

Bjørn André Nygård  
Petter Storleer

# Utforskning av nye kryssløsninger for norske hovedveger: Evaluering og muligheter for implementering

Masteroppgave i Bygg og Miljøteknikk  
Veileder: Arvid Aakre  
Juni 2023



Bjørn André Nygård  
Petter Storleer

# **Utforskning av nye kryssløsninger for norske hovedveger: Evaluering og muligheter for implementering**

Masteroppgave i Bygg og Miljøteknikk  
Veileder: Arvid Aakre  
Juni 2023

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



Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

Masteroppgaven omfatter en undersøkelse og utforskning av nye mulige kryssløsninger for bruk på norske veger. I dagens situasjon er det bare T- og X-kryss samt rundkjøringer som er mulige variasjoner ved planlegging av nye plankryss. T-kryss sammen med rundkjøring er de to vanligste kryssformene i Norge. T-kryss er sterkt begrenset av dårlig kapasitet for venstresvingende trafikk som har laveste prioritet, og det er hovedsakelig denne venstresvingbevegelsen som forsøkes å forbedres gjennom nye løsninger.

USA har en tydelig ledende rolle innen forskning og testing av nye kryssløsninger. Vegsystemet i USA er sterkt preget av flere kjørefelter i hver retning og lysregulering i motsetning til i Norge som normalt opererer med et felt i hver retning og vikeplikt der det er mulig. Det ble derfor interessant å undersøke hvordan de amerikanske løsningene kunne fungere med norske begrensninger og lovverk. Oppgaven undersøker kryssløsningene, «Restricted crossing U-turn (RCUT)», «Continuous green T (CGT)» og «Displaced left turn (DLT)», og sammenligner disse mot standard T-kryss og rundkjøring.

RCUT-krysset bygger sterkt på idéen om å minske antallet konfliktpunkter og oppnår dette med å forby venstresving direkte fra sidevegen. I stedet utføres venstresving med å svinge til høyre for så å snu i en spesielt anlagt snuplass til høyre for krysset. Avstanden til snuplassen kan da vurderes med tanke på tilgjengelig plass, ønsket trafiksikkerhet og avviklingskapasitet. CGT-krysset minner veldig om et vanlig T-kryss med noen modifikasjoner. Idéen her er at trafikk på det ene feltet på hovedvegen skal kunne kjøre mer eller mindre upåvirket gjennom krysset. Venstresvingtrafikk fra sidevegen blir derfor ført i et eget påkjøringsfelt og fletter med hovedvegen et lite stykke etter kryssområdet. DLT bygger på samme idé som CGT-krysset, men har som mål å forenkle krysset ytterligere og gjøre konfliktpunktene sekvensielle. Dette gjøres på samme måte som CGT-krysset, i tillegg til at venstresvingende trafikk fra hovedvegen blir ført over motgående kjørefelt før selve kryssområdet, slik at de i praksis kjører på venstre side av vege.

Analysen ble gjennomført i Aimsun, som er et analyseprogram for trafikkavvikling. Samtidig ble AutoCAD og Novapoint brukt for å modellere kryssenes geometri og utforming. Statens vegvesens håndbøker og normaler for veg- og kryssbygging ble benyttet for direkte utforming av standard T-kryss og rundkjøring, samt for å vurdere de nye kryssløsningene.

Resultatene viser at alle de nye kryssløsningene har potensiale til å øke kapasiteten til krysset og dermed redusere forsinkelser, spesielt knyttet til venstresvingende trafikk. RCUT har noe mer forsinkelse knyttet til venstresvingbevegelsen siden bevegelsen er lengre enn vanlig noe som legges spesielt merke til ved perioder med lav trafikk. RCUT er også arealkrevende, spesielt i forhold til standard T-kryss. Ved å benytte den komprimerte RCUT-versjonen reduseres arealbruket til å være på størrelse med DLT. Imidlertid blir RCUT betraktet som den mest trafiksikre løsningen blant de nye alternativene. CGT- og DLT-kryssene kan derimot ikke betraktes som mer trafiksikre løsninger sammenlignet med standard T-kryss. DLT antas til og med å kunne forverre trafiksikkerheten, spesielt i forbindelse med venstresvingende trafikk fra hovedvegen som krysser over motgående kjørefelt.

# Abstract

This master's thesis involves an investigation and evaluation of new potential intersection solutions for use on Norwegian roads. Currently, only T- and X-crossings together with roundabouts are possible variations when planning new planar intersections. T-junctions are limited by poor capacity for left-turning traffic, which has the lowest priority. In the new suggested solutions, it is mainly this left-turn movement that is attempted to improve.

The United States has had a leading role in research and testing of new intersection solutions. The U.S. road system is heavily characterized by multiple lanes in each direction and signalized intersections, unlike Norway, which typically operates with a single lane in each direction and yielding priority where possible. Therefore, it was interesting to investigate how the American solutions could work within the Norwegian limitations and regulations. The thesis examines the intersection solutions "Restricted Crossing U-turn" (RCUT), Continuous green T (CGT) and "Displaced left turn" (DLT)" and compares these against a standard T-junction and a roundabout.

The RCUT intersection heavily builds on the idea of reducing the total number of conflict points and achieves this by prohibiting a direct left turn from the side road. Instead, left turns are made by turning right and then making a U-turn at a specially designed turnaround located to the right of the intersection. The distance to the turnaround can be evaluated based on available space, desired traffic safety, and operational capacity. The CGT intersection closely resembles a standard T-junction with some modifications. The idea is that one through lane on the main road is able to pass the intersection more or less unaffected by traffic. Left-turning traffic from the side road is therefore guided into a dedicated merging lane and merges with the main road shortly after the intersection area. DLT builds on the same idea as the CGT intersection but aims to further simplify the intersection and make conflict points sequential. This is done in the same way as the CGT intersection, in addition to redirecting left-turning traffic from the main road across the opposing lane before the actual intersection, effectively making the traffic drive on the left side of the road.

The analysis was conducted using Aimsun, a traffic analysis software. AutoCAD and Novapoint was used to model the geometry and design of the intersections. The handbooks and standards for road and intersection developed by the Norwegian Public Roads Administration were used for the direct design of standard T-intersections and roundabouts, as well as for the new intersection solutions.

The results indicate that the new intersection solutions has the potential to increase the capacity of intersections and thus reduce delays, especially related to left-turn traffic. RCUT has slightly more delay associated with the left-turn movement since this movement is longer than usual, which will be particularly noticeable during periods of low traffic. RCUT is also more areal demanding, especially compared to the standard T-intersection. By using a compressed version of RCUT, the space requirement is reduced to be similar to a DLT intersection. However, RCUT is considered the safest solution among these new alternatives. CGT and DLT cannot be considered safer solutions compared to standard T-intersections. DLT is even assumed to potentially worsen traffic safety, especially regarding where the left-turn traffic from the main road crosses the opposing lane.

# Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet vårsemesteret 2023 og er resultatet av flere måneders dedikert arbeid. Masteroppgaven er det avsluttende arbeidet som markerer fullføringen av vår utdanning ved masterstudiet Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet – NTNU. Oppgaven utgjør totalt 60 studiepoeng og er den totale arbeidsmengden for to studenter over siste semester av sivilingeniørutdanningen. Masteroppgaven er en videreutvikling av prosjektoppgaven som ble utarbeidet høsten 2022 i emnet TBM4500 Bygg- og miljøteknikk, fordypningsprosjekt.

Oppgaven utgjør en analyse av mulighetene for å introdusere nye kryssløsninger på norske veger ved å tilpasse amerikanske konsepter til norske forhold. Faktorer som utforskes er geometri, skilting, vegoppmerking, miljø, trafikksikkerhet, trafikkavvikling og fremkommelighet og sikkerhet for myke trafikanter. Trafikkavviklingen til kryssløsningene «Restricted crossing U-turn (RCUT)», «Continuous green T (CGT)» og «Displaced left turn (DLT)» simuleres og sammenlignes med et tradisjonelt T-kryss og rundkjøring.

Vi ønsker å takke vår veileder Arvid Aakre for meget god oppfølging, veiledning og uvurderlig støtte gjennom hele prosessen. Arvids innsikt og ekspertise har vært avgjørende for resultatet av oppgaven og utviklingen av våre ferdigheter innen faget. Takk til Tugba Arsava hos COWI for god og rask hjelp med problemer med simuleringsprogram. Det ønskes å takke institutt for bygg- og miljøteknikk for et stimulerende og berikende læringsmiljø.

Vi ønsker å uttrykke vår massive takknemlighet ovenfor Multiconsult for lån av utstyr, programvare og lisenser. Uten denne hjelpen ville oppgaven vært mindre fullstendig og av lavere kvalitet. Til slutt ønsker vi å takke venner, familie og medstudenter for oppmuntring, tålmodighet og generell støtte gjennom hele masterstudiet.

Det er vårt håp at denne oppgaven kan tjene som et springbrett for videre arbeid og forskning innenfor temaet, og at oppgaven kan bidra til at fremtidige studenter og forskere ønsker å fordype seg i dette emnet.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Trondheim, Juni 2023



Bjørn André Nygård



Petter Storleer

# Innhold

Figurer .....	x
Tabeller .....	xi
Forkortelser/symboler .....	xii
Håndbøker .....	xii
1 Introduksjon .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Målsetning og forskningsspørsmål .....	7
1.3 Valg av kryssløsninger .....	8
1.4 Avgrensning .....	9
2 Metode .....	10
2.1 Metode for litteraturstudium .....	10
2.2 Metode for utforming av kryssløsninger.....	10
2.2.1 Novapoint .....	11
2.2.2 AutoCad.....	11
2.2.3 Beregningsmodell for av- og påkjøringsfelter.....	11
2.2.4 AutoTURN .....	11
2.2.5 Skilt og vegoppmerking .....	12
2.3 Metode for analyse av trafikkavvikling .....	12
3 Teori .....	14
3.1 Miljøutfordringer .....	14
3.2 Trafikksikkerhet .....	15
3.2.1 Effekt av geometrisk utforming av kryss .....	16
3.2.2 Konfliktpunkter i vegkryss.....	17
3.2.3 Kjøretøyhastighet og kollisjonsvinkel .....	18
3.2.4 Skilt og oppmerking .....	19
3.3 Trafikkavvikling.....	23
3.3.1 Level of service.....	24
3.3.2 Dimensjonerende kjøretøy og kjøremåte.....	24
3.4 Trafikkmodellering.....	27
4 Forutsetninger for modellering og analyse.....	29
4.1 Valg av vegklasse.....	29
4.1.1 Trafikkmengde.....	30
4.1.2 Kanalisering .....	31
5 Geometrisk utforming.....	33
5.1 Vanlig norsk T-kryss .....	33



5.2	Vanlig norsk Rundkjøring .....	34
5.3	RCUT .....	35
5.3.1	RCUT Tradisjonell .....	35
5.3.2	RCUT Komprimert .....	37
5.3.3	RCUT Forskjøvet .....	39
5.4	Continuous Green T .....	42
5.5	Displaced left turn. ....	44
5.6	Arealbruk .....	46
6	Skilting, vegmerking og myke trafikanter .....	48
6.1	RCUT .....	49
6.1.1	RCUT Tradisjonell .....	49
6.1.2	RCUT Komprimert .....	52
6.1.3	RCUT Forskjøvet .....	54
6.2	CGT .....	57
6.3	DLT .....	59
7	Trafikksikkerhetsvurdering .....	62
7.1	RCUT .....	63
7.1.1	RCUT Tradisjonell .....	63
7.1.2	RCUT Komprimert .....	63
7.1.3	RCUT Forskjøvet .....	64
7.2	CGT .....	64
7.3	DLT .....	65
8	AIMSUN .....	68
8.1	Replikasjoner .....	68
8.2	Rundkjøring .....	69
8.3	Norsk template .....	69
9	Resultater fra trafikksimulering .....	70
10	Diskusjon .....	76
10.1	Forskningsspørsmål 1 .....	76
10.2	Forskningsspørsmål 2 .....	77
10.3	Forskningsspørsmål 3 .....	79
10.4	Begrensninger og feilkilder .....	81
11	Konklusjon .....	82
12	Videre arbeid .....	83
	Referanser .....	85
	Vedlegg .....	88

# Figurer

Figur 2-1: Flytdiagram som viser hendelsesforløpet. ....	10
Figur 3-1: Konfliktpunter i T- og X-kryss. Utklipp fra: Håndbok V121 .....	18
Figur 3-2: Bevegelsesenergi som resultat av ulike kombinasjoner av hastighet og kollisjonsvinkel. Utklipp fra: Candappa et al. (2015) .....	19
Figur 3-3: Myndighetspyramiden. Utklipp fra: (Skrede, 2021) .....	20
Figur 3-4: Illustrasjon oppmerking vikepliktskryss. Utklipp fra: Håndbok N302.....	21
Figur 3-5: Avstand fra optimal kjørelinje ved like kurver med varierende synlighet av vegmerking. Utklipp fra: (Bosurgi et al., 2022) .....	22
Figur 3-6: Forskjell på teoretiske og effektive laterale krefter gjennom en kurve. Utklipp fra: (Bosurgi et al., 2022).....	22
Figur 3-7: Illustrasjon av kjørebegrevelser.....	23
Figur 3-8: Nivåer for trafikkflytsmodellering. Hentet fra: (Aakre, 2022a) .....	27
Figur 3-9: «Give way» modellen benyttet i Aimsun. Hentet fra: (Aakre, 2022e) .....	28
Figur 4-1: Visualisering av trafikkmatrise [kjt/døgn] .....	31
Figur 5-1: Elementer i et kanalisert T-kryss. Hentet fra: Håndbok V121 .....	33
Figur 5-2: Elementer i en rundkjøring. Hentet fra: Håndbok V121 .....	34
Figur 5-3: Eksempel fra E16 x Rv13 på Voss. Satelittfoto hentet fra: (Google Maps, u.å.) .....	34
Figur 5-4: Oversiktsbilde RCUT Tradisjonell .....	35
Figur 5-5: Sporing av vogntog gjennom U-sving.....	35
Figur 5-6: Lengder venstre og U-sving RCUT Tradisjonell .....	36
Figur 5-7: Trafikkøyers plassering basert på sporing av vogntog .....	36
Figur 5-8: Oversiktsbilde RCUT Komprimert.....	37
Figur 5-9: Lengder venstre og U-sving i RCUT Komprimert .....	37
Figur 5-10: Sporing av vogntog gjennom U-sving.....	38
Figur 5-11: Sporing av vogntog gjennom RCUT Komprimert .....	39
Figur 5-12: Oversiktsbilde RCUT Forskjøvet .....	39
Figur 5-13: Lengder venstresvingefelt RCUT Forskjøvet.....	40
Figur 5-14: Sporing vogntog gjennom hovedkryssområdet RCUT Forskjøvet .....	40
Figur 5-15: Oversiktsbilde snuområde RCUT Forskjøvet.....	41
Figur 5-16: Lengder snuplass RCUT Forskjøvet.....	41
Figur 5-17: Sporing snuområde RCUT Forskjøvet.....	42
Figur 5-18: Oversiktsbilde CGT.....	42
Figur 5-19: Dimensjonerende lengder CGT .....	43
Figur 5-20: Sporing med vogntog gjennom CGT .....	44
Figur 5-21: Oversiktsbilde DLT .....	44
Figur 5-22: Dimensjonerende lengder DLT .....	45
Figur 5-23: Sporing av vogntog gjennom DLT .....	46
Figur 5-24: Visualisering av overslag på nødvendig areal for forskjellige kryssløsninger.	47
Figur 6-1: Oversikt oppmerking RCUT Tradisjonell .....	49
Figur 6-2: Detaljer oppmerking RCUT Tradisjonell .....	49
Figur 6-3: Prinsippskisser skilting RCUT Tradisjonell.....	50
Figur 6-4: Eksempel på spesielt skilt for RCUT Tradisjonell .....	51
Figur 6-5: Detaljer oppmerking RCUT Komprimert .....	52
Figur 6-6: Prinsippskisser skilting RCUT Komprimert .....	53
Figur 6-7: Oversikt oppmerking snuplass RCUT Forskjøvet .....	54
Figur 6-8: Detaljer oppmerking snuplass RCUT Forskjøvet.....	54

Figur 6-9: Prinsippskisser skilting RCUT Forskjøvet hovedkryssområdet .....	55
Figur 6-10: Prinsippskisse skilt RCUT Forskjøvet snuplass .....	55
Figur 6-11: Spesielt skilt for RCUT Forskjøvet .....	56
Figur 6-12: Oppmerking oversikt CGT .....	57
Figur 6-13: Oppmerking detaljer CGT .....	57
Figur 6-14: Prinsippskisser skilting CGT .....	58
Figur 6-15: Oppmerking oversikt DLT .....	59
Figur 6-16: Oppmerking detaljer DLT .....	59
Figur 6-17: Spesielt skilt DLT fra sør .....	60
Figur 6-18: Spesielt skilt DLT fra øst .....	60
Figur 6-19: Prinsippskisser skilting DLT .....	60
Figur 7-1: Viser hvordan vikelinjen er trukket bakover i krysset .....	65
Figur 9-1: Visualisering av matrise fra Tabell 9-2, enhet er [kjt/t] .....	71
Figur 9-2: Gjennomsnittlig reisetid for venstresvingende fra sekundærveg .....	74
Figur 9-3: Gjennomsnittlig forsinkelse for trafikk i hele systemet .....	75

## Tabeller

Tabell 1-1: Alternative kryssløsninger, figurer hentet fra (Innovative Intersections and Interchanges—Info   Virginia Department of Transportation, u.å.) .....	3
Tabell 3-1: Normal ulykkesfrekvens i T- og X-kryss. Data hentet fra håndbok 115 .....	16
Tabell 3-2: Gjennomsnittlig skadekostnad pr. ulykke i kryss. Hentet fra håndbok 115 ...	16
Tabell 3-3: LOS karakterer. Hentet og oversatt fra: (Aakre, 2022a) .....	24
Tabell 3-4: Dimensjonerende mål vogntog. Tabell og figur hentet fra: Håndbok N100 ...	25
Tabell 3-5: Dimensjonerende mål modulvogntog. Tabell og figur hentet fra: Håndbok N100 .....	25
Tabell 3-6: Dimensjonerende kjøremåter. Tabell og figurer hentet fra Håndbok N100 ...	26
Tabell 4-1: Trafikkmatrise med antall kjøretøy fra og til de forskjellige retningene [kjt/døgn] .....	31
Tabell 4-2: Lengde av kanaliseringsparametere .....	32
Tabell 5-1: Overslag på nødvendig areal for forskjellige kryssløsninger. ....	47
Tabell 7-1: Konfliktpunkter for kryssløsningene .....	62
Tabell 7-2: Krysningpunkt, fletting og divergering .....	62
Tabell 8-1: Gjennomgående trafikk primærveg .....	68
Tabell 9-1: Maksimal trafikkmengde før en svingebevegelse oppnår LOS F .....	70
Tabell 9-2: Eksempel på matrise fra trafikkmengde fra Tabell 9-1 .....	70
Tabell 9-3: Oppbygging av matrise fra Tabell 9-2 .....	70
Tabell 9-4: Ekstra distanse og tid knyttet til venstresvingbevegelsen .....	71
Tabell 9-5: Forklaring av trafikkmengdene lav, middels og høy .....	72
Tabell 9-6: Matrise for Lav trafikkmengde .....	72
Tabell 9-7: Matrise for Middels trafikkmengde .....	72
Tabell 9-8: Matrise for Høy trafikkmengde .....	73
Tabell 9-9: Reisetid for venstresvingende fra sekundærvegen .....	73
Tabell 9-10: Forsinkelse knyttet til venstresving fra primærvegen .....	74
Tabell 9-11: Gjennomsnittlig forsinkelse for trafikk i hele systemet .....	75

# Forkortelser/symboler

NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
AIIR	Alternative Intersections/Interchanges: Informative Report
RCUT	Restricted crossing U-turn
DLT	Displaced left turn
CGT	Continuous green T
OD-matrise	Origin Destination matrise
KE	Kinetic Energy
LOS	Level of service
ÅDT	Årsdøgntrafikk

# Håndbøker

Håndbok:	Referert til som:	Kilde:
Håndbok N100 Veg- og gateutforming	Håndbok N100	(Statens vegvesen, 2022a)
Håndbok N-V120 Premisser for geometrisk utforming av veger	Håndbok N-V120	(Statens vegvesen, 2022c)
Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss	Håndbok V121	(Statens vegvesen, 2014)
Håndbok N300 Trafikkskilt	Håndbok N300	(Statens vegvesen, 2022b)
Håndbok N302 Vegoppmerking	Håndbok N302	(Statens vegvesen, 2015)
Håndbok 115 Analyse av ulykkessteder – vedleggsdel for manuelle beregninger	Håndbok 115	(Statens vegvesen, 2007)

# 1 Introduksjon

Dette kapittelet har som hensikt å etablere forståelse for bakgrunnen for problemstillingen, forskningsspørsmålene og formålet med oppgaven. Oppgaven bygger videre på prosjektoppgaven som ble skrevet høsten 2022. Kapittelet gir en oversikt over bakgrunnsinformasjon, relevante begreper og presenterer problemstillingen og formålet med oppgaven. Dette inkluderer også presentasjon av oppgavens avgrensninger og spesifikasjon av kryssløsninger som vil bli undersøkt.

## 1.1 Bakgrunn

Vegnettet i Norge har svært stor betydning for både persontransport og godstransport. Rundt 90 prosent av persontransporten og 80 prosent av godstransporten blir gjort på vegnettet i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2022b). Samferdselsdepartementet skriver at «Effektiv og trygg transport er viktig for hverdagen til folk flest, og for norsk næringsliv» (Samferdselsdepartementet, u.å.).

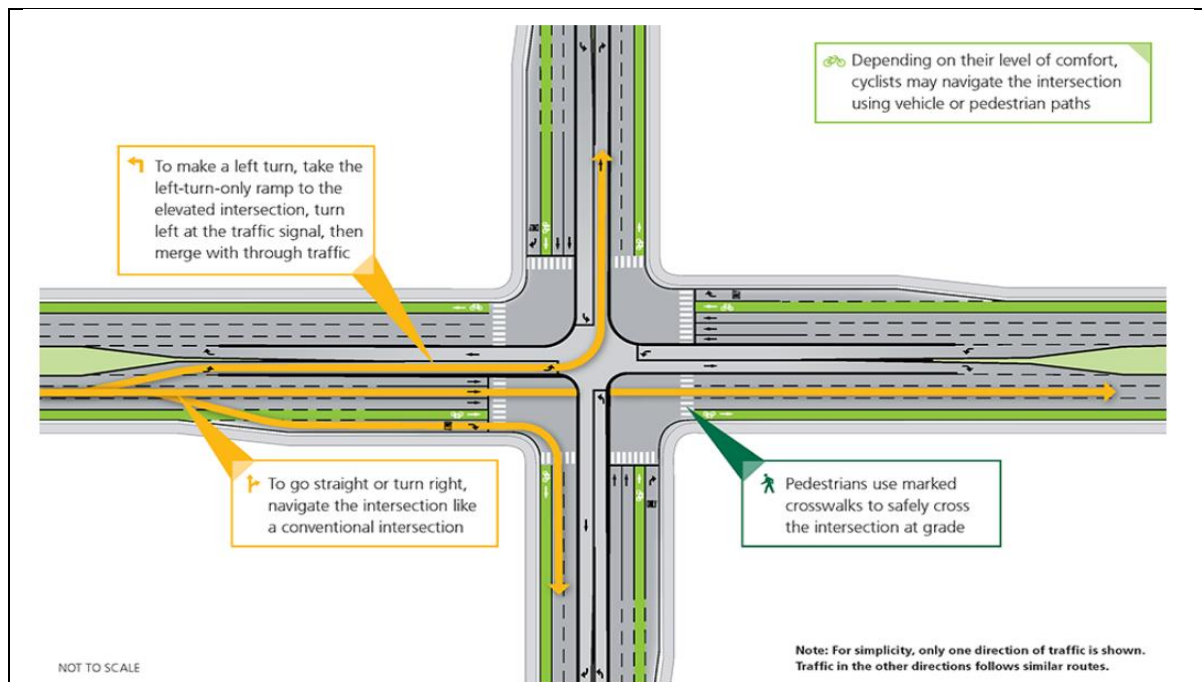
Teknologi- og innovasjonsutviklingen for å sikre effektiv og trygg transport har i de siste 40 årene hovedsakelig kommet fra bilprodusentene i form av ny teknologi i kjøretøy. Kjøretøyene er blitt mer kollisjonssikre og det er implementert ulike grader av selvkjøring. Bilprodusentene har utviklet kjøretøyene for å utkonkurrere motstanderne i det frie markedet slik at ny innovasjon og teknologi fremmes for egen økonomisk vinning. Oppfinnelser som airbag og trepunktsslede har redusert konsekvensen av ulykker, og systemer som ABS-bremser og antiskrensfunksjoner har redusert sannsynligheten for at ulykker i det hele tatt finner sted. Infrastrukturen derimot er regulert av normaler som jevnlig utbedres, men har ikke den samme økonomiske konkurransen som fremmer ny innovasjon. Derav har endringen i utforming av veger og kryss hatt en betydelig mindre synlig endring i samme periode som kjøretøy har utviklet seg. Siden rundkjøringen ble en del av de norske kryssløsningene, har det vært få store nyskapinger på størrelse med rundkjøring og utviklingen som har kommet har vært mer spesifiseringer og detaljerte endringer. Vi tror det er mulig å satse på noe helt nytt som over tid kan forbedre både avvikling og trafikksikkerhet.

Vegnettet knyttes sammen av ulike kryssløsninger valgt ut fra Statens vegvesen sine normer for kryssutforming. For hovedveger som ikke er motorveger er det stort sett T-kryss som benyttes, eller rundkjøring i tilfeller hvor strekningen ikke har høy fart. T-kryss har en vesentlig begrensning ved at venstresvingbevegelsen ikke er fordelaktig siden den har lav prioritet og er relativt farlig på grunn av de kryssende kjørebegrelsene. Det er i hovedsak venstresvingbevegelsen fra sidevegen inn på hovedvegen som er begrensende. Denne bevegelsen har lavest prioritert og blir gradvis begrenset når trafikken på hovedvegen øker. Ved økende trafikk vil tidsintervallet mellom hvert kjøretøy på hovedvegen reduseres. Det vil dermed være vanskeligere for trafikken som skal svinge venstre av sidevegen å finne en tilstrekkelig luke for å kjøre inn på hovedvegen. Trafikken som skal svinge til venstre er nødt til å vike for to retninger og vil trenge at det åpner seg en tilstrekkelig luke fra begge retningene samtidig. Noe som gjør at det er utfordrende for sjåfører å svinge til venstre inn på hovedvegen med dagens løsning.

I Statens vegvesens vegnormaler har det helt siden 1977 vært T-kryss, X-kryss og rundkjøringer som har vært de mulige alternativene for plankryss (Statens vegvesen, 1977). Selv om det på den tiden ikke eksisterte mange rundkjøringer i praktisk forstand, var kryssløsningen med i håndbok 017 fra 1977 (tidligere navn på N100). Rundkjøring var på denne tiden fortsatt betraktet som en svært ukjent kryssløsning og det er tydelig at T-kryss var anbefalt over rundkjøring. Krysstypene reguleres som høyreregulering, vikeplikt eller signalregulering avhengig av trafikkmengde, vegklasse og andre forhold. De tre utformingsalternativene i kombinasjon med reguleringsmulighetene er de valgene som finnes når det skal bygges et nytt plankryss i Norge, og har i all praktisk forstand vært slik siden slutten av 70-tallet. Kryss er som regel den begrensende faktoren i det norske vegnettet og virker derfor som flaskehals. Avviklingsproblemer oppstår derfor som regel på grunn av utfordringer med kryssene. Kryss er også konsentrerte områder hvor sannsynlighet for en ulykke er betydelig høyere enn på generelle vegstrekninger. For å løse disse utfordringene er det derfor viktig å ha flere valgmuligheter når det gjelder utformingen av kryssene. Dette gjør det mulig å tilpasse løsningene til lokale forhold og avvikle trafikken på en god og trygg måte. Ved å velge den optimale kryssløsningen kan man redusere risikoen for ulykker og samtidig øke kapasiteten og effektiviteten i trafikkavviklingen.

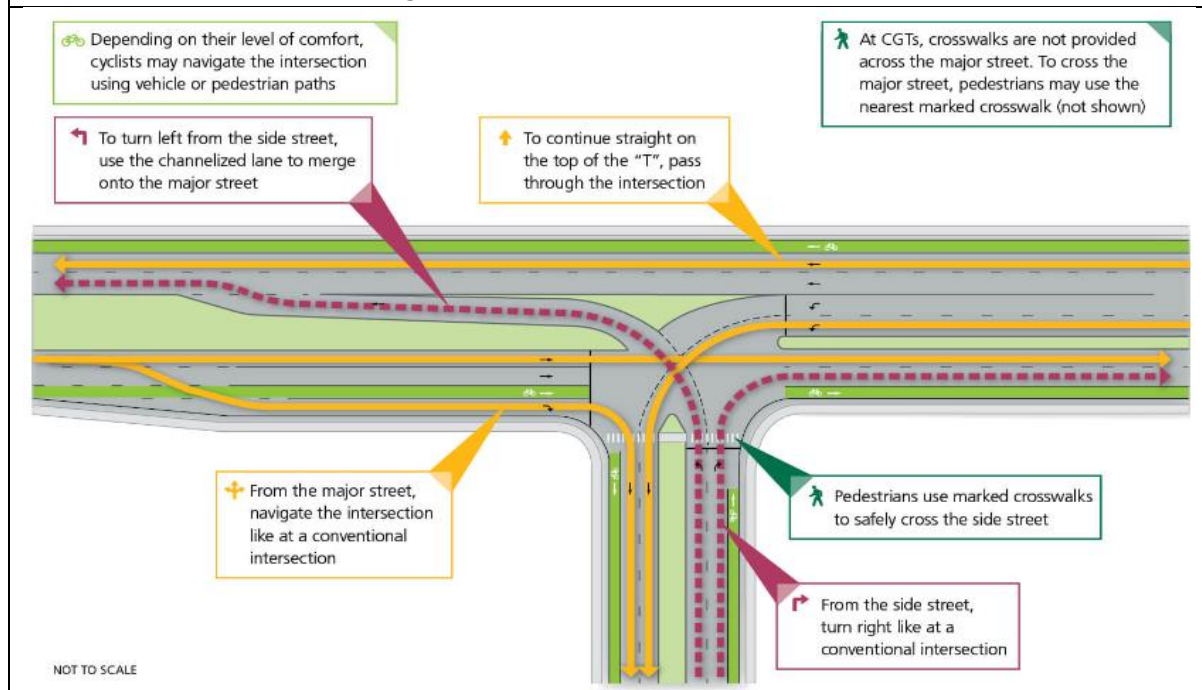
Flere land som USA, Storbritannia, New Zealand og Nederland har begynt å se på nye og innovative kryssløsninger for å forbedre trafikksikkerheten og flyt i kryssene (Candappa et al., 2015). Denne oppgaven ønsker derfor å undersøke effekten av noen av disse kryssløsningene og muligheten for implementering i Norge. Det ble tatt utgangspunkt i rapportene *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)* (Hughes et al., 2010) og nettsiden til transportdepartementet i Virginia, USA, (Virginia Department of Transportation, 2023) for å finne kryssløsninger som kunne vurderes. Disse løsningene vises i Tabell 1-1.

**Tabell 1-1: Alternative kryssløsninger, figurer hentet fra (Innovative Intersections and Interchanges—Info | Virginia Department of Transportation, u.å.).**



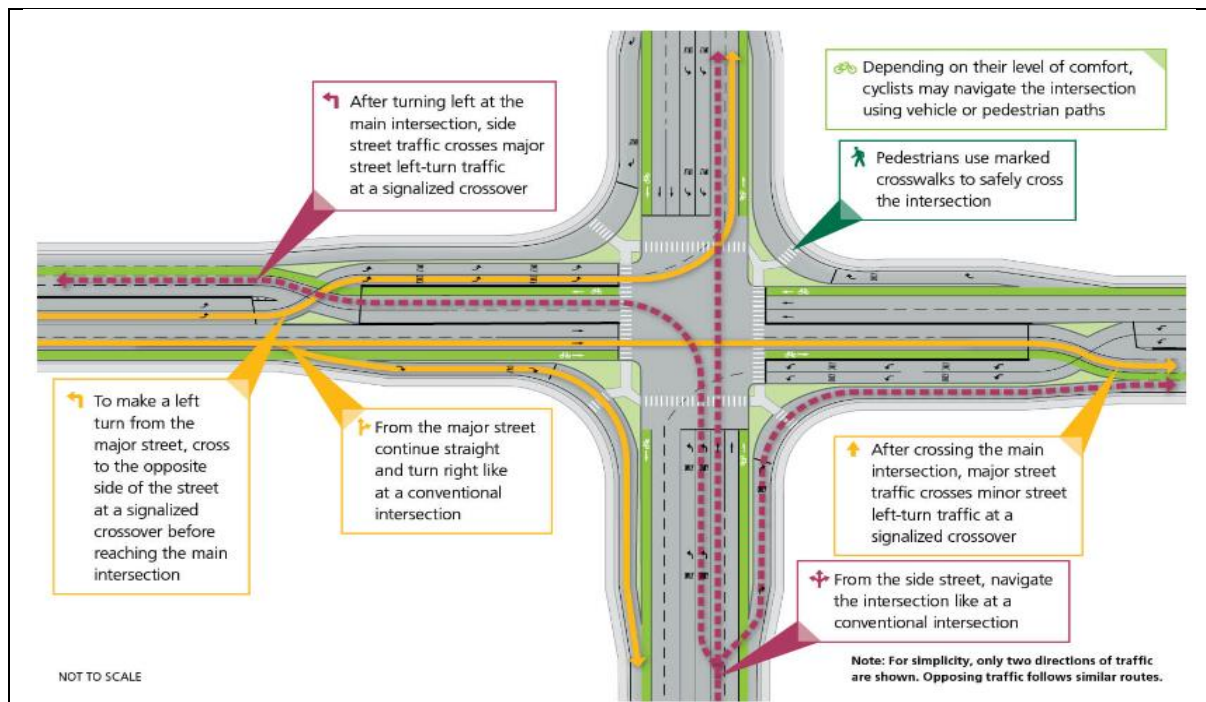
**Center turn overpass:**

- Alle venstresvingbevegelser blir utført på et høyere plan ved bruk av ramper.
- Venstresvingende trafikk flettes inn igjen etter akselerasjonsrampe.
- Begge plan reguleres av to-fase trafikklys
- Brukes hvor hovedvegen har 6 felt eller flere



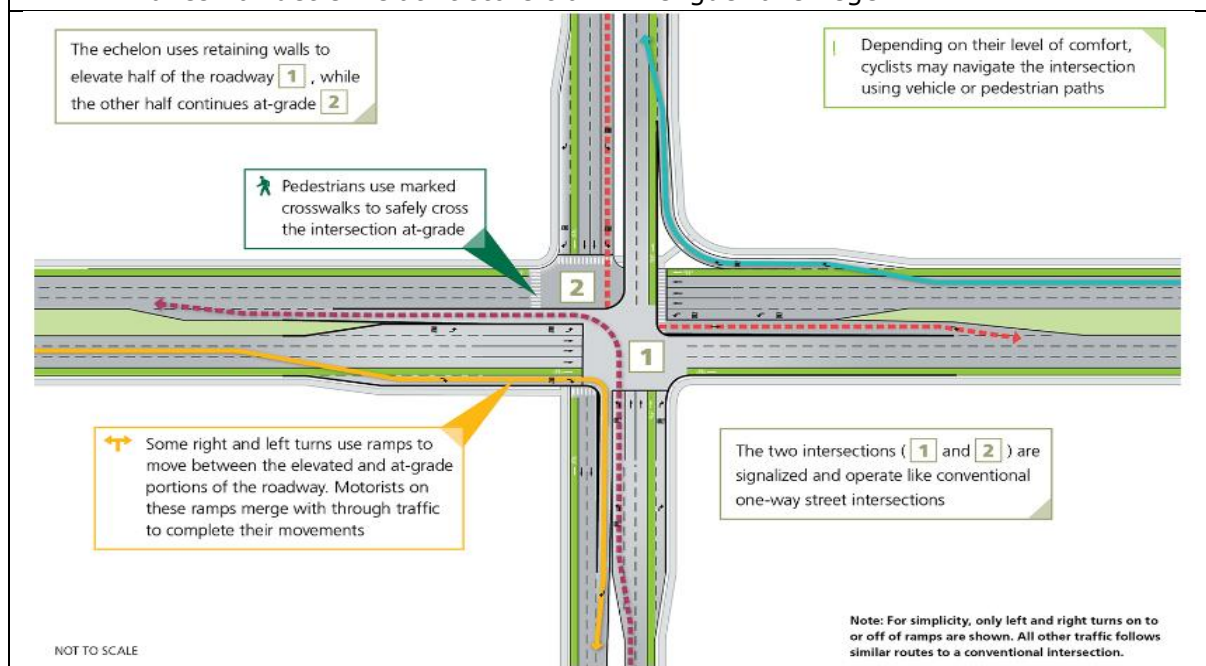
**Continuous green-T (CGT):**

- T-kryss hvor en gjennomgående retning på hovedvegen kjører upåvirket gjennom krysset slik at venstrebevegelsen fra sidevegen slipper å ta hensyn.
- Kan brukes med eller uten lysregulering
- Brukes når det er stor gjennomgående trafikk på hovedvegen



### Displaced left turn (DLT):

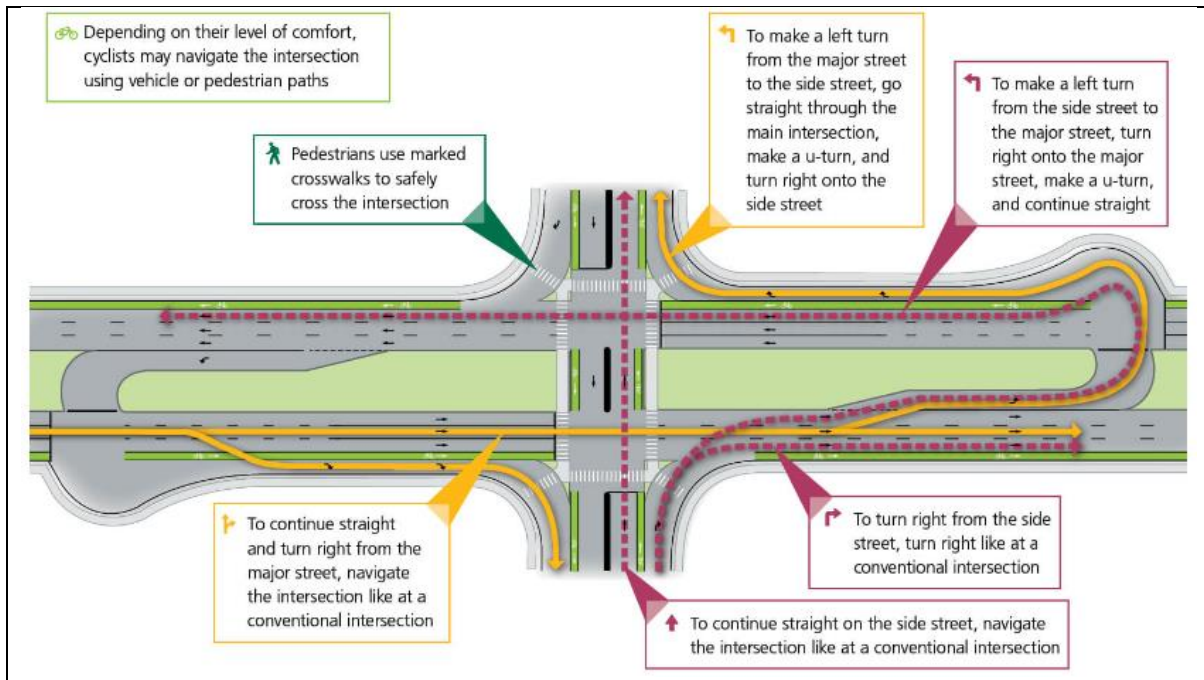
- Løsning hvor trafikk fra hovedvegen som skal svinge venstre krysser over motgående felt i forkant av krysset.
- Venstresving og motgående gjennomkjørende trafikk kan derav gjennomføres samtidig.
- Brukes når det er relativt store trafikkmengder alle veger.



### Echelon:

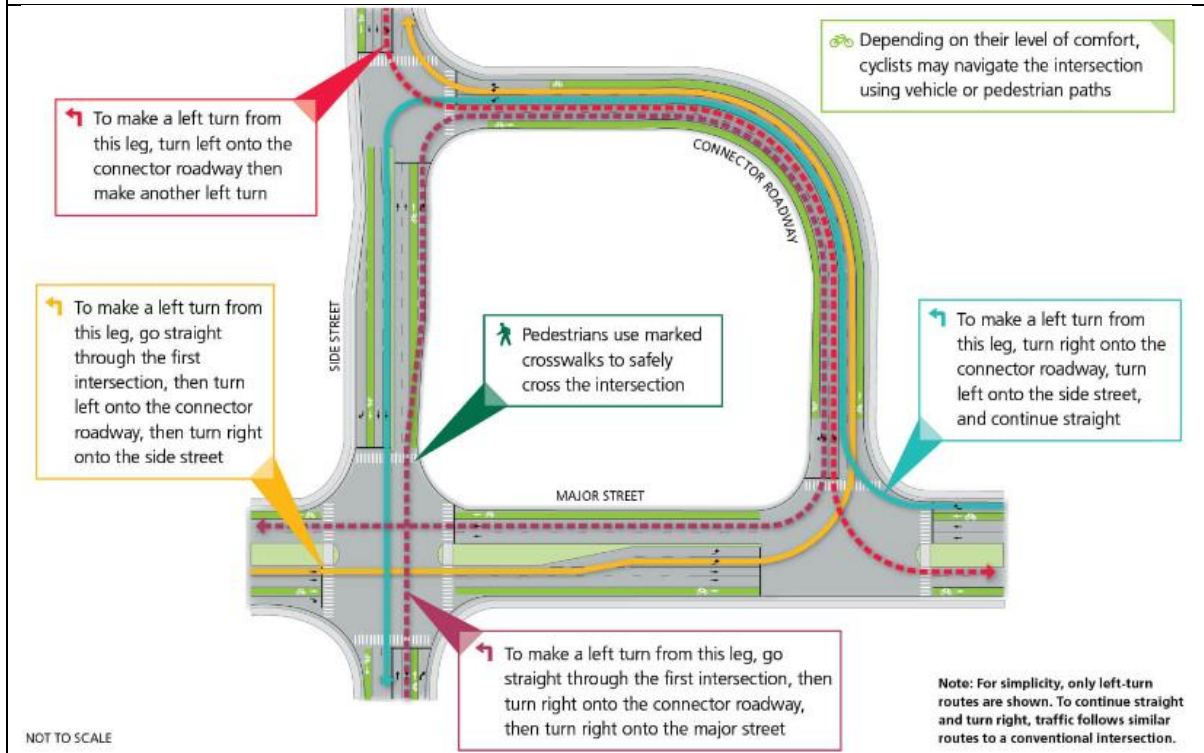
- Krysset deles i to deler hvor en tilfart på hver veg opphøyes til et sekundært plan.
- Begge kryssene er lysregulert med to faser, men det blir ingen friflytsbevegelser.
- Kan brukes når trafikkvolum på sideveg og hovedveg er relativt like.





