

Masteroppgave

2019

Masteroppgave

Kjell-Amund Aas Prestmo

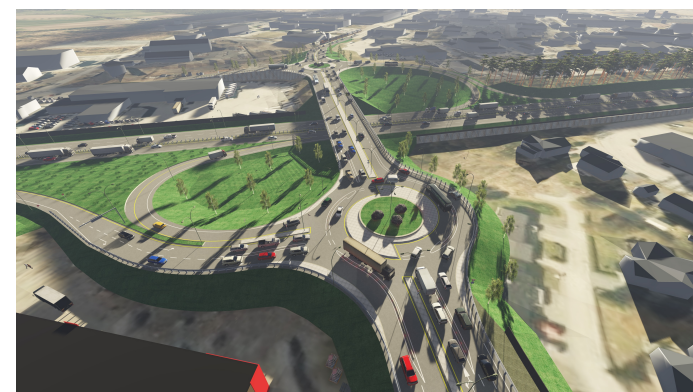
NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Kjell-Amund Aas Prestmo

TURBORUNDKJØRING

Muligheter og effekter ved bruk i planskilte kryss

Februar 2019





TURBORUNDKJØRING

Muligheter og effekter ved bruk i planskilte kryss

Kjell-Amund Aas Prestmo

Master i veg og jernbane

Innlevert: Februar 2019

Hovedveileder: Arvid Aakre, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Fakultetet for ingeniørvitenskap ved Norges Tekniske og Naturvitenskapelige universitet (NTNU), studieretning *Erfaringsbasert master i veg og jernbane*, høst 2018/vår 2019.

Både studiet og masteroppgaven er gjennomført samtidig med at jeg har vært i full jobb. Dette har naturlig nok vært krevende og utfordrende både for meg og mine nærmeste. Jeg finner grunn til å gi en stor takk til min familie for romslighet og forståelse.

For øvrig vil jeg også takke min veileder Arvid Aakre for konstruktive innspill, både i innledende fase og ved behov for dialog underveis i oppgaveskrivingen.

Kjell-Amund Aas-Prestmo

Sammendrag

Statens vegvesen sin pågående planlegging av ny E6 som 4-felts motorveg gjennom Verdal kommune er case i denne masteroppgaven. Langs E6 er det i dag 3 kryss, hvor Havnekrysset er hovedatkomst til Verdal sentrum. Havnekrysset er tidvis svært trafikkert med mye kø. Antall kryss langs ny E6 skal reduseres til et kryss. Nye kryssløsninger i prosjektet planlegges som tradisjonelle ruterkryss.

Målet med oppgaven er å se på muligheten for å beholde dagens Havnekryss ved utbygging av ny E6. Dette ved bruk av alternative toplanskryssløsninger med fokus på turborundkjøringer.

Eksisterende trafikk i Havnekrysset ble registrert over en uke i ettermiddagsrushet. Videopptak ble brukt for datainnsamling. Registrerte trafikk tall ble brukt i Sidra intersection for trafikksimulering av dagens og mulige framtidige kryssløsninger. Her kom henholdsvis halvt kløverbladkryss med «blomsterrundkjøring» og halvt kløverbladkryss med «turborundkjøring» noe bedre ut enn de andre alternative kryssløsningene.

Oppgaven tar også for seg ulemper knyttet til drift og vedlikehold av turborundkjøring og forskjell i skilt- og oppmerking av turborundkjøringer i Nederland sammenholdt med generell norsk skilting og oppmerking. Det er også gjennomført studietur til Nederland i egen regi.

Det er foretatt et betydelig arbeid med visualisering av det ene toplanskryssalternativet med turborundkjøring. Forhåpentligvis vil dette kunne redusere noe av skepsisen til nye kryssløsninger som tidligere er kommet til uttrykk fra deler av fagmiljøet og beslutningstakere. Video av visualiseringen er publisert på [youtube.com](https://www.youtube.com).

