	536	917

Aimsun, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryst – reisetid [s]		DDI – reisetid [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	125,8	168,5	33,9	43,9
400/600	175,9	992,5	1393	1469
500/750	555,4	1557	3043	3277

Forsinkelse

Sidra, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryss – forsinkelse [s]		DDI – forsinkelse [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	11	7	-	11
400/600	20	24	-	20
500/750	39	288	-	414

Sidra, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryss – forsinkelse [s]		DDI – forsinkelse [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	14	11	-	-
400/600	28	73	-	-
500/750	51	401	-	-

Aimsun, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryss – forsinkelse [s]		DDI – forsinkelse [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	25	20	0	3
400/600	34	38	0	9
500/750	70	49	0	18

Aimsun, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	Ruterkryss – forsinkelse [s]		DDI – forsinkelse [s]	
	Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
300/500	25	36	0	7
400/600	47	60	0	14
500/750	64	63	4	27

Utslipp

Sidra, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
	Ruterkryss	DDI
300/500	348	-
400/600	508	-
500/750	1199	-

Sidra, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
	Ruterkryss	DDI
300/500	366	-
400/600	595	-
500/750	1426	-

Aimsun, 50 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
	Ruterkryss	DDI
300/500	681	413
400/600	788	642
500/750	849	764

Aimsun, 75 prosent venstresving

Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
	Ruterkryss	DDI
300/500	724	495
400/600	788	571
500/750	833	489

Venstresving tillatt og forbudt

Reisetid

Sidra, 50 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt-reisetid [s]		Venstresving forbudt-reisetid [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	22	18	39	25
150	400/600	88	18	42	26
150	500/700	749	18	48	27
250	300/500	22	22	46	29
250	400/600	88	22	49	29
250	500/700	749	22	55	30
400	300/500	22	27	57	34
400	400/600	88	27	60	35
400	500/700	749	27	66	36

Sidra, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt-reisetid [s]		Venstresving forbudt-reisetid [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	27	18	40	26
150	400/600	291	18	43	27
150	500/700	1215	18	49	30
250	300/500	27	22	47	29
250	400/600	291	22	50	30
250	500/700	1215	22	56	34
400	300/500	27	27	58	35
400	400/600	291	27	61	36
400	500/700	1215	27	67	39

Aimsun, 50 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt-reisetid [s]		Venstresving forbudt-reisetid [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	27	40	57	34
150	400/600	61	37	73	35
150	500/700	378	37	91	36
250	300/500	28	43	71	42
250	400/600	54	43	79	42
250	500/700	461	45	102	44
400	300/500	31	54	93	52
400	400/600	54	54	100	53
400	500/700	426	55	124	54

Aimsun, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt-reisetid [s]		Venstresving forbudt-reisetid [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	29	36	65	38
150	400/600	51	39	68	40
150	500/700	729	37	102	37
250	300/500	30	43	72	41
250	400/600	51	43	81	43
250	500/700	710	44	108	44
400	300/500	35	54	93	52
400	400/600	51	54	101	54
400	500/700	725	55	130	55

Forsinkelse

Sidra, 50 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt - forsinkelse [s]		Venstresving forbudt - forsinkelse [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	13	3	7	5
150	400/600	78	3	9	5
150	500/700	733	3	15	7
250	300/500	13	3	7	4
250	400/600	78	3	9	5
250	500/700	733	3	15	6
400	300/500	18	3	7	5
400	400/600	279	3	9	7
400	500/700	1195	3	15	11

Sidra, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt - forsinkelse [s]		Venstresving forbudt - forsinkelse [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	18	3	7	6
150	400/600	279	3	9	7
150	500/700	1195	3	15	13
250	300/500	18	3	7	5
250	400/600	279	3	9	7
250	500/700	1195	3	15	11
400	300/500	18	3	7	5
400	400/600	279	3	9	7
400	500/700	1195	3	15	11

Aimsun, 50 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt - forsinkelse [s]		Venstresving forbudt - forsinkelse [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	16	3	8	3
150	400/600	27	3	11	3
150	500/700	48	4	24	4
250	300/500	16	3	8	3
250	400/600	26	3	11	3
250	500/700	47	4	24	4
400	300/500	14	3	8	3
400	400/600	28	3	11	3
400	500/700	53	4	24	4

Aimsun, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	Venstresving tillatt - forsinkelse [s]		Venstresving forbudt - forsinkelse [s]	
		Venstresving	Rett igjennom	Venstresving	Rett igjennom
150	300/500	20	3	8	3
150	400/600	38	4	13	3
150	500/700	61	4	25	4
250	300/500	20	3	8	3
250	400/600	39	4	14	4
250	500/700	60	4	24	4
400	300/500	21	3	6	3
400	400/600	33	3	14	4
400	500/700	56	4	24	4