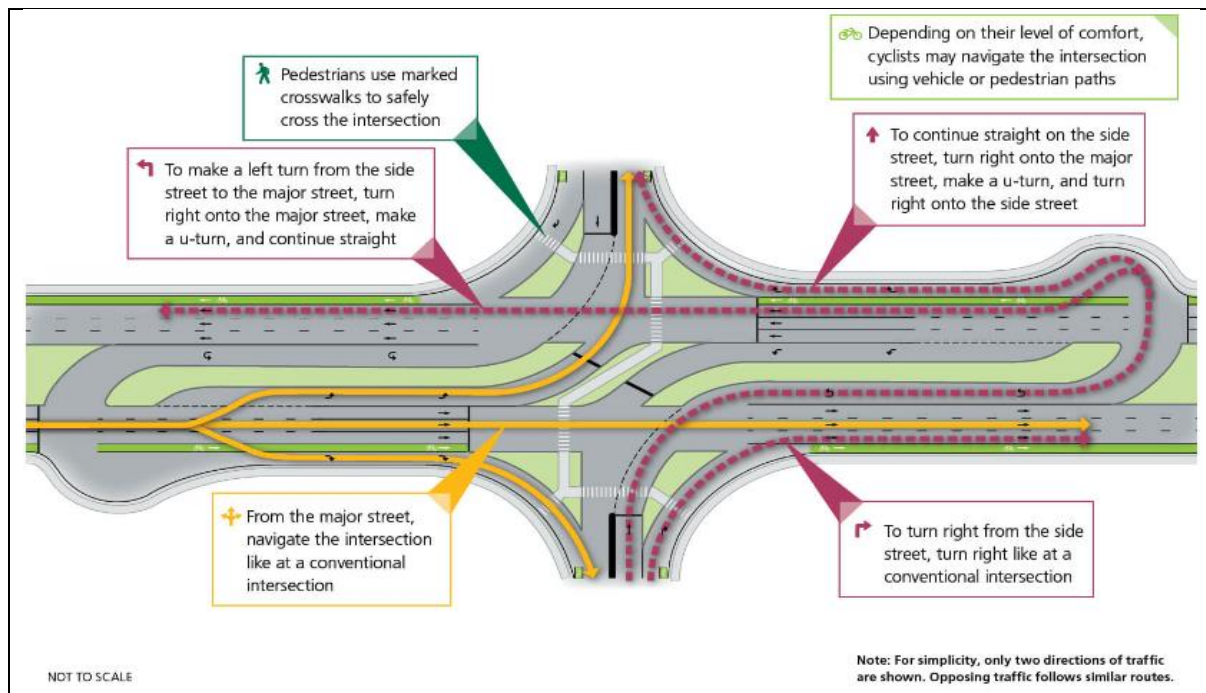
### Median U-turn (MUT):

- Løsning hvor venstresving nektes og en må bruke U-sving for å komme seg venstre.
- Kan bygges som lysregulert, stoppkontrollert eller vikepliktsregulert.
- Brukes ved stor gjennomgangstrafikk og relativt lav venstresvingende trafikk.



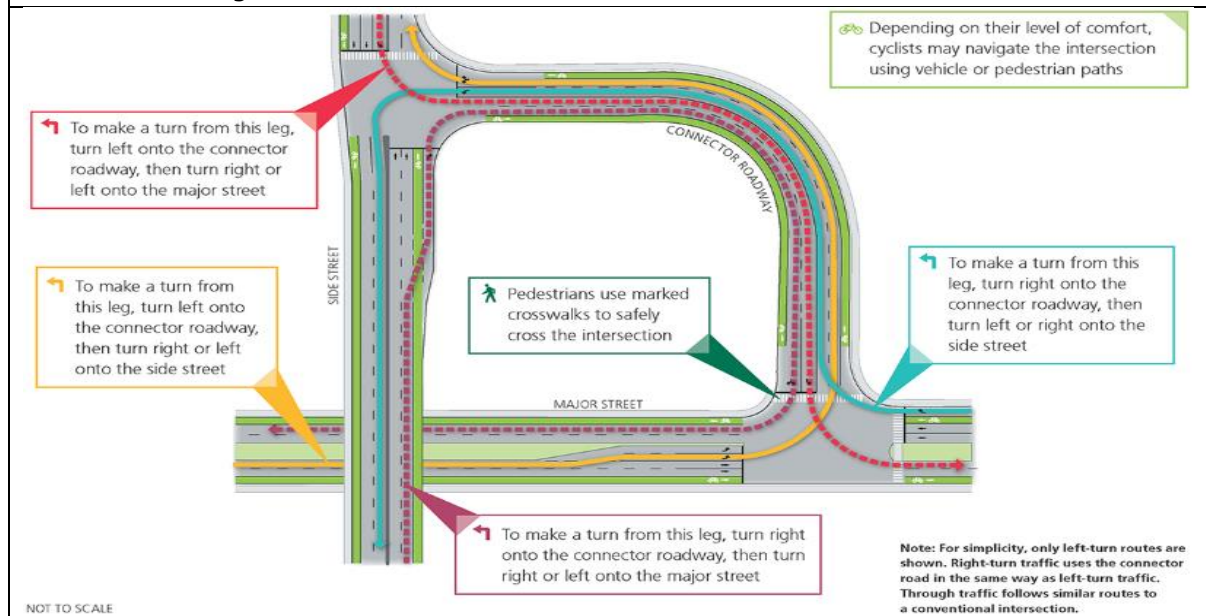
### Quadrant roadway (QR):

- Et hovedkryss og to sekundærkryss lenkes sammen i en kvadrant av krysset.
- I hovedkrysset er venstresving forbudt slik at sekundærkryssene må nyttes for å kunne ta venstrebevegelser.
- Vanligvis lyskontrollert, men kan være vikepliktsregulert.



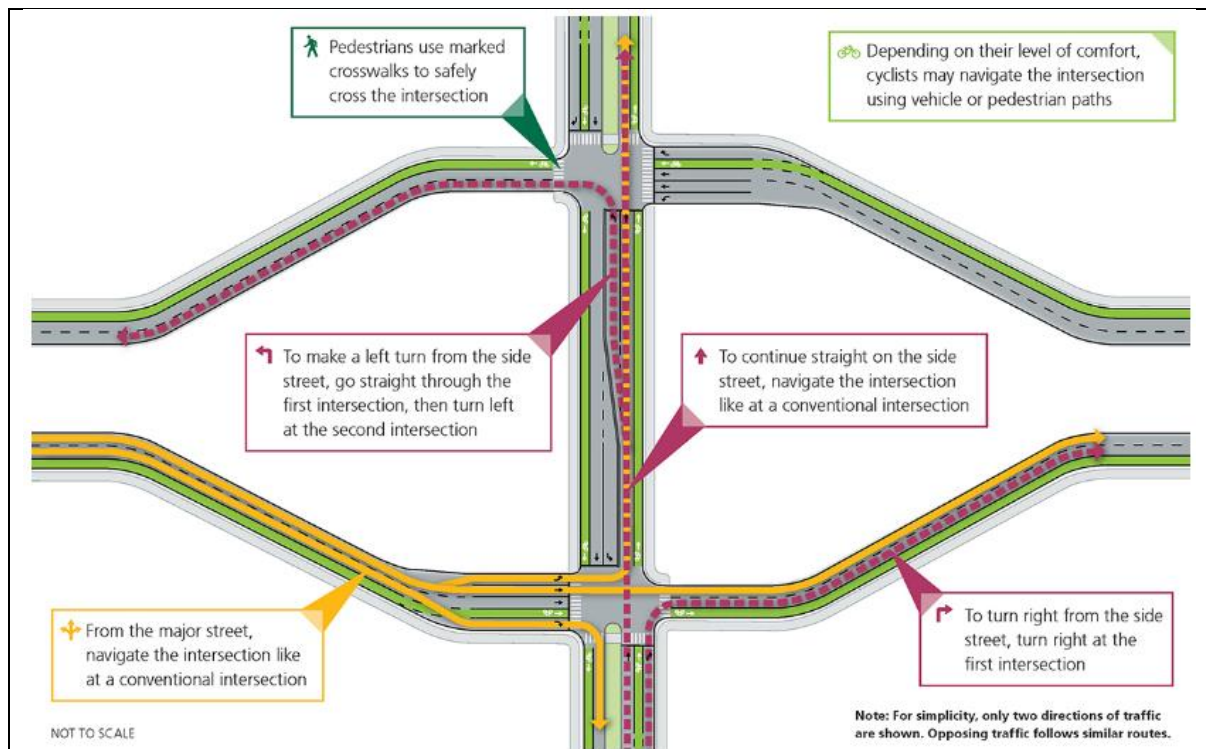
### Restricted crossing U-turn (RCUT):

- Ligner på MUT, men her begynner alle bevegelser fra sidevegen med å svinge til høyre.
- U-sving brukes for trafikk fra sidevegen som ikke skal høyre.
- Lysregulert, stoppkontrollert eller vikepliktsregulert.
- Brukes ved stor gjennomkjørende trafikk og eller venstresvingende trafikk fra hovedvegen.



### Single loop:

- Hovedveg og sideveg krysser over to plan.
- Alle bevegelser som ikke er gjennomgående bevegelser, bruker en slags hjelpeveg mellom to mer tradisjonelle T-kryss.
- Stort sett lysregulering
- Brukes ved stor gjennomgående trafikk og liten til medium trafikk som svinger til venstre.



### Split intersection:

- Hovedvegen deles opp i to envegskjørtede vegger som møter sidevegen med to separate lysregulerte kryss.
- Brukes i kryss i forsteder med høy andel med venstresvingende trafikk.

Målet med oppgaven er å bidra til økt kunnskap om alternative kryssløsninger og tilrettelegge informasjon slik at det kan ved en senere anledning undersøkes om muligheten for å inkludere dem i Statens vegvesens normaler for kryssutforming.

## 1.2 Målsetning og forskningsspørsmål

Oppgaven har som mål å undersøke og presentere alternative løsninger for håndtering av trafikk i Norge, ved å vise at andre løsninger enn T-kryss og rundkjøring kan bidra til bedre trafikkflyt og sikkerhet der tradisjonelle løsninger ikke er tilstrekkelige. For å legge frem alternativene som norske løsninger er vi nødt til å tilpasse løsningene til norske forhold. Vi vil derfor fokusere på å gi et helhetlig bilde av de forskjellige løsningene. Dette innebærer å utforme geometri, skilting, oppmerking, vurdere kryssingsmuligheter for fotgjengere, gjøre vurderinger av trafiksikkerheten og simulere trafikkflyt.

Målsetningen til rapporten kan oppsummeres i følgende formulering:

- Rapporten skal gi et helhetlig bilde av tre forskjellige nye løsninger for kryssutforming med grunnlag fra norsk reglement. Løsningenes trafikkflyt simuleres og sammenlignes individuelt med tradisjonelle løsninger for å kunne si noe om bruksområde for løsningene.

For å fullføre rapportens målsetting er det konkrete spørsmål som må besvares.

Forskningsspørsmålene er uavhengige, og svarene fra forskningsspørsmålene vil i stor grad påvirke endelig design og utfall av rapporten. Følgende forskningsspørsmål ønskes å besvare:

- Hvordan kan vegkryssene som er presentert tilpasses til norske forhold og regelverk for best mulig trafikkflyt?
- Hvordan påvirker implementeringen av nye kryssløsninger trafikkkavviklingen sammenlignet med de tradisjonelle løsningene?
- Hvordan kan risikoen for ulykker reduseres ved implementering av nye kryssløsninger med nye kjøremønstre?

### 1.3 Valg av kryssløsninger

Gjennom den innledende fasen av prosjektoppgaven som ble utarbeidet høsten 2022, benyttet vi i hovedsak rapporten «Alternative Intersections/Interchanges: Informative Report (AIIR)» fra det amerikanske transportdepartementet (Hughes et al., 2010) og nettsiden «Innovative Intersections and Interchanges» (Virginia Department of Transportation, 2023). Disse kildene beskriver en rekke kryss som er oppsummert i Tabell 1-1. Artikkelen og nettsiden ga oss inspirasjon til oppgaven og la grunnlag for hvilke krysstyper vi ønsket å se videre på.

Vi ønsket å fokusere på løsninger som holder seg til ett plan. Bakgrunnen for dette var at vi ønsket at kryssene i hovedsak skulle bli benyttet i områder litt utenfor tettbebyggd strøk. To-plans løsninger blir i hovedsak brukt i forbindelse med motorveg, og siden vi ønsket å holde oss til vegstandarden som er mest benyttet i Norge, valgte vi også å holde oss til ett plan. Samtidig er to-plans løsninger betydelig dyrere. Vi forkastet derav alle to-plans løsningene.

Etter å ha gått gjennom alle kryssene nevnt i Tabell 1-1 bestemte vi oss for å begrense oppgaven til 3 krysstyper: «Displaced left turn» (DLT), «Restricted crossing U-turn» (RCUT) og «Continuous green T» (CG).

Kriteriene som gikk inn i valget av krysstypene var at de måtte være mulig å tilpasse til norske forhold, altså at de ikke tok overdrevet mye plass. Vi ønsket også at det måtte være mulig for kryssene å virke uten trafikklys hvor det tradisjonelt ville blitt brukt en T-kryss løsning eller rundkjøring. I tillegg bestemte vi oss for å holde oss til hovedveger i Norge hvor to-plans løsninger ikke er aktuelle. Løsningene «Center turn overpass» og «Echelon» er begge lysregulert og er bygget med i to plan og ble derfor valgt bort. «Quadrant roadway», «Single loop» og «Split intersection» er alle utviklet for urbane miljø og fungerer best inn i større systemer enn de vi ønsker å undersøke. Derav ble disse også valgt bort.

Det ble raskt etablert at «Restricted crossing U-turn» krysset var svært interessant og ganske nytenkende innenfor kryssløsninger. Krysset ble i hovedsak benyttet i X-kryss i USA i kombinasjon med lysregulering, men muligheten for å avgrense krysset til en side og benytte det i vikepliktsregulerte T-kryss gjorde at løsningen falt innenfor interesseområdet. Kryssløsningen ble også sett på som relativt fleksibel innenfor geometrisk utforming som gjør løsningen tilpasningsdyktig for videre arbeid.

«Displaced left turn» løsningen er en annen kreativ kryssløsning som bygger på den gjennomgående ideen om å begrense antall konfliktpunkter og å forsøke å spre dem utover så de kan utføres sekvensielt. DLT-løsningen gjør dette med å føre venstresvingende trafikk på hovedvegen over på motsatt side av vegen, slik at man kjører på venstre side av vegen en liten strekning. Vi så tidlig noen risikoer knyttet til trafiksikkerheten, men synes likevel løsningen var interessant. Det ble også antatt at en

slik kryssløsning ville ta mindre plass enn hva RCUT-løsningen krever, noe som er gunstig i norske forhold.

«Continuous green T» løsningen er allerede implementert i Norge noen steder, men da i all hovedsak som vikepliktsregulert kryss fremfor lyskryss som løsningen legges frem som i AIIR. Krysset bygger, som de to andre løsningene, på idéen om å forskyve konfliktpunktene slik at man ikke tar hensyn til alt på en gang. I tillegg gjør denne løsningen det mulig for ett av kjørefeltene på hovedvegen å kjøre helt uforstyrret. Denne løsningen er den mest kompakte av de tre, men også den minst innovative løsningen da den ligner svært mye på et standard T-kryss.

Med de tre løsningene som ble valgt er det tre helt uavhengige og unike løsninger. Løsningene varierer i grad av kompleksitet og avvik fra en tradisjonell løsning som viser ulike grader av nytenking. Kryssløsningene varierer også i areal som må være tilgjengelig for å kunne implementere løsningene som skaper valgmuligheter, dersom prosjekter begrenses av denne faktoren.

## 1.4 Avgrensning

Vi ønsker å analysere krysstypene «Restricted crossing U-turn», «Continuous green T» og «Displaced left turn». Det finnes som vist i kap. 1.1 mange flere kryssløsninger som man kunne ha modifisert, men disse er valgt å sette søkelys på da de anses å kunne fornorskes uten større endringer. Det finnes en rekke varianter av rundkjøringer som «Turborundkjøring» og i Swindon har de en form for «Magisk rundkjøring» som kunne blitt vurdert, men det ble gjort en vurdering om at en vanlig rundkjøring allerede er et komplekst vegelement som kan ses på som en spesiell løsning i utgangspunktet.

Det vil fokuseres på kryssforbindelser hvor mindre sideveger kobles på en større hovedveg hvor trafikkmengde varierer for å se hvor mye trafikk sidevegen håndterer. Når kryssene modelleres, vil det gjøres i 2 dimensjoner for å forenkle utformingen slik at vi slipper å ta hensyn til vertikalkurvatur. Dette tilsier at vegene ikke har vertikalkurvatur, noe som man må ta hensyn til ved prosjektering av veger og kryss ellers. Det er valgt å se bort fra grunnforhold og andre geotekniske forhold ettersom kryssene som modelleres og simuleres ikke er knyttet til geografiske punkt, og kun er prinsipløsninger. Det vil heller ikke bli gjort noen vurderinger på størrelse og materiale i overbygning.

Rapporten ønsker å fremme forslag til løsninger som kan brukes på et generelt plan, og løsningene utformes geometrisk for å håndtere varierende trafikkmengder. Løsningene må senere tilpasses lokale forhold for bruk i virkeligheten. I den geometriske utformingen vil det gjøres tanker på et generelt plan hvordan fotgjengere kan krysse, men under simulering av trafikkflyt vil fotgjengere ikke være simulert. Dette valget er gjort for å begrense mengden simuleringer og total mengde data, samtidig som andelen fotgjengere vil variere svært mye basert på område.

## 2 Metode

Metodekapittelet beskriver metodene som ble benyttet i forkant av og i løpet av denne oppgaven, fra innsamling av data til modellering og analyse. Formålet med kapittelet er å gi leseren god forståelse av hvordan vi har tilegnet oss kunnskap om temaet, og hvordan vi har brukt ulike verktøy for å modellere og analysere de ulike kryssløsningene. Dette vil gjøre det mulig for leseren å vurdere resultatene i forhold til metodene som ble brukt. I kapittel 1 ble det valgt ut tre alternative kryssløsninger som skulle undersøkes nærmere. Vi ønsket å modellere og analysere disse tre fullstendig, for så å evaluere nytteverdien av slike løsninger. For å sikre mest mulig nøyaktige resultater, ble det besluttet å utarbeide de geometriske utfordringene med kryssene før simuleringene startet. På denne måten kunne simuleringene baseres på geometrien til kryssene på riktig måte. Prosessen viste seg å bli noe iterativ og mindre geometriske endringer ble utført for å tilpasse simuleringene.



**Figur 2-1: Flytdiagram som viser hendelsesforløpet.**

### 2.1 Metode for litteraturstudium

En større mengde litteratur har blitt undersøkt for å samle eksisterende kunnskap og få en bedre oversikt over tidligere forskning i forbindelse med masteroppgaven. Litteraturstudiet var ment å belyse forskjellige aspekter av oppgaven som kan være relevant i forbindelse med arbeidet mot nye kryssløsninger. Forskningsspørsmålene ble undersøkt sammen med andre relevante temaer som miljøutfordringer, trafiksikkerhet og trafikkavvikling. Under utvelgelsen og søket etter litteratur ble hovedsakelig kildene Oria, Google Scholar, Google og anbefalinger fra faglærere brukt. Det har også blitt søkt i andre databaser for å få et bredere perspektiv og sikre at alle relevante kilder ble undersøkt. Litteraturstudiet var viktig for å bygge opp en solid bakgrunn for masteroppgaven og sørge for at alle relevante temaer og forskningsspørsmål ble undersøkt grundig. Rapporten «*Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*» (Hughes et al., 2010) sammen med nettsiden til transportdepartementet i Virginia, USA (Virginia Department of Transportation, 2023) ga grunnlag for videre mer spesifikk litteratur om forskjellige kryssløsninger. Rapporten ga oss grunnlag for bestemte kryssløsninger, som videre kunne brukes til videre mer spesifikk søking.

### 2.2 Metode for utforming av kryssløsninger

For å kunne modellere opp løsninger og produsere tegninger for å forklare løsningene best mulig ble det brukt en rekke verktøy og programvare. Disse programmene beskrives og det forklares hvordan disse ble brukt.

### 2.2.1 Novapoint

Novapoint er hovedprogramvaren som brukes til å prosjektere veg i Norge. Novapoint er utviklet av Trimble og brukes sammen med AutoCAD. Novapoint og AutoCad er programmer utviklet for å arbeide sammen og brukes dermed simultant ettersom de er avhengige av hverandre for å kunne brukes optimalt. Med Novapointprogrammet er det mulig å produsere 3D-modeller av vegsystemer som kan brukes av entreprenør til å bygge vegen. Vi skal produsere modeller som kan brukes for å skape oversikt i Novapoint som senere brukes til tegningsproduksjon i AutoCad som beskrives i senere avsnitt. Novapoint er også nødvendig for å generere en situasjon med terrenggrunnlag for videre tegningsproduksjon. For å få tilgang på de nødvendige funksjonene for vegprosjektering i AutoCAD er det nødvendig å starte programmet gjennom Novapoint. Novapoint blir dermed brukt til å generere en helt flat terrengoverflate og bygge vegmodeller av hoved- og sideveger. Veger og kryss blir produsert gjennom at man genererer oppgaver for veglinjer, avgrensingslinjer og vegmodeller i Novapoint, hvorpå linjene får data gjennom AutoCad som igjen skaper grunnlaget for vegmodellene i Novapoint. Vegmodeller tildeles vegklasse i Novapoint hvor hovedvegene er tildelt vegklasse H1 og sidevegene er tildelt vegklasse Hø1. Fullførte Novapoint-modeller kan senere tegnes ut i AutoCad for tegningsproduksjon.

### 2.2.2 AutoCad

AutoCad er et tegningsverktøy som gjør at det er mulig å produsere nøyaktige tegninger i to eller tre dimensjoner. I denne oppgaven vil vi kun vise tegninger i to dimensjoner siden det er standard for tegningsproduksjon i bransjen og vi kun er interessert i den horisontale veggeometrien. AutoCad har en rekke tilleggsfunksjoner som brukes når en prosjekterer veg. Disse brukes for å tegne opp veglinjene vi ønsker å knytte sammen før kryssene modelleres. AutoTURN er et eget tilleggsprogram som brukes for å gjennomføre sporing for å tilpasse breddeutvidelse og utforming av kryss, dette beskrives i eget avsnitt under. Sporingresultatene gir oss grunnlag for å avgrensinger det som påvirker design av elementene i kryssene. Når vegmodellene fra Novapoint er fullstendige tegnes disse ut i 2D ved hjelp av en tegningsfunksjon før det må gjøres noe manuelt arbeid for å finpusse tegningene. AutoCad har også tilleggsfunksjonene Vegoppmerking og Vegskilt. Disse er brukt for å utarbeide skiltplan og for å vise oppmerkingen av krysset. Modelltegningene brukes som hjelpelinjer når vegoppmerkingen produseres og skilt settes ut i samme tegning.

### 2.2.3 Beregningsmodell for av- og påkjøringsfelter

Ved beregning av ekstra felter for både av- og påkjøring benyttes Statens vegvesens beregningsmodeller. Herunder benyttes modellen for venstresvingefelt, akselerasjonsfelt og retardasjonsfelt. Beregningsmodellen er laget i et excel-ark. Ved å legge inn hastighet, andel tunge kjøretøy og trafikkmengder vil modellen beregne minste nødvendige lengde på feltene. Høyresvingefelt har bestemte verdier i håndbok N100, og har derfor ikke en egen beregningsmodell.

### 2.2.4 AutoTURN

AutoTURN er et sporingverktøy som legger til rette for at bruker skal kunne tilpasse geometri til dimensjonerende kjøretøy. Verktøyet kan også brukes for å kontrollere om et gitt kjøretøy har nødvendig plass og kan brukes til å bestemme hvilke kjøretøy som kan nyttes på et gitt område. Programmet tar hensyn til plassering av kjøretøyets fremre og bakre hjulplassering samt overheng når kjøretøyet spores gjennom en strekning. Dette

gir oss kjøretøyets begrensninger og lar oss tilpasse kurver og breddeutvidelser slik at kjøretøyet har mulighet til å passere.

Hovedsakelig skal norske hovedveger dimensjoneres med modulvogntog (MVT) som dimensjonerende kjøretøy beskrevet i håndbok N100. Ettersom de tenkte sidevegene vil være av mindre karakter, vil det kunne være mulig å dimensjonere med en lavere dimensjoneringsklasse. Det å dimensjonere for at MVT skal klare alle svingebevegelsene vil skape et kryss som vil oppfattes som veldig stort og medføre dårlig utnyttelse av plass. Vi vil dermed vise sporing av vogntog (VT) siden det tenkes at det vil være unødvendig å dimensjonere for MVT.

### 2.2.5 Skilt og vegoppmerking

Skiltplan ble utarbeidet i samsvar med Statens vegvesens håndbok N300. Skiltplanen har som hensikt å legge til rette for førers forståelse ved ankomst av en ny kryssløsning. Det vil dermed legges trykk på forklarende informasjonsskilt og påbudsskilt som legger til rette for at korrekt kjøremønster følges. For opptegning av skilt for løsningene brukes Novapoints skiltmodul til å tegne opp skiltene i AutoCad hvor skiltstolpe settes ut og deretter kobles ønsket skilt til stolpen.

Ettersom kryssløsningene har en noe utradisjonell utforming vil det måtte gjøres vurderinger og det må fremmes forslag til hvordan vegoppmerkingen utføres. Hovedsakelig vil oppmerkingen følge hovedprinsippene fra håndbok N302, men det vil gjøres tilpasninger hvor kryssenes geometri krever fravik fra standardløsningene. For å vise oppmerking brukes Vegoppmerkingsmodulen i AutoCad som konverterer linjer til vegoppmerkingslinje etter eget ønske.

På bakgrunn av den utradisjonelle utformingen ble det også utformet noen forslag til spesielle skilter for RCUT og DLT. CGT-løsningen har ikke store endringer forbundet med et standard T-kryss, og derfor har ikke denne løsningen noen spesielle skilter. De spesielle skiltene er utformet for å vise trafikken tidlig at de kommer til en uvant løsning, og vil informere dem hvordan kjøremønsteret vil være. Skiltene er derfor utformet etter kryssets utseende.

## 2.3 Metode for analyse av trafikkavvikling

Det er flere verktøy å bruke når man skal se på trafikkavvikling. Med bakgrunn av valgt størrelsesområde på interesseområdet og behov for mulighet til å modellere opp mer spesielle løsninger ble programmet Aimsun valgt for å analysere kryssene. Aimsun benytter en bilfølgemodell som baserer seg på trygg avstand til kjøretøyet i front. Programmet kjører simuleringer hvor modellen baserer seg på følgende aspekter:

- Førers atferd og kjøretøyskarakteristikk
- Fartsgrense og aksept
- Geometri, trafikkforhold o.l.

Simuleringsprogrammet fungerer stokastisk, noe som tilsier at resultatet vil variere gjennom hver simulering som blir gjennomført. Ved å bruke geometri utarbeidet med AutoCad og Novapoint er kryssene gjenskapt i Aimsun med tilsvarende geometri for å skape best mulig grunnlag for simuleringene. Kryssene simuleres med varierende trafikkvolum med 10 replikasjoner per trafikkvolum for å verifisere gyldig resultat, dette er mer nøyaktig beskrevet i kapittel 8.1. T-kryss og en rundkjøring vil også modelleres opp i Aimsun og simuleres med tilsvarende trafikkmengde for sammenligningsgrunnlag.



Faktorer som det legges vekt på av resultatene er forsinkelse og reisetid gjennom krysset.

Aimsun brukes ved at en relativt enkel modell av ønsket kryssgeometri tegnes opp i 2D, ved hjelp av innebygde verktøy i programmet. Deretter lages det sentroider som kobles til endepunktene på vegene og bestemmer trafikkandelen som skal inn eller ut ved punktet. Trafikkmengden settes ved å bruke ulike OD matriser, som spesifiserer kjøretøytype og mengde, disse kobles igjen sammen med alle sentroidene. Aimsun kjører så et gitt antall stokastiske simuleringer og analyserer ulike parametere, den viktigste parameteren vi fokuserer på er forsinkelse som igjen skaper grunnlag for Level of service, beskrevet i kapittel 3.3.1.

# 3 Teori

## 3.1 Miljøutfordringer

Det er store miljøutfordringer knyttet til trafikk rundt om i verden. I Norge er nesten en tredjedel av det totale utslippet fra transport, hvor over halvparten er knyttet til vegtrafikk (Statistisk sentralbyrå, 2019). Norge har forpliktet seg til Parisavtalen, og skal derfor bidra til at den globale temperaturen ikke øker med mer enn 2, men helst ikke mer enn 1,5 grader innen det neste århundre. Norge har på bakgrunn av dette satt et mål om å redusere klimagassutslippene med minst 55 % innen 2030, med referanse i utslippene fra 1990 (Regjeringen, 2022). I tillegg har regjeringen satt et mål om 55% nedgang i klimagassutslipp knyttet til transport (Transportøkonomisk institutt, 2023).

Vegtrafikk produserer også ulike andre forurensninger som ikke blir beregnet som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, i tillegg til utslipp som er mer relatert til lokale forhold. Dette gjelder spesielt støv og støy, hvor støv i helsefarlig forstand omtales som svevestøv. Svevestøv består av små luftbårne partikler som ofte stammer fra forbrenningsprosesser eller slitasje (FHI, 2017). Støvet varierer i størrelse og sammensetning, og klassifiseres ut ifra størrelse. I Norge måles mengden PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> som beskriver mengden partikler mindre enn henholdsvis 10 og 2.5 µm. Partiklene mellom 10 og 2.5 µm betegnes som grovfraksjonen og blir i hovedsak produsert gjennom mekanisk slitasje av vegdekk og bildekk. Partikler mindre enn 2.5 µm betegnes som finfraksjonen og produseres hovedsakelig gjennom forbrenningsprosesser. PM<sub>10</sub> er betegnet som størrelsen hvor partiklene kan trenge ned i luftveiene og utgjøre en helseskade, mens PM<sub>2.5</sub> er såpass små at de gjennom lungene kan trenge inn i blodomløpet i kroppen (US EPA, 2022). Partikler av forskjellig størrelse vil ha forskjellig negative virkninger, men generelle helseproblemer tilknyttet svevestøv vil hovedsakelig være:

- Utvikling av luftveis- og hjerte- og karsykdommer.
- Forverring av symptomer med luftveis- og hjerte- og karsykdommer.
- Forsterkning og utvikling av allergi
- Effekter på nervesystem, fosterutvikling, sædkvalitet og stoffskifte.

Transportsektoren er en av de største og raskest voksende kildene til energiforbruk og utslipp av drivhusgasser (IEA, 2011). Det er en direkte sammenheng mellom hvor og når bilførere kjører og hvordan drivstofforbruket og påfølgende klimagassutslipp påvirkes. Kjøring i tettbebygd strøk medfører høyere forbruk av drivstoff på grunn av høyere grad av akselerasjon og deselerasjon enn hva kjøring på landeveg gir. I raskt voksende byer i utviklingsland er det estimert at 90 % av luftforurensning i bymiljøet kommer av eksos fra kjøretøy (Zhao & Yu, 2017). En undersøkelse i Antwerpen viste at drivstofforbruk og utslipp økte mellom 10-200% for ringveger i rushtrafikken (De Vlieger et al., 2000). Årsaken til denne variasjonen er trafikkflyten på de forskjellige vegene, men det er likevel en tydelig økning i utslipp.

Selv om kryss generelt utgjør en svært lav andel av vegnettet sammenlignet med strekninger ellers, vil kryss med dårlig avviklingskapasitet resultere i kø og ekstra utslipp. Nyere ikke-elektriske kjøretøy vil som hovedregel slå seg av når de står stille i

kortere perioder, mens eldre kjøretøy vil fortsette å produsere avgasser som CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Det er derfor ønskelig å minimere tiden de står stille. Ved å designe kryssene for å avvike trafikken på en bedre måte kan man minimere økningen av drivstofforbruk og utslipp i rushtiden. En studie av Gokhale (2012) viser at CO utslipp er 4-7 ganger høyere i kryss enn på strekning og 2-3 ganger høyere i rundkjøring. NO<sub>2</sub> utslipp er 2-3 ganger høyere i kryss og 3 ganger høyere i rundkjøring, i tillegg til at PM utslipp er omtrent 1-2 ganger så høy for både kryss og rundkjøring. Disse utslippene er relatert til X-kryss og firearmet rundkjøring, men gir likevel et godt innblikk i de ekstra utslippene knyttet til kryss generelt.

## 3.2 Trafikksikkerhet

Trafikkulykker er en stor årsak til dødsfall og personskader i verden og er den ledende årsaken til dødsfall for barn og unge (World Health Organization, 2022). Omtrent 1,3 millioner mennesker dør hvert år i trafikkulykker, og mellom 20 og 50 millioner blir skadet. Selv om Norge blir regnet som et av de mest trafikksikre landene i verden har det ikke alltid vært sånn. I 1970 nådde Norge toppen av antall drepte i trafikken innenlands på hele 560 drepte i tillegg til 4 552 hardt skadde (Statistisk sentralbyrå, 2022a). Det ble deretter startet et intensivt arbeid med å redusere trafikkulykkene og skadeomfanget ved bruk av lover, regler, kontroller og holdningskampanjer. I 1971 ble det påbudt med montering av bilbelte i forsetene, biltilsynet begynte med kontroller, utrykningspolitiet ble sterkt utbygd og Trafikksikkerhetsrådet ble innført (Olsen, 2020). I 2002 vedtok Stortinget Nullvisjonen og Statens vegvesen lanserte i 2003 kampanjen «Husk bilbelte» som senere utviklet seg til «Bruk belte – både i buss og bil». Nå fokuserer de på kampanjen «Oppmerksomhet» som vises på flere plattformer (Statens vegvesen, 2022d). Tiltakene har resultert i nedadgående trend i antall ulykker siden 1970, og var i 2021 på det laveste antallet med 80 drepte i trafikken (Statistisk sentralbyrå, 2022a).

Nullvisjonen er en målsetning om at det maksimalt skal være 350 drepte og hardt skadde i trafikken innen 2030, og herunder også et mål om 0 drepte (Statens vegvesen, u.å.). Nullvisjonen brukes som et moralsk og etisk kompass for trafikksikkerhetsarbeidet i Norge, og er utarbeidet med tre grunnpilarer.

- Etikk, ethvert menneskeliv er unikt og uerstattelig.
- Vitenskap, menneskets fysiske og mentale forutsetninger er kjent og skal ligge til grunn for utformingen av vegsystemet.
- Ansvar, trafikantene og myndighetene har delt ansvar for trafikksikkerheten.

I praksis handler nullvisjonen for planleggerne om at vegutformingen skal være slik at man minimerer sannsynligheten for menneskelig svikt.

Omtrent 30-40% av alle politirapporterte trafikkulykker i Norge skjer i kryss, og de vanligste ulykkestypene er ulykker mellom kjøretøy i kryssende kjøreretninger og ulykker i forbindelse med venstresving (Høye, 2015). Ved å fjerne venstresving og redusere kryssende bevegelser, kan alvorligheten til ulykkene reduseres. Det er en direkte sammenheng mellom hastigheten til kjøretøyene på hovedvegen og alvorlighetsgraden av ulykkene (Sun et al., 2021). Dødeligheten øker når hastigheten på hovedvegen er høy og kryssende bevegelser kan foretas med høy hastighet, spesielt i vikepliktsregulerte kryss. Derfor bør geometrisk utforming av krysset begrense hastigheten til sidevegene inn mot krysset.

### 3.2.1 Effekt av geometrisk utforming av kryss

I Norge er det Statens vegvesens håndbøker som legger grunnlag for dimensjoneringskrav for vegplanlegging. I forbindelse med kryss er det *Håndbok N100 Veg- og gateutforming* sammen med *Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss* som benyttes. Håndbok V121 Tabell 2.1 viser til at for plankryss er det T-kryss, X-kryss og rundkjøringer som er de mulige alternativene, mens håndbok N100 beskriver i krav 4.1.1 at «T- og X-kryss på hovedveger skal forkjørereguleres». X-kryss anbefales likevel ikke utenfor tettbebygd strøk, hvor det heller anbefales å benytte to forskjøvne T-kryss. Her er det også verdt å nevne at hvis kryssene forskyves for lite, kan det resultere i flere ulykker enn et vanlig X-kryss. Statistikken fra Tabell 3-1 viser til at ulykkesraten for X-kryss jevnt over er høyere enn for T-kryss.

**Tabell 3-1: Normal ulykkesfrekvens i T- og X-kryss. Data hentet fra håndbok 115.**

Krysstype	Fartsgrense	Sidevegsandel	Ulykkesfrekvens, ulykker pr mill kjt.km
Vikepliktsreg. T-kryss	60	0,1	0,052
		0,2	0,058
		0,3	0,064
		0,4	0,071
	80	0,1	0,053
		0,2	0,059
		0,3	0,065
		0,4	0,072
Vikepliktsreg. X-kryss	60	0,1	0,137
		0,2	0,152
		0,3	0,168
		0,4	0,187
	80	0,1	0,137
		0,2	0,152
		0,3	0,168
		0,4	0,186

Likevel tyder også ulykkesstatistikken fra 2009-2018 på at ulykkene i X-kryss ikke nødvendigvis er mer alvorlige enn ulykkene i T-kryss (Høye, 2021c), noe som gjenspeiles i Tabell 3-2 selv om antallet og frekvens vil gi flere alvorlige ulykker.

**Tabell 3-2: Gjennomsnittlig skadekostnad pr. ulykke i kryss. Hentet fra håndbok 115**

Krysstype	Fartsgrense	UKOSTGJ (mill. kr)
Vikepliktsregulert T-kryss	50	1,693
	60	2,178
	70	2,727
	80	3,797
	90	3,478
Vikepliktsregulert X-kryss	50	1,588
	60	2,282
	70	2,356
	80	3,482

Alena Høye (2021a) viser til at kryss med rette vinkler mellom armene i gjennomsnitt har omtrent 17% færre ulykker enn kryss med skjeve vinkler. Faktorer som fart, kanalisering, siktforhold og tilrettelegging for myke trafikanter påvirker forskjellen mellom rette og skjeve vinkler. F.eks. vil siktforholdene være dårligere fra sekundærvegen når krysset har en spissvinkel til høyre. Håndbok N100 viser til at vinkelen bør være så nærme 90 grader som mulig, og mellom 70 og 110 grader. Håndbok V121 fastsetter at «Sannsynligheten for ulykker kan reduseres ved å velge krysstyper som reduserer sannsynligheten for at ulykker inntreffer. Kryss med færrest mulig potensielle konfliktpunkter bør i så måte foretrekkes der dette er et valg» (Statens vegvesen, 2014). Krysstypene som blir undersøkt gjennom denne oppgaven reduserer antall konfliktpunkter, i tillegg til å gjøre konfliktpunktene mindre alvorlig ved å redusere potensiell kollisjonsvinkel.

Rundkjøringer regnes som svært trygge løsninger til å avvikle trafikk i kryss. Det kommer av at rundkjøringene er konstruert for å redusere hastigheten, samt å redusere kollisjonsvinkler. Rundkjøringer blir som andre kryssløsninger mer trafikkfarlige med økende antall retninger som møtes i rundkjøringen (Leich et al., 2022). Dette kommer av den økende kompleksiteten av krysset med flere ulike bevegelsesmønstre. Ved en slik økning av tilfarer vil rundkjøringer fortsatt være tryggere enn andre kryssløsninger da antallet konfliktpunkter ikke øker i like stor grad.

Candappa et al. (2015) har undersøkt effekten knyttet til trafikkikkerhet basert på ulike geometriske utforminger i kryss. De kom frem til fem prinsipper som bør etterstrebes for å øke trafikkikkerheten i kryss.

1. Begrense hastighet i kryss til 50 km/t.
2. Unngå kollisjonsvinkler i nærheten av 90 grader.
3. Fysisk skille mellom myke og harde trafikanter.
4. Begrense konfliktpunkter
5. Fremme gjensidig ansvar i kryss

I denne oppgaven så er det hovedsakelig prinsipp nr. 1, 2 og 4 som blir undersøkt. Disse er nærmere forklart under i sine respektive kapitler.

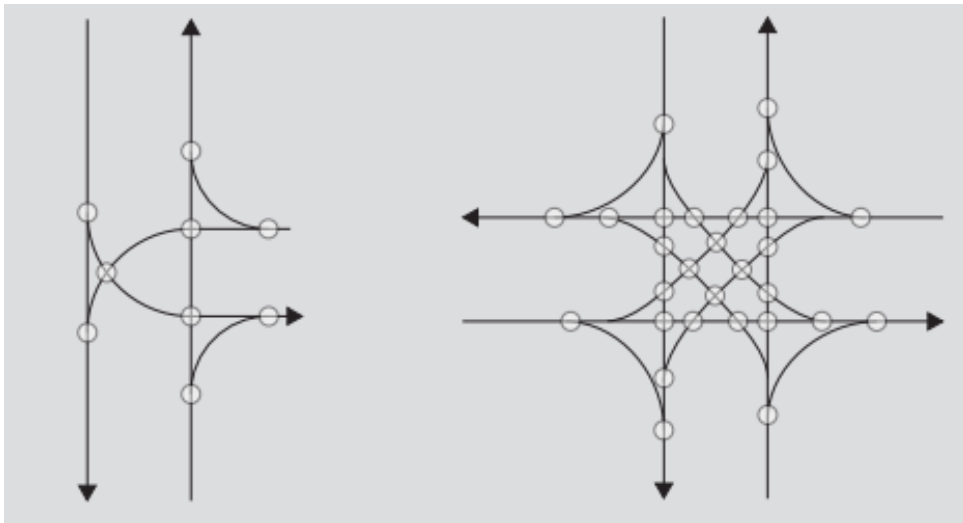
### 3.2.2 Konfliktpunkter i vegkryss

Konfliktpunkter er steder hvor ulike retninger av trafikk møtes, dette er enkelt illustrert i Figur 3-1. Både trafikkikkerhet og -avvikling henger i stor grad sammen med andel og omfang av konfliktpunktene. Menneskers evne til å fokusere på flere ting samtidig er begrenset, og når fører må håndtere flere bevegelser samtidig kan det føre til dårlige beslutninger og farlige situasjoner. Ved å fjerne flere konfliktpunkter og å organisere slik at føreren kan fokusere på en konflikt om gangen, vil det gjøre kryssene mer oversiktlig og redusere sannsynligheten for kollisjon.

De generelle konfliktpunktene i kryss er:

- Kryssende, oppstår som resultat av motstridende trafikkstrømmer, ofte i forbindelse med venstresving inn på eller ut fra hovedvegen.
- Konvergerende, oppstår ved fletting av flere kjørefelter.