Summary

The case in this Master`s thesis is The Norwegian Public Road Administration`s ongoing planning of new E6 (European route E6) as a four-field motorway through Verdal municipality. At the time there are three intersections along E6 through Verdal, where the “Harbor-intersection” is the main intersection. The number of intersections along E6 is now going to be reduced to one. New intersections are planned as standard dumbbell interchange.

The main goal of this thesis is to look at the possibility for retaining the current “Harbor-intersection” when the new E6 is established by using alternative interchanges with focus on turbo-roundabouts.

Existing traffic in the “Harbor-intersection” was registered over a week during the afternoon rush hour. Video recordings were used for data collection. Registered traffic was used in Sidra intersection for traffic simulation of current and possible future intersections/interchanges. The result showed that partial cloverleaf interchange with flower-roundabout and partial cloverleaf interchange with turbo-roundabout came out to be a somewhat better alternative than the other intersections/interchanges

The thesis also addresses the disadvantages associated with the operation and maintenance of turbo-roundabouts. It also addresses the difference in road signs and road surface marking of turbo-roundabouts in the Netherlands compared with general Norwegian road signs and road surface marking. A self-study trip to the Netherlands was also arranged.

A considerable amount of work has been done to visualize one of the interchanges with turbo-roundabouts. Hopefully this will reduce some of the skepticism of new types of intersections/interchanges that have previously been expressed from parts of the academic community and decision makers. Video of the visualization is published on [youtube.com](https://www.youtube.com)

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling	2
1.3	Oppgavens oppbygging	2
1.4	Begrensninger	2
1.5	Metode	3
2	Teoretisk grunnlag (litteraturgjennomgang)	4
2.1	Alternative kryssløsninger i to-planskryss – «Turborundkjøringer» – «dråperundkjøringer» og «blomsterrundkjøringer»	4
2.1.1	Historikk Turborundkjøringer	4
2.1.2	Funksjon, konfliktpunkt og kapasitet	4
2.1.3	Trafikksikkerhet Turborundkjøringer	6
2.1.4	Blomsterrundkjøring (Flower roundabout)	10
2.1.5	Dråperundkjøring	11
3	Dagens situasjon – Kryss E6-Fv.757	14
3.1.1	Dagens situasjon	14
3.2	Pågående planarbeider	16
3.2.1	Planstatus ved oppstart av masteroppgaven	16
3.2.2	Ny E6	18
3.2.3	Planlagt nytt kryss	21
3.2.4	Særskilte forhold knyttet til omkjøring ved stengte tunneler sør og nord for nytt plankryss på E6	22
4	Datainnsamling - Registrering av trafikkdata	27
4.1	Metode	27
4.1.1	Introduksjon	27
4.1.2	Videoregistrering	29

4.1.3	Manuell registrering	30
4.2	Usikkerhet	31
4.3	Trafikkdata kjørende	32
4.4	Trafikkdata gående	35
4.5	Trafikkdata kryss Vinne og kryss Fleskhus	35
4.6	Visuelle observasjoner	36
5	Trafikksimuleringer	38
5.1	Innledning	38
5.2	Trafikksimulering dagens situasjon	40
5.3	Trafikksimulering av planlagt kryssløsning	45
5.4	Trafikksimulering alternative toplanskryss	49
5.4.1	Ruterkryss med turborundkjøring	49
5.4.2	Halvt kløverbladkryss med turborundkjøring	53
5.4.3	Turbo-kompaktkryss	57
5.4.4	Ruterkryss med «dråperundkjøring»	61
5.4.5	Halvt kløverbladkryss med «blomsterrundkjøring»	65
5.5	Sammenstilling av de alternative toplanskryssløsningene	68
6	Studietur Nederland	71
6.1	Studieområdet	71
6.2	Trafikkdata	75
6.2.1	Data kjørende	76
6.2.2	Data sykkeltrafikk og moped	78
6.3	Visuelle observasjoner	79
7	Utforming, oppmerking og skilting av turborundkjøringer	81
7.1	Utforming	82
7.2	Skilting	88
7.3	Oppmerking	94
8	Detaljprosjektering og visualisering av turborundkjøring i toplanskryss	98