Utslipp

Sidra, 50 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
		Venstresving tillatt	Venstresving forbudt
150	300/500	128	156
150	400/600	190	197
150	500/700	543	242
250	300/500	132	167
250	400/600	198	211
250	500/700	548	259
400	300/500	146	178
400	400/600	221	224
400	500/700	566	275

Sidra, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
		Venstresving tillatt	Venstresving forbudt
150	300/500	129	165
150	400/600	269	208
150	500/700	741	261
250	300/500	133	179
250	400/600	274	227
250	500/700	746	285
400	300/500	146	189
400	400/600	290	239
400	500/700	764	298

Aimsun, 50 prosent venstresving

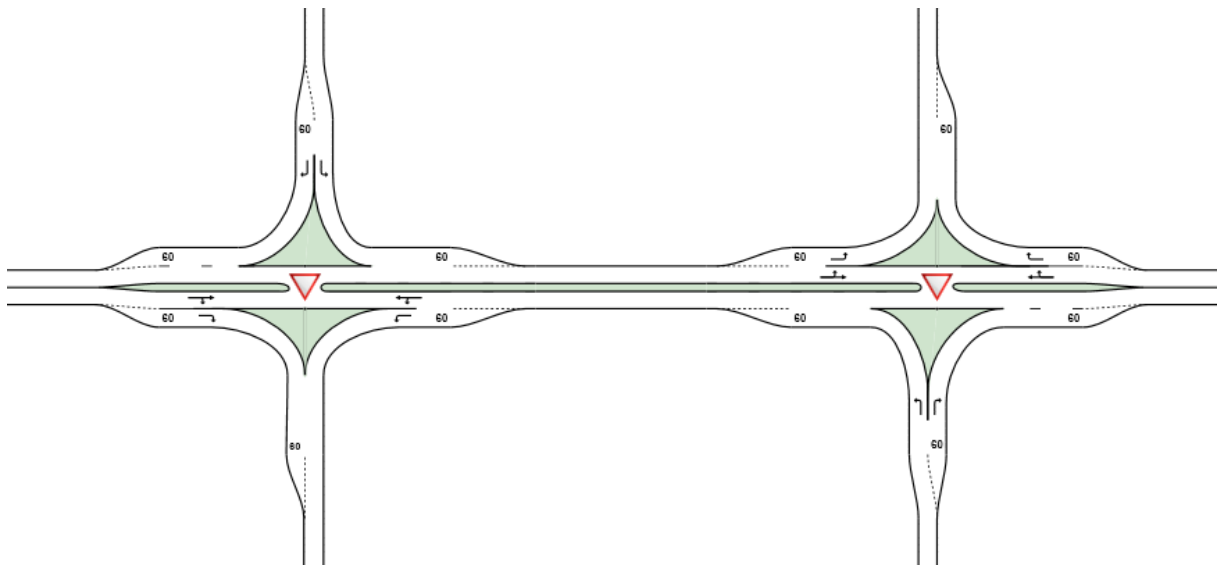
Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
		Venstresving tillatt	Venstresving forbudt
150	300/500	187	203
150	400/600	248	263
150	500/700	297	332
250	300/500	216	240
250	400/600	282	311
250	500/700	340	389
400	300/500	256	292
400	400/600	331	376
400	500/700	405	468

Aimsun, 75 prosent venstresving

Avstand [m]	Trafikk [kjt/t]	CO2 utslipp [kg]	
		Venstresving tillatt	Venstresving forbudt
150	300/500	187	215
150	400/600	247	272
150	500/700	284	344
250	300/500	214	255
250	400/600	279	326
250	500/700	324	404
400	300/500	254	314
400	400/600	325	396
400	500/700	379	488

Vedlegg 2 – DDI modell Sidra

Denne modellen ble laget for å simulere et DDI i Sidra, men viste seg å ikke fungere tilstrekkelig. Modellen ble laget ved å tilpasse to firearmede vikepliktskryss. I krysset til høyre ble kjørefeltene på venstre side byttet om, slik at kjøreretningen byttes i krysningspunktet. I krysset til venstre ble det samme gjort på høyre side. Rampene inn og ut av kryssene er av typen «One way approach» og «One way exit», mens sekundærvegen er av typen «Two way». Det er brukt «short lane» for å koble rampe og sekundærvegen sammen.



Problemet i krysset oppstår i krysningspunktene på sekundærvegen. I prinsipp burde dette fungere omtrent som et X – kryss med en trafikkstrøm på hver veg, tilsvarende det som ble benyttet i simuleringene. Dette er ikke tilfellet, og forsinkelsen i krysningspunktet blir betraktelig høyere enn forventet.