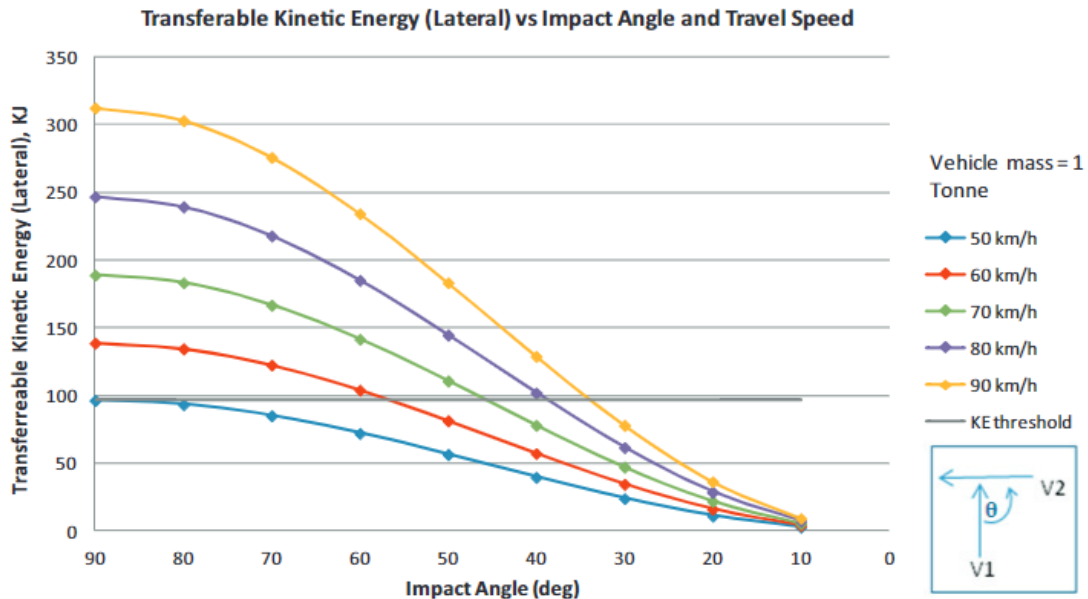
- Divergerende, oppstår når et kjørefelt åpner for flere mulige kjøreretninger, og fartsending.



**Figur 3-1: Konfliktpunkter i T- og X-kryss. Utklipp fra: Håndbok V121**

### 3.2.3 Kjøretøyhastighet og kollisjonsvinkel

Kjøretøyhastighet og kollisjonsvinkel har begge stor innvirkning på alvorlighetsgraden i trafikkulykker. Skadepotensialet i en trafikkulykke henger sammen med mengden bevegelsesenergi de involverte i ulykken blir påført. Candappa et al. (2015) viser sammenhengen mellom bevegelsesenergi og kollisjonsvinkel basert på ulike hastigheter, se Figur 3-2. Her vises også en øvre grense for menneskelig påkjenning, «KE threshold» eller «Kinetic energy threshold» på 100 kJ. En stor grunn til at ulykker med kollisjonsvinkel som nærmer seg 90 grader er alvorlige ulykker, er at man i disse tilfellene ikke har noen mulighet for absorpsjon av bevegelsesenergi gjennom folding av karosseri. Som man kan se fra Figur 3-2 skal det i teorien ikke være dødelig å krasje i 50 km/t for noen kollisjonsvinkler. Likevel ser man en betydelig reduksjon i bevegelsesenergi ved lavere kollisjonsvinkler, allerede ved omtrent 40 grader vil man bevege seg under «KE threshold» for kjøretøyhastighet opp til og med 80 km/t. Dette er hovedgrunnen til at rundkjøringer blir sett på som svært trygge kryssløsninger, her blir hastigheten senket i tillegg til at kollisjonsvinkelen er lavere enn ved typiske kollisjoner i X- og T-kryss.



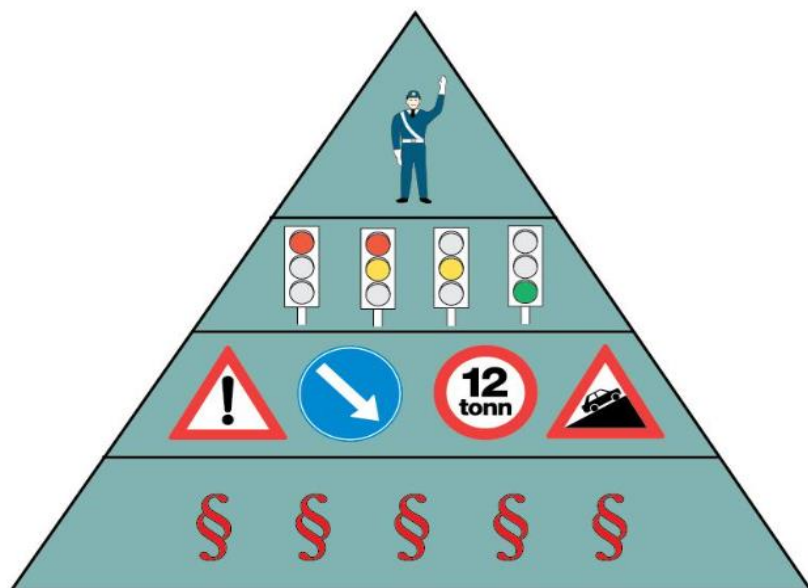
**Figur 3-2: Bevegelsesenergi som resultat av ulike kombinasjoner av hastighet og kollisjonsvinkel. Utklipp fra: Candappa et al. (2015)**

Ved å bygge om T-kryss med omtrent rette vinkler til f.eks. et RCUT eller DLT-kryss hvor de fleste konfliktbevegelsene blir gjort med svært lave vinkler, rundt 30-20 grader. Vil man kunne redusere bevegelsesenergien fra rundt 140 kJ til 40 kJ ved 60 km/t. Det vil da i teorien ikke lenger resultere i dødelige ulykker og gjør derfor trafikksikkerheten bedre.

### 3.2.4 Skilt og oppmerking

#### Trafikkskilt

Trafikkskilt er en del av lovgivningen i vegsystemet hvor offentlige trafikkskilt gjelder foran de generelle trafikkreglene (Trafikkregler, 1986, § 3). Samme forskrift sier at trafikklysregulering gjelder foran trafikkskilt, og at anvisning gitt av politi, Statens vegvesen, tollvesenet eller militærpoliti gjelder foran anvisning gitt på annen måte. Hierarkiet til styrende enhet på norske veier vises i Figur 3-3 ved bruk av myndighetspyramiden illustrert i fagartikkelen «Trafikkreglene» (Skrede, 2021).



**Figur 3-3: Myndighetspyramiden. Utklipp fra: (Skrede, 2021)**

Trafikkskilt brukes som et lovgivningsverktøy og er dermed en nødvendighet i trafikkbildet. For å fullføre sin funksjon som lovgivningsverktøy må skilt være synlige og ta oppmerksomheten til føreren (Babić et al., 2022). Skiltutforming vil påvirke førers oppførsel da mer informasjon i et skilt vil kreve mer oppmerksomhet. En må derav utforme skilt på en kjent måte med informasjon fremlagt på enklest mulig måte slik at fører kan bruke oppmerksomheten sin på det som foregår på veien. Dette gjøres ved å bruke skilt som er kjent for fører og som viser nødvendig informasjon på en hensiktsmessig måte.

Håndbok N300 er det styrende dokumentet for å legge til rette for korrekt skiltbruk slik at lovgivingen foretas korrekt. Håndboken legger også til rette for lik skiltbruk nasjonalt slik at fører har kjennskap til informasjonen som blir levert. Håndboken er delt inn i 5 deler som omtaler de forskjellige skiltgruppene:

1. Fellesbestemmelser
2. Fareskilt, markeringsskilt, vikeplikt- og forkjørsskilt
3. Forbudsskilt, påbudsskilt, opplysningsskilt og skilt med trafiksikkerhetsinformasjon
4. Vegvisningsskilt
5. Serviceskilt og virksomhetsvisning

For vår oppgave anses del 1-4 og ha noe relevans for videre arbeid

### **Vegoppmerking**

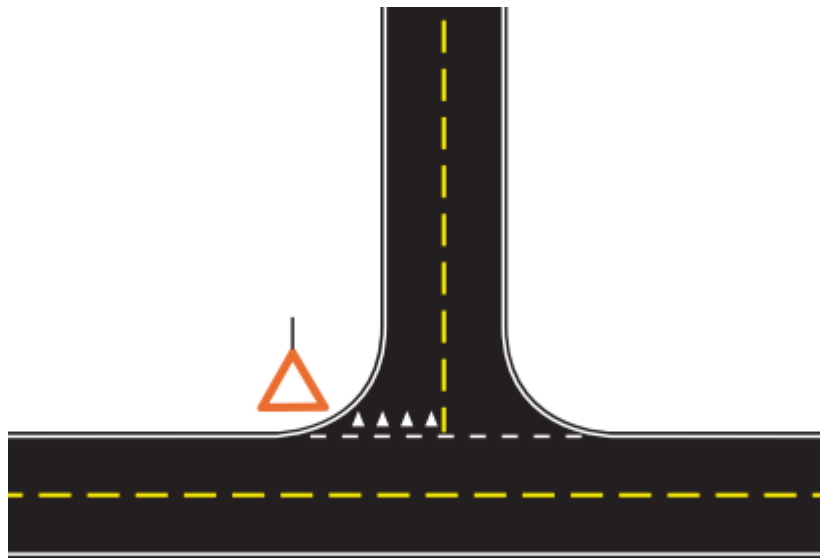
Generelt deles vegoppmerking i linjer (langsgående og tverrgående), symboler og tekst (Statens vegvesen, 2015). Langsgående oppmerking brukes for å dele kjørebanelen i kjørefelt og definere ytterkant av kjørebanelen. Fargene gul og hvit brukes for å tydeliggjøre kjøreretninger hvor gult representerer skille mellom motgående kjøreretninger. Tverrgående oppmerking, symboler og tekst brukes kun som supplement til skilt og er alltid hvit.

Vegoppmerking gjennom kryss brukes for å klargjøre og understøtte hvordan ulike trafikanter skal ferdes gjennom krysset. For de nye kryssløsningene finnes det ikke



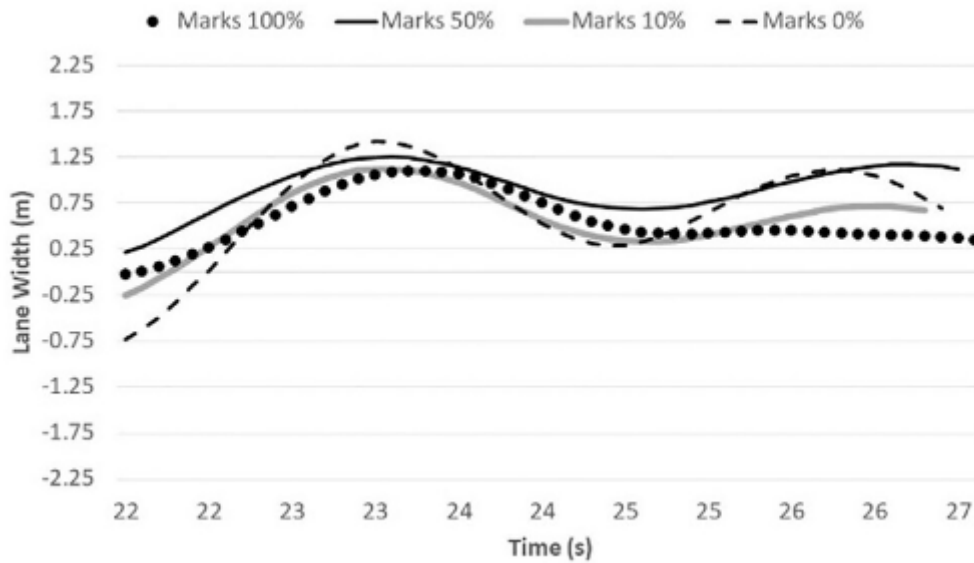
komplette planer på hvordan oppmerking skal utformes, men i håndbok N302 er det likevel hovedregler som må følges for oppmerking ved kryss og avkjørsler. For vikepliktsregulerte kryss skal følgende hovedregel følges:

I vikepliktsregulerte kryss skal midtlinjen være gjennomgående på den forkjørsregulerte vegen, med unntak av eventuell sperrelinje som brytes i kryssområdet. På den vikepliktige vegen skal midtlinjen avsluttes ved vikelinje eller stopplinje. På den forkjørsregulerte vegen skal kantlinjer stiples gjennom krysset med 2 m strek og 2 m åpning som vises i Figur 3-4. (Håndbok N302)



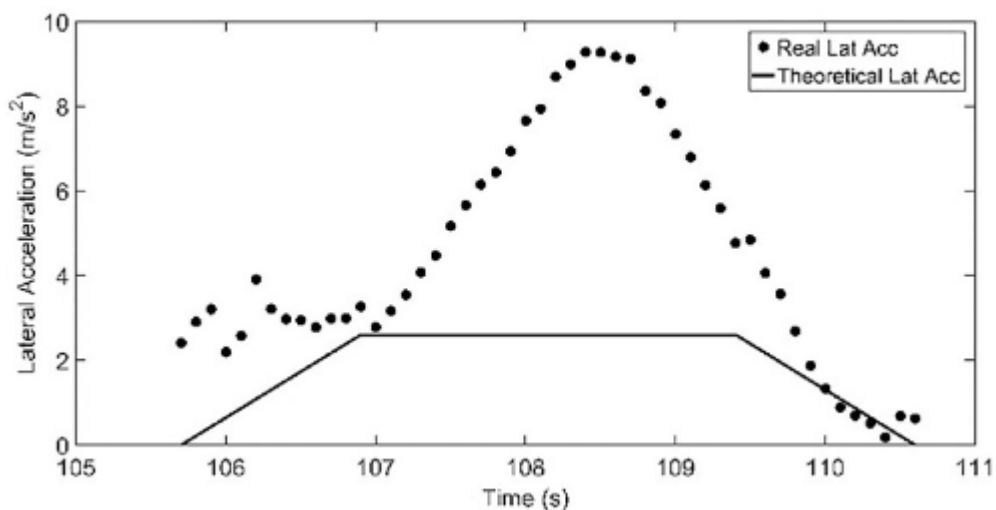
**Figur 3-4: Illustrasjon oppmerking vikepliktskryss. Utklipp fra: Håndbok N302**

Vegoppmerking har en vesentlig påvirkning på trafiksikkerheten. Langsgående oppmerking deler opp kjørebanelen slik at kjøretøyene opprettholder korrekt lateral posisjon. Kjøretøy vil vike lengre fra optimal kjørelinje lateralt når oppmerkingen gradvis slites (Bosurgi et al., 2022). I kurver ser man fra Figur 3-5 at kjøretøyet forflytter seg lengre og lengre fra optimal linje ved dårligere synlighet av merking. Dette tilsvarer at kjøretøyet blir liggende for nære vegkanten eller for nære inn mot motgående kjørefelt. Kjøretøyet vil da også ha raskere endring i avstand fra teoretisk linje som tilsvarer at kjøretøyet vil kjøre gjennom en sving med en annen radius enn hva svingen er designet for som vil føre til større laterale krefter og lavere kjørekomfort.



**Figur 3-5: Avstand fra optimal kjørelinje ved like kurver med varierende synlighet av vegmerking. Utklipp fra: (Bosurgi et al., 2022)**

Horisontalkurvaturer langs vegen er designet med grunnlag i hastighet og at kurver har fast radius. Rattet dreies da i klotoiden og holdes fast gjennom kurven før det rettes opp i den avsluttende klotoiden. Kraftene som påføres kjøretøyet vil da være i fast endring i klotoidene og konstante gjennom kurven vist med heltrukken linje i Figur 3-6. Ved kjøring som ikke følger denne kjørelinjen vil banen som kjøretøyet følger ha en lavere radius enn hva vegen tilsier og derav bli utsatt for større variasjon og større amplitude av laterale krefter. Figur 3-6 viser hvordan laterale krefter opptrer på et kjøretøy vist med prikker når optimal kjørelinje ikke følges, og vi kan se kreftene variere og ha en høyere amplitude. Ved glatt vegbane kan denne økningen i laterale krefter i verste fall føre til at kjøretøyet understyrer eller får skrens ut av svingen.



**Figur 3-6: Forskjell på teoretiske og effektive laterale krefter gjennom en kurve. Utklipp fra: (Bosurgi et al., 2022)**

Det er vist at ved manglende kantlinje vil førere ligge nærmere midtlinjen på grunn av at denne er på førersiden og gir en tydelig referanse på kjøretøyet laterale beliggenhet (Babić et al., 2022). Dette kan føre til økt risiko for frontkollisjoner. Bredere

oppmerklingslinjer gjør at førere plasserer seg nærmere kanten av vegen som minsker sannsynligheten for frontkollisjoner, men kan i enkelte situasjoner øke risiko for utforkjøring. Langsgående oppmerking gir førere tydelige referansepunkter som gir gode forutsetninger for å plassere kjøretøyet korrekt i vegbanen og er dermed kritisk for å opprettholde trygg vegutforming.

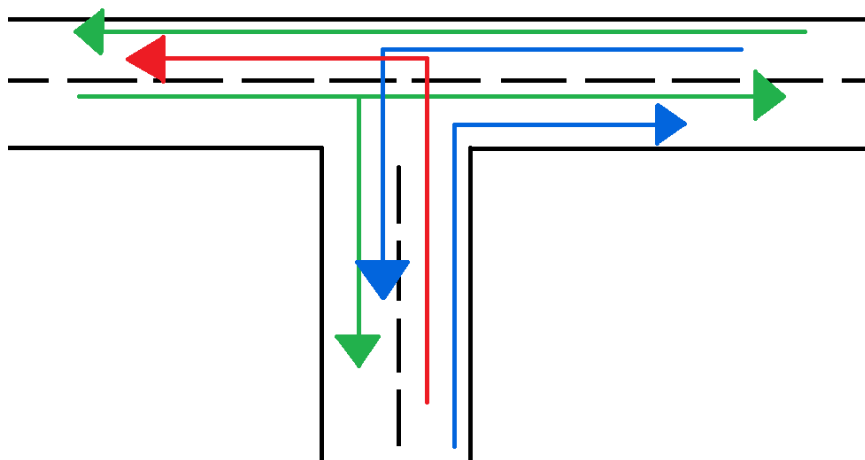
### 3.3 Trafikkavvikling

Trafikkavvikling handler om hvordan trafikken fordeler seg på vegen og hvordan den samhandler både på strekninger og i kryss. Det er i de fleste tilfeller lettere å beskrive trafikkavviklingskvaliteten på strekninger enn i kryss. Dette er fordi i kryss er det flere trafikkstrømmer som samhandler i ett punkt, noe som resulterer i konflikter. De vanligste måtene å løse slike konflikter i kryss på er ved prioritering i form av vikeplikt eller signalregulering. I kryss blir trafikkavviklingen beskrevet ved hjelp av trafikkstrøm, forsinkelse og tidsluker. Når man beregner kapasiteten til krysset er det bevegelsen som har minst kapasitet som blir dimensjonerende. Det er som regel ved venstresving siden denne bevegelsen har klart lavest prioritet gjennom krysset.

I Norge er det mest vanlig med vikeplikts regulerte T-kryss, denne kryssløsningen baserer seg på at de ulike kjørebegrelsene har ulik prioritet.

- Kjørebegrelse 1: Trafikk som kommer fra og fortsetter på hovedveg har full forkjørsrett, trenger ikke vike for noen.
- Kjørebegrelse 2: Trafikk som kommer fra hovedveg og fortsetter videre på sideveg, samt trafikk fra sideveg som svinger til høyre har delvis forkjørsrett, trenger å vike for kjørebegrelse 1 ved avsvinging, men har prioritet over venstresvingende trafikk.
- Kjørebegrelse 3: Trafikk som kommer fra sideveg og skal til venstre har ingen forkjørsrett, må vike for kjørebegrelse 1 og 2.

Kjørebegrelse 1, 2 og 3 er illustrert under i Figur 3-7 med henholdsvis grønn, blå og rød farge.



**Figur 3-7: Illustrasjon av kjørebegrelser**

For disse kryssene er de to viktigste parametrene knyttet til trafikkavvikling, kritisk tidsluke og følgetid. Kritisk tidsluke beskrives som den korteste tiden en gjennomsnittlig sjåfør anser som nødvendig for å samhandle med trafikk med høyere prioritet (Aakre, 2022c). Følgetid beskrives som den tidsluken en sjåfør som følger etter et annet kjøretøy anser som nødvendig for å gjøre bevegelsen samtidig som kjøretøyet foran. Når man følger etter et kjøretøy vil man akseptere en kortere tidsluke enn kjøretøyet foran.

Kapasiteten i vikepliktsregulerte kryss er ikke like god som for signalregulerte kryss (Aakre, 2022d). Imidlertid er det viktig å merke seg at ved lave trafikkmengder er det ikke nødvendig med lyskryss. Lyskryss krever mer vedlikehold og infrastruktur for å virke, i tillegg vil det for kryss med lite trafikk øke tiden man bruker gjennom krysset for flere vil bli stående på rødt.

### 3.3.1 Level of service

«Level of service» (LOS) er en kvalitativ måleenhet som brukes for å beskrive de operative forholdene innen en trafikkstrøm og oppfatning av forhold av fører og/eller passasjerer» (Aakre, 2022a). LOS er brukt som en objektiv makroskopisk måleenhet som måler kvaliteten av trafikkflyten som bruker den velkjente skalaen hvor karakter A er best og F er verst (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2022). Måleenheten er beskrevet slik at de forskjellige nivåene er åpne for tolkning og kan ses under i Tabell 3-3. Avhengig av situasjon og instans kan de forskjellige nivåene kvantifiseres ved bruk av tall. Det er mulig å se på hastighet i forhold til fartsgrense, forsinkelse eller forholdet mellom volum og kapasitet. Dette avhenger av situasjon og disse kvantifiserte måltallene vil kunne begrenses av forskjellig verdi avhengig av situasjon.

**Tabell 3-3: LOS karakterer. Hentet og oversatt fra: (Aakre, 2022a)**

LOS	Avviklingskvalitet
A	Fri flyt.
B	Volum tett på fri flyt.
C	...
D	...
E	Volum tett på kapasitet.
F	Overbelastet. Lange køer og forsinkelser.

Generelt vil LOS A-B ha tilnærmet fri flyt, kjøretøy er tilnærmet uhindret i sin evne til å manøvrere seg gjennom trafikkstrømmen og uheldige hendelser og sammenbrudd absorberes raskt. For LOS C-D vil hastigheten begynne å synke noe under friflytshastighet. Manøvrering som å skifte felt begynner å bli mer utfordrende, og ulykker vil påvirke trafikkflyten i form av lokale og større utfordringer ettersom LOS-grad synker. Det begynner også å føles fysisk og psykisk ubehag av mye og tett trafikk. For LOS E-F vil flyt nærme seg og overskride kapasitet. Systemet kan bryte sammen og vi får stopp og gå forhold uten sammenhengende flyt. Det vil ikke lengre være noen brukbare tidsluker i systemet og en oppnår svært uønskelige forhold.

### 3.3.2 Dimensjonerende kjøretøy og kjøremåte

Håndbok N100 bestemmer dimensjoneringsgrunnlaget for utforming av veger og kryss. For kryssløsninger vil hovedsakelig krav om dimensjonerende mål på kjøretøy og dimensjonerende kjøremåte være krav som det må tas hensyn til. Dimensjonerende

kjøretøy som brukes til sporing velges ut ifra veg- og gatenettets funksjon, trafikkmengde og muligheter for omkjøring. Dimensjonerende kjøretøy settes dermed for å tilrettelegge for fremkommelighet for et valgt kjøretøy. Alle hovedveger skal dimensjoneres for modulvogntog og vegklassen Hø1 skal dimensjoneres for vogntog eller modulvogntog. For Hø1 må man ta hensyn til hvilke kjøretøy man forventer på strekningen og hvilke kjøretøy man ønsker å tilrettelegge for i valget mellom å dimensjonere for vogntog eller modulvogntog. Vogntog og modulvogntog har dimensjonerende mål vist i Tabell 3-4 og Tabell 3-5.

**Tabell 3-4: Dimensjonerende mål vogntog. Tabell og figur hentet fra: Håndbok N100**

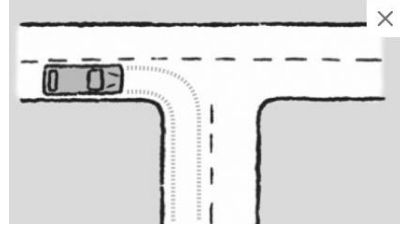
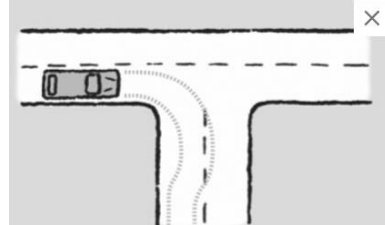
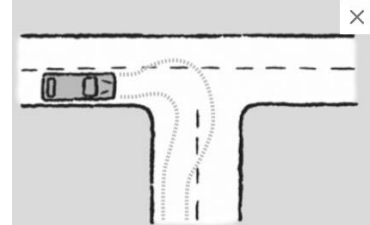
<b>Vogntog(VT)</b>	
Lengde	22,00
Bredde	2,55
Svingradius	12,50

**Tabell 3-5: Dimensjonerende mål modulvogntog. Tabell og figur hentet fra: Håndbok N100**

<b>Modulvogntog(MVT)</b>	
Lengde	25,25
Bredde	2,60
Svingradius	13,50

I tillegg til å velge dimensjonerende kjøretøy må det også gjøres en vurdering av framkommeligheten for valgt dimensjonerende kjøretøy. Fremkommeligheten bestemmes av tre dimensjonerende kjøremåter; kjøremåte A, B og C.

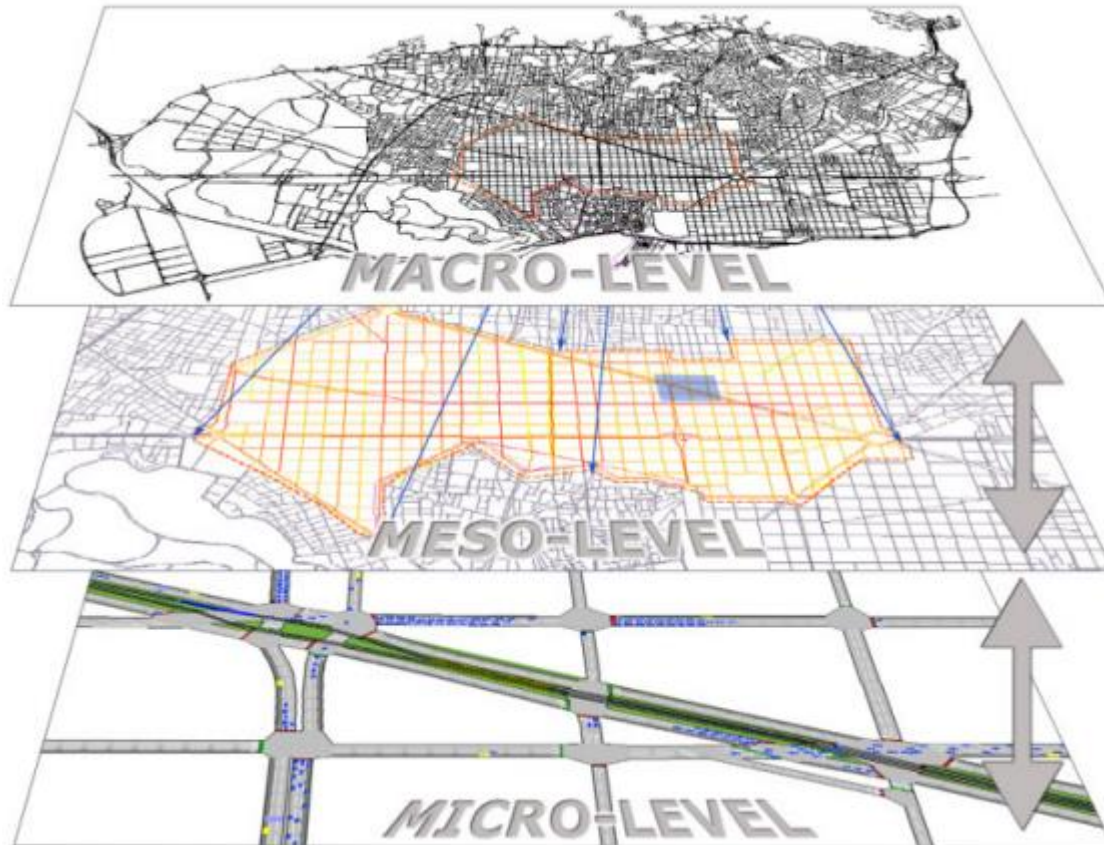
**Tabell 3-6: Dimensjonerende kjøremåter. Tabell og figurer hentet fra Håndbok N100**

A	B	C
		
<p>Kjøretøyet skal kunne trafikere veg-/gateanlegget kun ved bruk av eget kjørefelt. Dette betyr at hele kjøretøyet, inkl. overheng, skal kunne bevege seg innenfor sitt eget kjørefelt.</p>	<p>I kryss forutsettes kjøretøyet å kunne bruke deler av motgående kjørefelt i den veg/gate kjøretøyet svinger inn i</p>	<p>Kjøretøyet forutsettes å kunne bruke hele kjørebanebredden både i den veg/gate kjøretøyet svinger av fra og i den veg/gate kjøretøyet svinger inn i.</p>

For hovedveger stilles det krav til at vegen skal utformes etter kjøremåte A. For øvrige hovedveger er det ingen krav til kjøremåte, men det må gjøres en vurdering på ønsket fremkommelighet. For områder med begrenset arealtilgang vil det være aktuelt å dimensjonere elementer i vegsystemet etter kjøremåte B eller C for større kjøretøy, og etter A for mindre kjøretøy. Dette valget avhenger av andel av større kjøretøy og bør kun gjøres dersom andelen er lav. Ved store andeler større kjøretøy bør elementene dimensjoneres etter kjøremåte A eller B, også for større kjøretøy.

### 3.4 Trafikkmodellering

For å få oversikt over dagens trafikksituasjon eller effekt av nye tiltak brukes trafikkmodeller som analyseverktøy. Modeller brukes som en forenkling av den virkelige situasjonen hvor bruker unngår større investeringskostnader og minimerer nødvendig arbeidstid. Ved analyser og trafikkmodellering må størrelsen på omfanget av analysen avgrenses. Det er tre forskjellige nivåer for trafikkflytmodellering; makroskopisk, mesoskopisk og mikroskopisk (Aakre, 2022b).



**Figur 3-8: Nivåer for trafikkflytmodellering. Hentet fra: (Aakre, 2022a)**

Makroskopiske modeller baserer seg på trafikkstrømmer og vurderer volum, hastighet og trafikk tetthet. Modellen bruker gjennomsnittlig oppførsel blant brukere og ser på storskala bevegelser. Denne modellen kan brukes for å vurdere trafikkavviklingen i byer eller større områder. Mikroskopiske modeller baserer seg på individuelle kjøretøy og førere. Detaljerte beskrivelser av interaksjoner mellom kjøretøy er en del av modellen og vurderingsområdet er i størrelsesgrad et enkelt kryss eller mindre. Mesoskopiske modeller er en mellomting mellom makro- og mikroskopiske modeller. Modellene baserer seg på grupper av kjøretøy og er i størrelsesorden flere samlede kryss eller strekninger.

På lik linje med de fleste mikroskopiske simuleringmodellene er Aimsun bygget opp som en dynamisk modell. I dynamiske modeller varierer trafikksituasjonen over tid, basert på tilfeldigheter og klassifiseringer i programmet. Aimsun er også en stokastisk modell, som gjør at simuleringene som blir gjort vil være ulike hver gang de blir kjørt. På samme måte som i virkeligheten kan man tenke seg at en simulering tilsvarer en dag med registreringer i virkeligheten. Noe som gjør at man trenger et antall replikasjoner av simuleringene for å etablere et godt gjennomsnitt av situasjonen.

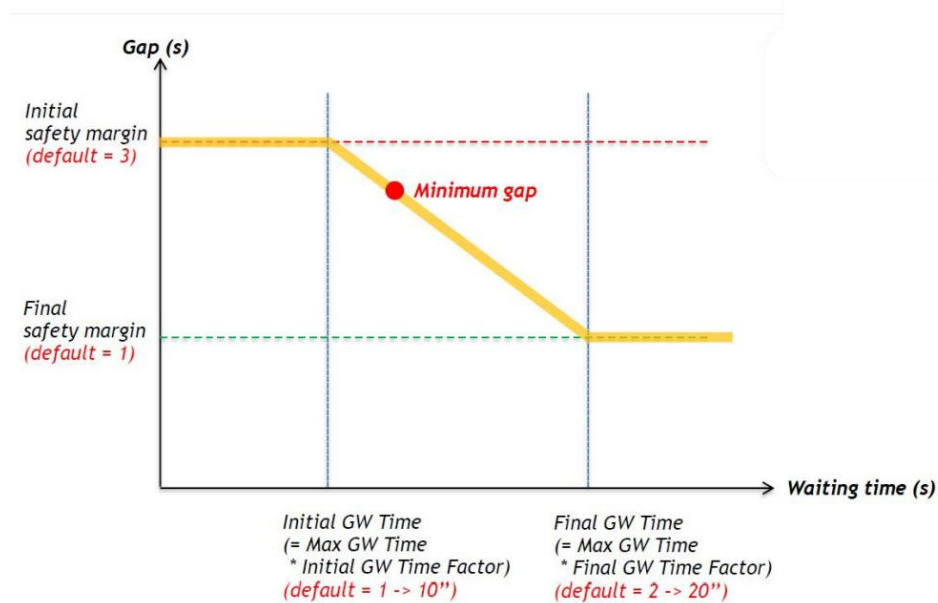
## Car following model

Aimsuns bilfølgemodell er basert på Peter Gipps modell, som baserer seg på konseptet om at man skal ha en sikker avstand til kjøretøyet foran. Modellen tar hensyn til atferd og reaksjonstid til føreren, i tillegg til kjøretøyets egenskaper og vegforhold. Kjøretøyene i Aimsun kan til enhver tid være i en av to følgemodeller:

- Fri kjøring, hvor føreren bestemmer farten basert på ønsket fart og kjøretøy karakteristikkene.
- Begrenset kjøring, hvor føreren baserer farten sin slik at han holder en sikker avstand til kjøretøyet foran.

## Give way model

Give way modellen i Aimsun baserer seg i stor grad på Figur 3-9. Førerne har en gitt margin de ønsker å oppnå for å kunne akseptere en tidsluke. Denne luke er ofte større enn nødvendig initialt, siden man ønsker en sikkerhetsmargin. Etter hvert som kjøretøyene venter over lengre tid, vil marginen synke gradvis til den minimale gitte sikkerhetsmarginen man er villig til å godta er oppnådd. Dette representerer virkeligheten på en god måte, hvor man etter lang ventetid vil akseptere svært små luker for å kunne komme seg videre.



Figur 3-9: «Give way» modellen benyttet i Aimsun. Hentet fra: (Aakre, 2022e)



## 4 Forutsetninger for modellering og analyse

I dette kapitlet blir forutsetninger som danner grunnlaget for modelleringen og analysene i oppgaven undersøkt. Herunder blir det gjennomført et valg av vegklasse og fremmet endringer av vegklassen for å tilpasse situasjonen best mulig. Disse valgene blir gjort i første omgang for å definere grunnlaget for utformingen av krysset, som videre blir benyttet i simuleringen. Kapitlet definerer også trafikkmengde i forbindelse med utformingen som igjen er med på å bestemme lenger på kanaliseringen.

### 4.1 Valg av vegklasse

Det er i oppgaven valgt å holde seg i hovedsak på områder som ikke betegnes som tettbebygde strøk. Dette betyr at vegene vanligvis holder fartsgrenser mellom 60 og 80 km/t og befinner seg i mer landlige områder. Dette valget er tatt fordi det vil gi best analyse av krysset i seg selv, uten å ha store plassbegrensninger samtidig som både primærveg og sekundærveg i krysset vil kunne ha høy trafikkbelastning.

I modelleringen vises det hvordan mulighetene for myke trafikanter er i krysset, mens i analysene blir dette i stor grad sett bort fra. Dette er for å analysere selve krysset sin avviklingsevne uten forstyringsmomenter. Andelen myke trafikanter i en gitt situasjon er svært stedsspesifikt som gjør at en gitt verdi for antallet gående og syklende er vanskelig å generalisere. Det er derfor valgt å se bort ifra myke trafikanter i simuleringen og egne analyser av kryssene vil måtte gjøres med stedsspesifikt antall over myke trafikanter ved implementering av kryssløsningene. Det vil bli fremvist tegninger over mulige krysningspunkter for de myke trafikantene som et forslag til hvor disse kan defineres i kapittel 6.

På bakgrunn av forutsetningene har det blitt valgt å bruke vegklassen H1 veg for primærvegen som er en vegklasse som brukes for  $\text{ÅDT} < 6\ 000$  og fartsgrense 80 km/t. På sekundærvegen er det valgt vegklasse Hø1 som er en mer landlig standard, mye brukt på fylkesveger som har  $\text{ÅDT} < 4\ 000$  og fartsgrense 80 km/t. For analysen og av avvikling og dimensjonering av kryssene er det valgt å benytte øvrig fartsgrense på 60 km/t for både primær og sekundærveg. Dette ble valgt på grunn av funksjonen til vegen. Strekninger med mange avkjørsler, kryss, bebyggelse og/eller gående og syklende langs vegen skal ha fartsgrense 60 km/t (Magnussen, 2020). I modelleringen legges det til rette for at gående og syklende skal kunne krysse vegen, slik at ved å sette fartsgrensen til 60 km/t legger vi til rette for at løsningene kan brukes i flere situasjoner. Ved å redusere fartsgrensen vil også bremselengden reduseres (Statens vegvesen, 2022c), som gjør at løsningene kan modelleres mer kompakte.

Av hensyn til trafiksikkerhet vil det i løsningen «Displaced left turn» være hensiktsmessig å ha en lavere hastighet når førere fra hovedvegen skal krysse over motgående kjøretøy. Grunnlaget for all persepsjon av hastighet er persepsjon av relativ bevegelse (Sagberg, 2011-desember). Når kjøretøy kommer rett imot vil vinkelhastigheten som skaper grunnlaget for bedømmelsen av hastighet bli så liten at mennesker sliter med å bedømme hastighet nøyaktig og derav tidsluken som man har til rådighet for å krysse. Lavere hastighet vil også redusere alvorligheten av en eventuell kollisjon om det skulle oppstå. Ettersom vi ønsker sammenlignbarhet i analysene våre,

vil alle løsningene simuleres med en hastighet på 60 km/t for å skape et mest mulig generisk bilde for løsningene. Det vil kunne være situasjoner hvor det er mulig å legge til rette for høyere hastighet gjennom enkelte kryss, men disse situasjonene må vurderes enkeltvis og detaljprosjekteres.

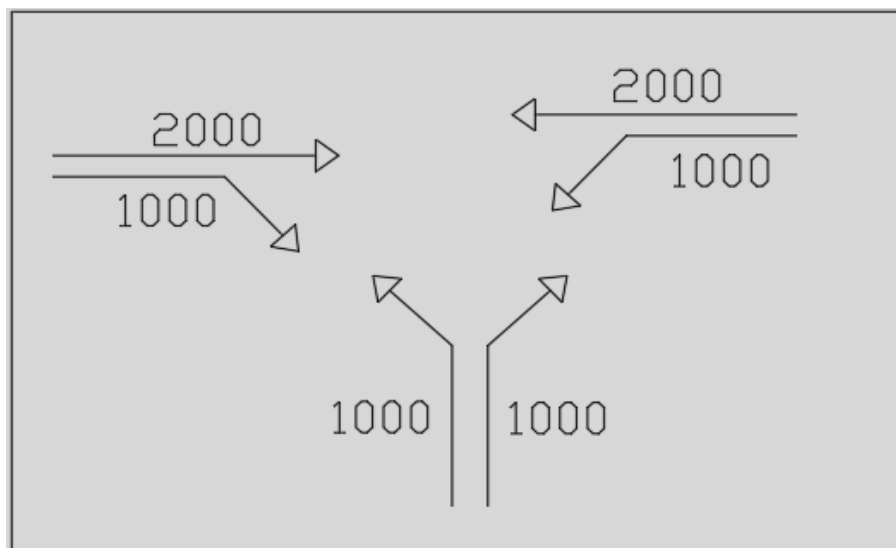
For geometrisk utforming av kryssene brukes AutoTurn som sporingsverktøy for å legge til rette for fremkommeligheten. Fra håndbok N100 blir dimensjonerende kjøretøy på hovedvegen modulvogntog, og dimensjonerende kjøremåte A for fremkommeligheten langs hovedvegen. Det velges å bruke vogntog som dimensjonerende kjøretøy for trafikk som kobles til sidevegen. Hovedgrunnen for valget av vogntog istedenfor modulvogntog på sidevegen, er den lave andelen av dagens vegnettverk som er godkjent for modulvogntog. Det er derfor kun de store hovedvegene som blir rustet til å ta hånd om slik trafikk. Når det kommer til dimensjonerende kjøremåte vil utformingen av kryssløsningene skille de fleste kjøremønstrene slik at det i hovedsak automatisk dimensjoneres etter kjøremåte A. Ved avsvinging høyre inn på sideveg vil det i enkelte tilfeller legges opp til å dimensjonere etter kjøremåte B.

#### 4.1.1 Trafikkmengde

Siden denne oppgaven ikke baserer seg på et fysisk prosjekt eller kryss, vil trafikkmengdene være basert på en hypotetisk situasjon. Det var ønskelig å definere en trafikkmengde som kryssene ble utformet etter, ettersom visse elementer i kryssutformingen er avhengige av trafikkmengder. For å påse at disse elementene ble tilnærmet like for de forskjellige løsningene ble det definert et volum som kryssene ble utformet etter. For å vurdere trafikkavviklingsevnen til kryssene, er det undersøkt en rekke trafikkmengder, fra lav til høy. Når det kommer til dimensjonering av kanalisering er det hentet inspirasjon til realistiske trafikkmengder fra målinger utført av Statens vegvesen på eksisterende kryss. I tillegg er ønsket om å dimensjonere kryssene for høy trafikkmengde tatt i betraktning. Dimensjoneringen blir gjort med symmetrisk trafikkmengde på alle feltene, hvor ÅDT er som OD-matrisen i Tabell 4-1 og illustrert i Figur 4-1. Total ÅDT på primærvegen er 6000, og sekundærvegen har 4000 i ÅDT. Disse mengdene er brukt som grunnlag for geometrisk utforming og er ikke tall som er brukt direkte i simuleringene av trafikkflyten til de forskjellige kryssene.

**Tabell 4-1: Trafikkmatrise med antall kjøretøy fra og til de forskjellige retningene [kjt/døgn]**

	Vest	Sør	Øst	Total
Vest	X	1000	2000	3000
Sør	1000	X	1000	2000
Øst	2000	1000	X	3000
Total	3000	2000	3000	8000



**Figur 4-1: Visualisering av trafikkmatrise [kjt/døgn]**

#### 4.1.2 Kanalisering

Kanalisering i ett-plans kryss er et tiltak for å skille trafikkstrømmer fra hverandre ved å bruke venstresvingefelt, høyresvingefelt og trafikøy. Ulykkesrisikoen i kryss er høyere enn på strekninger, selv om skadegraden ofte kan være lavere (Høye, 2021a). Ved å benytte venstresvingefelt, er det funnet en gjennomsnittlig reduksjon av ulykkesrisiko på 29%, og effekten er større for mer alvorlige ulykker og lengre venstresvingefelt har bedre effekt enn korte.

For høyresvingefelt er det funnet en gjennomsnittlig ulykkesreduksjon på 18% (Høye, 2021a). Effekten henger også her sammen med alvorligheten av ulykken. Det vises også at høyresvingefelt som er adskilt fra det gjennomgående kjørefeltet har bedre effekt enn et som ligger direkte inntil det gjennomgående kjørefeltet. Å forlenge høyresvingefeltet kan også redusere antall ulykker.