8.1	Programvare	98
8.1.1	Trimble Novapoint	98
8.1.2	Virtual Map	100
8.1.3	Lumion	101
8.1.4	TORUS	103
9	Visualisering	105
10	Konklusjon	106
11	Referanser	107
12	Vedlegg	109

Figurer

Figur 1: Viser antall konfliktpunkt i tradisjonell rundkjøring og i turborundkjøring. Vi ser at turborundkjøringen har færre konfliktpunkt. (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)	5
Figur 2: Vanlige ulykkessituasjoner som oppstår i tradisjonelle rundkjøringer. (FIGURKILDE: The Baltic journal of road and bridge engineering - Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model)	7
Figur 3 – Reduksjon i ulykker og skader i turborundkjøring, funnet i “The Baltic journal of road and bridge engineering” (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)	8
Figur 4: Gjennomsnittshastighet i tradisjonell rundkjøring og i turborundkjøring, data hentet fra i «Fortuijn: Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, TRAIL, Thesis Series, 2012,» (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)	9
Figur 5: "Flower roundabout" (blomster-rundkjøring), hvor høyresvingene har egne felt. (FIGURKILDE VENSTRE: Ferdinando Corriere - Performance analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context - SIIV 5th International Congress). (FIGURKILDE HØYRE: T.Tollazzi – Alternative type of Roundabouts – An information guide)	10
Figur 6: "Passeerbaanrotonde" (blomsterrundkjøring) med to utkjøringsmuligheter. FIGURKILDE: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein.	11
Figur 7: Eksempel på dråperundkjøring. (FIGURKILDE: https://inhabitat.com/keystone-parkway-is-the-greenest-highway-intersection-in-the-us/double-teardrop-roundabout-3)	12
Figur 8: Figur til venstre viser konfliktpunkt i tradisjonelt ruterkryss. Figur til høyre viser konfliktpunkt i toplanskryss med dråperundkjøring. FIGURKILDE: T.Tollazzi – Alternative type of Roundabouts – An information guide.	13
Figur 9: Dråperundkjøring i Carmel, Indiana, USA : FIGURKILDE: https://www.structurepoint.com/engineering-and-infrastructure/project/keystone-parkway-at-126th-street	13
Figur 10: Oversikt over eksisterende vegsystemer gjennom Verdal	15
Figur 11: Havnekrysset med bru over dagens E6 (KILDE: https://www.google.com/maps)	16
Figur 12: Tverrprofil vegklasse H8. 20 meter vegbredde. (KILDE: Statens vegvesen håndbok N100 – veg og gateutforming)	18
Figur 13: Anbefalt ny vegtrasè (KILDE: Statens vegvesen - kommunedelplan med konsekvensutredning)	19
Figur 14: Visualisering av anbefalt trasè gjennom Verdal. (KILDE: Statens vegvesen - https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JIJPHGg)	19
Figur 15: Visualisering av anbefalt trase ved Fleskus. Ny E6 forlater dagens E6 og går inn i en ca. 4 km lang to-løps tunnel. (KILDE: Statens vegvesen - https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JIJPHGg)	20
Figur 16: Standard ruterkryss. (KILDE: Statens vegvesen - håndbok N100 – veg og gateutforming) .	21
Figur 17: Visualisering av anbefalt plassering av kryss, mellom kryss Vinne og Havnekrysset. (KILDE: Statens vegvesen. https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JIJPHGg)	22
Figur 18: Vegdirektoratets oversikt over årsaker til stengt tunnel. (KILDE: Sjefingeniør Harald Buvik - presentasjon «tunneler» ved NTNU høst 2017)	24
Figur 19: Vegdirektoratets snittoversikt over årsaker og antall stenginger for tunnel. (KILDE: Sjefingeniør Harald Buvik - presentasjon «tunneler» ved NTNU høst 2017)	25
Figur 20: Illustrasjon av registrering av trafikk. Flyfoto hentet fra 1881.no	28
Figur 21: Til venstre GoPro 1 montert på lyktestolpe ved kryss vest. Til høyre GoPro 2 montert på trafikkskilt ved kryss øst. Foto: Kjell-Amund Prestmo	29
Figur 22: såkalte «manual handheld tally mechanical clicker». Brukt til manuell registrering av trafikk, og ved senere gjennomgang av videomateriale. Her ved endt registrering torsdag 30.august kl16.15. Foto: Kjell-Amund Prestmo	30