Det er ikke funnet noen bestemt effekt av kanalisering i sidevegene når det gjelder trafiksikkerhet. Det viser seg imidlertid at trafikkavviklingen er bedre med et ekstra felt inn mot krysset (Mesterton-Gibbons, 1996). Det ekstra kjørefeltet gjør at venstresvingende trafikk ikke blokkerer for høyresvingene trafikk, og disse to bevegelsene kan gjøres samtidig.

DLT-krysset er utformet med ekstra svingefelt i alle retninger, en fjerning av disse vil resultere i flere farlige konfliktpunkter og et uoversiktlig kryss. Det er derfor gjort en beslutning om at vi ønsker å modellere alle kryssene med ekstra svingefelter i alle retninger. Altså med andre ord å modellere kryssene best mulig med tanke på

kanalisering. Dette er for å sikre god sammenlignbarhet mellom kryssene i analysen. Alle kryssene vil derfor modelleres med ekstra svingefelt i sidevegen, venstre- og høyresvingefelt.

Akselerasjons- og retardasjonsfelt er tilpasset etter nødvendighet. Det ble vurdert som nødvendig med akselerasjonsfelt mot venstre for løsningene CGT og DLT, siden det er en del av grunnprinsippene for disse kryssløsningene. Mot høyre ble det kun sett på som nødvendig med akselerasjonsfelt på DLT-løsningen da denne bevegelsen går på utsiden og derav automatisk blir akselerasjonsfelt. Retardasjonsfelt er kun aktuelt i tilknytning til snuplassen og ble sett på som nødvendig.

Med bakgrunn i at DLT-krysset er utformet på en spesiell måte er det nødvendig med visse lenger på svingefeltene for å sikre at konflikten bli tatt sekvensielt. Håndbok N100 viser til Statens vegvesens beregningsmodeller for beregning av lengde på venstresvingefeltet. Fra denne får vi at L1 skal være rundt 20-30 meter med gitt trafikkmengde. Dette vil ikke være tilstrekkelig for DLT-krysset, og det er derfor valgt å gi denne 50 + 55 meter. Venstresvingefeltet på CGT og standard T er derfor basert på dette, hvor CGT-krysset har et felt på 45 meter, og standard T har 40 meter. Grunnen til at DLT har et noe lengre felt er fordi krysningsbevegelsen forbundet med DLT blir sett på som noe vanskeligere. Avstanden etter krysnings- og hovedkrysset er satt til 55 meter for å sikre at den sekvensielle ideen med krysset er opprettholdt. RCUT-krysset er gjennomgående valgt å ha kanaliseringen omtrent på lengde med trafikkøyen, da det ikke tar noen ekstra plass og kun vil ha positiv effekt på trafikkavviklingen. For høyresvingefeltene er det fra håndbok N100 definert at lengden skal være 20-60 meter ved hastighet 60 km/t. På bakgrunn av at dette feltet ikke er et felt som vil være begrensende og heller ikke av stor interesse innen trafikkavvikling er det valgt benytte det øvre sjiktet, altså 60 meter.

Statens vegvesens beregningsmodeller baserer seg på trafikkmengde i dimensjonerende time samt tungtrafikkandel. Ut fra Statens vegvesens trafikktegninger fant vi at 15% tungtrafikkandel er en realistisk verdi i den tenkte situasjonen vi ønsker å oppnå. Kanaliseringen ble derfor slik som i Tabell 4-2. L2 skal for alle tilfellene være 20 meter, ved unntak av venstresvingefelt hvor beregningsmodellen sier 15 meter. For likhetens skyld er det valgt å benytte 20 meter også her. De ekstra 5 meterne vil medføre en noe rundere avrundning på feltet, og kan gjøre det mulig for et ekstra kjøretøy å stå i feltet ved kø. Lengre kanalisering vil i de fleste tilfeller kun oppnå bedre avvikling og sikkerhet, samtidig som det medfører noe mer kostnad. Siden kostnad ikke er noe problem i denne oppgaven, er det valgt å runde av verdiene oppover. Akselerasjonsfeltet er valgt å utvide med 10-20 meter for å være sikker på at feltet er langt nok for å oppnå tilstrekkelig fart også for de tyngre kjøretøyene.

**Tabell 4-2: Lengde av kanaliseringsparametere**

Kanalisering:	Lengde:
L2	20 m
L1 Høyresvingefelt	60 m
L1 Venstresvingefelt	40-50 m
L1 Akselerasjonsfelt	100 m
L1 Retardasjonsfelt	70 m

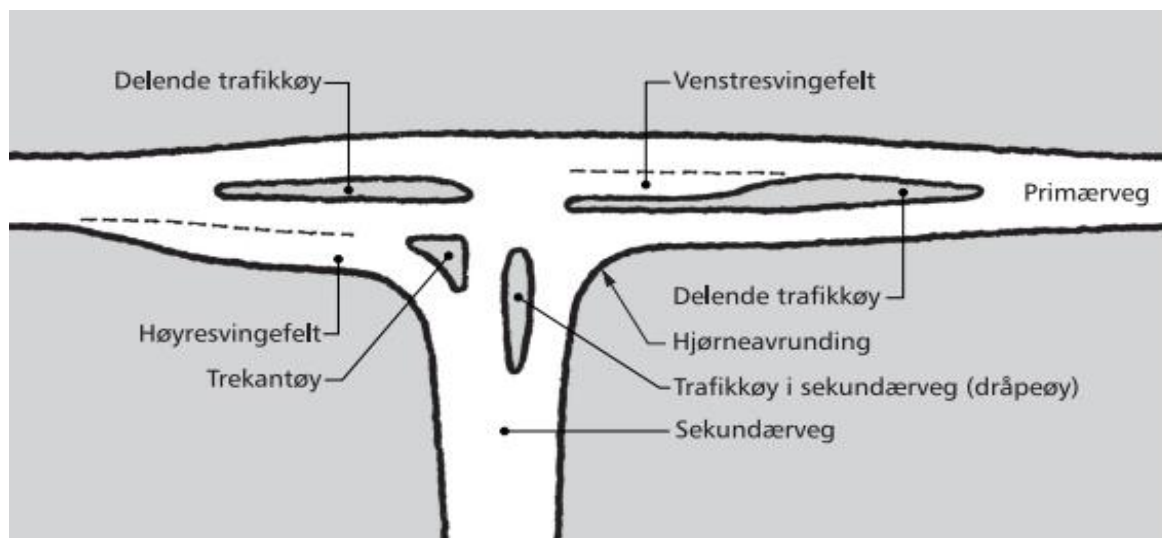
## 5 Geometrisk utforming

Felles for all utforming er at hovedvegene modelleres som vegklasse H1 og sidevegene modelleres som vegklasse Hø1. Med tanke på at modellene kun er prinsipielle skisser er vertikalkurvatur satt til bundet stigning 0 % for alle modeller. Det må presiseres at skissene ikke nødvendigvis er representative for reelle situasjoner, og det kan være nødvendig med tilpasninger og justeringer. Skissene vil dermed være detaljerte forslag på hvordan kryssene vil kunne se ut, som kan gi grunnlag for normer og regler innen geometrisk utforming for kryssløsningene. Alle avsvingingsfelt og påkjørings-/akselerasjonsfelt er tilpasset etter håndbok V121 og utformet så likt som overhodet mulig for alle kryssløsninger slik at sammenligningsgrunnlaget for simuleringene beholdes så likt som mulig.

Overkjørbart areal er utformet med annet materiale som for eksempel brostein lagt uten høydeforskjell fra asfalten. Brostein fungerer som et begrensende element for hvordan lette kjøretøy følger kurvene, men vil fortsatt legge til rette for at tyngre kjøretøy kan bruke arealet uten problemer. Brostein i det overkjørbare arealet er valgt på bakgrunn av at bare oppmerking ikke vil være begrensende nok for de lette kjøretøyene. Samtidig som en ikke-avvisende kantstein med 4 vis slik som håndbok N100 beskriver vil være for begrensende for tunge kjøretøy. Ved oppretting av kantstein er det også nødvendig med 25cm kantsteinsklaring, som er etablert rundt samtlige kantsteiner. Ettersom standardiserte T-kryss og rundkjøringer er definert av håndbok V121 er disse ikke modellert opp og vil kun omtales i dette kapittelet på et generelt plan.

### 5.1 Vanlig norsk T-kryss

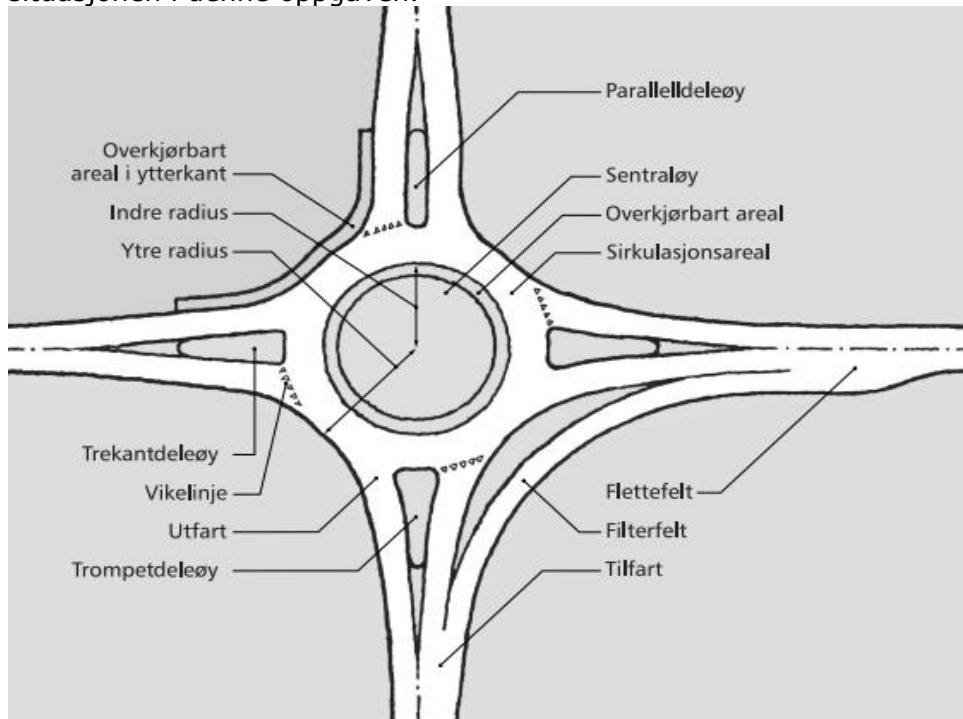
Et standard norsk T-kryss har utforming som er sterkt regulert gjennom håndbok V121. Ettersom kryssene vi modellerer simuleres med varierende trafikkmengde vil T-krysset som brukes til sammenligning designes med elementer tilpasset høy trafikkmengde, og dermed benytte full kanalisering. I Figur 5-1, vises de forskjellige elementene i et fullkanalisert T-kryss.



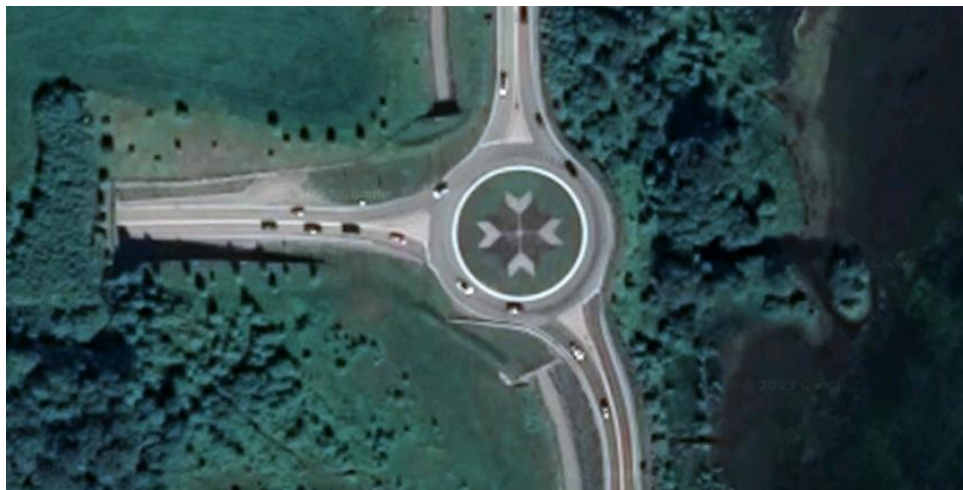
**Figur 5-1: Elementer i et kanalisert T-kryss. Hentet fra: Håndbok V121**

## 5.2 Vanlig norsk Rundkjøring

Rundkjørings utforming er også grundig beskrevet i håndbok V121 og elementer som benyttes under utforming er vist i Figur 5-2. På bakgrunn av at rundkjøringen i denne oppgaven har tre armer kontra fire som er vanlig og beskrevet i håndbok N100 og V121, er det valgt å benytte kun ett gjennomgående kjørefelt i rundkjøringen. Det er i den forbindelse hentet inspirasjon fra rundkjøringen på Voss vist i Figur 5-3 som knytter sammen E16 og Rv13 (Google Maps, u.å.). Dette er en rundkjøring med høy trafikkmengde og kun ett gjennomgående kjørefelt og representerer den tenkte situasjonen i denne oppgaven.



**Figur 5-2: Elementer i en rundkjøring. Hentet fra: Håndbok V121**

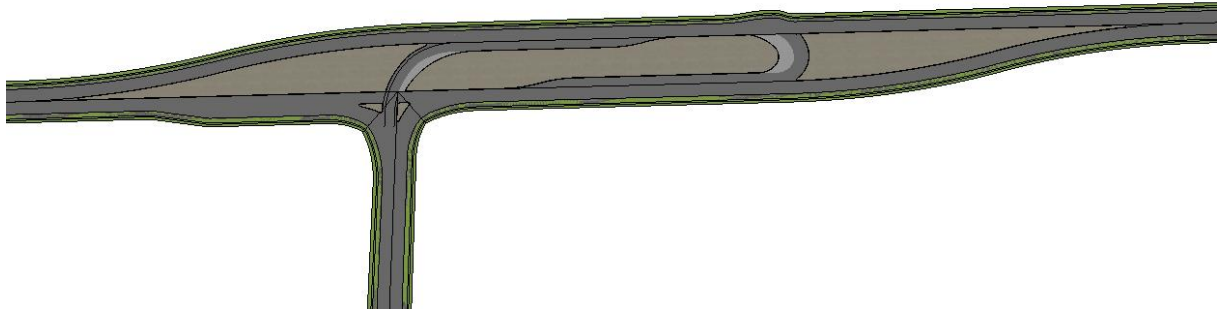


**Figur 5-3: Eksempel fra E16 x Rv13 på Voss. Satelittfoto hentet fra: (Google Maps, u.å.)**

## 5.3 RCUT

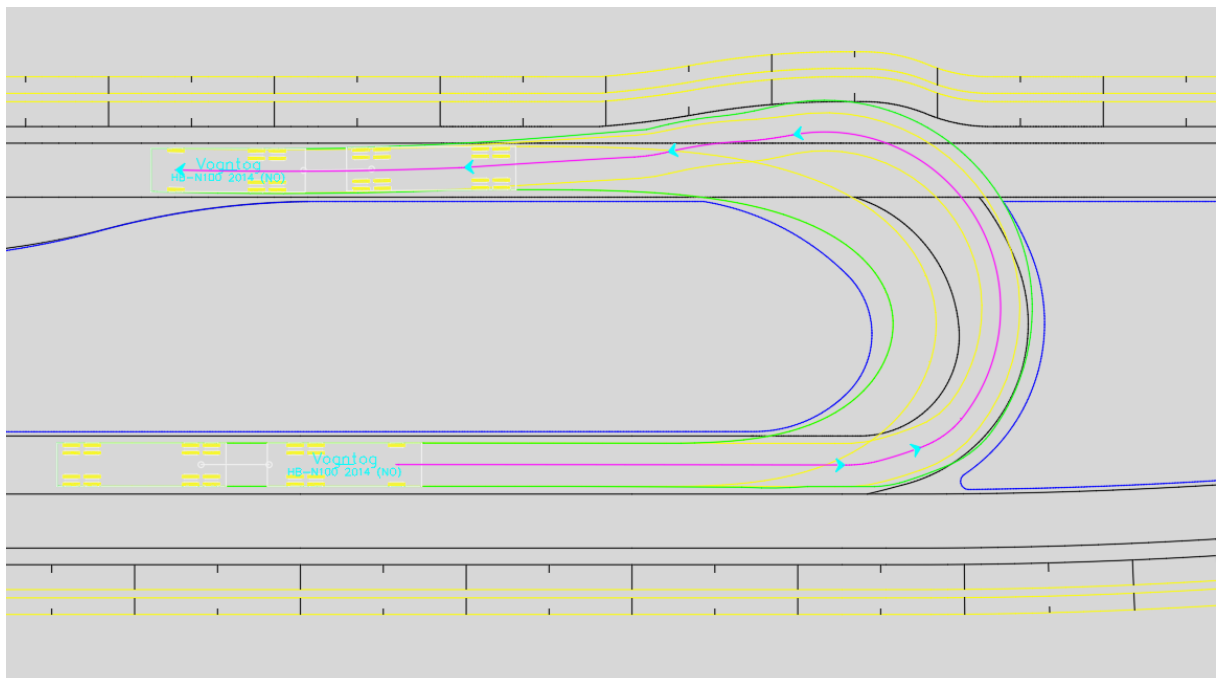
### 5.3.1 RCUT Tradisjonell

For denne løsningen ble det modellert opp flere forskjellige utforminger av krysset. Til å begynne med ble krysset modellert opp relativt likt den amerikanske metoden, med enkelte bevegelser fjernet, for å tilpasse et kryss med tre kontra fire armer.



**Figur 5-4: Oversiktsbilde RCUT Tradisjonell**

Løsningen er modellert hvor hovedvegen splittes med å bruke en kombinasjon av venstre – høyresvinger med radius 300 for å skape nødvendig rom for avsvinging og U-sving. Avstanden mellom feltet for venstresving og U-sving ble satt til 120 m for å ha nødvendig rom for kjøretøy fra sidevegen å komme seg ut på hovedvegen mot øst for så å legge seg ut for U-sving. For vogntog som skal gjennom U-svingen er det gjort en utvidelse av hovedvegen slik at vogntogene kommer seg rundt. U-svingen er utformet med overkjørbart areal på innsiden for å tilrettelegge for de større kjøretøyene som kan ses i Figur 5-5. Det er blitt utført tilsvarende sporing for venstresving som kan ses i Figur 5-7.

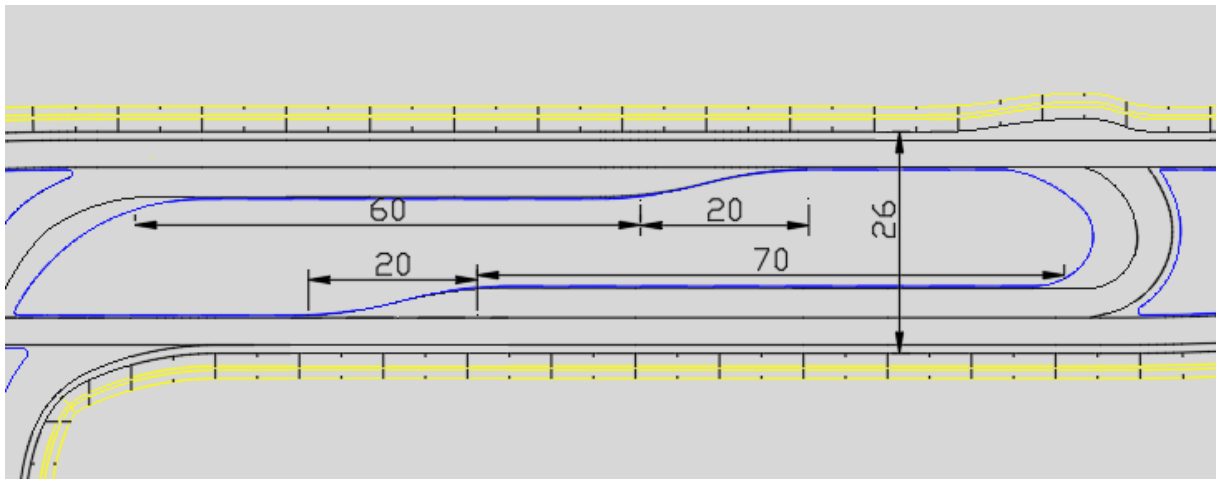


**Figur 5-5: Sporing av vogntog gjennom U-sving**

Det kunne vært mulig å utvide vegen i bredden for å kunne gjennomført U-sving med et eget felt uten å bli påvirket av gjennomgående trafikk. Deretter kunne kjøretøyene lagt seg ut når de allerede har tilpasset hastigheten med hovedvegen. Denne løsningen ble

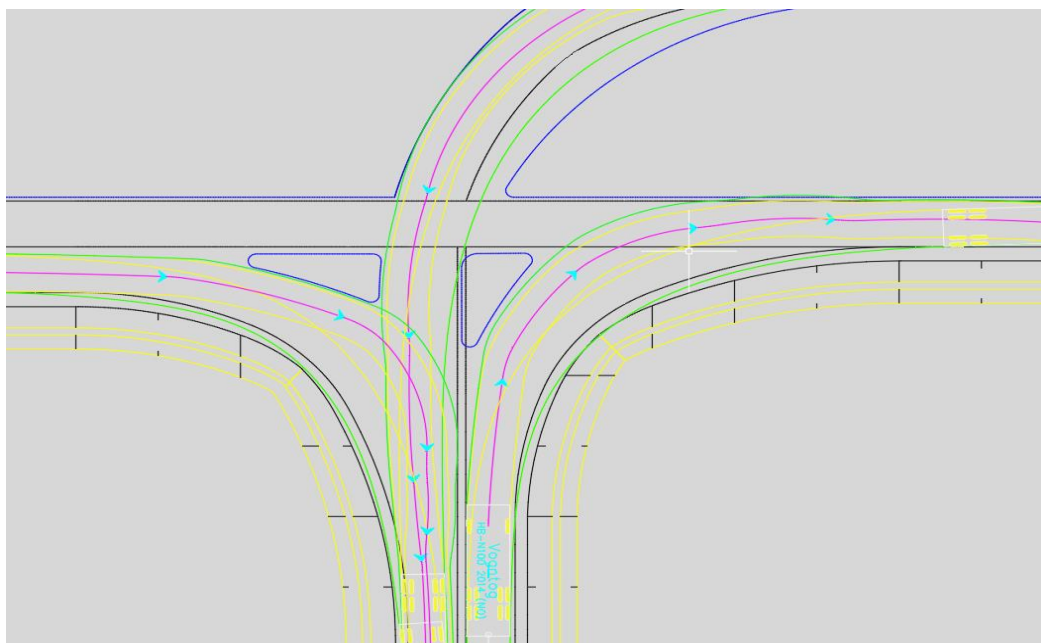
valgt bort på bakgrunn av at krysset allerede er av stor utstrekning, men vil kunne utforskes. Løsningen kunne ha blitt gjennomført med at gjennomgående trafikk må gjøre en liten svingbevegelse som skaper rom for en slik bevegelse. Dette vil samtidig øke trafikksikkerheten da fører vil måtte foreta en handling og vil være mer fokusert. Samme tankegang gjelder for den komprimerte versjonen beskrevet i kapittel 5.3.2.

Feltene for avsvingning fikk lengde henholdsvis 60 og 70 m med  $L_2 = 20$  m, se Figur 5-6. Lengden på  $L_1 = 60$  m og  $L_2 = 20$  m er hentet fra tabell 3.2 i håndbok V121 og gjelder høyresvingefelt. For venstresvingefeltene ble det vurdert at området som er avsatt kan like gjerne benyttes til å brukes som felt og er derfor satt større enn hva som anbefales gjennom beregningsarket for venstresvingbevegelse.



**Figur 5-6: Lengder venstre og U-sving RCUT Tradisjonell**

Trafikkøylene i sidevegen er også blitt tilpasset etter sporing av vogntog. Disse er tilpasset slik at vogntog blir begrenset på begge sider av veggrøften og trafikkøy og vises i Figur 5-7.



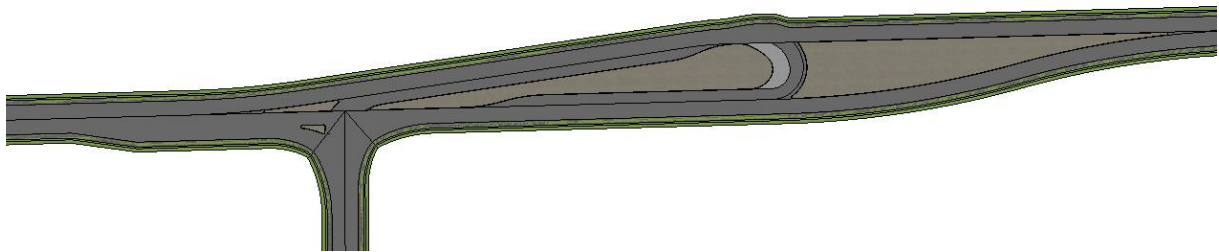
**Figur 5-7: Trafikkøyers plassering basert på sporing av vogntog**



Denne løsningen er svært lik løsningen som er implementert i USA, men innebærer noen vesentlige problemer. Venstresvingbevegelsen av hovedvegen kommer inn mot krysset med en vinkel som gjør at krysset pådrar seg karakteristikker som ligner på X-kryss. Dette legger til rette for at en kan holde en høyere hastighet gjennom krysset som er uheldig da det åpner for å godta mindre luker enn ønskelig. Venstresvingbevegelsen viker kun for trafikk som kommer motgående fra hovedvegen og ved avbøying slik som designet blir det vanskeligere for fører å se trafikken som det skal vikes for sammenlignet med et vanlig T-kryss. Det vil derfor være ønskelig at denne bevegelsen heller kommer mer parallelt med hovedvegen som skaper bedre oversikt og begrenser hastigheten gjennom krysset. Ved å gjøre dette vil man også ende opp med en løsning som er mer kompakt. Vi kom derav frem til en mer kompakt løsning, «RCUT Komprimert».

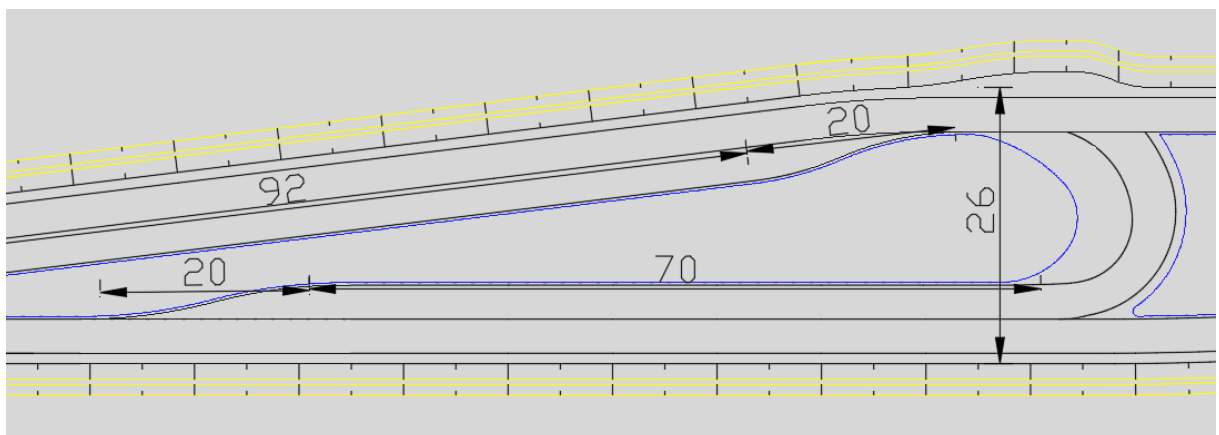
### 5.3.2 RCUT Komprimert

Søndre del av modellen forble uendret, men det ble gjort modifiseringer av nordre del. For å samtidig redusere benyttet areal og endre inngangsvinkel på venstresvingbevegelsen ble krysset snevret inn fra U-svingen mot kryssområdet. Det ble også for den komprimerte versjonen vurdert å ha et eget felt ut av U-svingen slik som beskrevet om den tradisjonelle løsningen. Ettersom et av hovedargumentene for å lage en komprimert versjon var å minimere benyttet areal ble det ikke satt av areal til det egne feltet. U-svingen og breddeutvidelsen ble fortsatt bestemt av sporing og oversikt av løsningen kan ses under i Figur 5-8.



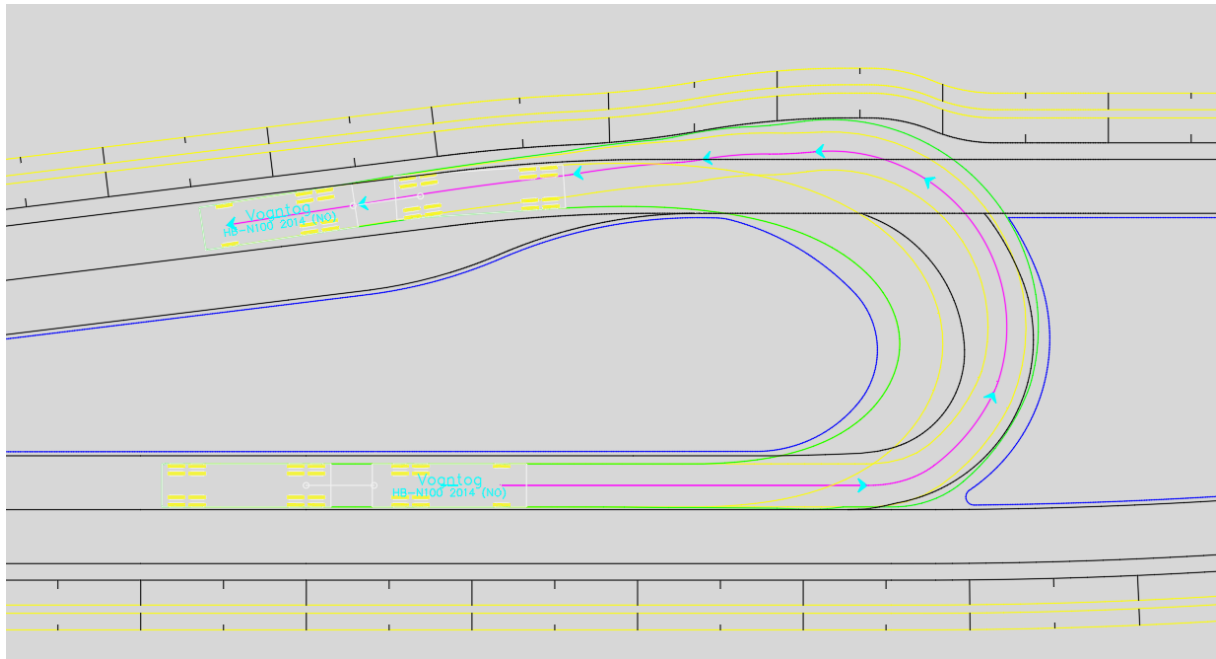
**Figur 5-8: Oversiktsbilde RCUT Komprimert**

Venstresvingefeltet på søndre del forble likt som første utkast, men øvre del ble endret med den nye geometriske utformingen. Opprinnelig var det nordre feltet 60 m, men etter interne diskusjoner ble det bestemt at arealet tilgjengelig kan være kjørefelt fremfor trafikkøy. Etter denne utvidelsen ble feltet 92 m og starter like etter trafikken krysser. Ny feltlengde kan ses i Figur 5-9.



**Figur 5-9: Lengder venstre og U-sving i RCUT Komprimert**

Både gjennomgående og avsvingende trafikk ble lagt nærmere krysset, avsvingingsfeltet ligger parallelt og hastigheten må senkes for å kunne gjennomføre venstresvingen. Med ny inngangsvinkel for trafikk som skal svinge til venstre ble også springen gjennom denne bevegelsen endret. Noe som gjorde at det ikke var plass til en tradisjonell trekantøy på sidevegen lengre slik at denne ble fjernet. Den gjenværende trafikkøyen ble tilpasset etter den nye springen og kan ses i Figur 5-11. Ved senere inspeksjon antas det at det kan tilpasses en slags «bananøy», istedenfor å fjerne trekantøyen, som vil hjelpe med å tvinge trafikk fra sidevegen til å svinge til høyre. Spring U-sving kan ses i Figur 5-10.



**Figur 5-10: Spring av vogntog gjennom U-sving**

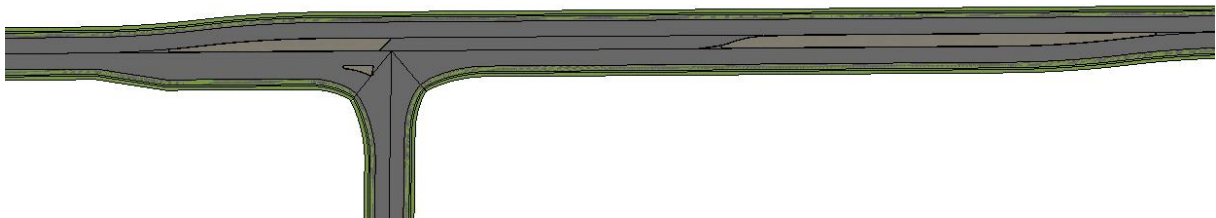


**Figur 5-11: Sporing av vogntog gjennom RCUT Komprimert**

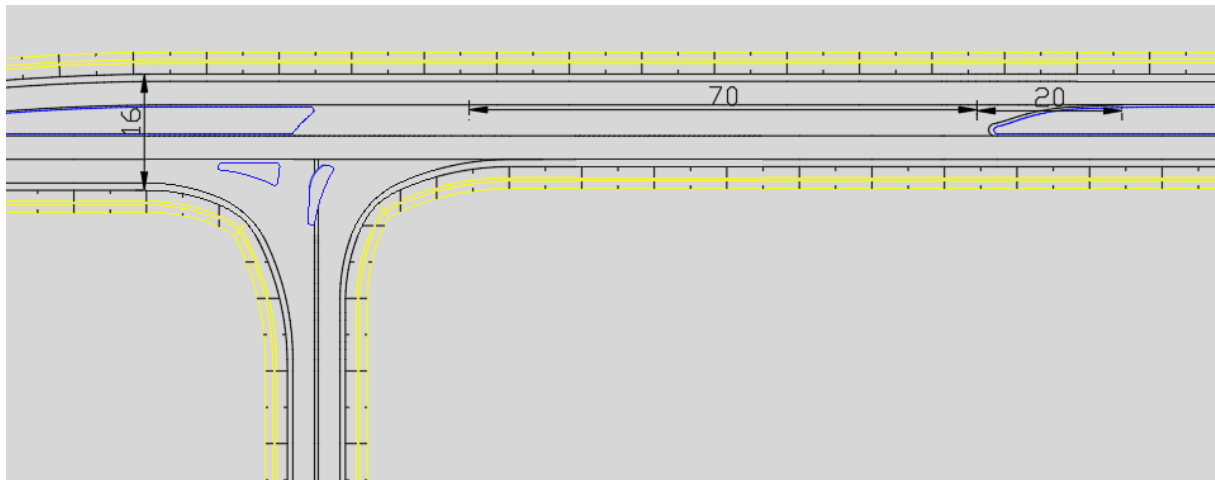
I tidlig fase av simuleringene så vi at det er et problem at trafikken fra U-svingen kommer inn på hovedvegen før trafikken som skal sørover. For å optimalisere trafikkflyt ble det diskutert om det var mulig å flytte U-svingebevegelsen lengre unna krysset som ga en tredje utforming av løsningen som kan ses under i kapittel 5.3.3. Her er de to større trafikkøylene gjort om til oppmerking, som ikke vises i figuren, men er nærmere vist i kapittel 6 om oppmerking og skilting.

### 5.3.3 RCUT Forskjøvet

Med denne utformingen ser løsningen mer ut som et tradisjonelt T-kryss, men det vil ikke være mulig å svinge direkte til venstre fra sidevegen. Ettersom det ikke lengre er nødt til å være plass til en U-sving midt i løsningen, er det nå mulig å dra nordre del av hovedvegen inn mot søndre del for å bespare plass, samt at krysset får et mer kjent utseende. Lengden på feltet for å svinge til venstre ble 70 m med overgang på 20 m som kan ses under i Figur 5-12 og Figur 5-13.

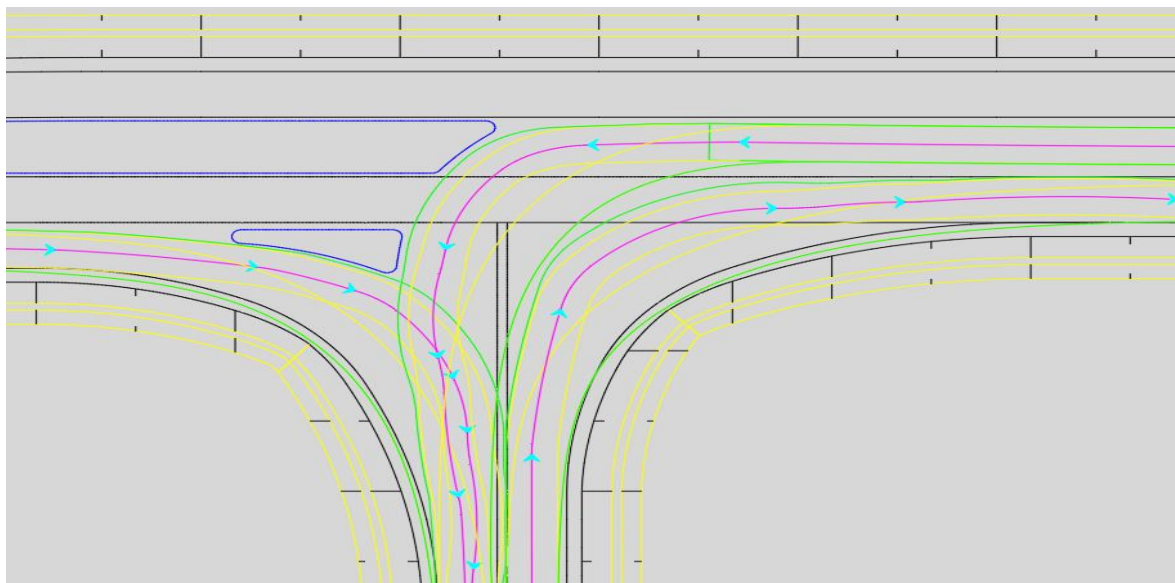


**Figur 5-12: Oversiktsbilde RCUT Forskjøvet**



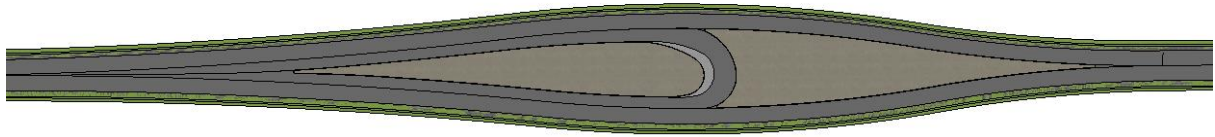
**Figur 5-13: Lengder venstresvingefelt RCUT Forskjøvet**

I likhet med den kompakte løsningen er det heller ikke her plass til to trekantøyer i sidevegen. Øyen vest i sidevegen ble likevel utformet som normalt. Ved senere inspeksjon ble det på lik linje med RCUT komprimert oppdaget at trekantøyen kunne vært utformet som en «bananøy» istedenfor å fjerne den. Dette vises i Figur 5-13. En slik «bananøy» vil hindre trafikk fra å svinge direkte til venstre i krysset. Sporing av vogntog kan ses under i Figur 5-14.



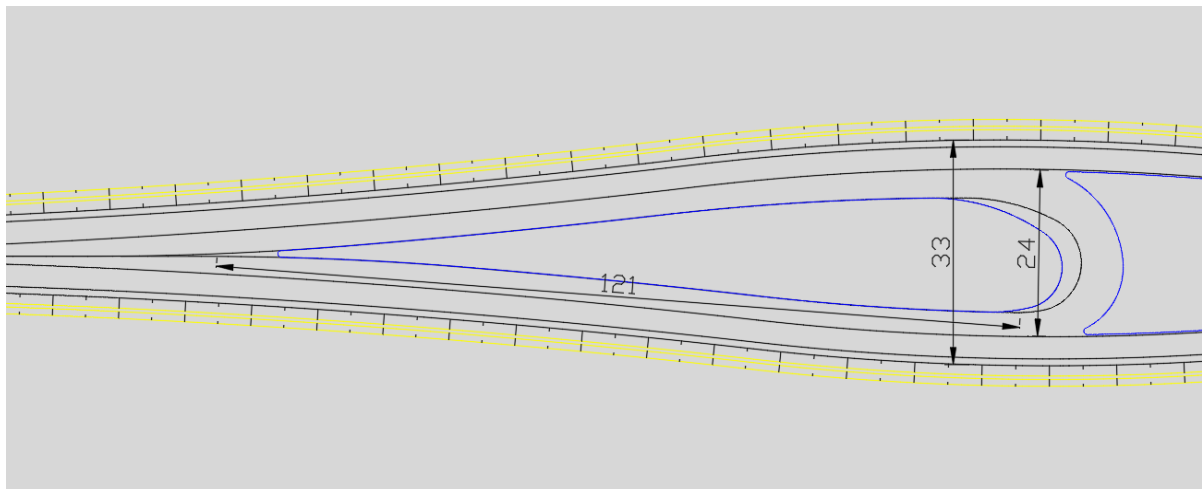
**Figur 5-14: Sporing vogntog gjennom hovedkryssområdet RCUT Forskjøvet**

U-svingen må i dette tilfellet etableres som en egen del av krysset. Plasseringen av U-svingen kan gjøres ved ønsket avstand fra kryssområdet etter hvilken lengde som passer best etter den spesifikke situasjonen og nødvendig trafikkavviklingsevne. Området for U-svingen ble utformet som i Figur 5-15.