Figur 23: Eksempel på utfordrende situasjon med tanke på trafikkteiling, fra videoregistrering onsdag 29.august ca. kl14:38	31
Figur 24: Trafikktall for hele kryssområdet i perioden 1500 – 1600	32
Figur 25: Trafikktall alle svingebevegelser for hele kryssområdet, 20 år fram i tid.	33
Figur 26: totalt antall kjøretøy i hvert kjørefelt i hele kryssområdet, 20år fram i tid.....	34
Figur 27: Trafikk stanser for å slippe fram venstresvingene fra rampe og motgående venstresvingene. Foto: Kjell-Amund Prestmo.....	36
Figur 28: Vogntog ser seg lei av å vente på venstresvingemulighet, bryter vikeplikten og presser seg fram. Foto: Kjell-Amund Prestmo	37
Figur 29: Kjøretøy ser seg lei av å vente på venstresvingemulighet. Rygger tilbake, og svinger til høyre i stedet. Foto: Kjell-Amund Prestmo.....	37
Figur 30: Nettverk-layout fra Sidra som viser dagens situasjon.....	40
Figur 31: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for dagens kryss.	42
Figur 32: Nettverk-layout fra Sidra som viser standard planlagt toplanskryss fra Kommunedelplan....	45
Figur 33: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for standard planlagt toplanskryss fra Kommunedelplan	47
Figur 34: Nettverk-layout fra Sidra av ruterkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med turborundkjøringer.	49
Figur 35: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "Ruterkryss med turborundkjøring»	51
Figur 36: Nettverk-layout fra Sidra av halvt kløverbladkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med turborundkjøringer.	53
Figur 37: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "halvt kløverbladkryss med turborundkjøring»	55
Figur 38: Layout fra Sidra som viser kompakt rundkjøring, utformet som turborundkjøring.	57
Figur 39: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "Turbo kompaktkryss"	59
Figur 40: Nettverk-layout fra Sidra av ruterkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med dråperundkjøringer	61
Figur 41: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "ruterkryss med dråperundkjøring"	63
Figur 42: Nettverk-layout fra Sidra av halvt kløverbladkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med blomsterrundkjøringer.....	65
Figur 43: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøring"	66
Figur 44: Studieområdet Geldrop utenfor Eindhoven, markert med rød ring. Figur hentet fra google.com	71
Figur 45: Hovedadkomst til Geldrop, hvor turborundkjøring er brukt i forbindelse med planskilte kryss. Figur hentet fra google.com.....	72
Figur 46: Skisse av turborundkjøring nord i det planskilte krysset. Skissen er basert flyfoto og oppmålinger på stedet.	73
Figur 47: Illustrasjon av registrering av trafikk under studieturen. Plassering og skjermdump av videoopptak. Hovedadkomst til Geldrop, hvor turborundkjøring er brukt i forbindelse med planskilte kryss. Flyfoto hentet fra google.com	75
Figur 48: Trafikktall for hver svingebevegelse i hele kryssområdet	76
Figur 49: Totalt antall kjøretøy i hvert kjørefelt i hele kryssområdet.....	77
Figur 50: I ytterkant av turborundkjøringen er det lagt opp til sykkelveg. Mopeder henvises også hit. Det er ikke lagt opp til løsning for gående i rundkjøringen. FOTO: Kjell-Amund Prestmo	78
Figur 51: Tradisjonelt vogntog tar seg inn, gjennom og ut turborundkjøringen, uten å berøre «hinder». FOTO: Kjell-Amund Prestmo.....	79
Figur 52: Eksempel hvor semitrailer kjører over rundkjøringas overkjørbare areal og trafikkskille mellom kjørefeltene. FOTO: Kjell-Amund Prestmo	80
Figur 53: Eksempel hvor vogntog har valgt feil felt på tur inn i rundkjøringen. Velger derfor å ta seg over rundkjøringas overkjørbare areal, for å komme seg ut på Motorveg A67. FOTO: Kjell-Amund Prestmo	80