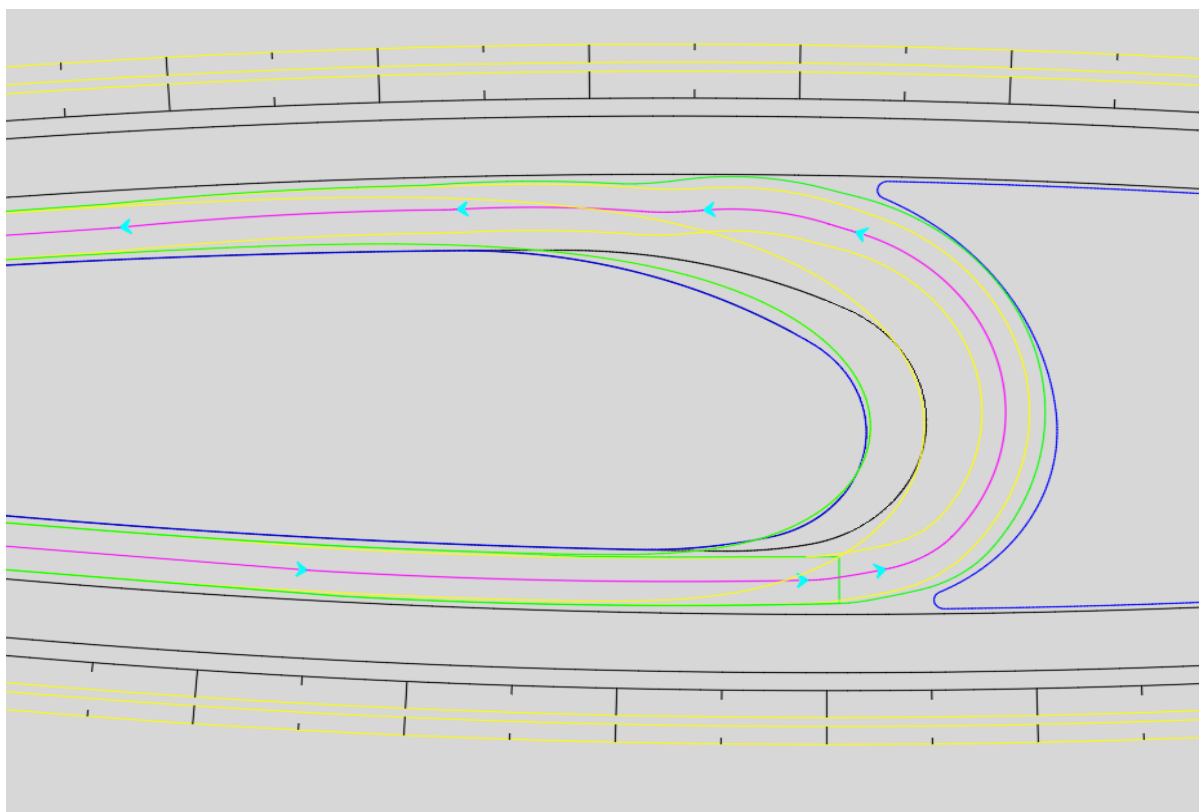
**Figur 5-15: Oversiktsbilde snuområde RCUT Forskjøvet**

Ettersom denne løsningen vil kreve to forskjellige modeller og snuplassen vil kunne ha varierende avstand fra krysset ble det vurdert at denne løsningen kun vil være optimal ved mye trafikk. Det ble dermed valgt å ha et eget avsvingingsfelt med påfølgende fletting etter U-svingen var gjennomført. For at gjennomgående trafikk skal bli minst mulig påvirket ble vegen på utsiden utformet med radius 1500 m før en svak S-kombinasjon med radius 400 m. Disse radiusene ble brukt og tilpasset slik at det var 24 m mellom innsiden av vegene. Dette er nødvendig plass for å kunne spore vogntog gjennom løsningen uten å påvirke de ytre feltene. Deretter ble geometrien speilet for å skape en estetisk vakker løsning. Det indre feltet ble tilpasset tilgjengelig lengde da dette var lengre enn krav fra håndbok V121 og kan ses under i Figur 5-16.



**Figur 5-16: Lengder snuplass RCUT Forskjøvet**

Også her var det nødvendig med en breddeutvidelse for tungtrafikken og kjørefeltbredden ble bestemt av spring av lastebil. Spring av vogntog vises i Figur 5-17.

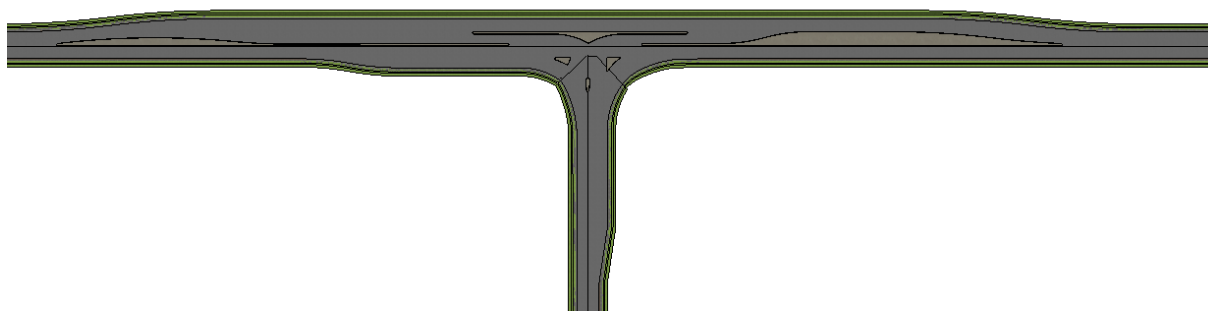


**Figur 5-17: Spring snuområde RCUT Forskjøvet**

I denne modellen kunne felt for avsvinging vært kortere enn hva som ble modellert, men vi kom fram til at løsningen som modellert er en mer estetisk utforming uten å gå på bekostning av avviklingskapasitet.

## 5.4 Continuous Green T

Model av kryssløsningen kan ses under i Figur 5-18:



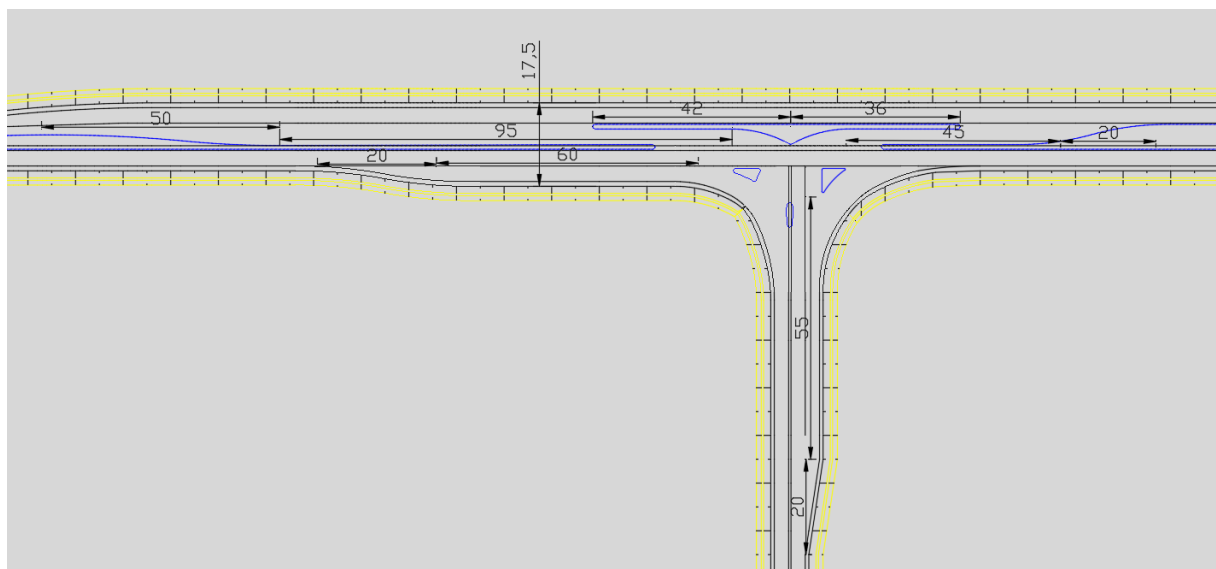
**Figur 5-18: Oversiktsbilde CGT**

Det første som kan påpekes er at den østlige og vestlige trafikkøyen er blitt gjort om til vegmerking, men er markert her som trafikkøyer i oversikten for å vise at feltene innsnevres ettersom vegoppmerking ikke vises på modellen. Det som skiller denne løsningen fra et normalt T-kryss, er den sentrale trafikkøya som separerer gjennomgående trafikk på hovedvegen fra annen trafikk. Trafikk på hovedvegen som kjører gjennom fra øst mot vest vil dermed kun samhandle med andre kjøretøy når feltene fletter sammen etter krysset. For avbøyningen på det øvre feltet på hovedvegen

er det brukt kurver med radius 400 som er innenfor håndbok N100 kravet for horisontalgeometri. Trafikk fra hovedvegen som skal svinge av venstre begrenses med trafikkøyt på høyre side for å sikre at gjennomgående trafikk på hovedvegen ikke påvirkes. Trafikk på hovedvegen fra vest mot øst kjører med normalt kjøremønster som i et standard T-kryss. Trafikk på hovedvegen fra vest som skal videre på sidevegen har eget felt for avsvinging med tilhørende trekant-øyt modellert etter krav i håndbok V121.

Sidevegen er en tofelts veg som får et ekstra felt inn mot krysset. Kjøretøyt som skal mot øst har eget felt for avkjøring for å sikre plass for oppbyggende kø. Sidevegen har en dråpeøyt sentralt etter krav fra håndbok V121.

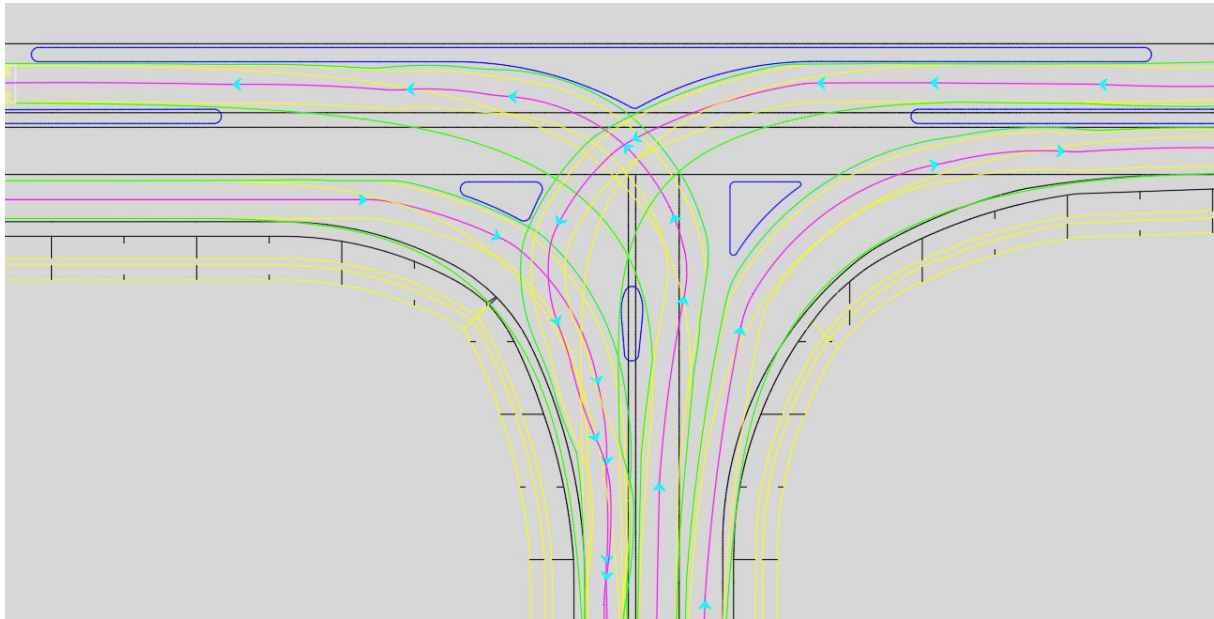
Vi kan se av Figur 5-19 at trafikkøytet sentralt i krysset som skiller gjennomgående trafikk og trafikken som skal svinge venstre er noe forlenget mot vest. Hensikten med denne utvidelsen er å sikre at trafikken som kommer inn på hovedvegen har hatt tilstrekkelig tid til å øke egen hastighet før de får mulighet til å legge seg over i høyre felt. Dette kommer av at det vil være nødvendig med større lengde for akselerasjon på veg ut av krysset enn deselerasjon på veg inn.



**Figur 5-19: Dimensjonerende lengder CGT**

For akselerasjonsfeltet og gjennomgående trafikk fra øst mot vest er hensikten at trafikken skal flette og det er derav satt av 50 m slik at det muliggjøres. Vi kan se at for trafikk på hovedvegen som skal svinge høyre inn på sidevegen er overgangen til avkjøringsfelt 20 m med påfølgende 60 m avsvingingsfelt. Total lengde avsatt er bestemt av verdier innenfor krav fra håndbøker. For sidevegen blir vikelinja begrensende faktor inn mot krysset og lengden på feltet må måles ut ifra denne. Etter å ha sett på posisjonen til vikelinja for venstresvingbevegelsen er praktisk lengde på feltet 55 m med overgang på 20 m. For venstresvingefeltet av hovedvegen er lengden satt til 45 m med 20 m overgang.

Trafikkøylene i sidevegen ble utformet med grunnlag i tilgjengelig areal etter sporing av vogntog. Sporingen kan ses under i Figur 5-20.

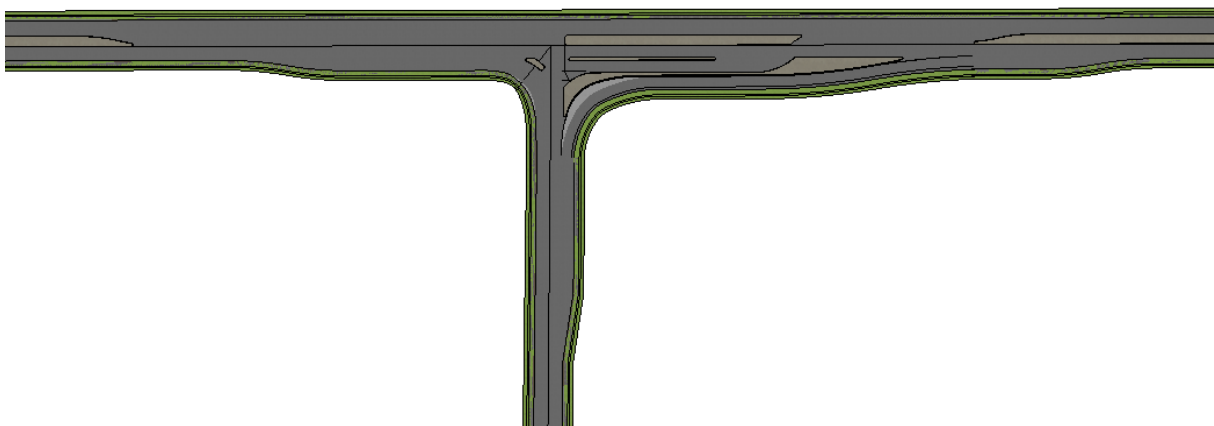


**Figur 5-20: Sporing med vogntog gjennom CGT**

Sporingen viser at spesielt venstresvingbevegelsen fra sidevegen presses ut mot høyre før bevegelsen gjennomføres. Dette vil påvirke oppmerkingen av feltene for sidevegen som vil vises i kapittel 6. Trafikkøylene er også avbøyd og tilpasset sporingen for å tilrettelegge for kjøremåte A for alle bevegelser.

## 5.5 Displaced left turn.

Modell av «Displaced left turn» kan ses i Figur 5-21:

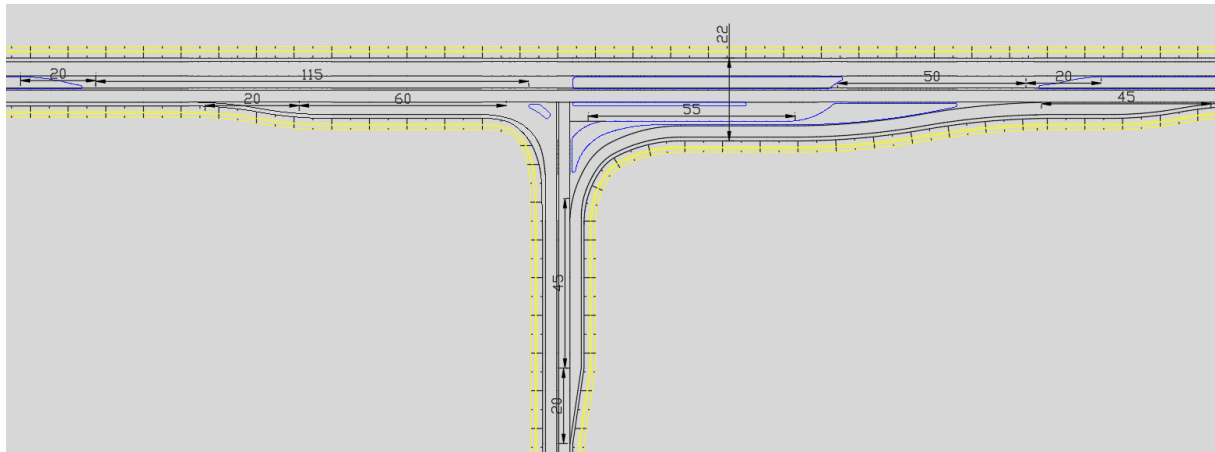


**Figur 5-21: Oversiktsbilde DLT**

Trafikken fra sidevegen er delt opp hvor trafikken som skal mot vest følger et normalt kjøremønster som kommer inn på hovedvegen i et eget felt som fletter med gjennomgående trafikk. Trafikken som skal mot øst, har et eget felt som føres unna annen trafikk og som fletter sammen med hovedvegen etter krysset. Svingen er utvidet med overkjørbart areal slik at tynge kjøretøy skal klare å gjennomføre bevegelsen. Trafikken som kommer fra øst på hovedvegen og skal videre sørover på sidevegen krysser motgående trafikk før selve krysset og skilles fra motgående trafikk ved bruk av



trafikkøyer på begge sider. Trafikkøyer ble sett på som en nødvendighet da flere bevegelser vil ha motgående trafikk på begge sider. Trafikken som kommer fra øst på hovedvegen trenger da kun å vike for trafikken fra hovedvegen som skal svinge av mot høyre. Ved å dele opp konfliktene og ta de sekvensielt vil det forhåpentligvis være enklere å finne en stor nok luke til å komme seg frem. Trafikk fra hovedvegen som svinger av mot høyre har eget avsvingingsfelt og vil være upåvirket av annen trafikk. Dimensjonerende lengder for krysset kan ses i Figur 5-22.

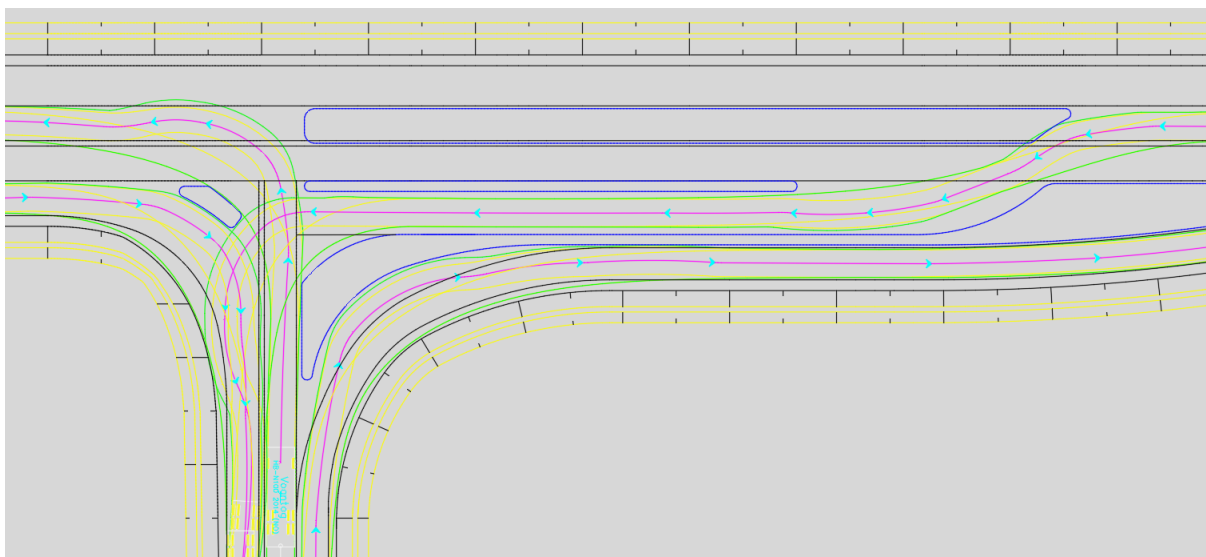


**Figur 5-22: Dimensjonerende lengder DLT**

Vi ser at akselerasjonsfeltet på hovedvegen mot vest er 115 meter med 20 m overgang. Her er det modellert slik at akselerasjonsfeltet viker inn mot hovedvegen, men med skilting som vises i kapittel 6.3 er det mulig å få fremhevet at det skal flettes. Overgangen mellom to til ett felt bør utformes på en måte slik at fletting prioriteres og det er enkelt for fører å forstå at det skal flettes. På tegningene i dette kapittelet vises disse som trafikkøyer, men disse er senere omgjort til vegoppmerking av sperrefelt. For motsatt side av løsningen er også trafikkøy helt øst omgjort til oppmerking. Dette vil vises mer nøyaktig gjennom oppmerking i kapittel 6.

For trafikken på hovedvegen som skal svinge venstre er det satt av 50 + 20 m før motgående trafikk krysses og deretter 55 m før venstresving kan gjennomføres. Det er nødvendig med større plass på feltet før kryssingen av motgående kjørefelt for å sikre god avvikling på grunn av den større mengden trafikk som må vike, samt den mer komplekse situasjonen. Grunnen til at det er satt av 55 m etter kryssingen er for å ha nødvendig stor avstand mellom konfliktpunktene slik at disse kan tas sekvensielt.

For avkjøringsfeltet høyre av hovedvegen er det som i CGT-løsningen blitt 20 m overgang med 60 m felt deretter. For sidevegen er det avsatt 45 + 20 m. For bevegelsen mot høyre av sidevegen er denne adskilt fra hovedvegen til etter posisjonen hvor bevegelsene på hovedvegen krysser. Deretter vil det være en påkjøring over 45 m hvor trafikken kan komme seg inn på hovedvegen. Denne overgangen kan vurderes å gjøres lengre, spesielt om det er mye trafikk på hovedvegen fra vest mot øst. Det er gjort et fravik fra «bør»-kravet om dråpeøy i sekundærvegen da venstresvingbevegelsen fra hovedvegen begrenser arealet tilgjengelig for en slik trafikkøy. Dette kan ses i Figur 5-23.



**Figur 5-23: Sporing av vogntog gjennom DLT**

Ettersom krysset er dimensjonert for fartsgrense 60 km/t ble det designet en trekantøy etter kravene fra håndbok V121 med noe geometrisk tilpassing for å tilrettelegge for sporingen. Ved høyere hastigheter ville denne blitt fjernet ved fare for påkjøring. Øya ble sett på som relativt nødvendig i en tidlig fase av slik kryssimplementering da den begrenser førers mulighet til å legge seg inn i feil felt for trafikk som kommer fra øst. Vi kan også se av sporingen at trafikk fra sidevegen som skal svinge venstre blir nødt til å ha vikelinje noe dratt ut av krysset for å ha nødvendig rom for venstresvingbevegelsen av hovedvegen.

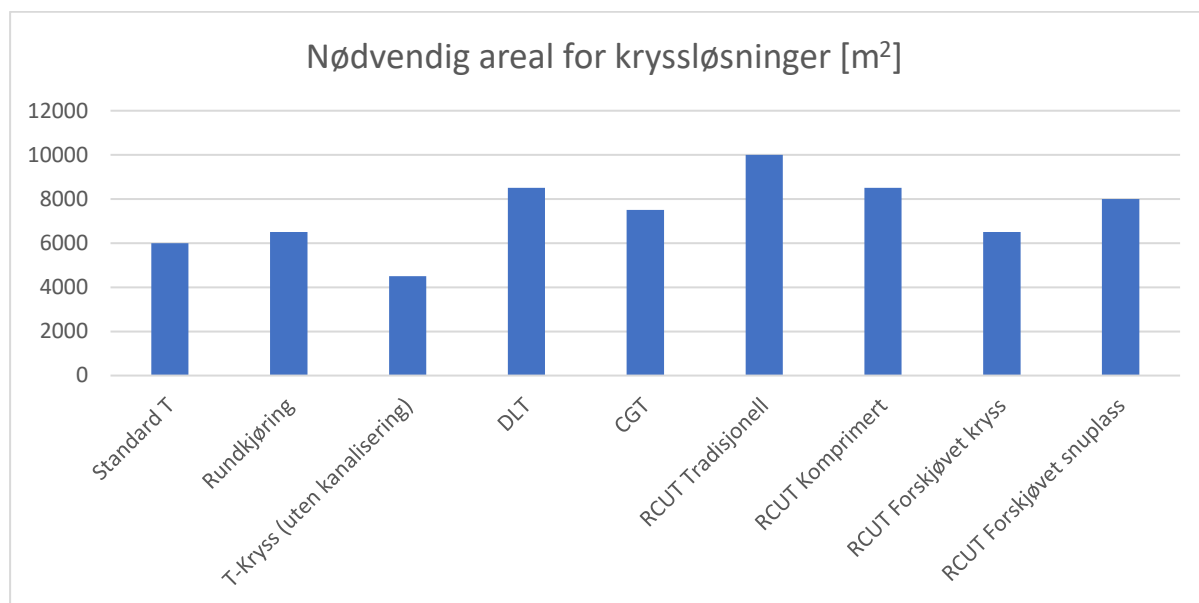
## 5.6 Arealbruk

De ulike kryssene krever ulik mengde med tilgjengelig areal. Som nevnt tidligere er dette en begrenset faktor i den kupert norske naturen. Noen av de nye kryssene spesielt RCUT-versjonene ser ut som de tar mye areal ved første øyekast. Tabell 5-1 og Figur 5-24 viser hvor mye areal de ulike kryssene som er undersøkt i denne oppgaven tar. Her er det benyttet omtrent like lang lengde ut fra sentrum på krysset for å sikre sammenlignbarhet, og at alle ekstra felter og trafikkøyer skulle inkluderes. Dette resulterte i 470 meter langs primærvegen og 100 meter langs sekundærvegen. Standard T-kryss og rundkjøring er de to kryssene som krever minst tilgjengelig areal, mens RCUT tradisjonell krever mest. Det er også valgt å inkludere T-kryss uten kanalisering for å vise hvor mye selve vegen krever i seg selv på den gitte strekningen.

Det må nevnes at disse verdiene ikke er helt nøyaktig og er avrundet. Det finnes flere justeringsmuligheter som vil øke eller redusere arealet. Derfor bør arealene betraktes som veiledende og kan avvike. I tillegg presiseres det igjen at løsningene som er produsert er prinsippskisser, og at nøyaktigheten derfor vil være deretter.

**Tabell 5-1: Overslag på nødvendig areal for forskjellige kryssløsninger.**

Krysstype	Areal [m <sup>2</sup> ]
Standard T	6000
Rundkjøring	6500
T- Kryss (uten kanalisering)	4500
DLT	8500
CGT	7500
RCUT Tradisjonell	10000
RCUT Komprimert	8500
RCUT Forskjøvet Kryss	6500
RCUT Forskjøvet snuplass	8000



**Figur 5-24: Visualisering av overslag på nødvendig areal for forskjellige kryssløsninger.**

## 6 Skilting, vegmerking og myke trafikanter

Vegskilt brukes for å skape en oversiktlig situasjon og det er fordelaktig å bruke færrest mulig skilt. Skilttegnene er noe begrenset av størrelsen av tegningene og det er ikke alltid like enkelt å se aspekter som ønskes fremhevet. Generelt skal vegvisningsskilt være 100 – 200 m fra krysset og overgang fra 80 til 60 km/t vil være 50 m før dette. Alle skilt er også plassert 2 meter fra skulder som anses å være optimal avstand fra vegen for fartsgrense 60 km/t etter håndbok N300. Skiltplan med figur er vist under hvert kryss respektive kapittel, og fullstendig skiltliste for kryssene er vist i Vedlegg 1. Det er benyttet vegnavn E6 og Fv116 i skiltplanene, på grunn av at det er vegnavnene som ligger inne som standard i skiltmodulen i AutoCAD og er derfor kun benyttet som eksempel navn i oppgaven.

I utgangspunktet er vegoppmerkingen til løsningene utformet etter håndbok N302. Prinsippene i håndboken er dermed blitt fulgt for å utforme oppmerkingen hvor det har vært mulig å benytte den. Imidlertid har det vært situasjoner hvor prinsippene fra håndboken ikke har vært nyttige å bruke, i tillegg til situasjoner som ikke er beskrevet i håndboken. I slike situasjoner er det blitt gjort fravik fra håndboken og det er blitt forsøkt fremlagt forslag til mulig oppmerking. Disse endringene er ansett som gode løsninger på utfordringene knyttet til oppmerking.

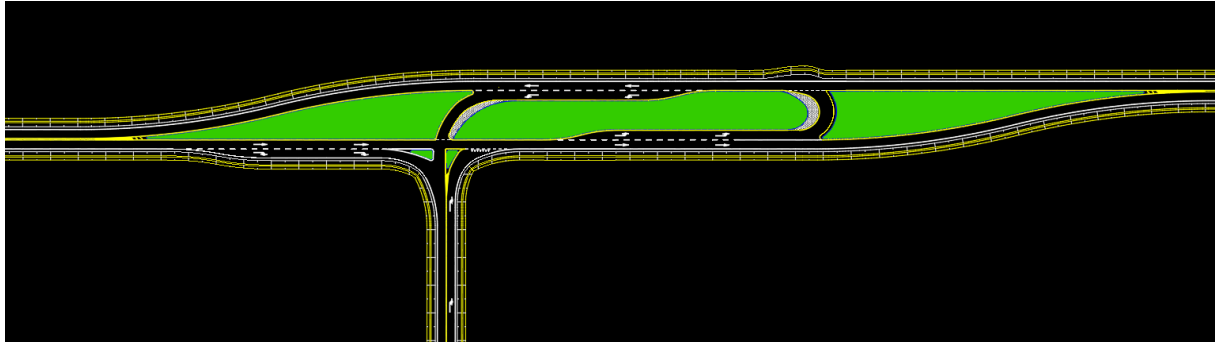
For alle løsningene er det valgt å markere felt med hvite piler som viser bevegelsen som feltet skal følge. En slik liten detalj vil være til stor hjelp under implementeringen av kryssløsningene og vil gi førere hjelp ved manøvrering gjennom krysset for første gang. Det er viktig å merke seg at endringer i oppmerkingen kan føre til forvirring for noen førere, spesielt hvis de ikke er kjent med oppmerkingsprinsippene. Det er derfor viktig at endringene ser så standardiserte ut som mulig for å minske forvirring, samt at det er gitt tilstrekkelig informasjon til å navigere gjennom krysset på en trygg måte ved hjelp av skilting.

For fotgjengerløsningene er det diskutert ulike forslag på hvordan det vil kunne være mulig å utforme fotgjengeroverganger som plane løsninger. Kryssløsningene er i hovedsak utviklet for større veger på steder hvor det normalt ikke er mye fotgjengere, men det fremmes løsninger hvis det skulle være en nødvendighet med løsning for gående. Det er viktig å presisere at det kun er forslag og tanker som fremmes og valg om hvorvidt det er hensiktsmessig med undergang/overgang, lysregulering eller andre tiltak må gjøres på grunnlag av trafikkbilde, mengden fotgjengere og syklistene og andre faktorer. Forslagene som presenteres, beskrives og begrunnes ut fra betraktninger om å skape trygge løsninger for fotgjengerne gjennom å skape oversikt for førere av kjøretøy og unngå uforutsette situasjoner. Det er ønskelig å gjøre gangavstanden for gående kortest mulig da gående er veldig sensitive for større omveger med grunnlag i at total lengde på turen er veldig styrende for om det er aktuelt å gå.

## 6.1 RCUT

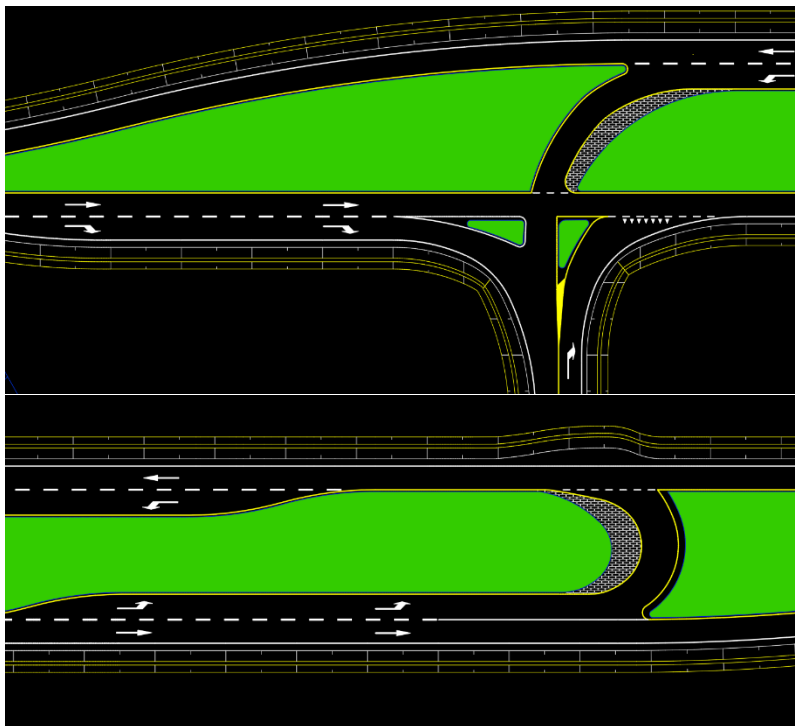
### 6.1.1 RCUT Tradisjonell

For denne løsningen er det 3 forskjellige variasjoner vedlagt ettersom det under den geometriske utformingen ble utformet flere alternativer. Først vises en mer tradisjonell RCUT i Figur 6-1. Vi kan se at de store trafikkøylene er beskyttet med sperrefelt før og etter kryssløsningen og alle bevegelser er merket.



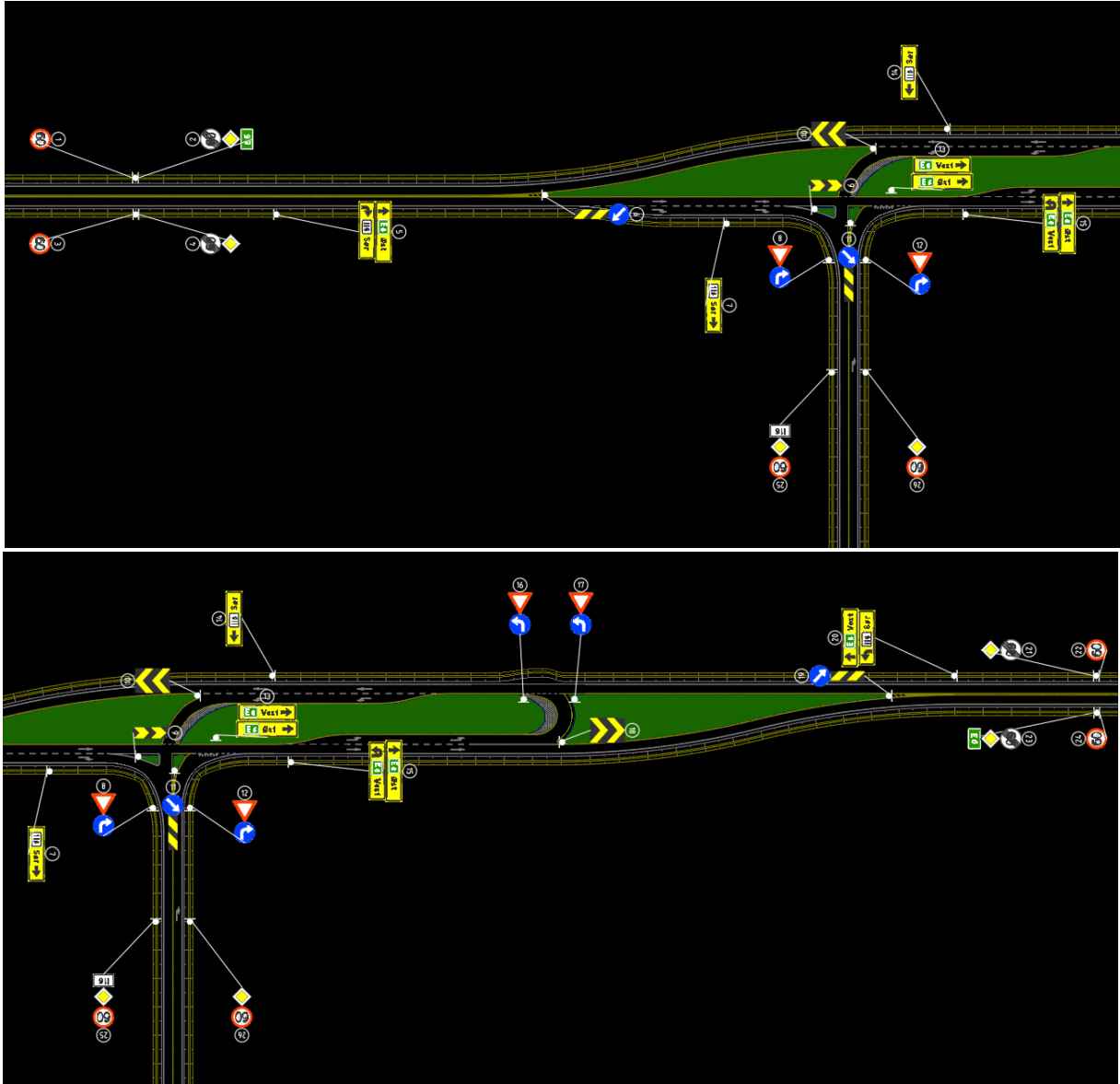
**Figur 6-1: Oversikt oppmerking RCUT Tradisjonell**

Vi ser av Figur 6-2 at oppmerkingen i utgangspunktet er som forventet uten særlige særegenheter. Av fravik fra normal oppmerking har venstresvingbevegelsen fra hovedvegen fått en ledelinje ettersom bevegelsen kommer med høy vinkel inn mot krysset og derav har karakteristikk som minner om et X-kryss. I en tradisjonell oppmerking ville det ikke vært en slik linje, men på grunn av inngangsvinkelen ble det sett på som nødvendig. Det ble vurdert til at det ikke skal være vikelinje da bevegelsen i utgangspunktet ikke er en vikepliktsbevegelse. Tilsvarende ledelinje er designet på lik måte for U-svingen også her uten vikelinje. Overkjørbart areal begrenses av gul heltrukket sperrelinje hvor det vil være brostein eller lignende materiale på innsiden for å minimere bruk av arealet for personbiler.



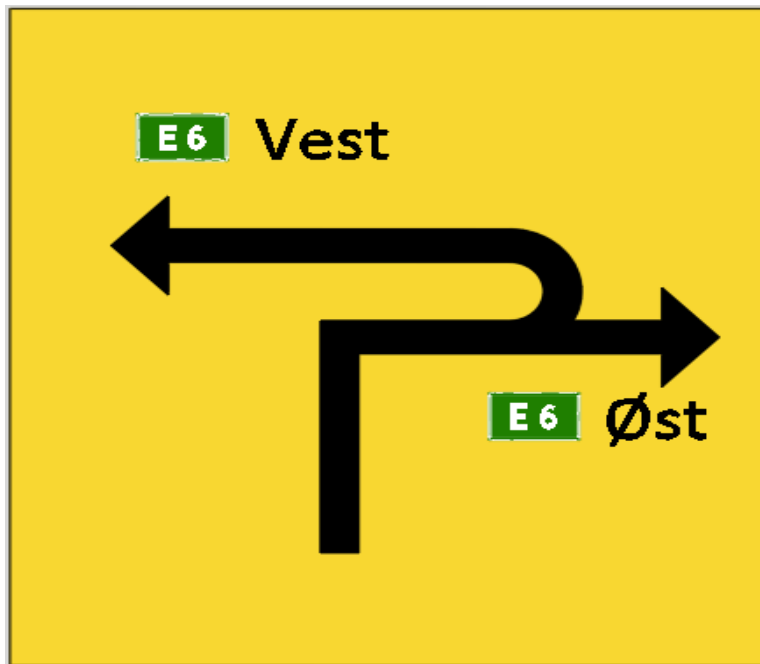
**Figur 6-2: Detaljer oppmerking RCUT Tradisjonell**

Skiltplanleggingen til krysset ble forsøkt fremlagt på en så enkel måte som mulig og kan ses under i Figur 6-3. Trafikkelementer med påkjørselsfare er markert med markeringsskilt. Dette gjelder spesielt for trafikkøyer i sidevegen. Ellers er standard skilting benyttet i utkanten av krysset, og innebærer skilt som opplysningskilt om vegnavn, forkjørsskilt og fartsgrense.



**Figur 6-3: Prinsippkisser skilting RCUT Tradisjonell**

For trafikken fra sidevegen ble det valgt å bruke påbud om høyresving da dette er eneste lovlige bevegelse. Tilsvarende ble gjort med påbud om venstresving i tilknytning til U-svingen. Sett bort i fra de påbudte svingebevegelsene er skiltingen av krysset relativt normalt og anses som lettforståelig for førere som ankommer krysset for første gang. Likevel er det valgt å benytte spesielle skilt spesielt i sørlig ende av krysset, 4-500 meter fra krysset. Spesielle skilt er produsert for å informere førerne om at de kommer til en uvant kryssløsning, og vil hjelpe dem å forstå hvordan man skal kjøre for å ende opp i riktig retning. Det er også mulig å innføre et spesielt skilt fra øst og vest i tillegg, men disse bevegelsene blir sett på som ganske tradisjonell og er derfor ikke lagt fokus på. Eksempel på et slikt skilt er vist i Figur 6-4.



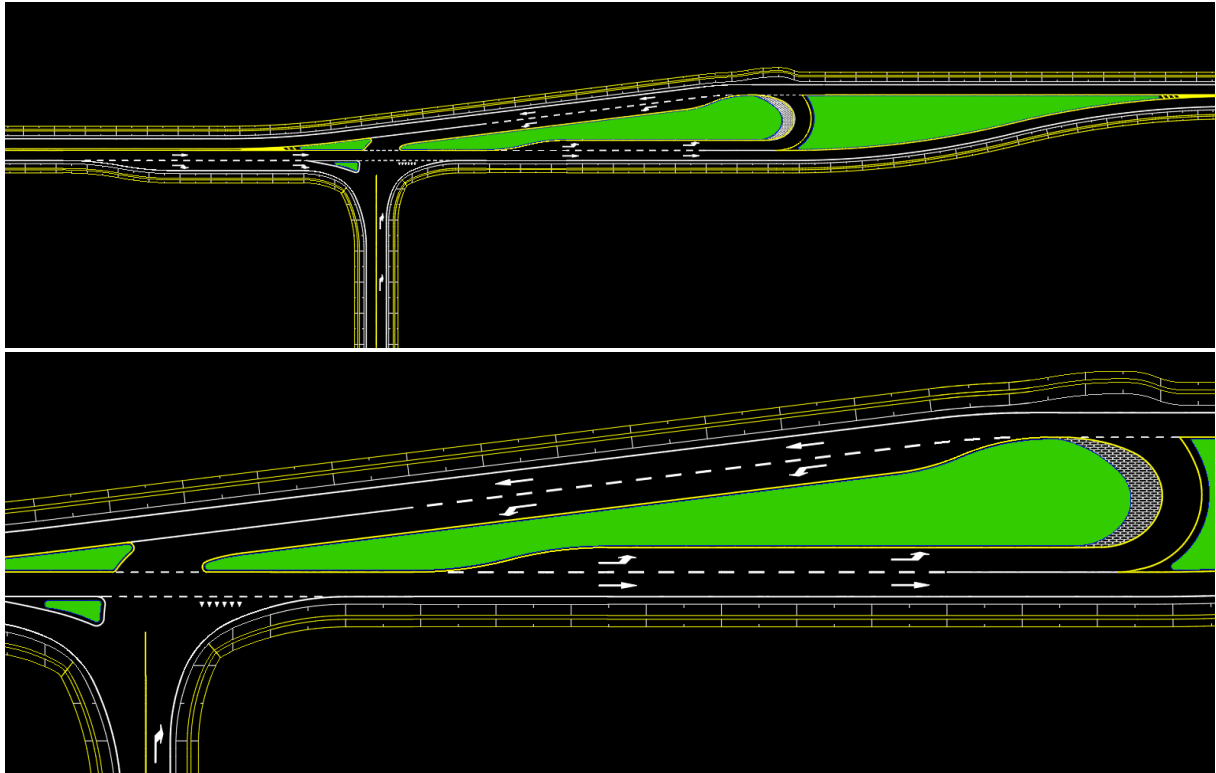
**Figur 6-4: Eksempel på spesielt skilt for RCUT Tradisjonell**

For den tradisjonelle RCUT-løsningen er store deler av krysset okkupert av trafikkøyer og grønt areal. Dette er fint areal å bruke for kryssingen for gående da det minimerer sammenhengende eksponert tid. Det anbefales at fotgjengere ikke krysser slike løsnigner i planet, men om det skulle være absolutt nødvendig vil det kunne være hensiktsmessig å bruke trafikkøylene. Øyene vil kunne skape pauseområder for gående slik at gående ikke er avhengig av å krysse hele systemet øyeblikkelig.

På bakgrunn av den ekstra distansen knyttet til venstresvingbevegelsen fra sidevegen for krysset er det antatt at syklister kan ende opp med å gjøre noen uheldige bevegelser for å forminske tiden. Syklistene kan finne på å snike seg mellom trafikkøyer eller sykle i motgående kjørefelter for å prøve å ta en snarveg. Det kan resultere i en svært farlig trafikksituasjon og bør unngås på det strengeste. Det må undersøkes nærmere hvilke utfordringer en står ovenfor med tanke på sikkerheten til syklister ved implementering og det bør gjøres en vurdering om sykkelveg ettersom syklister generelt bør ha en mulighet til å slippe å kjøre i kjørebanelen, ved å følge en sykkelveg.

### 6.1.2 RCUT Komprimert

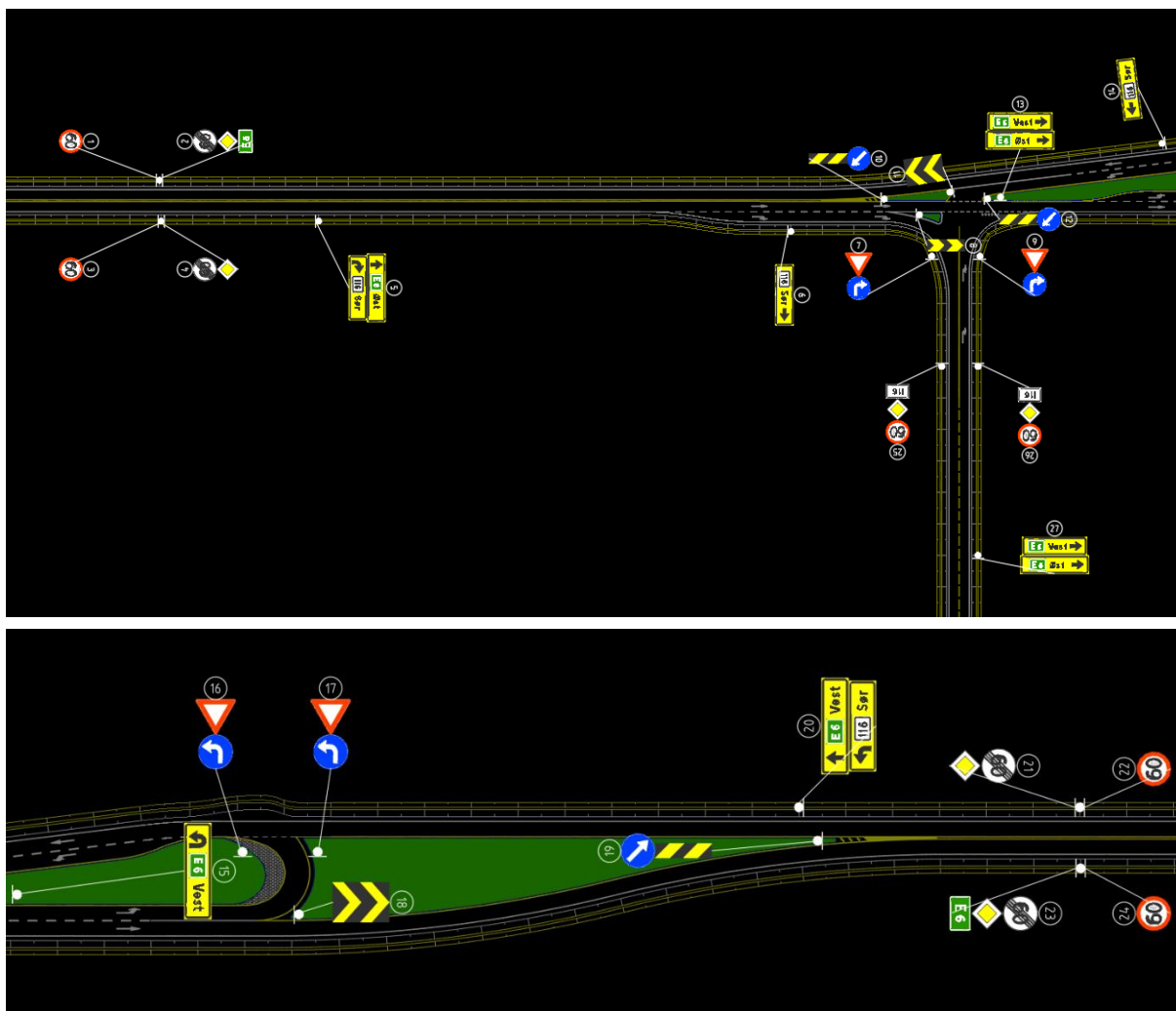
For den komprimerte versjonen av krysset er trafikkøylene blitt minimert, men vi kan se av Figur 6-5 at oppmerkingen hovedsakelig følger samme mønster som for den tradisjonelle versjonen. Eneste forskjell er at den ene trekantøya i sidevegen er blitt fjernet som et resultat av sporingen gjennom krysset som begrenset tilgjengelig rom for en trafikkøye. Løsningen er derfor noe mer åpen, men dette påvirker ikke oppmerkingen nevneverdig. Som nevnt i kapittel 5.3.2 er det mulig å innføre en «bananøye» istedenfor å fjerne trekantøyen. Denne vil i så fall markeres på lik måte som trafikkøyer ellers.



**Figur 6-5: Detaljer oppmerking RCUT Komprimert**

Skiltingen til den komprimerte versjonen har stort sett samme løsning som den tradisjonelle løsningen. Hovedsakelig er eneste forskjellen at det mangler et markeringsskilt som et resultat av at den ene trekantøya er borte. Det er på lik linje som i den tradisjonelle løsningen valgt å bruke et spesielt skilt i sørlig ende av krysset. Skiltet vil være utformet likt som den tradisjonelle løsningen, se Figur 6-4. Det vil også her være mulig å sette opp spesielle skilter fra de andre retningene. Resterende normale skilt kan sees i Figur 6-6.





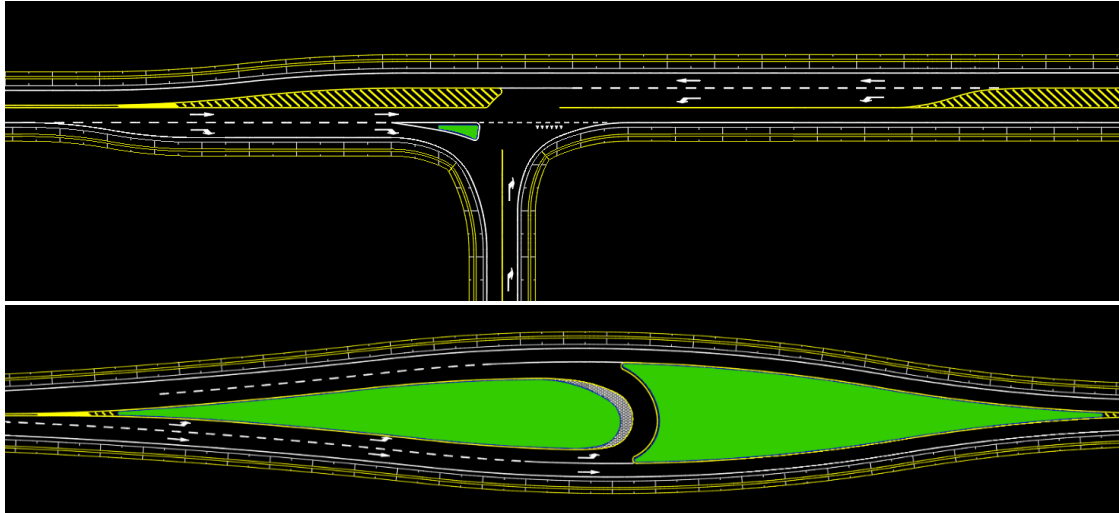
**Figur 6-6: Prinsippskisser skilting RCUT Komprimert**

Fotgjengerløsning for den komprimerte versjonen følger hovedsakelig prinsippet brukt i den tradisjonelle om å unngå kryssing i planet. Det anbefales å krysse over eller under slik at mennesker ikke oppholder seg i vegbanen og kan potensielt være vanskelig å få øye på med mengden skilt knyttet til løsningen. Skulle det planlegges for en planløsning bør overgangen flyttes litt ut fra krysset som vil være mindre heldig med tanke på avstand for gående, men det vil gjøre det mer oversiktlig for førere av kjøretøy.

For syklist er det også et problem i denne versjonen av krysset. Her vil det på samme måte som RCUT Tradisjonell være mulig for syklist å snike seg unna trafikkøylene og svinge direkte til venstre fra krysset, som vil kunne skape en trafikkfarlig situasjon. Her er «snarvegen» syklisten vil kunne prøve å ta kortere, som vil medføre at den kan virke mindre risikofyllt og mer fristende å ta. Dette vil kunne resultere i at flere syklist kan finne på å ta en slik snarveg som øker sannsynligheten for at en ulykke skal inntreffe. Også her gjelder det at dersom det eksisterer sykkeltrafikk av betydning bør denne føres i egen sykkelveg.

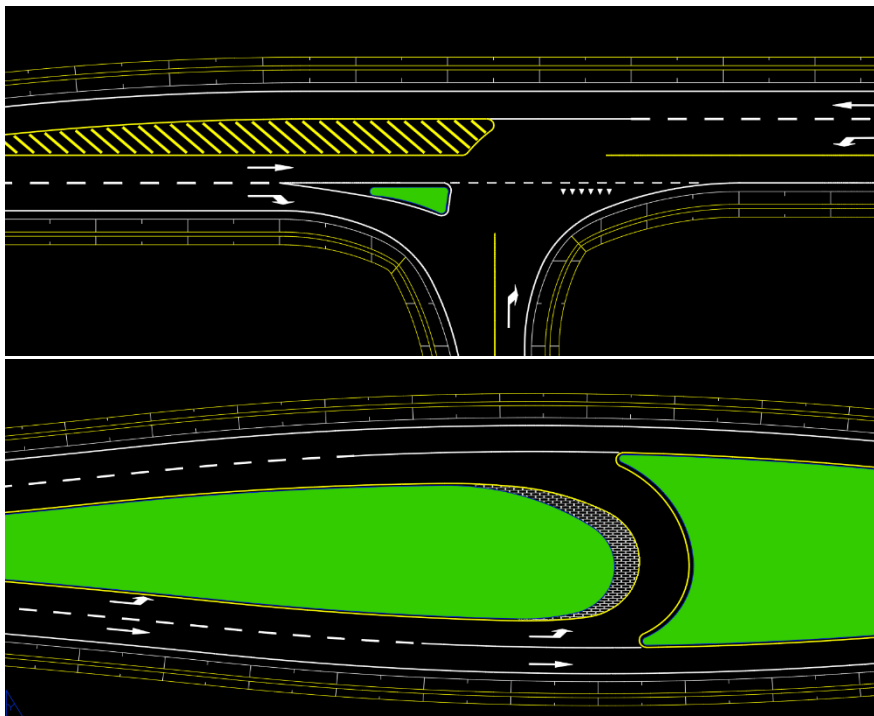
### 6.1.3 RCUT Forskjøvet

For den siste versjonen ble trafikkøylene i hovedkrysset fjernet ettersom feltene nå var helt parallelle. Det ble derav brukt oppmerket sperrefelt for å skille retningene istedenfor fysisk kanalisering. Oversikt over løsningen kan ses under i Figur 6-7 hvor selve krysset og snuplass vises med oversiktsbilde.



**Figur 6-7: Oversikt oppmerking snuplass RCUT Forskjøvet**

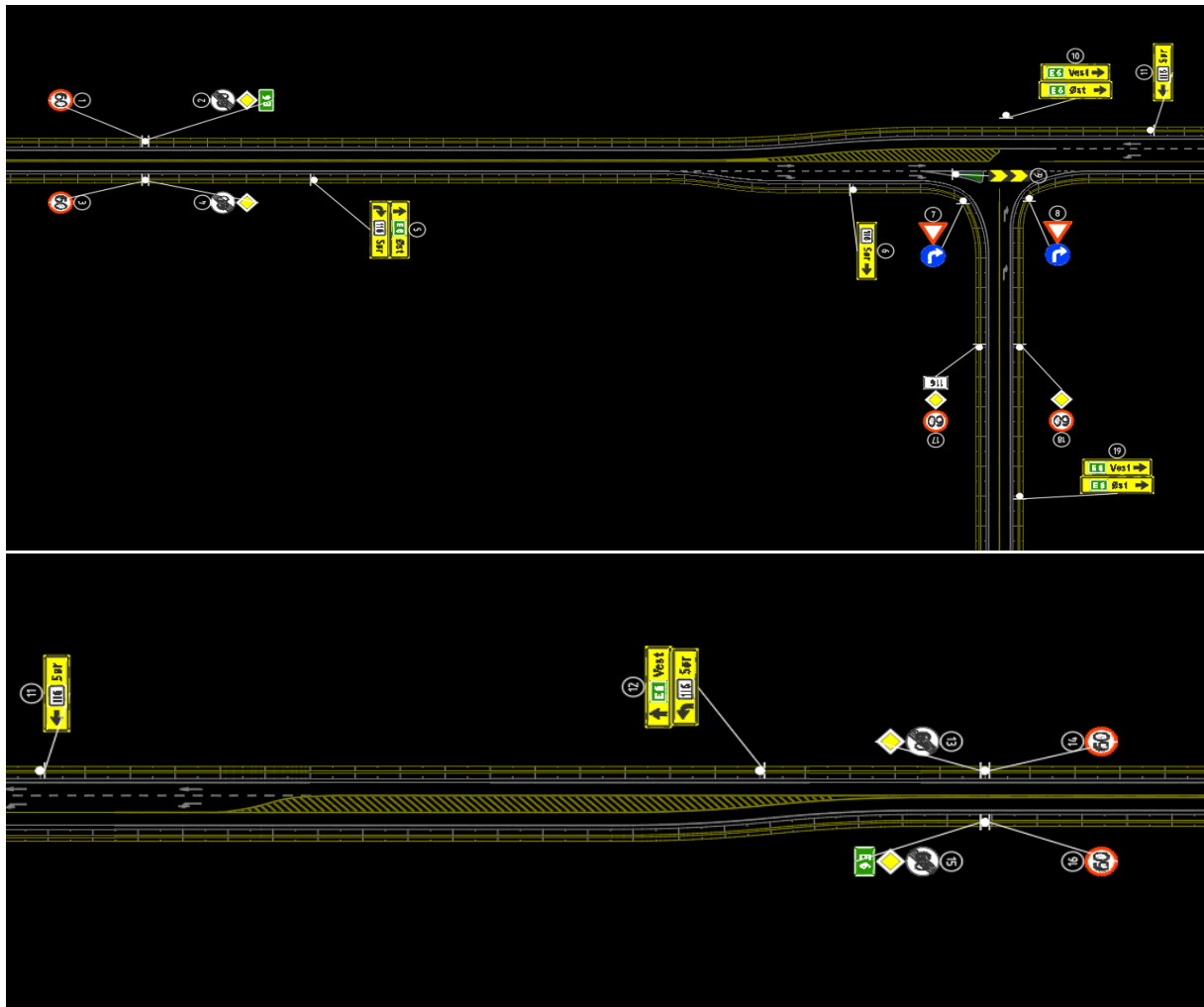
Ettersom krysset nå har karakteristikk som ligner mer på et tradisjonelt T-kryss ble ledelinjen for venstresvingbevegelsen sløyfet. Vi kan også se av Figur 6-8 under hvordan utformingen av detaljene skal se ut for løsningen.



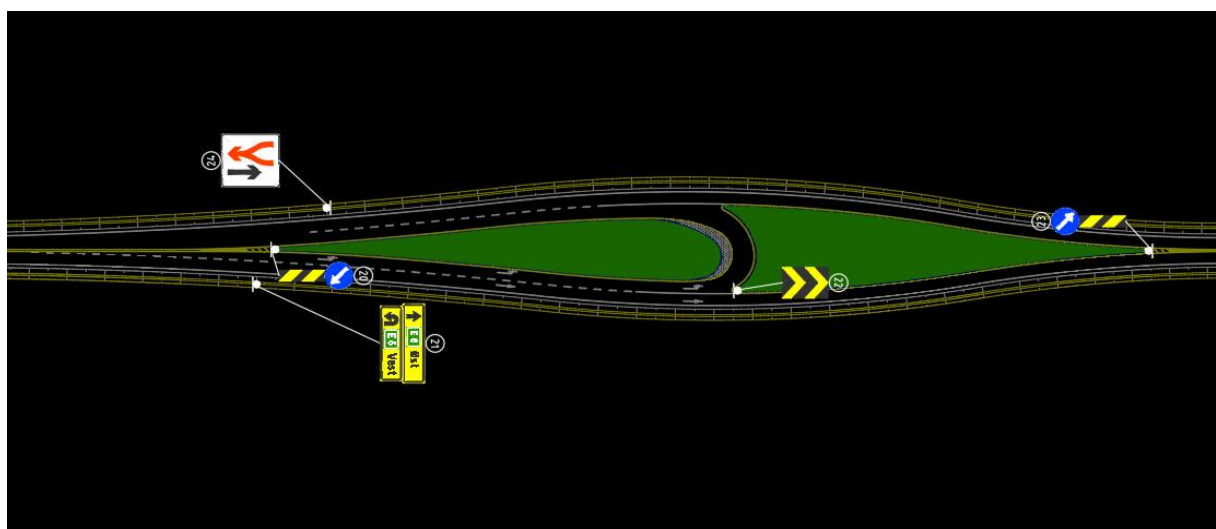
**Figur 6-8: Detaljer oppmerking snuplass RCUT Forskjøvet**

Skiltingen for den forskjøvne RCUT-løsningen minner også mye om de to tidligere RCUT-løsningene, men her er det noen forskjeller. Likt som den komprimerte RCUT-løsningen minner hovedkryssområdet mye om et standard T-kryss både i utforming og i skilting. Løsningen har mye færre markeringskilt, da mesteparten av trafikkøylene er oppmerket

og ikke fysisk. Ellers er det en sentral forskjell i snubevegelsen, her er det lagt til rette for fletting. Det skaper et krav om skilt for fletting, og påbudt kjøreretning mot venstre er dermed fjernet. Oversikt over resterende skilt kan ses i Figur 6-9 og Figur 6-10.

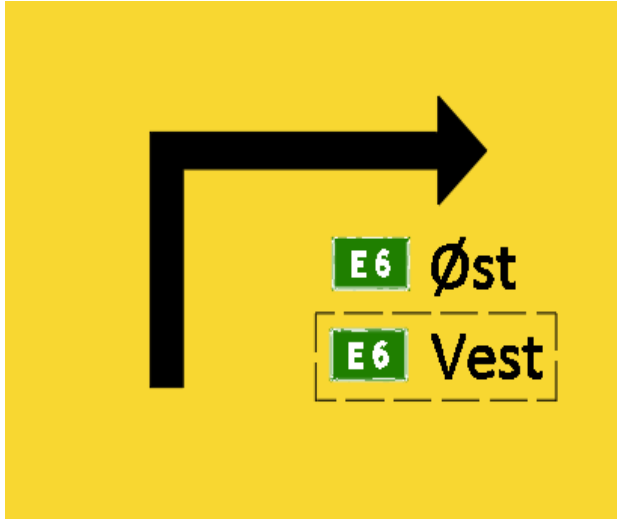


Figur 6-9: Prinsippskisser skilting RCUT Forskjøvet hovedkryssområdet



Figur 6-10: Prinsippskisse skilt RCUT Forskjøvet snuplass

Likt med de to andre RCUT-løsningene er det nødvendig med et spesialskilt spesielt i sørlig ende av krysset, som forklarer kjørebvegelsen som må gjennomføres. Det er valgt å vise at det kun er mulig å svinge til høyre i krysset. Det er også lagt til en stiplede linje rundt «E6 Vest» for å vise at man kommer til denne retningen ved å svinge til høyre. Skiltet vises i Figur 6-11.



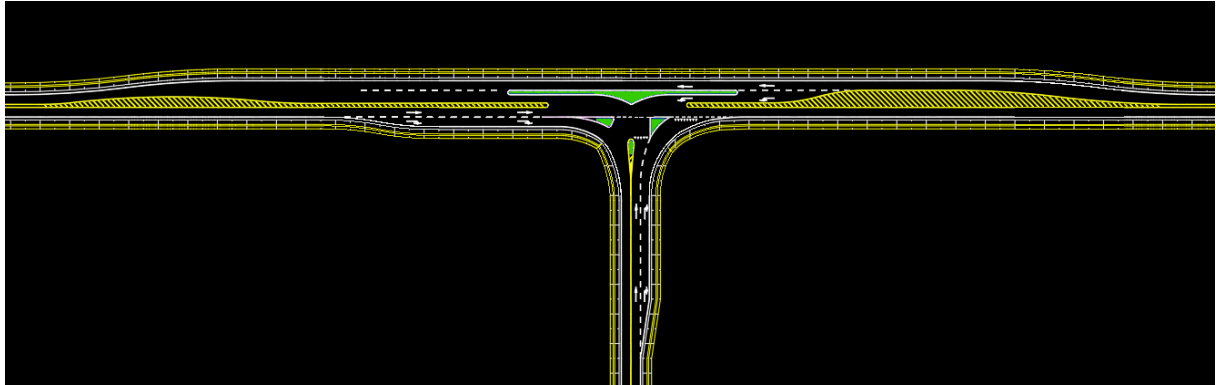
**Figur 6-11: Spesielt skilt for RCUT Forskjøvet**

Den forskjøvnede RCUT-løsningen har ikke de samme fysiske trafikkøyene og vil dermed ikke skape noe «pauseområde» for et tenkt krysningspunkt for fotgjengere. Det anses dermed som uaktuelt å ha krysning i planet. Det må selvfølgelig gjøres vurderinger for individuelle situasjoner, men det ønskes at fotgjengere holdes unna denne løsningen.

I krysset er det stort sett ikke brukt fysiske trafikkøyer, noe som gjør det enkelt for både biler og syklistene å svinge direkte til venstre selv om det ikke er lov. Krysset har en svært lang omveg for kjøretøy som skal venstre fra sidevegen, noe som vil gjøre det svært ugunstig for syklistene. Det antas at det vil være uaktuelt for en syklist å sykle eksempelvis en kilometer feil retning og det må derav tilrettelegges på en annen måte. Krysset vil stort sett bli brukt ved svært høy trafikkmengde, og det vil da ikke være gunstig for syklistene å benytte vegbanen uansett. Det bør på lik linje med de to forestående RCUT-kryssene benyttes egen gang- og sykkelveg i denne situasjonen.

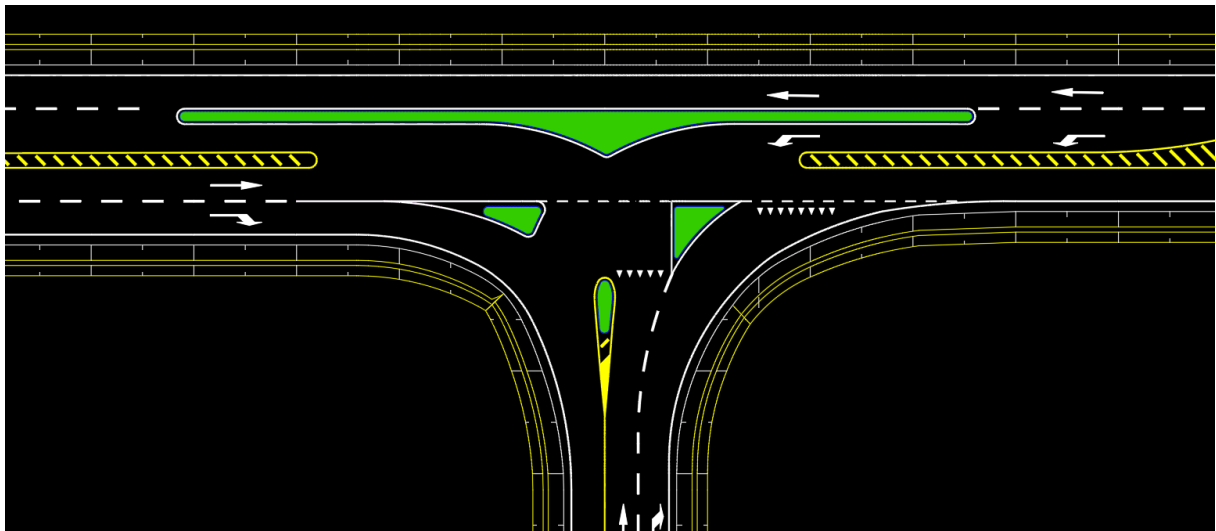
## 6.2 CGT

Ettersom løsningen er relativt lik løsninger som allerede finnes, ble det ikke store endringer i utformingen av oppmerkingen. Generell oppmerking kan ses under i Figur 6-12 og et mer detaljert bilde vises i Figur 6-13.



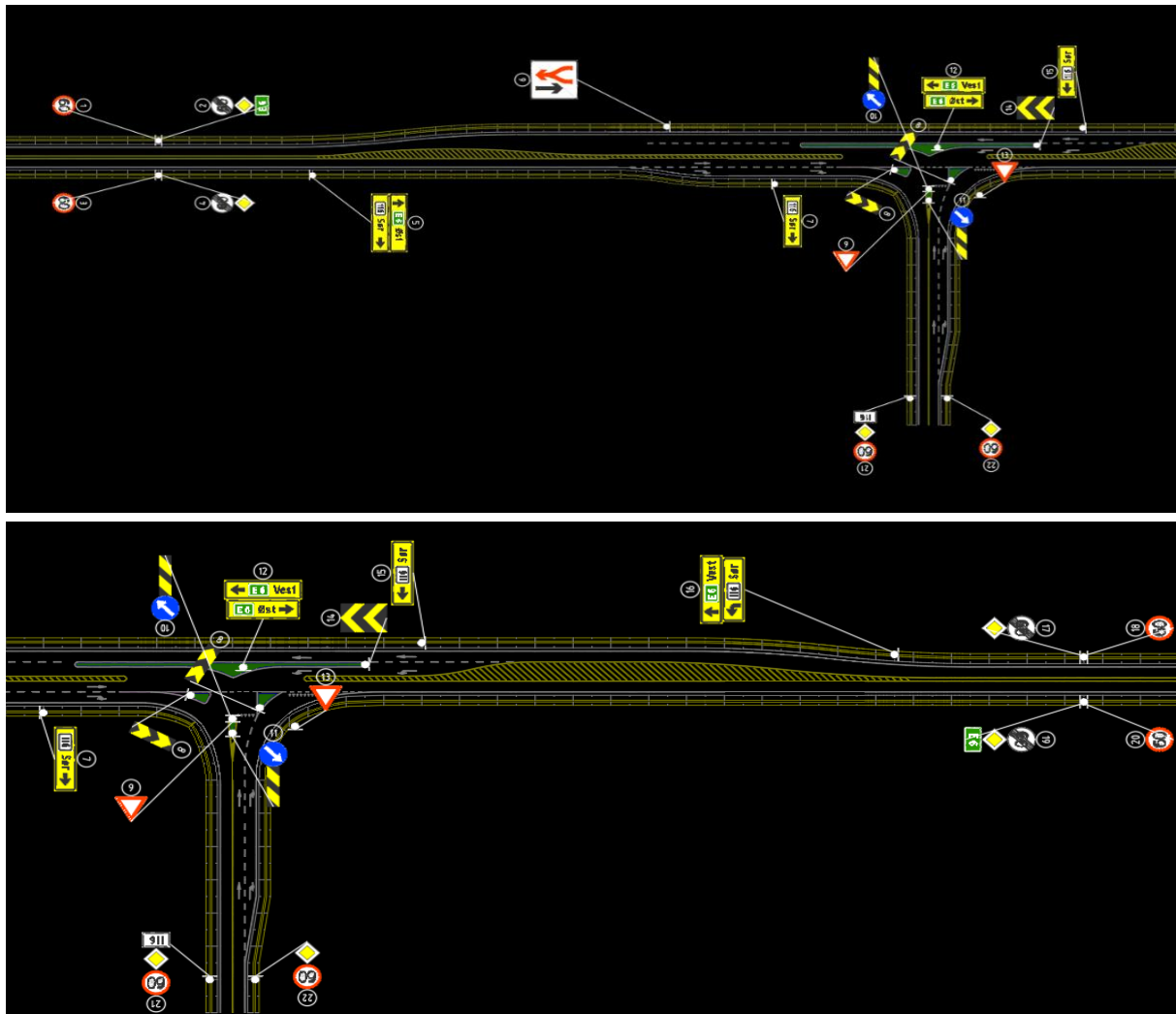
**Figur 6-12: Oppmerking oversikt CGT**

På detaljnivå ser vi at trekantøyene har hvit markering rundt og dråpeøya i sidevegen har gul merking som følger beskrivelser fra håndbok N302. Vi ser at den større trafikkøya på hovedvegen har hvit oppmerking da denne i realiteten kun skiller trafikk i samme retning. For sidevegen har vikelinjen blitt trukket tilbake for trafikk som svinger til venstre. Dette for å tilrettelegge for sporing av venstresvingende trafikk fra hovedvegen. Vikelinjen er dermed plassert så langt fremme som mulig uten å være til hinder for trafikken som svinger av hovedvegen for å tilrettelegge for best mulige siktforhold. Det at vikelinjene er forskjøvet resulterer dermed også i at trafikk som skal svinge høyre av sidevegen får bedre sikt enn ved en tradisjonell løsning, som et resultat av at det ikke vil være stasjonære kjøretøy i siktlinjen.



**Figur 6-13: Oppmerking detaljer CGT**

Skiltplanen for denne løsningen kan ses i Figur 6-14. Skiltingen for CGT er utformet svært likt som for et standard T-kryss, hovedforskjellen er fletteskiltet i forbindelse med flettingen etter venstresving. Ellers er det også noen markeringsskilter i forbindelse med trafikkøylene. Siden krysset tilsynelatende er svært likt et tradisjonelt T-kryss, er det ikke tenkt å benytte noen spesielle skilter i forbindelse med CGT-krysset.



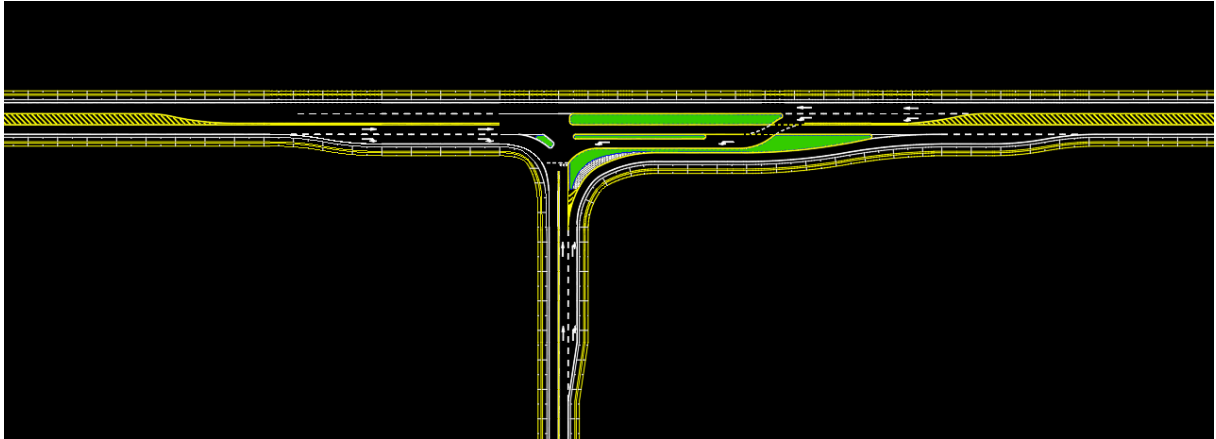
**Figur 6-14: Prinsippskisser skilting CGT**

En eventuell fotgjengerløsning for CGT-krysset vil ta utgangspunkt i et standard T-kryss, med mindre modifikasjoner. En slik løsning er relativt standardisert og det anses ikke som nødvendig å utbrodere ytterligere om en slik løsning. For vegger som vi ønsker å knytte med krysset våre er det ikke ønskelig å ha fotgjengere i vegbanen og overgang eller undergang vil nok en gang fremmes som den beste løsningen.

For syklister i dette krysset er det ikke antatt å være noe stort problem. Det er ingen ekstra distanse knyttet til svingebevegelsene her, og krysset er i praksis kun et litt større T-kryss. Det kan antas at det vil kunne oppstå noen konflikter senere i krysset når feltene fletter sammen siden syklister ikke vil klare å oppnå tilsvarende fart som trafikken ellers. Generelt anbefales det også her å benytte gang- og sykkelveg for myke trafikanter.

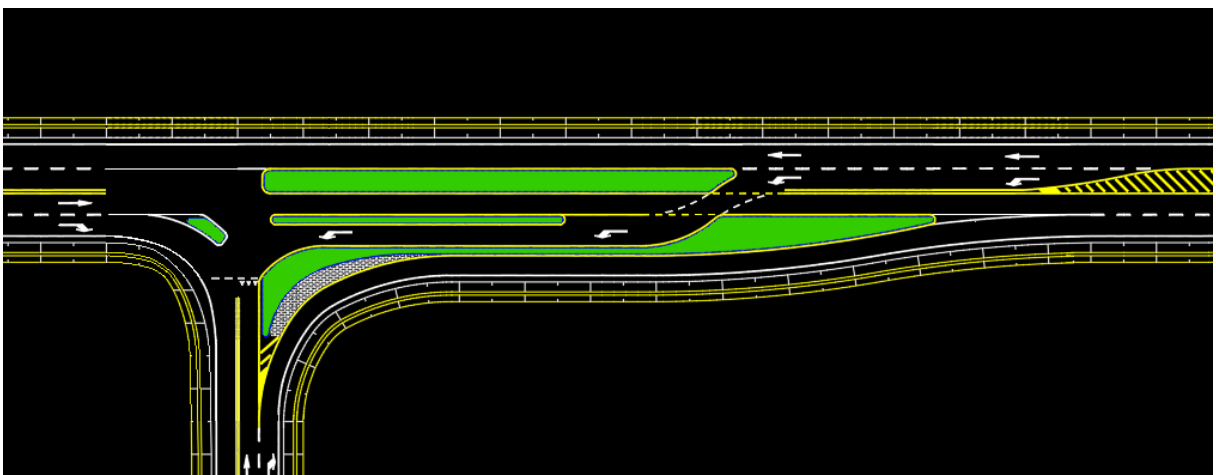
## 6.3 DLT

Vegmerkingen ble utført i all hovedsak etter krav fra håndbok N302, men på grunn av utformingen er flere elementer i krysset ubeskrivet og det er dermed blitt produsert et forslag til mulig oppmerking. Oversikt over oppmerkingen kan ses i Figur 6-15.



**Figur 6-15: Oppmerking oversikt DLT**

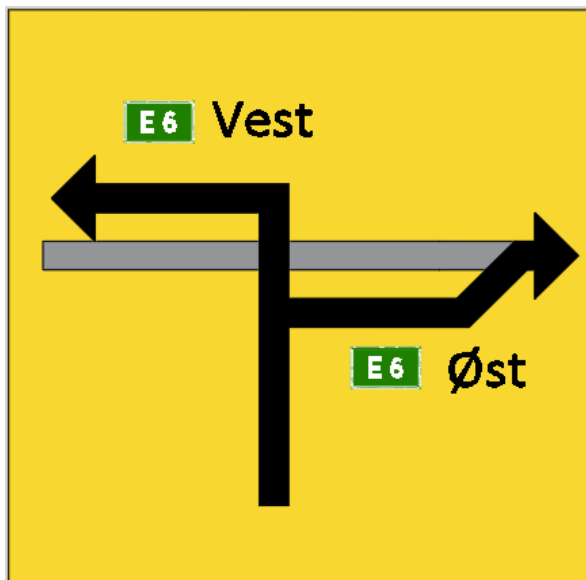
Gul vegoppmerking brukes for å skille motgående trafikk. I denne løsningen krysser trafikken som skal svinge inn på sidevegen venstre motgående felt og vil ha motgående trafikk på begge sider. Det er dermed valgt å bruke gul vegmerking for trafikkøylene som skiller feltene på østlig side av krysset. For trekantøy vest for krysset er det brukt hvit merking som normalt. Hvor trafikken på hovedvegen krysser er det valgt å bruke gul ledelinje for trafikken som skal rett frem og hvit ledelinje for trafikken som krysser over. Her ble det testet med å bruke gul merking for begge felt, men det ble bestemt at den hvite merkingen gjorde at det var enklere å skille bevegelsene og fremstod som en tryggere og mer oversiktlig måte å markere på. For vikelinjen på sidevegen måtte denne trekkes tilbake for å gi plass til venstresvingbevegelsen av hovedvegen. Vikelinjen ble tilpasset sporing fra hovedvegen og er lagt så langt frem som mulig for å opprettholde god sikt. Detaljoppmerking av kryssløsningen kan ses under i Figur 6-16.



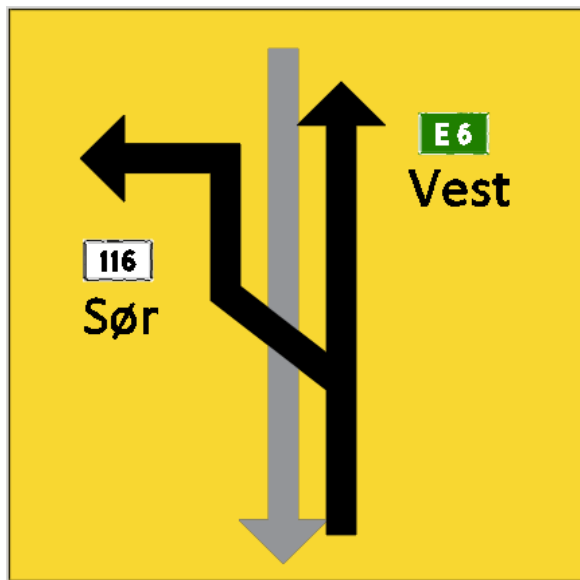
**Figur 6-16: Oppmerking detaljer DLT**

For DLT-krysset er det spesielt viktig med tydelig skilting, spesielt for å unngå at kjøretøy havner i feil kjørefelt. Tydeligheten gjelder spesielt for venstresvingbevegelsen fra hovedvegen. I forbindelse med dette er det på lik linje med RCUT-løsningene tenkt å benytte spesielle skilter i kryssarmene et lite stykke unna krysset for å forberede førerne

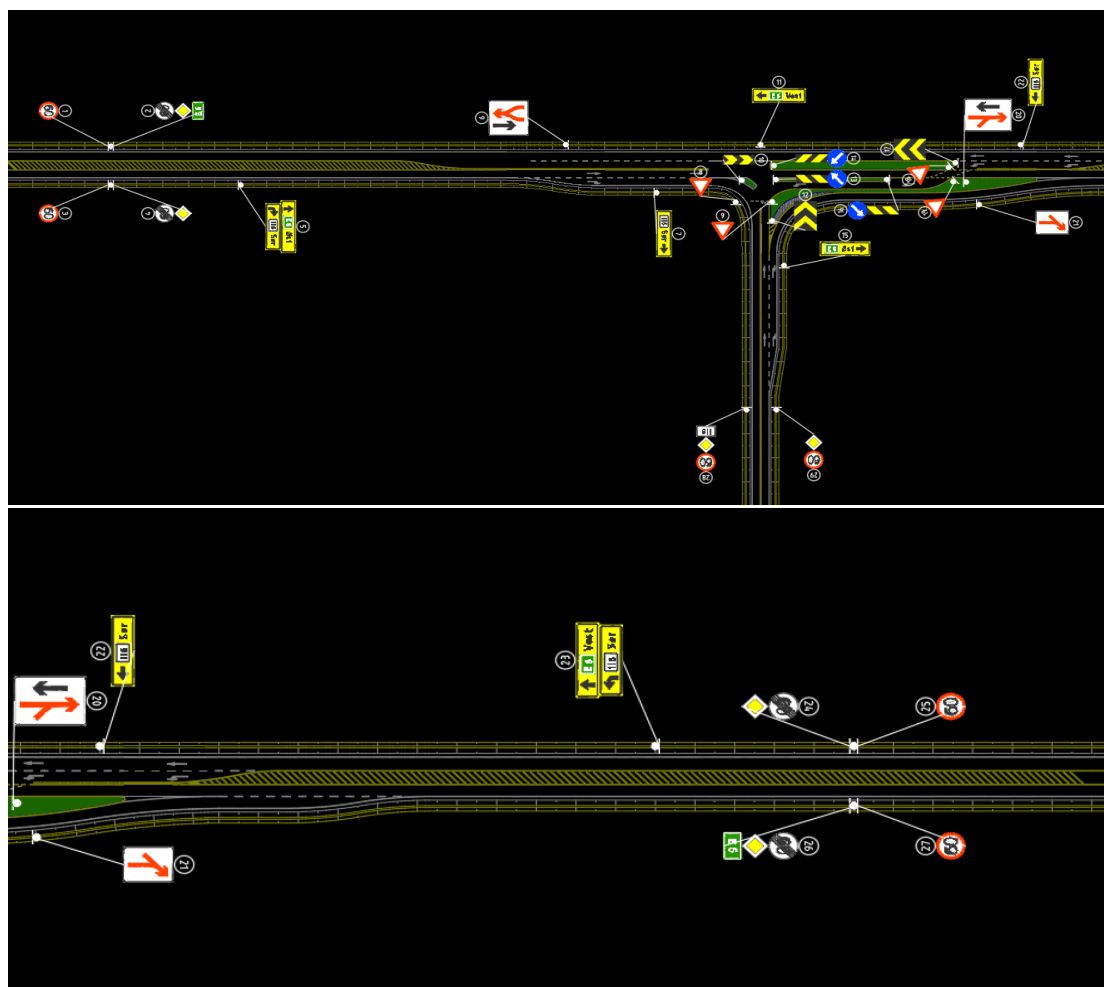
tidlig, se Figur 6-17 og Figur 6-18. Ellers er det meste av skilting i selve kryssområdet utformet likt som et tradisjonelt T-kryss og CGT-krysset vist i Figur 6-19.



Figur 6-17: Spesielt skilt DLT fra sør



Figur 6-18: Spesielt skilt DLT fra øst



Figur 6-19: Prinsippskisser skilting DLT



For DLT-krysset ble det også sett på som uaktuelt med fotgjengerkrysning i planet på grunn av at kompleksiteten til løsningen gjør at det ikke vil finnes en skikkelig god løsning for fotgjengerovergang. Det ønskes dermed å fremmes at det bygges overgang eller undergang for gående trafikk for denne løsningen. Hvis det ikke er aktuelt med planskilt løsning og det er vesentlig med fotgjengere på stedet anbefales en annen kryssutforming. Denne løsningen vil være utfordrende for bilfører og da ønskes det ikke å blande gående inn i trafikkbildet. Det vil igjen legges trykk på at alle kryssløsningene beskrevet er utformet for trafikkavvikling av større veger utenfor bebygd område og legger ikke i seg selv godt til rette for fotgjengere.