Figur 54: Viktige elementer ved utforming, skilting og oppmerking av turborundkjøring. Figur hentet fra FURTUIJN, tekst oversatt fra nederlandsk til norsk. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein .	81
Figur 55: Standard trafikkskille mellom kjørefelt inn mot, og i turborundkjøring. Foto av Kjell-Amund Prestmo	82
Figur 56: Trafikkskille og refleksjonsdioder i turborundkjøring er delvis borte, trolig som følge av «påkjøringssslitasje». Foto av Kjell-Amund Prestmo.....	83
Figur 57: Tverrsnitt av standard trafikkskille inn mot, og i turborundkjøring. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein	83
Figur 58: På- og avkjøringsrampe fra motorveg A67. Avslutning av kantstein i midtrabatt, stiplet oppmerking og steinsetting gjør arealet overkjørbart. FOTO: Kjell-Amund Prestmo.....	85
Figur 59: Anbefalt utforming av dråpe før start av separasjonsareal mellom kjørefelt i selve rundkjøringa. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein	86
Figur 60: Observert alternativ utforming av dråpe ved start av separasjonsareal mellom kjørefelt i selve rundkjøringa. Her med kun oppmerking og refleksjonsdioder. Fra turborundkjøring langs veg Collse Hoedfdijk nord for Geldrop, mellom hovedveg A67 og A270. Foto: Kjell-Amund Prestmo.....	87
Figur 61: Skitoppsett for turborundkjøring, hentet fra FURTUIJN - Turborotonde en turboplein. Oppsett til venstre gjelder utenfor tettbebygd strøk, oppsett til høyre utenfor tettbebygd strøk. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein	88
Figur 62: Figur til venstre viser ekempele på forvarsling av turborundkjøring i toplanskryss i Geldrop. Figur til venstre viser repetisjon av veivisningsskiltet. FOTO: Kjell-Amund Prestmo.....	89
Figur 63: Tradisjonell bruk av vegvisningsskilt i rundkjøring. Kilde: Håndbok N300 Del 4A Trafikkskilt89	
Figur 64: Skilt 707.1 og skilt 707.2, benyttes der det er behov for å angi spesiell feltbruk foran rundkjøring. Kilde: Håndbok N300 Del 4A Trafikkskilt	90
Figur 65: Geldrop - Rampe fra motorvei inn mot turborundkjøring i sør. veivisningsskilt erstattet med fareskilt rundkjøring. FIGURKILDE: Google Maps.....	91
Figur 66: Geldrop - Rampe fra motorvei inn mot turborundkjøring i sør. Forvarsling av vikeplikt i Turborundkjøring. FOTO: Kjell-Amund Prestmo	92
Figur 67: Skilting inn i rundkjøring i Norge og Skilting av turborundkjøring. FIGURKILDE: Håndbok V320 Planlegging og oppsetting av trafikkskilt. FOTO: Kjell-Amund Prestmo.....	93
Figur 68: Standard nederlandske oppmerkingspiler for rundkjøring. Figurkilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein	94
Figur 69: Oppmerkingsymbol "Piler - (1034)", for oppmerking av kryss ved fartsgrense mindre enn 60 km/t. Kilde: Håndbok N302 Vegoppmerking	95
Figur 70: Nederlandsk standard avstand for oppmerkingspiler inn mot turborundkjøring. Figurkilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein	96
Figur 71: Geldrop - Nederland. Oppmerking inn mot turborundkjøring. FOTO: Kjell-Amund Prestmo.	96
Figur 72: Geldrop – Nederland. Kryss i ytre sirkulasjonsfelt oppmerket med linjetype sperrefelt. FOTO: Kjell-Amund Prestmo.....	97
Figur 73: Prosjektert toplanskryss med turborundkjøring i Autocad til venstre. Resultat av prosjektering fremstilt in innsynsmodellen til Trimble novapoint til venstre.	99
Figur 74: Skjermdump av visualisering av nytt havnekryss med turborundkjøringer vist i programvaren Novapoint Virtual Map	100
Figur 75: Skjermdump fra programvaren Lumion. Det prosjekterte toplanskrysse med turborundkjøring er her importert fra Virtual Map.	101
Figur 76: Fra flygeblad/reklame; "TORUS roundabouts - the ultimate roundabout design solution", hvor det reklameres for synkroniseringsmuligheten mellom Sidra og TORUS.....	104
Figur 77: Visualisering av turborundkjøring i Havnekrysset, Verdal.....	105