For syklist er det samme som for fotgjengere i dette krysset. Krysningsbildet er svært komplekst, og syklist vil kunne slite med å gjennomføre venstresving i krysset. Hastigheten til syklist er ikke tilsvarende med motoriserte kjøretøy og vil dermed være eksponert over lengre tid i krysset. Her anbefales det på lik linje med alle de andre kryssene å benytte en gang- og sykkelveg.

## 7 Trafikksikkerhetsvurdering

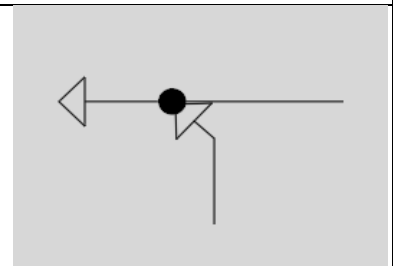
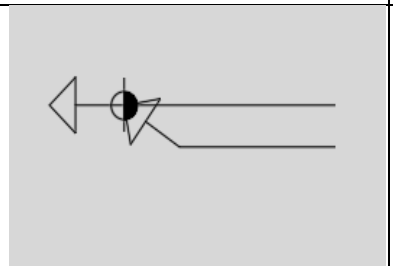
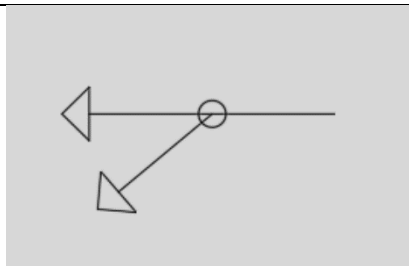
Kapittelet tar for seg en analyse av trafikksikkerhet i kryssene. Per i dag eksisterer det lite eller ingen konkret data fra Norge for RCUT-, CGT- og DLT-løsningene. Det finnes en del data fra USA, men siden trafikkregler og normer i andre land ikke er likt som i Norge vil ikke disse dataene være direkte sammenlignbare med Norge. En direkte sammenligning av trafikksikkerhet blir derfor ikke gjennomført, selv om antall konfliktpunkter blir sammenlignet. Analysen blir derfor i stor grad basert på antakelser og individuelle vurderinger i de ulike krysstypene. Hovedmålet med de nye kryssløsningene er å forenkle venstresvingbevegelsen fra sidevegen. Som forklart i kapittel 3.2.2 henger konfliktpunkter sterkt sammen med trafikkavvikling og trafikksikkerhet. Gjennomgående for alle de nye kryssløsningene forenkles bevegelsen ved å redusere antall konfliktpunkter og gjøre om konfliktpunkter til fletting istedenfor krysningpunkt. Samtidig flyttes enkelte av konfliktene lengre unna hverandre for å dele opp krysset i mindre seksjoner slik at fører ikke trenger å ta hensyn til alle konfliktene samtidig. DLT har i tillegg også forsøkt å forenkle venstresvingen fra primærveg til sekundærvegen. Kalkulering av antall konfliktpunkter vises i Tabell 7-1.

**Tabell 7-1: Konfliktpunkter for kryssløsningene**

Krysstype	Krysningpunkt	Fletting	Divergerende	Konfliktpunkter totalt
Standard T	6	0	3	9
Rundkjøring	3	0	3	6
DLT	4	2	3	9
CGT	5	1	3	9
RCUT Tradisjonell	4	0	3	7
RCUT Komprimert	4	0	3	7
RCUT Forkjøvet	3	1	3	7

Krysningpunkt er steder der de ulike trafikketningene er i direkte konflikt og en eventuell kollisjon vil skje med en uheldig vinkel. Fletting er også konfliktområder, men her er konfliktene mellom to parallelle kjørefelter. Fletting blir gjort ved gjensidig vikeplikt, og begge feltene vil samarbeide for å gjøre fletting mulig. Fletting begrenser kollisjonsvinklene til små vinkler forbundet med kollisjoner. Divergering er steder der kjøretningene splittes, altså hvor en bevegelse skifter til et retardasjons- eller venstresvingefelt og ikke lenger fortsetter i samme retning.

**Tabell 7-2: Krysningpunkt, fletting og divergering**

Krysningpunkt	Fletting	Divergerende
		

## 7.1 RCUT

### Tidligere forskning:

I denne oppgaven er det T-kryssversjonen av RCUT som blir undersøkt. Mesteparten av tidligere forskning baserer seg på X-kryssversjonen, hvor det blir sammenlignet med et standard X-kryss, vanligvis signalregulert. Krysstypen er i hovedsak kun implementert og dokumentert fra USA, hvor kryssene primært baserer seg på situasjoner med firfeltsveger på primærvegen. Likevel kan noen av vurderingene om trafikksikkerhet som er gjort også nevnes for T-kryssversjonen, selv om effekten gjerne er noe mindre.

Misha & Pulugurtha (2022) har i en rapport om trafikksikkerhet knyttet til signalregulerte og uregulerte RCUT-løsninger undersøkt 42 forskjellige RCUT-løsninger i både landlige og forstadsområder i USA. Av disse var de uregulerte løsningene stoppskilt regulert. Misha og viser til tidligere forskning av Inman & Haas (2012), Ott et al. (2012), og Edara et al. (2015) med funn om mulig reduksjon mellom 27-44%, men påstår selv en mulighet for høyere reduksjon. De fant generelt at RCUT-løsningen var effektiv på trafikksikkerhet i 41 av de 42 analyserte situasjonene. Hvor resultatet ble at man kan anta høyere enn 70% reduksjon av ulykker for minst 50% av tilfellene i landlige områder, med en marginalt lavere reduksjon for minst 50% av tilfellene i forstaden.

I X-kryss situasjoner reduserer RCUT-løsningen antall konfliktpunkter fra 32 til 18, i T-kryss situasjoner reduseres antallet fra ni til syv. Selv om dette er en betydelig reduksjon på 23% er det ikke i samme størrelsesorden som for X-kryss løsningen med 44% reduksjon i konfliktpunkter. Det er derfor rimelig å anta at reduksjonen i ulykker på et T-kryss er merkbart lavere enn i X-kryss. Som nevnt finnes det lite til ingen konkret forskning på trearmede RCUT-løsninger og effekten de har over tradisjonelle T-kryss.

### 7.1.1 RCUT Tradisjonell

Den tradisjonelle utformingen av RCUT-krysset er utformet uten innsnevring, og med en avrundet sving for venstresvingende av hovedvegen. Den avrundede utformingen av venstresvingen gjør at avkjørselen treffer hovedkryssområdet med omtrent 90 graders vinkel. Denne vinkelen er uheldig da kryssingen i ren praksis vil foretas mer eller mindre som et X-kryss. En avrunding på denne måten vil også gjøre det mulig å holde en høyere fart inn mot kryssområdet, som igjen vil påvirke fører til å godta mindre luker for å krysse. Samtidig er det heller ikke heldig å være vendt mot krysset i en stoppsituasjon, dersom man da blir påkjørt bakfra vil kjøretøyet kunne trille ut i kryssområdet og bli utsatt for en svært farlig situasjon.

Etter at man har gjennomført U-svingen og skal samhandle med hovedvegen blir man nødt til å se bakover til høyre. Dette er retningen hvor man som fører har minst synsvinkel utover og har størst dødsvinkel som kan gjøre det vanskelig å samhandle med trafikken på hovedvegen og kan ende i at føreren velger for små luker og det blir konflikter. Denne bevegelsen tas generelt med lav konfliktvinkel, og det antas at de fleste situasjonene vil bli knyttet til påkjørsel bakfra i forbindelse med akselerasjon etter U-svingen. Utfallet av en kollisjon antas derfor å ikke resultere i store skader.

### 7.1.2 RCUT Komprimert

Den komprimerte versjonen av RCUT-krysset er i hovedsak utformet for å være mindre enn den tradisjonelle løsningen for å tilpasses trange områder som er vanlig i norske forhold. Krysset er utformet ved å trekke sammen krysset mot hovedkryssområdet. Dette gjør at hovedkryssområdet blir seende mer ut som et tradisjonelt T-kryss. Siden

det ikke lengre er noen avrunding på kjørefeltet for å ta til venstre fra hovedvegen, åpner ikke løsningen for å holde like høy fart gjennom krysset. Det er fortsatt litt vinkel på venstresvingefeltet på hovedvegen mot krysset, noe som utgjør en fare for å ende opp i motgående kjørefelt ved påkjørsel bakfra. Problemene knyttet til U-svingen blir også her et relevant problem på samme måte som for den tradisjonelle utformingen.

### 7.1.3 RCUT Forskjøvet

Løsningen undersøkte resultatet av å flytte snubevegelsen lengre fra krysset. Det fører til bedre tid mellom konfliktpunktene, i tillegg til muligheten for snubevegelsen på et sted med bedre plass, dersom hovedkrysset befinner seg i et trangt område. Snuområdet i tilfellet er utformet med eget akselerasjonsfelt som fører til at konflikten blir omgjort til fletting med lik hastighet, som er optimalt for trafiksikkerheten. Et slikt akselerasjonsfelt har ikke vært mulig i de andre kryssområdene på grunn av avstand til venstresvingefeltet på primærvegen. Denne løsningen reduserer på lik linje med de andre løsningene konfliktpunktene fra 9 til 7, men omgjør også et krysningspunkt til fletting, som er bedre for trafiksikkerhet.

Hovedkryssområdet er utformet som et T-kryss hvor det ikke er mulig å svinge til venstre fra sidevegen. Her er det ingen vinkel mellom venstresvingefeltet på hovedvegen og motgående kjørefelt, som reduserer risikoen for å ende opp i motgående kjørefelt ved påkjørsel bakfra.

## 7.2 CGT

### Tidligere forskning:

CGT-krysset er i stor grad utformet som et standard T-kryss, med modifikasjoner i hovedsak for å forbedre trafikkflyten. For venstresvingende fra sidevegen er kryssingssituasjonen gjennom krysset mye den samme. Den eneste forskjellen er at man slipper å ta hensyn til trafikk på hovedvegen som kommer fra høyre, og fører til at det er enklere å finne en luke man kan benytte. Trafiksikkerhetsmessig er det dermed kun hovedstrømmen fra høyre som ikke lengre er en umiddelbar fare. Denne konflikten flyttes lengre bort fra krysset og gjennomføres som en flettebevegelse. Ellers er de andre kjøreretningene på lik linje med et standard T-kryss.

CGT-krysset er slik som RCUT i hovedsak også forsket mest på i USA, kryssene er da utformet med lyskryss hvor det ene feltet på hovedvegen konstant har grønt lys, derav «Continuous green T». I tillegg er de også basert på fire felter på hovedvegen. Den norske versjonen baserer seg på vikeplikts regulering av både CGT-løsningen og sammenligningsgrunnlaget standard T-kryss, med tofeltsveger. Forskingen fra USA blir derfor ikke direkte sammenlignbar med norske forhold, men vil likevel gi en oversikt. Donnell et al. (2019) har undersøkt 30 CGT-løsninger i Florida og 16 i South Carolina mot 38 og 21 signaliserte T-kryss respektivt. Her fant de at CGT-løsningen har en marginal forbedring på trafiksikkerhet, og konkluderer derfor med at CGT-løsningen ikke har en statistisk signifikant forbedring på trafiksikkerhet over standard signaliserte T-kryss. Det er nyttig å påpeke med tanke på effekten av et slikt kryss i norske forhold at det generelt er færre konflikter ved signalregulering. Ved vikepliktsregulering er det førerne selv som vurderer om lukene er tilstrekkelig, og spesielt i situasjoner med høy trafikk vil det være flere førere som tar flere valg, som skaper en høyere sannsynlighet for ulykker. Det er derfor trolig at trafiksikkerhetsmessige tiltak vil ha høyere effekt ved vikepliktsregulering enn ved signalregulering på grunn av at sannsynligheten for ulykke i utgangspunktet er høyere.



svingebevegelsene samtidig. Dette skaper en situasjon førerne ikke er vant til, og slik forvirring kan føre til trafikkfarlige situasjoner.

Tidligere studier fra USA dreier seg på lik linje med RCUT også hovedsakelig om situasjoner med X-kryss. De påpeker at antallet konfliktpunkter kan reduseres fra 32 til 28 eller 30 basert på om alle armene har DLT-modifikasjon eller om bare to har det. Noen tidlige studier om trafiksikkerhet i DLT-kryss antar med bakgrunn i antall konfliktpunkter og en enkel «før – etter» studie at man kan redusere antall kollisjoner med alt mellom 12 – 25% (Carter, 2007; Zlatkovic, 2015). Disse tidlige «før – etter» studiene er basert på en lav tidshorison i tillegg et lavt antall kryss og gir derfor en høy usikkerhet. En annen studie fra Park og Rakha (2010) analyserte sikkerheten i DLT-krysset ved å studere videoer fra to ulike DLT-kryss i Utah og Louisiana. De så flere førere gjennomføre farlige manøvre, men så en samlet reduksjon i konflikter på 50%. Park og Rakha antok også at de farlige manøvrene var et resultat av at kryssutformingen var ukjent for førerne og forventer at det vil forbedre seg når førerne blir kjent med krysset.

En senere studie fra Abdelrahman et al. (2020) har gjennomført en større analyse av DLT-krysset og fant at krysset utgjør en negativ effekt på trafiksikkerheten sammenlignet med signalregulerte X-kryss. De fant en økning på 11% for totalt antall kollisjoner, med en økning på 22% for ulykker med sterkt skadde. Også her blir det poengtert at noe av økningen kan skyldes forvirring blant førerne. Likevel viser de også til en sterk reduksjon i antallet ulykker for myke trafikanter, og antar at det har en bakgrunn i at venstresvingbevegelsen fra hovedvegen ikke lengre blir gjennomført i hovedkrysset.

### **Vurderinger om trafiksikkerhet.**

DLT-krysset er utformet med eget venstresvingefelt fra hovedvegen, og et eget felt for høyresving fra sidevegen i tillegg til det gjennomgående feltet fra hovedvegen. Utformingen av krysset gjør at venstresvingende trafikk fra sidevegen er nødt til å krysse 3 felter. Noe som resulterer i en ganske lang kryssende bevegelse, som igjen gjør at man trenger større luker som er vanskeligere å beregne.

Kanskje den største bemerkingen i henhold til trafiksikkerhet i DLT-krysset gjelder venstresvingbevegelsen for trafikk som kommer fra øst på hovedvegen. Disse krysser tidlig motgående kjørefelt i en egen liten kryssløsning. Denne kryssningen blir gjennomført med en høy vinkel, men åpner likevel for muligheten for å kjøre inn i feil kjørefelt som vil resultere i en svært farlig trafiksituasjon. Gjennomgående i kryssløsningen benyttes det fysiske trafikkøyer som vil redusere sannsynligheten for slik feilkjøring da fysiske trafikkøyer er mer ledende og begrensende. Samtidig holder fysiske trafikkøyer hastigheten gjennom krysset noe lavere.

Den lille «trekant-øyen» i krysset er sterkt begrensende for sporing gjennom krysset, men sørger for at høyresvingende trafikk fra hovedvegen ikke har mulighet til å kjøre rett frem og ende opp i feltet for venstresvingende trafikk fra hovedvegen.

Høyresvingende fra sidevegen er ikke i konflikt med noen før flettebevegelsen, og har lang avstand på å oppnå korrekt hastighet. Gjennomgående trafikk på hovedvegen fra øst til vest er heller ikke i konflikt med noen andre bortsett fra i flettebevegelsen etter krysset. Denne delen av krysset minner veldig om CGT-løsningen.

Trafikkøyer i seg selv innebærer en viss påkjørselsfare, noe denne kryssløsningen har svært mange av. Flere av feltene er preget av trafikkøy på begge sider av kjørefeltet. Trafikkøyene i seg selv bringer en påkjørselsfare dersom man ikke treffer korrekt mellom de to trafikkøyene. DLT-krysset reduserer ikke antallet konfliktpunkter totalt, men omgjør to av krysningpunktene til fletting.

## 8 AIMSUN

Aimsun er et godt trafikksimuleringsverktøy, men er ikke et nøyaktig modelleringsverktøy med tanke på utforming av vegnettet. Kryssene blir modellert opp så nøyaktig som mulig, men noen avvik må regnes med. Avvikene vil i hovedsak være knyttet til lengder på kanaliseringen. Det regnes med at noen meter avvik fra detaljtegningene ikke vil ha stor innvirkning på simuleringene. Nøyaktig utforming av kryssene er forklart og vist i kapittel 5, og så godt som mulig etterlignet i Aimsun.

Standard T-kryss og rundkjøring er benyttet som sammenligningsgrunnlag for resultatene. Det ble testet med flere forhåndsbestemte trafikkmengder for gjennomkjørende trafikk på primærvegen, og deretter testet ulike trafikkmengder for svingebevegelsene for å finne tålegrensen til krysset. Denne fremgangsmåten er fulgt for samtlige kryssløsninger. De fastsatte trafikkmengdene for gjennomkjøringstrafikken som ble testet er vist i Tabell 8-1. Trafikkmengdene både for gjennomkjørende trafikk og svingebevegelsene ble valgt å benytte symmetrisk i simuleringene. For å finne tålegrensen ved de ulike trafikkmengdene ble verdien forsinkelse undersøkt. Øvrig grense for gjennomsnittlig forsinkelse er satt til 1 minutt, som forklart tidligere resulterer i LOS F. Det er i all hovedsak trafikken på sekundærvegen som får lengst forsinkelse med grunnlag i prioriteringen til bevegelsene. Derfor er det kjørefeltet i sidevegen som svinger til venstre som blir dimensjonerende (høyre for RCUT), og forsinkelsen ved dette feltet vurderes.

**Tabell 8-1: Gjennomgående trafikk primærveg**

Trafikkmengde primærveg (kjt/t)
300
500
700
900
1200

Rundkjøring er valgt å bruke som sammenligningsgrunnlag sammen med standard T-kryss på bakgrunn av at rundkjøringen er blitt en svært vanlig kryssløsning i Norge. Det er fra tidligere kjent at rundkjøringer i hovedsak er mest effektive ved lik trafikk fra alle retninger, og kan derfor tenkes at ikke kommer til å være like effektiv ved høy gjennomgangstrafikk. Sammenligningen med rundkjøring vil likevel gi et bedre innblikk i hvor gode de nye krysstypene er.

For å gjøre resultatene så sammenlignbare som mulig mellom alle kryssløsningene er det forsøkt å gjøre alle elementer, som ikke direkte har med utformingen av krysset å gjøre, så like som mulig. De totale lengdene på kryssarmene er derfor like slik at tidsbruk og kjørelengde blir sammenlignbare.

### 8.1 Replikasjoner

Alle simuleringene utgir en viss usikkerhet da de baserer seg på flere tilfeldige variabler. En simulering kan sees på som å registrere trafikk på en veg i løpet av en dag. For å



beregne antallet nødvendige replikasjoner for å få et godt resultat blir følgende formel brukt (Aakre, 2022e):

$$X \pm d$$
$$d = \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$$

hvor s er standardavviket, n er antall replikasjoner og t er «t-value». Denne formelen løses ved iterasjon og er ganske komplisert. Formelen er ikke direkte brukt i denne oppgaven, da det krever utregning for hver eneste simulering som blir gjort. Utregningen ble ansett som for tidkrevende for denne typen oppgave. For enkelhets skyld er det på bakgrunn av noen forsøk med denne formelen bestemt å benytte 10 replikasjoner for alle simuleringene som ble ansett som tilstrekkelig.

## 8.2 Rundkjøring

Det finnes enkelte problemer knyttet til rundkjøring i Aimsun som kommer av at rundkjøringen som helhet ikke er definert som en rundkjøring, men alle lenkene er heller definert som envegskjørte veier med kryss. Dette medfører et problem knyttet til vikepliktsmodellen i Aimsun. Det ble først testet med to gjennomgående felter i rundkjøringen, men det medførte problemer knyttet til at førerne ikke konsekvent la seg i riktig felt gjennom rundkjøringen. Det ville muligens vært et mindre problem ved firearmede rundkjøringer, men det viste seg å være et større problem i trearmede rundkjøringer. Det ble derfor valgt å benytte ett felt gjennomgående i rundkjøringen slik som forklart i kapittel 5.2.

## 8.3 Norsk template

Statens vegvesen i samarbeid med Asplan Viak, og underleverandørene COWI og NTNU har utarbeidet en veileder for bruk av Aimsun trafikkmodeller i Norge (Persson et al., 2019). Malen er utarbeidet for å gi simuleringene et mer realistisk resultat for norske forhold. I veilederen er forhold som kjøretøytyper, reaksjonstid, vegtyper, standardverdier, verifisering, kalibrering m.m. omfattet. Sammen med veilederen er det også utarbeidet en mal-fil for Aimsun. Filen endrer alle disse standardverdiene i Aimsun til det som er utarbeidet i veilederen. Denne mal-filen er benyttet i simuleringene i denne oppgaven.

For å skille de to vegtypene på primærvegen og sekundærvegen fra hverandre er det blitt benyttet to ulike vegtyper i Aimsun. Primærvegen er benyttet som «Primær hovedveg» med endring til fartsgrense 60 km/t og vegbredde 3,25 m. Sekundærvegen er benyttet som «Samleveg» med endring til fartsgrense 60 km/t. I realiteten er det ikke tenkt at det skal være svært stor forskjell på disse vegene og hvordan trafikken oppfører seg. Standard i Aimsunmodellene er vikepliktsmodellen for «Samleveg» svært konservativ kontra «Primær hovedveg», ved at «Look-Ahead Distance», «Critical Look-Ahead Distance», «Visibility to yield» og «Visibility along main stream» er satt svært mye lavere. Siden tanken er at disse skal være ganske like er det blitt endret slik at de to vegtypene er identiske bortsett fra vegbredde og kapasitet.

## 9 Resultater fra trafikksimulering

Gjennom analysen av trafikkapasiteten og forsinkelse i kryssene, er *reisetid* og *forsinkelse* parameterne som er benyttet. Det er i hovedsak subpath-resultatene som er tatt hensyn til, da det isolerer de ulike svingebevegelesene. Forsinkelse vil være direkte sammenlignbart, mens reisetid vil avhenge av subpath-distansen. Siden kryssarmene er utformet så lange og like som mulig, vil subpath-distansen være tilnærmet lik for alle kryssene. Ekstra distanse knyttet til subpathen er derfor et resultat av ekstra kjørelengde knyttet til kryssutformingen.

For å vurdere maksimal kapasitet for de ulike kryssene er forsinkelsen knyttet til de to venstresvingebevegelesene undersøkt. Forsinkelse i Aimsun tar ikke hensyn til distansen som blir kjørt, men kun opplevd forsinkelse på strekningen. Aimsun forventer at reisen vil ta en gitt tid, og all ekstra tid knyttet til reisen vil da bli beregnet som forsinkelse. Som forklart i kapittel 3.3.1, oppnår krysset LOS F når forsinkelsen for en svingebevegelse overstiger 60 sekunder. Dette ble derfor brukt som grunnlag i undersøkelsene. I Tabell 9-1 ser man maksimale trafikkmengder for svingebevegelesene ved gitte trafikkmengder for gjennomkjørende trafikk. Tabell 9-2, Tabell 9-3 og Figur 9-1 viser et eksempel på trafikkmengdene hentet fra Tabell 9-1, og viser hvordan OD-matrisene er bygd opp symmetrisk. Det vises tydelig at det er RCUT-løsningene som slår best ut ved lav trafikkmengde på primærvegen. Videre er det DLT som gjennomgående er i toppsjiktet i forhold til de andre kryssene. Både CGT og RCUT forskjøvet oppnår også gode verdier for de fleste trafikkmengdene, men det er DLT som har en klart overlegen avvikling ved høy trafikkmengdene på primærvegen.

**Tabell 9-1: Maksimal trafikkmengde før en svingebevegelse oppnår LOS F**

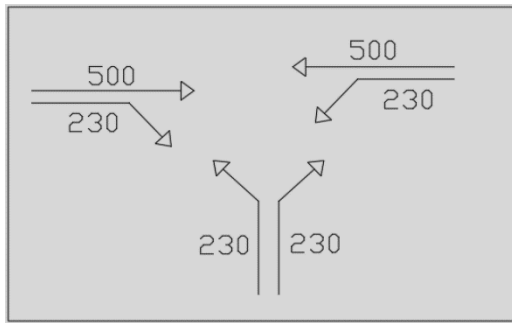
Maksimal trafikkmengde før en svingebevegelse oppnår LOS F (kjt/t)							
Gjennomgående	Standard T	Rundkjøring	DLT	CGT	RCUT Tradisjonell	RCUT Komprimert	RCUT Forskjøvet
300	300	320	400	360	410	410	450
500	230	230	370	300	300	300	335
700	170	170	325	250	250	220	250
900	115	115	190	210	160	160	185
1200	60	10	200	130	72	72	110

**Tabell 9-2: Eksempel på matrise fra trafikkmengde fra Tabell 9-1**

[kjt/t]	Øst	Vest	Sør	Total
Øst		500	230	730
Vest	500		230	730
Sør	230	230		460
Total	730	730	460	1920

**Tabell 9-3: Oppbygging av matrise fra Tabell 9-2**

Trafikk	Øst	Vest	Sør
Øst		Gjennomgående	Svingebevegelse
Vest	Gjennomgående		Svingebevegelse
Sør	Svingebevegelse	Svingebevegelse	



**Figur 9-1: Visualisering av matrise fra Tabell 9-2, enhet er [kjt/t]**

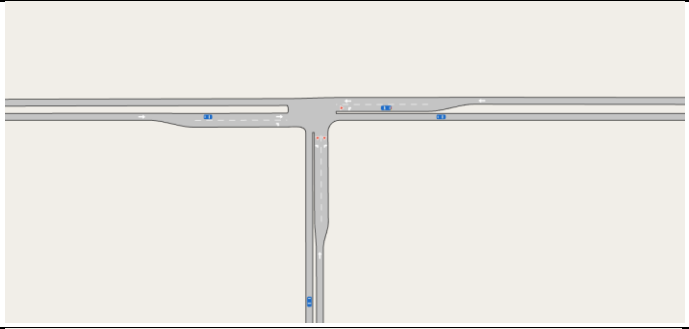
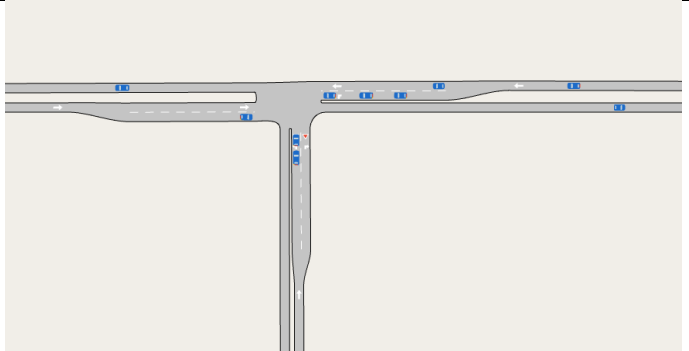
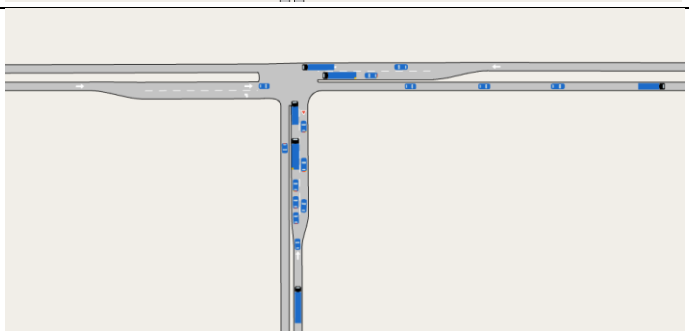
En annen betraktning som må gjøres i forbindelse med disse resultatene er lengden på venstresvingbevegelsen. Standard T, DLT og CGT har ingen betydelig ekstra avstand knyttet til bevegelsen. RCUT-kryssene får derimot en del lengre avstand siden venstresvingbevegelsen her inkluderer å kjøre et stykke til høyre før man snur mot venstre. Vi ser at ved de to mindre RCUT-løsningene er det rett i overkant av 250 meter ekstra distanse som medfører omtrent 16-17 sekunder ekstra reisetid. RCUT-løsningen hvor snubevegelsen er flyttet lengre bort, er det i dette tilfellet en ekstra avstand på 1800 meter, som utgjør over 100 sekunder ekstra tid. Grunnen til at det er benyttet så lang avstand i eksempelet er for å vise effekten av å flytte snubevegelsen langt unna. Plasseringen av snubevegelsen vil i reelle prosjekter være basert på hvor det er best plass og området rundt krysset.

**Tabell 9-4: Ekstra distanse og tid knyttet til venstresvingbevegelsen**

Ekstra distanse knyttet til venstresvingbevegelsen (m)						
Standard T	Rundkjøring	DLT	CGT	RCUT Tradisjonell	RCUT Komprimert	RCUT Forskjøvet
0	60	0	0	270	290	1800
Tidsbruk ved 60 km/t (sek)						
0,0	3,6	0,0	0,0	16,2	17,4	108,0

For å illustrere påvirkningen ekstra distanse har på den generelle reisetiden gjennom krysset ved ulike trafikkmengder er det også valgt å simulere tre trafikkmengder som representerer lav, middels og høy trafikkmengde. De ulike trafikkmengdene er valgt for å representere de ulike tidene på døgnet og vises i Tabell 9-5.

**Tabell 9-5: Forklaring av trafikkmengdene lav, middels og høy**

Belastningsgrad	Trafikkforhold
<p><b>Lav (10% av Høy)</b>                      Trafikken flyter nærmest uforstyrret og svært få kjøretøy er nødt til å vike for annen trafikk. Trafikkmengden er tenkt til å samsvare med trafikk på senkveld eller nattestid.</p>	
<p><b>Middels (50% av Høy)</b>                      Trafikken flyter greit. Tilfeller med mindre kødannelse oppstår, men vil raskt avvikles igjen.</p>	
<p><b>Høy</b>                      Trafikken på primærvegen flyter fortsatt bra, men sekundærvegen risikerer å bli kraftig påvirket. Situasjoner med svært lang kø oppstår.</p>	

Lav trafikkmengde er antatt å være noe høyere enn hva reell trafikk på nattestid ofte vil være, men vil muligens representere generell lavtrafikk om kvelden på en bedre måte. Under i Tabell 9-6, Tabell 9-7 og Tabell 9-8 vises matrisene som beskriver trafikkmengden i de ulike retningene.

**Tabell 9-6: Matrise for Lav trafikkmengde**

Lav (kjt/t)	Øst	Vest	Sør	Total
Øst		70	20	90
Vest	70		20	90
Sør	20	20		40
Total	90	90	40	220

**Tabell 9-7: Matrise for Middels trafikkmengde**

Middels (kjt/t)	Øst	Vest	Sør	Total
Øst		350	100	450
Vest	350		100	450
Sør	100	100		200
Total	450	450	200	1100

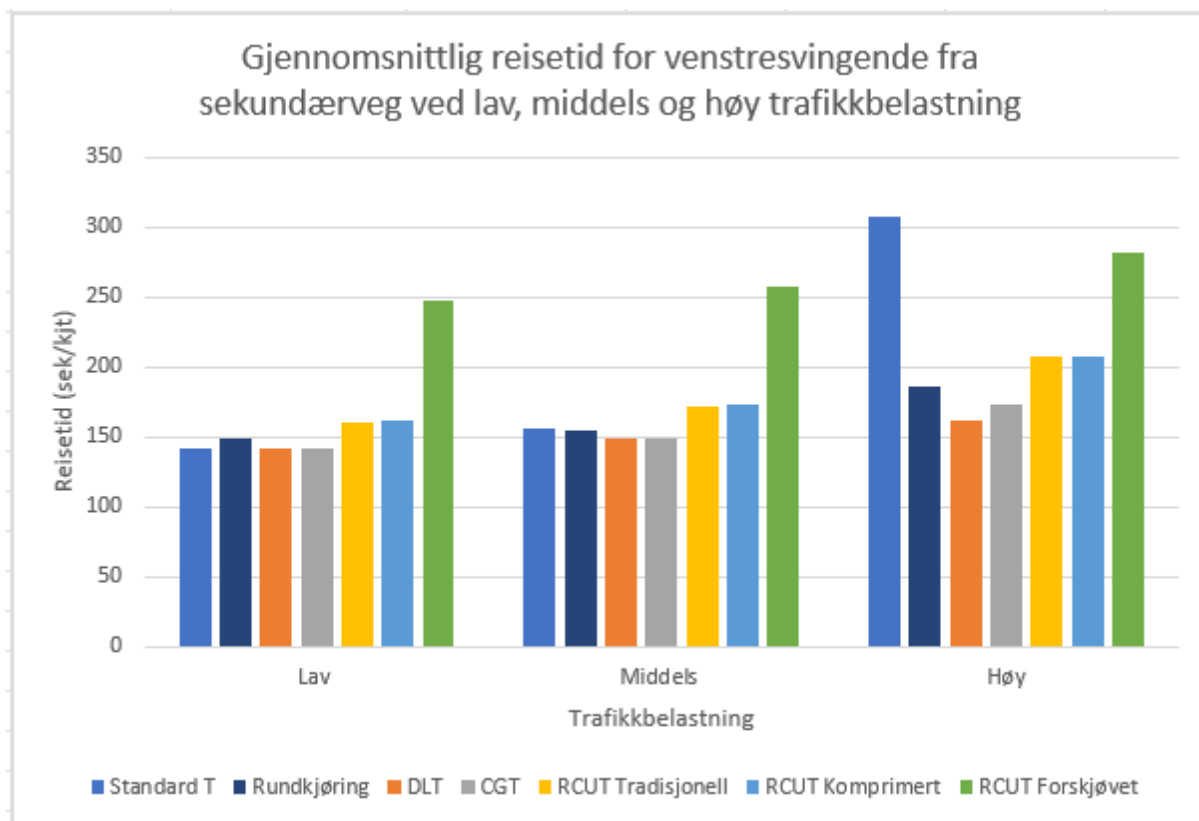
**Tabell 9-8: Matrise for Høy trafikkmengde**

Høy (kjt/t)	Øst	Vest	Sør	Total
Øst		700	200	900
Vest	700		200	900
Sør	200	200		400
Total	900	900	400	2200

Ved lav og middels trafikkmengde ser man fra Tabell 9-9 og Figur 9-2 at kryssene uten ekstra distanse knyttet til venstresvingbevegelsen er de som har kortest reisetid. Ved høy trafikkmengde blir det svært mye kø på standard T-kryss som medfører lang forsinkelse og derfor også høy reisetid. Standard T-kryss er derfor løsningen som har lengst reisetid ved høy trafikkmengde. Rundkjøring får også en del mer forsinkelse, men håndterer trafikken bedre enn standard T-kryss. Rundkjøring ender også i noen tilfeller opp med å påføre tilfartene på primærvegen kø i tillegg til sekundærvegen. Spesielt vil tilfarten fra øst oppleve dette, siden venstresvingende fra sekundærvegen vil få prioritet over denne tilfarten. DLT og CGT blir ikke påvirket like mye og holder derfor reisetiden til et lavt nivå. Den generelle økningen av reisetid for RCUT-løsningene er heller ikke like høye som for standard T og rundkjøring, men den ekstra distansen i tillegg til noe mer forsinkelse gjør at kryssene ikke kommer stort bedre ut enn rundkjøring. Likevel holder RCUT-løsningene forsinkelsen på primærvegen til et minimum siden svingebevegelsene får gjennomgående lavere prioritet, i motsetning til rundkjøring.

**Tabell 9-9: Reisetid for venstresvingende fra sekundærvegen**

Kryssløsning	Kjørelengde (m)	Reisetid for venstresvingende (sek)		
		Lav	Middels	Høy
Standart T	2300	143	156	308
Rundkjøring	2350	149	155	186
DLT	2300	142	149	162
CGT	2300	142	149	174
RCUT Tradisjonell	2575	160	171	208
RCUT Komprimert	2575	163	173	208
RCUT Forskjøvet	4100	247	257	281



**Figur 9-2: Gjennomsnittlig reisetid for venstresvingende fra sekundærveg**

Det er også undersøkt forsinkelse på hovedvegen som et resultat av forstyrrelser fra de andre bevegelsene og trafikkmengden. Tabell 9-10 viser at den gjennomsnittlige forsinkelsen for venstresvingende fra primærvegen er svært lav for alle trafikkmengdene og også tilsvarende for alle krysstypene. Rundkjøring øker noe mer enn de andre krysstypene, og det er også observert fra simuleringene at rundkjøringen har en tendens til å påføre kø spesielt på østlig kryssarm. Dette gjelder i hovedsak ved mye trafikk fra sidevegen og mindre trafikk på hovedvegen. Ellers er det ingen av de andre kryssene som ofrer flyten på primærvegen for å forbedre flyten på sekundærvegen.

**Tabell 9-10: Forsinkelse knyttet til venstresving fra primærvegen**

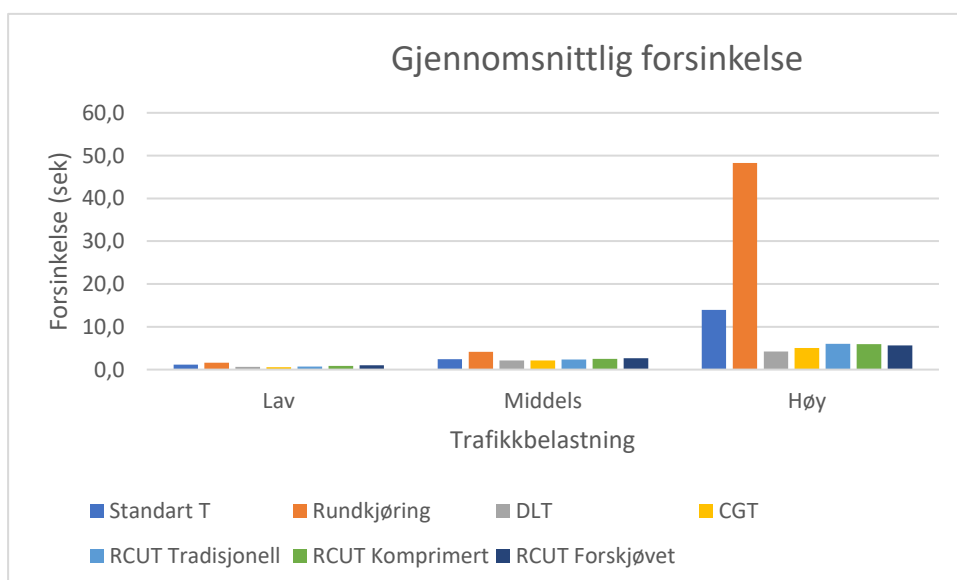
Kryssløsning	Forsinkelse for venstresvingende på primærveg (sek)		
	Lav	Middels	Høy
Standart T	1	5	16
Rundkjøring	1	5	27
DLT	2	7	16
CGT	0	3	13
RCUT Tradisjonell	0	4	14
RCUT Komprimert	2	6	16
RCUT Forskjøvet	2	6	16

Tabell 9-11 og Figur 9-3 viser gjennomsnittlig forsinkelse i hele systemet for de ulike trafikkmengdene. Forsinkelse på denne måten tar som tidligere nevnt ikke hensyn til at kjørelengden blir lengre. En ser at ved lav trafikkmengde er det omtrent lik forsinkelse for alle kryssene. Ved middels trafikkmengde er det også ganske likt, men rundkjøringen får noe lengre forsinkelse. Ved høy trafikkmengde får rundkjøring en svært høy

forsinkelse, dette er fordi rundkjøringen fordeler forsinkelsen utover alle kryssarmene. Det er også som nevnt østlig kryssarm som får lavest prioritet noe som fører til mer kø i denne kryssarmen. Trafikken herfra er mye høyere enn trafikken fra sekundærvegen, og forsinkelse fra denne retningen vil derfor ha mye større utslag på den generelle forsinkelsen for hele krysset. Standard T-kryss får også høyere forsinkelse ved høy trafikkmengde. Den økte forsinkelsen kommer av at løsningen ikke klarer å ta unna trafikken like godt som de andre kryssløsningene som resulterer i at forsinkelsen øker hurtigere for denne løsningen.

**Tabell 9-11: Gjennomsnittlig forsinkelse for trafikk i hele systemet**

Kryssløsning	Gjennomsnittlig forsinkelse (sek)		
	Lav	Middels	Høy
Standart T	1,2	2,4	13,9
Rundkjøring	1,6	4,2	48,3
DLT	0,6	2,1	4,2
CGT	0,5	2,2	5,0
RCUT Tradisjonell	0,7	2,4	6,0
RCUT Komprimert	0,8	2,5	5,9
RCUT Forskjøvet	1,0	2,6	5,7



**Figur 9-3: Gjennomsnittlig forsinkelse for trafikk i hele systemet**

## 10 Diskusjon

I dette kapittelet vil det bli gjennomført en diskusjon av resultater funnet gjennom simuleringer og tidligere forskning. Herunder vil forskningsspørsmålene bli undersøkt og diskutert rundt. Av denne grunn har vi sett det som hensiktsmessig å dele opp kapittelet ut ifra forskningsspørsmålene slik at disse besvares sekvensielt. I tillegg vil det bli diskutert rundt innvirkningen av noen feilkilder og kommentarer knyttet til resultatene fra forrige kapittel.

### 10.1 Forskningsspørsmål 1

#### **Hvordan kan vegkryssene som er presentert tilpasses til norske forhold og regelverk for best mulig trafikkflyt?**

I den innledende fasen av oppgaven ble det undersøkt hvilke endringer det var mulig å gjøre med kryssløsningene for å tilpasse de bedre til norske forhold. Det ble raskt klart at CGT- og DLT-løsningen ikke var åpen for store endringer. CGT er et naturlig T-kryss og den eneste endringen som ble gjort her var å gjøre om hovedvegen fra fire felt til to og regulere krysset med vikeplikts- kontra lysregulering. Dette er også metoden for tilpasning som er gjort for de ulike CGT-kryssene som allerede er implementert i Norge, og det antas derfor at det er begrenset potensial for ytterligere forbedringer av krysset som helhet. Et resultat av de små geometriske endringene er at venstresvingbevegelsen fra sidevegen blir definert som en andreordens svingebevegelse i stedet for tredjeordens, og trenger da å vike for en mindre bevegelse som gir mindre forsinkelse.

DLT-krysset har fra USA opprinnelig vært utformet som et X-kryss. Det ble derfor i denne oppgaven endret til å være et T-kryss, samt å endre fra fire til to felter og vikepliktsregulere krysset. Etter at det som var overflødig ble fjernet, var det ikke mange endringer som var mulig å gjøre uten å ødelegge hele konseptet med krysset. En tanke som ble vurdert var å fjerne påkjøringsfeltet for høyresvingende fra sidevegen, slik at høyresvingebevegelsen ble gjort slik som i et vanlig T-kryss. Imidlertid viste det seg å være utfordrende, da svingen ble svært skarp som følge av at venstresvingende trafikk fra primærvegen befinner seg på innsiden av feltet. En slik endring ville gjøre krysset betydelig mer komplisert og i praksis vanskelig for større kjøretøy.

CGT-løsningen er et av de mest arealeffektive forslagene, den direkte utførelsen av bevegelsene uten behov for omkjøring gjør den svært fleksibel, noe som gjør at den kan anbefales ved varierende mengde trafikk. Det at løsningen er relativt lik et standard T-kryss, men med vesentlig bedre trafikkavvikling, mener vi er grunnlag for å virkelig ta i bruk denne løsningen i storskala. Det er forståelse for at det ikke bare er å implementere RCUT- og DLT-kryss uten videre studier og forskning, men endringene fra standard T-kryss til CGT er av en størrelsesorden som gjør det mulig å utvide mengden slike kryss i landet.

RCUT-løsningen ble sett på som kryssløsningen det var lettere å gjøre endringer og norske tilpasninger på. Også dette krysset startet som et X-kryss og fire felter og ble derav først tilpasset til T-kryss og to felter. Etter dette ble det undersøkt hva som var mulig å gjøre med krysset for å gjøre det enda bedre tilpasset til norske forhold. På grunn av Norges svært kupert natur og naturlig plassmangel var det ønskelig å gjøre



krysset så lite som mulig og se hva innvirkning det hadde på trafikkflyt. Vi innså tidlig at U-svingen var sterkt begrensende for størrelsen i dette punktet, men at krysset ikke trengte å være like bredt hele vegen. Vi trakk derfor sammen de to kjørefeltene mot hovedkryssområdet, noe som resulterte i en mer T-krysslignende situasjon.

I tillegg valgte vi å gjøre en endring som i praksis tar et standard T-kryss og bestemmer at det ikke er lov å svinge til venstre, for så å anlegge en snuplass lengre unna. Da er det mulig å plassere snuplassen i et område i nærheten hvor man har bedre plass og arealet i kryssområdet utnyttes mer effektivt.

## 10.2 Forskningsspørsmål 2

### **Hvordan påvirker implementeringen av nye kryssløsninger trafikkavviklingen sammenlignet med de tradisjonelle løsningene?**

Ut fra resultatene om maksimal trafikkmengde, forsinkelse og reisetid virker DLT som løsningen for de fleste problemer. Spesielt vises det at kryssløsningen tåler mye trafikk fra sidevegen uten å oppnå LOS F. Dette er også gjennomgående for varierende trafikkmengde på hovedvegen hvor løsningen har god avvikling både for stor og mindre trafikk. Løsningen er også utformet slik at det ikke er noen reell ekstra reiseveg for venstresvingbevegelsen av sidevegen. DLT-krysset løser trafikkavviklingsproblemer veldig godt, men krysset er en løsning som anses som noe mindre trafikksikker enn tradisjonelle løsninger. Det må derav gjøres en vurdering på hvordan prioritering av flyt versus sikkerhet skal vurderes. Hvis trafikkflyt anses som hovedprioritet vil DLT-løsningen være en sterkt anbefalt kandidat. Løsningen avvikler mest trafikk fra sidevegen for de aller fleste mengder trafikk på hovedvegen og har ingen omkjøring ved lave trafikkmengder. Noe som tilsvarer at DLT har en av de laveste reisetidene for venstresvingende og gjennomsnittlig reisetid i systemet.

CGT-løsningen har ikke like høy kapasitet som DLT, men avvikler trafikk bedre enn et tradisjonelt T-kryss. Det at trafikk fra sidevegen, som skal svinge til venstre, kan ta høyde for kun en bevegelse gjør at kortere tidsluker kan benyttes og trafikken flyter vesentlig bedre. Trafikken fra begge retninger på hovedvegen beveger seg gjennom krysset relativt upåvirket og har svært lite tapt tid, uavhengig av trafikkmengde. Trafikken fra sidevegen er fortsatt lavt prioritert og vil være dimensjonerende med tanke på forsinkelser. Etter at trafikken på hovedvegen skilles fra kryssområde vil trafikken som skal svinge til venstre av sidevegen ikke lenger være tredjeprioritetstrafikk, men vil vike for like mange bevegelser som de som svinger til høyre fra sidevegen. Det vil da kun være to andreordens bevegelser fra sidevegen som spesielt vil forbedre trafikken fra sidevegen mot venstre. CGT-løsningen vil være til nytte om det er relativt mye trafikk blant sidevegstrafikken som skal svinge til venstre, siden dette er bevegelsen som utbedres mest ved bruk av denne løsningen. CGT-løsningen er en moderat løsning som ikke skiller seg veldig fra hva førere er vant med og vil ikke være like utfordrende for førere i implementeringen. Løsningen har ingen nye bevegelser sammenlignet med et T-kryss, og vil dermed være enkel for fører å manøvrere seg gjennom.

RCUT-løsningen er utformet på en slik måte at fører enklere vil kunne komme seg inn i krysset, men kjører en lengre avstand sammenlignet med en tradisjonell løsning. Alle RCUT-løsningene gjør det svært bra ved lave til middels trafikkmengder på primærvegen og høy sideveg trafikk. Ved høyere gjennomgangstrafikk får kryssene dårligere kapasitet og kan ikke lenger måle seg med DLT og CGT. Den ekstra distansen knyttet til RCUT-

kryssene vil ved lave trafikkmengder bli sett på som svært nødvendig, og regnes som ekstra forsinkelse.

Det er interessant å se at maksimal trafikkmengde for tradisjonell og komprimert RCUT er nesten identiske. De generelle bevegelsene for kryssene er i utgangspunktet like, men med noen ulike vinkler i utgang og inngang av bevegelsene. Vi ser også at forsinkelsen på venstresvingbevegelsen fra sidevegen og generell forsinkelse i krysset er meget like. Usikkerheten i Aimsun vil i disse tilfellene være større enn forskjellen mellom løsningene, og de blir derfor regnet som like gode på trafikkkavvikling. Hvis trafikkkavviklingen for to kryss er like gode, vil det være hensiktsmessig å bruke en annen parameter for valg av løsning.

Forskjellen mellom den komprimerte versjonen og den forskjøvne er derimot større. Ved å flytte snuplassen lengre unna vil krysset kunne takle høyere belastning av trafikk, men man øker samtidig lengden på venstresvingbevegelsen. Dette gjør at de to versjonene av RCUT vil ha forskjellig bruksområde. Det vil kun være nyttig å bruke den forskjøvne versjonen når trafikkmengden er så stor at den komprimerte versjonen får problemer. Dette på grunn av at hvis den komprimerte versjonen har nødvendig kapasitet, vil den ekstra omkjøringen være ren forsinkelse.

Med bakgrunn i den ekstra distansen knyttet spesielt til den forskjøvne RCUT-versjonen, var det ønskelig å vise hvor mange kjøretøy systemet måtte ta hånd om før ventetiden i et standard T-kryss var tilsvarende omkjøringen. Dette viste seg å være vanskelig å fastsette da snuplassen kan være plassert med varierende avstand ut ifra gitt situasjon. For å kunne kvantifisere dataene ble det tatt utgangspunkt i simuleringene hvor snuplassen ble plassert 1 km unna. Med en kjøretøyhastighet på 60 km/t tilsvarer dette 2 minutters ventetid i krysset. Ved så lange ventetider i kø vil variasjonen i antall kjøretøy i kø variere stort med små endringer og programmet mister sin evne til å gi nøyaktige resultater. Det er også verdt å nevne i sammenheng med forsinkelsen at stillestående forsinkelse er vektet høyere enn kjørende forsinkelse. Dette skyldes at opplevelsen av å være i kø og stå stille oppleves som mer belastende enn å kjøre en omveg for å unngå forsinkelse.

Den komprimerte versjonen kan anbefales når trafikkmengden skaper avviklingsproblemer for et standard T-kryss, men trafikkmengden varierer mye avhengig av tidspunkt på døgnet. Da vil den relativt korte omkjøringen gjøre at trafikk under rush fungerer bedre enn ved andre løsninger og i lavperioder viker ikke omkjøringen nødvendigvis lang. Det antas at førere vil akseptere en slik omkjøring fremfor å stå i kø.

RCUT har sin styrke ved at det ikke er mulig for trafikk fra sidevegen å gjennomføre venstresving, og all trafikk fra sidevegen må kjøre inn på hovedvegen mot høyre. Ved svært høy trafikkmengde på hovedvegen vil det da kunne oppstå luker som enkelte kjøretøy kan benytte og deretter foreta en U-sving. Ettersom det er veldig stor trafikk, vil kjøretøy også etter U-svingen bli stående å vente en stund på den rette luka. På grunn av dette vil kryssløsningen ha en begrenset størrelse på trafikk fra sidevegen da køene fort kan bli lange. Er trafikken fra sidevegen relativt liten, vil derimot forsinkelsen som løsningen gir være mindre enn for tradisjonell utforming. Dette skyldes at det kun må åpnes en tidsluke fra en retning av gangen og kjøretøyet som skal svinge venstre vil etter en liten stund finne nødvendig tidsluke. For en tradisjonell løsning når trafikkmengden på hovedvegen er høy er det nødt til å være en åpning fra begge retninger samtidig, som blir sjeldnere som trafikkmengden øker. Et enkelt kjøretøy kan dermed bli stående å vente i svært lang tid for å finne en nødvendig tidsluke.

Fra resultatene ser vi at reisetiden for venstresvingende fra sør i RCUT-løsningene ved lav og middels trafikkmengde er forbundet med noe lenger reisetid kontra de andre løsningene. Ved høy trafikkmengde har RCUT-løsningene lengre reisetid enn CGT, DLT og rundkjøring, men forskjellen er betydelig mindre enn før. Hvis vi ser på forsinkelse for alle kjøretøyene i hele systemet ser vi at standard T-kryss og rundkjøring spesielt får svært høy forsinkelse ved høy trafikkmengde, mens de nye løsningene beholder en lav forsinkelse. Grunnen til at rundkjøring får så høy forsinkelse samtidig som reisetiden for venstresvingende er lav er fordi rundkjøringen prioriterer sørlig retning foran trafikk fra øst. Dette resulterer i mye kø på hovedvegen, og dermed også mye forsinkelse.

### 10.3 Forskningsspørsmål 3

#### **Hvordan kan risikoen for ulykker reduseres ved implementering av nye kryssløsninger med nye kjøremønstre?**

T-kryss har som nevnt flere ganger et problem ved at venstresvingende fra sidevegen har svært mye å ta hensyn til. Alle de nye kryssløsningene forsøker å løse dette på ulike måter. Det er vist fra ulike studier i USA at RCUT-versjonen er en av de beste plankryssløsningene med tanke på trafiksikkerhet. Den har mulighet til å redusere antallet ulykker på hovedvegen med alt fra 30-70% basert på område og situasjon. Disse tallene er basert på X-kryss, men gir likevel en god representasjon av mulighetene med løsningen. X-kryss er generelt forbundet med flere ulykker enn T-kryss, så en forbedring av ulykkene i en X-kryssituasjon vil automatisk ha høyere effekt enn i T-kryss.

RCUT-løsningen reduserer det totale antallet konfliktpunkter, og gjør det mulig basert på tilgjengelig plass og valg av utforming å gjøre om noen av krysningspunktene til fletting. Det er enkelt å forstå at jo mer man må ta hensyn til, desto mer uoversiktlig blir situasjonen. Antallet konfliktpunkter henger derfor tett sammen med antallet ulykker i et kryss, og reduksjon av konfliktpunkter vil i de fleste tilfeller vise en reduksjon i ulykker totalt.

Den tradisjonelle løsningen av RCUT blir sett på som en noe mindre trafiksikker løsning enn den komprimerte eller forskjøvne løsningen. Dette kommer av at flere av vinklene i krysset blir sett på som uheldige. Venstresvingende fra hovedvegen vil foreta en krysning som minner veldig om en krysning i X-kryss på grunn av at dette feltet blir stående tilnærmet rettvinklet mot kryssområdet. Samtidig åpner avrundingen på denne bevegelsen for å holde en høyere hastighet mot kryssområdet. Dette vil kunne påvirke fører til å godta mindre luker enn det som er ønskelig. En slik vinkel mot krysset vil også åpne for muligheten for at kjøretøyet ender opp i kryssområdet ved en påkjørsel bakfra. Det samme gjelder i U-svingen hvor kjøretøyene også blir stående med vinkel mot feltet på hovedvegen.

Den komprimerte varianten er mer arealbesparende, men med noe mindre symmetrisk utforming. Den er også mer trafiksikker når det gjelder vinkelen på innfarten til venstresving av hovedvegen som er tidligere omtalt i kapittel 5.3. For snubevegelsen vil den tradisjonelle løsningen være marginalt foretrukket over den komprimerte. Den tradisjonelle løsningen er foretrukket på bakgrunn av at vinkelen mellom gjennomkjørende felt og ventende kjøretøy i U-svingen vil være noe større ved den komprimerte løsningen, noe som fører til litt dårligere sikt og større dødvinkel.

Trafiksikkerhetsmessig er det ikke noen tvil om at den forskjøvne RCUT-løsningen er best. I denne situasjonen går venstresvingefeltet helt parallelt med motgående kjørefelt,

noe som skaper en situasjon som oppfattes identisk med et standard T-kryss. Siden de to feltene er parallelle vil sannsynligheten for at ventende trafikk ender opp i kryssområdet ved påkjørsel bakfra også kraftig reduseres. Løsningen har også forbedret U-svingområdet slik at samhandlingen mellom de to feltene blir gjort som fletting. Dette gjør også at trafikken ikke krever noen form for venting, og dermed blir også risikoen for påkjørsel bakfra redusert.

For amerikanere hvor den tradisjonelle løsningen allerede er implementert kan det argumenteres for at folket allerede har kjennskap til den løsningen og at det dermed vil være hensiktsmessig å fortsette å benytte denne løsningen. I Norge er denne kjennskapen ikke-eksisterende og ved å innføre kryssløsningen vil man definere hvordan løsningen skal se ut. På bakgrunn av at vi antar at trafikksikkerheten i den komprimerte løsningen er noe bedre enn den tradisjonelle, vil det dermed alltid være ønskelig med den komprimerte versjonen. Det vil også være mulig å implementere den forskjøve løsningen ved plassmangel i kryssområdet da den vil oppfattes som ganske standard.

DLT-løsningen er løsningen som kommer best ut innen trafikkavvikling gjennom simuleringene. Problemet med løsningen er den uvanlige endringen fra normalt kjøremønster. Det at venstresvingende trafikk på hovedvegen skal krysse motgående kjørefelt før hovedkryssområdet, legger til rette for farlige manøvre. I en implementeringsfase vil det selv med god oppmerking være risiko for at førere presterer å føre kjøretøyet inn i motgående kjørefelt.

DLT-krysset som helhet bygger sterkt på prinsippet om å splitte konfliktpunkter, som gjør at fører kun har ett fokusområde om gangen, som i utgangspunktet vil være med på å øke trafikksikkerheten i krysset. Det har fra tidligere studier, vist til i kapittel 7.3, blitt observert flere farlige manøvre knyttet til det uvanlige kjøremønsteret. Likevel er det også konkludert med at dette trolig er knyttet til at bevegelsen er ukjent, og at det vil bli bedre over tid. En senere studie konkluderte til slutt med at DLT-løsningen trolig vil øke antallet ulykker med rundt 11%, samt øke antallet ulykker med sterkt skadde med 22%.

Med unntak av området der venstresvingende fra hovedvegen krysser over, gjør DLT et godt forsøk på å forbedre trafikksikkerheten. Etter at denne bevegelsen er gjennomført er trafikken adskilt fra krysset og trenger kun å ta hensyn til høyresvingende trafikk fra vest mot sør, og venstresvingende fra sør. Høyresvingende fra sør er ført på utsiden av hele systemet og er derfor ikke i konflikt med noen før flettingen gjennomføres et godt stykke etter krysset. DLT-krysset sprer derfor ut konfliktene og gjør at mange av dem tas sekvensielt. Samtidig omgjør krysset begge endene av bevegelsene fra sør til fletting kontra krysningspunkt.

CGT-løsningen er en enklere løsning, og en løsning som vil oppfattes som svært lik et vanlig T-kryss. Løsningen har ingen fundamentale nye bevegelser, og vil derfor være enkel for alle førere å manøvrere seg gjennom. CGT-løsningen øker trafikksikkerheten ved å gjøre om den ene konflikten til fletting, og skiller det ene gjennomgående feltet på hovedvegen fra krysset. Tidligere forskning vist til i kapittel 7.2 viser at CGT-krysset ikke har en signifikant reduksjon i trafikkulykker.

CGT-krysset er ganske låst i måten man kan forbedre det på, men det er mulig å gjøre noen mindre forbedringer på CGT-løsningen knyttet til trafikksikkerhet. Den største forbedringen som kan gjøres er å tilføye et ekstra akselerasjonsfelt for høyresvingende på sidevegen. Dette vil gjøre om enda en konflikt til fletting, som er positivt for

trafikksikkerheten. Det viser seg likevel at et slikt felt har svært lav funksjon for trafikksikkerheten siden det svært sjeldent er problemer knyttet til denne bevegelsen.

## 10.4 Begrensninger og feilkilder

Oppgaven har noen begrensninger både knyttet til Aimsun, samt hvordan oppgaven er valgt å løses. Først og fremst er det vanskelig å definere hva som er den beste måten å løse trafikkmengdene i simuleringene på, og den spesifikke måten vi valgte trenger nødvendigvis ikke å representere virkeligheten på det beste viset. Måten som er valgt løser problemene på en god måte, men det er mulig at ved å gjennomføre simuleringene på en annen måte vil føre til andre resultater enn det som er presentert i oppgaven.

Usikkerheten i simuleringene i Aimsun henger tett sammen med mengden kø og problemer knyttet til systemet. Desto mer kø og forsinkelse, desto mer usikkerhet vil være knyttet til simuleringene. Når vi i Aimsun forsøkte å teste trafikkmengder for å oppnå LOS F, vil det sette simuleringene og resultatene i ytterkanten av hva Aimsun er nøyaktig på. Det er forsøkt å minske usikkerheten ved å benytte 10 replikasjoner, det er likevel mulig å gjøre flere simuleringer for å minske usikkerheten ytterligere.

Det er gjennomgående i simuleringene brukt symmetriske trafikkmengder for å forenkle situasjonen. Symmetriske trafikkmengder er svært usannsynlig for trafikk på virkelige vegger. Det kan være symmetrisk trafikk over ett døgn, men når simuleringene gjennomføres sees det på situasjoner som rushtrafikk som generelt vil ha mer trafikk i enkelte bevegelser og svært sjeldent vil være symmetriske. Dette er et usikkerhetsmoment som kommer av at vi kun ser på kryssløsningene overordnet og ikke spesifikt simulerer med trafikkmengder fra gitte scenarioer.

Det er ikke gjennom oppgaven undersøkt hva som er de beste programverdiene i Aimsun, og det er her bare tatt en kvalifisert avgjørelse på verdiene. Det er mulig å undersøke nærmere hvordan faktisk trafikk opererer i nye situasjoner og endre inngangsverdiene i Aimsun til å representere dette på en bedre måte. Spesielt ble det oppdaget at selv ved svært høy trafikkmengde, som 1200 gjennomkjørende kjt/t, hvor det i teorien kun vil eksistere luker på 3 sekunder, eksisterte det luker som åpnet for trafikk fra sidevegen.

Som nevnt tidligere i oppgaven er ikke Aimsun et nøyaktig modelleringsverktøy på lik måte med Novapoint og AutoCAD. Enkelte viktige lengder på kanaliseringen spesielt er derav ikke modellert opp helt nøyaktig med verdiene i AutoCAD. Dette vil trolig ikke ha stor betydning for resultatene, men kan ha noe innvirkning.

# 11 Konklusjon

Hensikten med denne rapporten var å gi en helhetlig oversikt over tre ulike nye løsninger for utforming av vegkryss basert på norsk regelverk. Dette ble gjort med utgangspunkt i antagelsen om at T-kryss og rundkjøringer har visse begrensninger i sitt bruksområde. Vi ønsket av den grunn å se om det var mulig å gjøre noe med kryssene for å bedre kapasitet, reisetid og forsinkelse i kryss. Løsningens trafikkflyt har blitt simulert og sammenlignet individuelt med tradisjonelle løsninger for å kunne si noe om bruksområdet for løsningene.

Arbeidet med modellering og simulering av alternativer til T-kryss og rundkjøring har vist at tradisjonelle løsninger kan ha utfordringer spesielt ved høye trafikkmengder. Det er derfor mulig å implementere nye kryssløsninger for å forbedre kapasiteten på en relativt enkel måte. Blant kryssløsningene som ble vurdert hadde DLT best avvikling både med tanke på kapasitet totalt i krysset, og reisetid for kjøretøy fra sidevegen som svinger til venstre. Generelt ble DLT-løsningen sett på som den beste når det gjaldt trafikkavvikling, men samtidig var den mer utfordrende å implementere på grunn av behovet for å sikre like god trafiksikkerhet som ved tradisjonelle løsninger. Spesielt var det vanskelig å utforme skilt- og oppmerkingsplaner som kunne hjelpe å forhindre at førere endte opp i motgående kjørefelt. DLT har dermed best trafikkavvikling, men er noe mer utfordrende å få igangsatt med tanke på utfordringer innenfor sikkerhet.

For de andre løsningene er det ikke like store hindringer når det gjelder å starte arbeidet med å prøve dem ut. CGT er allerede testet ut enkelte steder i landet, og vi mener at tilsvarende utprøvinger kan gjennomføres for RCUT etter litt mer arbeid. RCUT har blitt presentert med 3 alternativer, hvor det ikke anbefales å videreutvikle den tradisjonelle løsningen. Den komprimerte versjonen hadde tilsvarende god trafikkavvikling som den tradisjonelle versjonen, men tar opp mindre areal og anses som noe tryggere. Den forskjøvnede versjonen håndterer de høyeste trafikkmengdene best av de ulike RCUT-variantene, men ved lavt trafikkvolum vil omkjøringen oppleves som unødvendig lang. Av den grunn vil det være ønskelig å bruke forskjøvet RCUT når det er svært høyt trafikkvolum uten særlig variasjon over døgnet. I praksis vil det være enkelt å bygge den forskjøvnede RCUT-versjonen, for eksempel ved å innføre forbud mot venstresving fra sidevegen og etablere en snuplass på egnet sted. På steder med stor variasjon i trafikkmengde gjennom døgnet kan den komprimerte versjonen av RCUT anbefales, men her kreves det noe mer planlegging da løsningen avviker fra et standard T-kryss.

Generelt fremmer rapporten at det finnes rom for videre forskning og utprøving med innovative tilnærminger til utforminger av vegkryss. Disse nye konseptene har potensial til å forbedre måten trafikken håndteres på og skape mer effektive og trafiksikre kryss. Ved å fortsette forskningen og prøve ut nye konsepter, kan vi identifisere bedre løsninger som bidrar til å forbedre trafikkflyten og redusere forsinkelser i vegkryssene.

## 12 Videre arbeid

Denne rapporten legger på ingen måte til rette for at det skal være mulig å begynne å bygge RCUT eller DLT-kryss fra 2024. Det må gjøres et grundigere arbeid både med tanke på simulering, men også å standardisere utforming, skilt og oppmerking. Det anbefales at neste steg er å velge seg et kryss i Norge hvor det er avviklingsproblemer, og prøve å sette opp et større system av simuleringer med en valgt ny kryssløsning hvor det ikke er kun krysset som simuleres, men hele systemet. Dette vil gi et bedre innblikk i styrkene og svakhetene til de forskjellige løsningene som igjen kan skape grunnlag for implementering. Det anses som viktig at Statens vegvesen tar del i bestemmelser om krav til utforming, skilt og oppmerking for å tidlig danne et grunnlag for standardisering. Det må også før eller siden være aksept for å teste ut løsningene for å få reelle tall på avvikling, men også å få tilbakemelding fra befolkningen som bør få stemmen sin hørt. Et forslag for å skape en smertefri implementering kan være å ha informasjonskampanjer og generelt holde lokalbefolkningen informert om planer og mål med et slikt prosjekt. Dette vil i tillegg til å skape aksept for nye løsninger gi førere et bedre utgangspunkt ved første møte med en ny kryssløsning.

For vedlikehold av de forskjellige løsningene vil utfordringsgraden øke med kompleksiteten av kryssløsningen. Den økte utfordringen kommer på grunn av økt antall skilt som skal holdes rene og kompleksiteten på feltene som skal brøytes. For brøyting av CGT-løsningen vil det gjennomføres på tilsvarende måte som et standard T-kryss. Dette gjelder også den splittede RCUT-løsningen som vil ha færre utfordringer brøytemessig enn den komprimerte. For den tradisjonelle og komprimerte RCUT-løsningen vil spesielt U-svingen tas ekstra hensyn til da det ikke er tilgjengelig lagringsareal på siden og må planlegges mer omfattende. Tilsvarende problemstilling finnes i DLT-løsningen da motgående retninger krysser. Normalt har norske brøytebiler plog som primært kaster ut høyre og ettersom man normalt brøyter med kjøreretningen, vil snø kastes høyre ut av vegbanen og ut i sideområdet.

Med motgående trafikk på begge sider, vil man ved å kun kaste snø høyre, kaste snøen frem og tilbake mellom de motgående kjørefeltene. Det må dermed tas hensyn til at snøen ikke fjernes fra vegbanen og planleggingen av brøyting må være mer omfattende. Løsninger på dette problemet kan være å bruke spesialutstyr som tilpasset skjær eller en mer kostbar, men effektiv løsning kan være å ha elektrisk varme på delene som er vanskelige å få fjernet snø og is mekanisk. Det bør gjennomføres ytterligere undersøkelser og en løsning må være til stede før løsningen implementeres.

Løsninger som legger til rette for myke trafikanter kan med hell utforskes i større grad. Det ble fremlagt tanker på løsninger for fotgjengeres mulighet for å krysse gjennom kryssløsningene, men dette må tilpasses hver løsning individuelt for ulike prosjekt. Det kan også gjøres vurderinger på hvordan koble på en eventuell sykkelveg. Løsningene er tenkt å koble sammen landeveger utenom tettbebygde strøk, men ved å gjøre større vurderinger om myke trafikanter vil bruksområdet økes og det kan legges til rette for bruk i mer urbane strøk.

Det er i oppgaven forsøkt å gjøre tanker om hvordan trafikksikkerheten til de ulike nevnte kryssene er. Det vil være mulig å gjøre en grundigere analyse av trafikksikkerhet

og gjennomføre en større «før – etter»-analyse. Analysen er mulig å beregne ut på forhånd for så å etterprøve det over tid i en virkelig situasjon. I denne oppgaven er det valgt å forholde seg til 60 km/t, en analyse av virkningen på å redusere fartsgrensen til 50 km/t eller øke den til 70 eller 80 km/t vil også være mulig. Det er i forbindelse med trafiksikkerhet gjort noen tanker om sikt i kryssene, men dette bør gjennomføres mer grundig. Generelt øker også belysningen i krysset trafiksikkerheten, og det er i dagens normer krav til lys langs hovedveger. Som et resultat av at kryss er komplekse situasjoner er de også forbundet med sterkere belysning. I forbindelse med standardiseringen av krysset kan det derfor også undersøkes styrkebehovet og virkningen av belysning i kryssene.

Oppgaven tar ikke for seg å simulere utslipp knyttet til kryssene. Spesielt RCUT-løsningene forventes å ha høyere utslipp enn de andre alternativene da denne løsningen krever ekstra distanse. Utslippene i kryss generelt er høyere enn på strekning, da de er komplekse områder hvor trafikk møtes og kan innebære stopp og start for trafikken. Generelt er andelen kryss kontra strekning svært lav og kryss ytrer derfor lavt utslipp totalt sammenlignet med vegnettet ellers. Utslippsfaktoren for de ulike alternativene kan undersøkes ytterligere.



## Referanser

- Abdelrahman, A., Abdel-Aty, M., Lee, J., Yue, L. & Al-Omari, M. M. A. (2020). Evaluation of displaced left-turn intersections. *Transportation Engineering*, 1, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100006>
- Babić, D., Babić, D., Fiolic, M. & Ferko, M. (2022). Road Markings and Signs in Road Safety. *Encyclopedia*, 2(4), 1738–1752. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2040119>
- Bosurgi, G., Marra, S., Pellegrino, O., Sollazzo, G. & Villari, M. (2022). Effects of Road Marking Visibility on Vehicles Driving Along Curves: A Preliminary Study in a Simulated Environment. *Transportation Research Record*, 2676(12), 691–702. <https://doi.org/10.1177/03611981221097095>
- Candappa, N., Logan, D., Van Nes, N. & Corben, B. (2015). An exploration of alternative intersection designs in the context of Safe System. *Accident Analysis & Prevention*, 74 (2015)(314–323). <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.030>
- Carter, R. D. (2007). *Continuous Flow Intersection (CFI) Report US 61 (Airline Highway) @ LA 3246 (Siegen Lane)*. Louisiana Department of Transport and Development. [http://wwwsp.dotd.la.gov/Inside\\_LaDOTD/Divisions/Engineering/Traffic\\_Engineering/Publications%20%20Reports/CFI%20Report%20\(10-07-2007\).pdf](http://wwwsp.dotd.la.gov/Inside_LaDOTD/Divisions/Engineering/Traffic_Engineering/Publications%20%20Reports/CFI%20Report%20(10-07-2007).pdf)
- De Vlieger, I., De Keukeleere, D. & Kretzschmar, J. G. (2000). Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars. *Atmospheric Environment*, 34 (2000)(4649–4655). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223100000217X>
- Donnell, E. T., Wood, J. & Eccles, K. A. (2019). *Safety Evaluation of Continuous Green T Intersections* (FHWA-HRT-19-032; Nummer FHWA-HRT-19-032). U.S. Department of Transportation. <https://rosap.nhtl.gov/view/dot/42729>
- FHI. (2017). Svevestøv. I *Håndbok for uteluft—Luftkvalitetskriterier*. <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/svevestov/>
- Gokhale, S. (2012). *Impacts of traffic-flows on vehicular-exhaust emissions at traffic junctions*. 17 (2012)(21–27). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.08.006>
- Google Maps. (u.å.). *Rundkjøring Voss*. Hentet 12. mai 2023 fra <https://www.google.com/maps/@60.6424396,6.4352168,270m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D. & Hummer, J. (2010). *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)* (Technical Report, Informational Report FHWA-HRT-09-060; s. 344). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/>
- Høye, A. (2015). *3.9 Signalregulering i kryss*. Transportøkonomisk Institutt. <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc658/>
- Høye, A. (2021a). *1.5 Kanalisering av kryss*. Transportøkonomisk Institutt. <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc621/>
- Høye, A. (2021b). *1.7 Endret geometrisk utforming av kryss*. Transportøkonomisk Institutt. <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc623/>
- Høye, A. (2021c). *1.8 Oppdeling av ett X-kryss til to T-kryss*. Transportøkonomisk Institutt. <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc624/>
- IEA. (2011). *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2011* (2011. utg.). Organisation for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2011\\_co2\\_fuel-2011-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2011_co2_fuel-2011-en)
- Leich, A., Fuchs, J., Srinivas, G., Niemeijer, J. & Wagner, P. (2022). Traffic Safety at German Roundabouts—A Replication Study. *Safety*, 8(3), 50. <https://doi.org/10.3390/safety8030050>
- Magnussen, O. A. (2020). *Fartsgrenser* [Lysarkpresentasjon]. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/veg-og-gate/trafikkskilt-og->

- vegoppmerking/kurs-trafikkskilt-og-vegoppmerking-2020-fartsgrenser-odd-anders-magnussen.pdf
- Mesterton-Gibbons, M. (1996). Traffic flow at a T-junction: A sufficient condition for a left-turn lane. *Mathematical and Computer Modelling*, 24(7), 53–57. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(96\)00126-4](https://doi.org/10.1016/0895-7177(96)00126-4)
- Mishra, R. & Pulugurtha, S. S. (2022). Safety evaluation of unsignalized and signalized restricted crossing U-turn (RCUT) intersections in rural and suburban areas based on prior control type. *IATSS Research*, 46(2), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.12.007>
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. (2022). *Highway capacity manual: A guide for multimodal mobility analysis* (7th edition). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26432>
- Olsen, L. N. (2020). *Trafikksikkerhet gjennom 50 år*. Norsk Vegmuseum. <https://dms-cf-07.dimu.org/file/0136KRRRo7p7>
- Park, S. & Rakha, H. (2010). Continuous flow intersections: A safety and environmental perspective. *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 85–90. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2010.5625038>
- Persson, J., Aakre, E. H., Dalgard, O., Birkeland, T., Fjellvær, S. H. & Alstad, S. (2019). *Rapport Aimsun-Veileder* (620609–01). Statens Vegvesen.
- Regjeringen. (2022, 3. november). *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent* [Pressemelding]. Regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>
- Sagberg, F. (2011-desember). *Trafikanter vurdering av fart og avstand*. Transportøkonomisk Institutt. [https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/Fart\\_og\\_avstand\\_bakgrunnsnotat\\_dec2011.pdf](https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/Fart_og_avstand_bakgrunnsnotat_dec2011.pdf)
- Samferdselsdepartementet. (u.å.). *Transport og kommunikasjon* [Tema]. Regjeringen.no; regjeringen.no. Hentet 17. januar 2023 fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/id928/>
- Skrede, A. (2021, 21. desember). *Trafikkreglene*. ndla.no. <https://ndla.no/nb/subject:1:67a5a464-ee5b-4b21-b383-fb744460dce4/topic:15b686de-aa91-4665-a93c-5e546f3e703f/resource:970eb418-b29e-4f6d-a614-9fd4cf3e7460>
- Statens vegvesen. (u.å.). *Nullvisjonen*. Statens vegvesen. Hentet 4. november 2022 fra <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/trafikksikkerhet/nullvisjonen/>
- Statens vegvesen. (1977). *Håndbok 017—Geometrisk Utforming*. Statens Vegvesen. [https://fileserv.motocross.io/trafikksiden/HB017\\_Geometrisk\\_utforming\\_1977.pdf](https://fileserv.motocross.io/trafikksiden/HB017_Geometrisk_utforming_1977.pdf)
- Statens vegvesen. (2007). *Håndbok 115 Analyse av ulykkessteder—Vedleggsdel for manuelle beregninger*.
- Statens vegvesen. (2014). *Håndbok V121 Geometrisk utforming av veg og gatekryss*. Vegdirektoratet. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf>
- Statens vegvesen. (2015). *Håndbok N302 Vegoppmerking*. Vegdirektoratet. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n302.pdf>
- Statens vegvesen. (2022a). *Håndbok N100 Veg- og gateutforming*. Vegdirektoratet. <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859943/nb#id-6f063fda-bd26-4e50-c3c2-aa56eda44653>
- Statens vegvesen. (2022b). *Håndbok N300 Trafikkskilt*. Vegdirektoratet. <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859937/nb#id-57107642-3246-4d97-814d-1d9584c0328a>
- Statens vegvesen. (2022c). *Håndbok N-V120 Premisser for geometrisk utforming av veger*. Vegdirektoratet. <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859955/nb>
- Statens vegvesen. (2022d, 5. juli). *Oppmerksomhet*. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/trafikksikkerhet/kampanjer/oppmerksomhet/>







































- Statistisk sentralbyrå. (2019, 27. august). *Transport står for 30 prosent av klimautslippene i Norge*. ssb.no. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/transport-star-for-30-prosent-av-klimautslippene-i-norge>
- Statistisk sentralbyrå. (2022a, 30. mai). *Rekordfå omkom i trafikken*. SSB. <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/trafikkulykker-med-personskade/artikler/rekordfa-omkom-i-trafikken>
- Statistisk sentralbyrå. (2022b, 28. september). *Innenlandsk transport*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/innenlandsk-transport>
- Sun, M., Sun, X., Rahman, M. A., Akter, M. & Das, S. (2021). Modeling two-way stop-controlled intersection crashes with zero-inflated models on Louisiana rural two-lane highways. *IATSS Research*, 45(3), 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.12.007>
- Trafikkregler. (1986). *Forskrift om kjørende og gående trafikk (trafikkregler)* (FOR-2022-06-17-1049). Lovdata. <https://lovdata.no/forskrift/1986-03-21-747>
- Transportøkonomisk institutt. (2023, 9. mai). *Krevende for transportsektoren å nå klimamål*. Krevende for transportsektoren å nå klimamål. <https://www.toi.no/forskningsomrader/transportmodeller/krevende-for-transportsektoren-a-na-klimamal-article38171-1212.html>
- US EPA. (2022, 18. juli). *Particulate Matter (PM) Basics* [Overviews and Factsheets]. Particulate Matter (PM) Basics. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Virginia Department of Transportation. (2023, 17. januar). *Innovative Intersections and Interchanges*. <https://www.virginiadot.org/innovativeintersections/>
- World Health Organization. (2022, 20. juni). *Road traffic injuries*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Zhao, S. & Yu, Y. (2017). Effect of short-term regional traffic restriction on urban submicron particulate pollution. *Journal of Environmental Sciences*, 55(86–99). <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.06.023>
- Zlatkovic, M. (2015). *Development of performance matrices for evaluating innovative intersections and interchanges*. (UT-15.13). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/29610>
- Aakre, A. (2022a. januar). *Basic terms and relations* [Lysarkpresentasjon]. Blackboard. <https://ntnu.blackboard.com/>
- Aakre, A. (2022b. januar). *Traffic Flow Theory—Part 2 Microscopic models and automated driving* [Lysarkpresentasjon]. Blackboard. <https://ntnu.blackboard.com/>
- Aakre, A. (2022c. februar). *Priority intersections (including roundabouts)* [Lysarkpresentasjon]. Blackboard. <https://ntnu.blackboard.com/>
- Aakre, A. (2022d. mars). *Traffic signals—Part 1* [Lysarkpresentasjon]. Blackboard. <https://ntnu.blackboard.com/>
- Aakre, A. (2022e. mars). *Traffic simulation and AIMSUN*. Blackboard. <https://ntnu.blackboard.com/>

# Vedlegg

## **Vedlegg 1:** Skiltplan

## **Vedlegg 1 - Skiltplan**

SKILTLISTE DLT

Pos. no.	Antall	Symbol	Skiltnummer	Størrelse	Folie
① ③ ⑤ ⑦	4		362.60	LS	Klasse 2
② ⑥	2 2 2	  	364.60 206.0 723.11	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
④ ⑧	2 2	 	364.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2
⑤	1 1	  	719.11 701.1	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑥	1		530.11	MS	Klasse 2
⑦	1	 	719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑧ ⑨ ⑩ ⑪	4	 	202.0	LS	Klasse 2
⑫	1	 	906.OVH	MS	Klasse 2
⑬	1	 	719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2	Klasse 2
⑭ ⑮	2	 	912.OMS	MS	Klasse 2
⑯ ⑰	2 2	 	404.2 906.OH	LS MS	Klasse 2 Klasse 2
⑱	1 1	 	404.1 906.OV	LS MS	Klasse 2 Klasse 2
⑲	1	 	719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑳	1		531.111	MS	Klasse 2
㉑	1		531.201	MS	Klasse 2
㉒	1	 	719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
㉓	1 1	  	719.11 701.1	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
㉔	1 1 1	  	362.60 206.0 723.15	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
㉕	1 1	 	362.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2

SKILTLISTE CGT

Pos. no.	Antall	Symbol	Skiltnummer	Størrelse	Folie
① ③ ⑧ ⑩	4		362.60	LS	Klasse 2
② ⑨	2 2 2	  	364.60 206.0 723.11	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
④ ⑭	2 2	 	364.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2
⑤	1 1	 	719.11 719.11	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2 TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑥	1		530.11	MS	Klasse 2
⑦	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑧ ⑧	2		906.0VH	MS	Klasse 2
⑨ ⑬	2		202.0	LS	Klasse 2
⑩ ⑪	2 2		404.1 906.0V	LS MS	Klasse 2 Klasse 2
⑫	1 1	 	719.11 719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑭	1		912.0MS	MS	Klasse 2
⑮	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑯	1 1	 	719.11 701.1	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑰	1 1 1	  	362.60 206.0 723.15	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
⑱	1 1	 	362.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2

SKILTLISTE RCUT TRADISJONELL

Pos. no.	Antall	Symbol	Skiltnummer	Størrelse	Folie
① ③ ②② ②④	4		362.60	LS	Klasse 2
② ②③	2		364.60	LS	Klasse 2
	2		206.0	LS	Klasse 2
④ ②①	2		723.11	0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2
	2		364.60	LS	Klasse 2
⑤	1		206.0	LS	Klasse 2
	1		719.11	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	Klasse 2
	1		701.1	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.808 m2	Klasse 2
⑥ ①① ①①	3		404.1	LS	Klasse 2
	3		906.0V	MS	Klasse 2
⑦	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑧ ①②	2		202.0	LS	Klasse 2
	2		402.4	LS	Klasse 2
⑨	1		906.0VH	MS	Klasse 2
⑩ ①⑥	2		912.0MS	MS	Klasse 2
⑬	1		719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.808 m2	Klasse 2
	1		719.11	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	Klasse 2
⑭	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑮	1		719.11	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	Klasse 2
	1		719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2	Klasse 2
⑰ ①⑦	2		202.0	LS	Klasse 2
	2		402.5	LS	Klasse 2
⑳	1		719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2	Klasse 2
	1		701.1	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
㉕	1		362.60	LS	Klasse 2
	1		206.0	LS	Klasse 2
	1		723.15	0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2
㉖	1		362.60	LS	Klasse 2
	1		206.0	LS	Klasse 2



SKILTLISTE RCUT FORSKJØVET

Pos. no.	Antall	Symbol	Skiltnummer	Størrelse	Folie
① ③ ④ ⑥	4		362.60	LS	Klasse 2
② ⑤	2 2 2		364.60 206.0 723.11	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
④ ⑬	2 2		364.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2
⑤	1 1		701.1 701.1	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑥	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑦ ⑧	2 2		202.0 402.4	LS LS	Klasse 2 Klasse 2
⑨	1		906.0VH	MS	Klasse 2
⑩ ⑰	2 2		719.11 719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑪	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑫	1 1		719.11 701.1	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2 Klasse 2
⑰	1 1 1		362.60 206.0 723.15	LS LS 0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2 Klasse 2 Klasse 2
⑱	1 1		362.60 206.0	LS LS	Klasse 2 Klasse 2
⑳ ㉓	2 2		404.1 906.0V	LS MS	Klasse 2 Klasse 2
㉑	1 1		719.11 719.11	TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2 TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.808 m2	Klasse 2 Klasse 2
㉒	1		912.0MS	MS	Klasse 2
㉔	1		530.11	MS	Klasse 2

SKILTLISTE RCUT KOMPRIMERT

Pos. no.	Antall	Symbol	Skiltnummer	Størrelse	Folie
① ③ ②② ②④	4		362.60	LS	Klasse 2
② ②③	2		364.60	LS	Klasse 2
	2		206.0	LS	Klasse 2
	2		723.11	0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2
④ ④①	2		364.60	LS	Klasse 2
	2		206.0	LS	Klasse 2
⑤	1		719.11 701.1	TH = 175	Klasse 2
	1			W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2 TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.808 m2	
⑥	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑦ ⑦	2		202.0 402.4	LS	Klasse 2
	2			LS	
⑧	1		906.0VH	MS	Klasse 2
⑩ ⑩② ⑩③	3		404.1 906.0V	LS	Klasse 2
	3			MS	
⑪ ⑪③	2		912.0MS	MS	Klasse 2
⑬ ⑬①	2		719.11 719.11	TH = 175 W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2	Klasse 2
	2			TH = 175 W = 1.800 m H = 0.475 m A = 0.855 m2	
⑭	1		719.11	TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	Klasse 2
⑮	1		719.11	TH = 175	Klasse 2
	2			W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2	
⑯ ⑯①	2		202.0 402.5	LS	Klasse 2
	2			LS	
⑳	1		719.11 701.1	TH = 175	Klasse 2
	1			W = 1.700 m H = 0.475 m A = 0.807 m2 TH = 175 W = 1.600 m H = 0.475 m A = 0.760 m2	
㉕ ㉕①	2		362.60 206.0	LS	Klasse 2
	2			LS	
㉕②	2		723.15	0.600 (m) x 0.360 (m)	Klasse 2