Tabeller

Tabell 1: Statistikk stengning av tunneler på strekningen Trondheim - Værnes i 2017	26
Tabell 2: Sammenstilling av de alternative toplanskryssene.....	69

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Turborundkjøring er optimalisering av en tradisjonell rundkjøring, og ble introdusert i Nederland på midten av 90-tallet.

Jeg ble første gang introdusert for «turborundkjøring» i forbindelse med at jeg i 2010 var gjesteforeleser i vegplanlegging ved NTNU og Høgskolen i Sør-Trøndelag. Min forelesningskollega, Torstein Ryeng fra Vegdirektoratet, jobbet da med å få etablert den første turborundkjøringen i Norge, ved IKEA Leangen i Trondheim kommune. Det var den gangen et betydelig engasjement og faglig entusiasme for saken, men beslutningstakerne valgte en tradisjonell rundkjøring. I beslutningsprosessen kom det fram en viss skepsis fra deler av fagmiljøet. Blant annet ble det gitt uttrykk for at denne typen rundkjøringer vil være noe fordyrende, samt at rundkjøringen vil være svært problematisk å drifte vinterstid.

Det har i ettertid vært vurdert turborundkjøring også andre steder, men så langt er det ikke etablert denne type løsning noen steder i Norge.

Det er også skrevet to masteroppgaver. Student Sigrid Johanne Bøckman skrev i 2010 masteroppgaven med tittelen «*Turborundkjøring – avvikling, utforming og sikkerhet for norske forhold*». Skoleåret 2017-2018 skrev student Andrius Stonys masteroppgaven «*Turborundkjøring som erstatning av dagens rundkjøring i Leigrovvika*». Stonys tar for seg en eksisterende rundkjøring i Molde, hvor han ser på hvilke forbedringer etablering av turborundkjøring vil kunne gi med tanke på kapasitet og trafikkavvikling.

Når jeg selv, etter en del år, skulle skrive min masteroppgave, var muligheter og effekter ved bruk av planskillekryss et særdeles interessant tema å fordype seg i. Nye kryssløsninger har dessuten fått økt aktualitet de siste årene som følge av de sentrale myndigheters økte satsing på vegsektoren, herunder optimalisering av det sentrale vegnettet i Norge.

1.2 Problemstilling

Statens vegvesen sin pågående planlegging av ny E6 som 4-felts motorveg gjennom Verdal kommune er case i denne masteroppgaven. Langs E6 er det i dag 3 kryss, hvor Havnekrysset er hovedatkomst til Verdal sentrum. Havnekrysset er tidvis svært trafikkert med mye kø. Antall kryss langs ny E6 skal reduseres til ett kryss. Nye kryssløsninger i prosjektet planlegges som tradisjonelle ruterkryss.

Målet med oppgaven er å se på muligheten for å beholde dagens Havnekryss ved utbygging av ny E6. Dette ved bruk av alternative toplanskryssløsninger med fokus på turborundkjøringer.

Oppgaven tar for seg flere ulike krysstyper, hvor en ser på effekter og muligheter ved å erstatte de tradisjonelle rundkjøringene i ruterkryss, kløverbladkryss og kompaktkryss med mer moderne alternativer som turborundkjøring, dråperundkjøring og blomsterrundkjøring.

Oppgaven ser i tillegg nærmere på de angitte utfordringer knyttet til vintervedlikehold, skilt og oppmerking ved turborundkjøring.

1.3 Oppgavens oppbygging

Oppgaven tar innledningsvis for seg noe av det teoretiske grunnlaget for nye alternative kryssløsninger. Dette teoretiske grunnlag ses i forhold til foranstående nytt planlagt kryss E6/Fv757 (Havnekrysset i Verdal). Og i denne sammenhengen er det foretatt trafikktegninger og registrering av trafikkdata som grunnlag for simuleringer. En har i denne sammenhengen også sammenstilt alternative toplanskryssløsninger.

Videre tar oppgaven for seg utforming, oppmerking og skilting i turborundkjøring. Til slutt er et forslag til kryssløsning visualisert.

1.4 Begrensninger

3D-visualisering av kryssområder er forbundet med mye og tidkrevende arbeid. Det er derfor i denne oppgaven kun valgt å visualisere det ene alternativet med «turborundkjøring».

1.5 Metode

Trafikktellinger ble gjennomført i rushtiden morgen og kveld, mandag til fredag, høsten 2018. Dette som grunnlag for trafikksimuleringer med utgangspunkt i maksimal belastning i det nye planlagte krysset. Trafikktelling ble gjennomført ved bruk av action-kamera, noe som gjør det lettere å kontrollere ulike svingebevegelser i ettertid.

En har også sett nærmere på hvor mye av framtidig trafikk som sannsynligvis vil la være å bruke ny E6, men heller benytte seg av dagens E6 eller andre alternative vegruter.

Trafikksimuleringer er utført i Sidra Intersection.

Novapoint og AutoCad er brukt til prosjektering av turborundkjøring, øvrig krysstyper og vegnett. Kryssløsningen er 3D-modelert og visualisert i LUMION.

2 Teoretisk grunnlag (litteraturgjennomgang)

2.1 Alternative kryssløsninger i to-planskryss – «Turborundkjøringer» – «dråperundkjøringer» og «blomsterrundkjøringer»

Som tidligere nevnt er det skrevet flere masteroppgaver om turborundkjøringer, samt at det finnes utallige vitenskapelige artikler innenfor temaet. Undertegnede har med bakgrunn i dette ikke valgt å gå i dybden i teorien bak turborundkjøringer, men velger i stedet å gi et mer overblikk med referanser til aktuelle kilder.

2.1.1 Historikk Turborundkjøringer

Konseptet turborundkjøring ble utviklet i Nederland i 1996 av professor Bertus Fortuijn ved Delft University of Technology. Fortuijn ønsket å forbedre tradisjonelle rundkjøringer ved å redusere antall konfliktpunkt på tur inn i, og i selve rundkjøringen. Bertus Fortuijn har utarbeidet en håndbok/veileder (Turborotonde en turboplein – ontwer, capaciteit en veiligheid) som omhandler historikk, teori, utforming, skilt og oppmerking etc. av turborundkjøringer.

Turborundkjøringer er i dag betydelig utbygd i Nederland og Belgia, men også flere andre europeiske land har tatt i bruk dette konseptet ved bygging av nye rundkjøringer. Norge har foreløpig ikke fått opp øynene for denne type rundkjøring, heller ikke alternativer som «dråperundkjøring» eller «blomsterrundkjøring».

2.1.2 Funksjon, konfliktpunkt og kapasitet

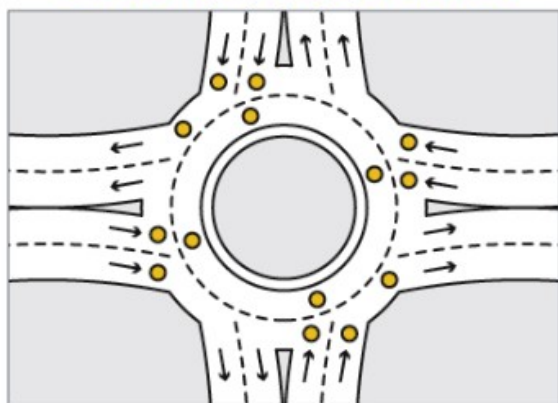
Forbedret funksjon, konfliktpunkt og kapasitet i turborundkjøringer er omtalt og dokumentert i utallige håndbøker, tidsskrifter og vitenskapelige artikler, blant annet i «CROW; Turborotondes, Publicate 257, june 2008» og «Fortuijn: Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, TRAIL, Thesis Series, 2012».

Turborundkjøringens design medfører en reduksjon av konfliktpunkt. *Figur 1* viser antall konfliktpunkt i tradisjonell rundkjøring og turborundkjøring. Som vi ser er det ca. 40 % flere konfliktpunkt i den tradisjonelle rundkjøringen i forhold til

turborundkjøringen. Færre konfliktpunkt gir tradisjonelt bedre flyt og kapasitet i trafikken.

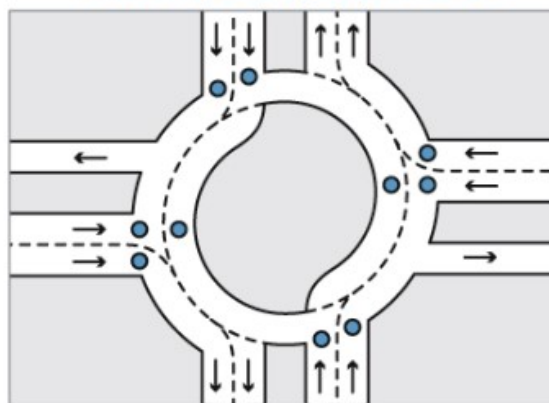
► CONFLICT POINTS

STANDARD MULTI-LANE



12 on entry / 2 weaving / 2 cut-in

TURBO-ROUNDBABOUTS



10 on entry

By disallowing lane changing on a turbo-roundabout, conflict points are immediately eliminated.

Figur 1: Viser antall konfliktpunkt i tradisjonell rundkjøring og i turborundkjøring. Vi ser at turborundkjøringen har færre konfliktpunkt. (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)

Når det gjelder teorien om turborundkjøringer har bedre kapasitet enn tilsvarende tradisjonelle rundkjøringer, så uttrykkes det tvil om dette i enkelte land. Dette er blant annet omtalt i «Alternative type of roundabouts – An information guide» av T.Tollazzi. Her beskriver Tollazzi at denne bekymringen trolig skyldes at svært få turborundkjøringer er blitt realisert i andre land enn i Nederland, samt at svært få av de realiserte turborundkjøringene opererer på eller nær kapasitetsgrensen.

Det er liten tvil om at turborundkjøringer har bedre kapasitet enn tradisjonelle rundkjøringer. I «CROW; Turbo-rotondes, Publicate 257, june 2008» viser man blant annet til at det er utviklet en modell for kapasitet evaluering av turborundkjøringer i provinsen Zuid-Hollan i Nederland. Denne modellen beregner turborundkjøringer til å ha fra 25 til 35 % høyere kapasitet enn en tradisjonell rundkjøring av samme størrelse med to kjørefelt. Det konkluderes her med at hovedårsaken til høyere kapasitet i turborundkjøring skyldes reduksjonen av konfliktpunkt for trafikk ut og inn av rundkjøringen.

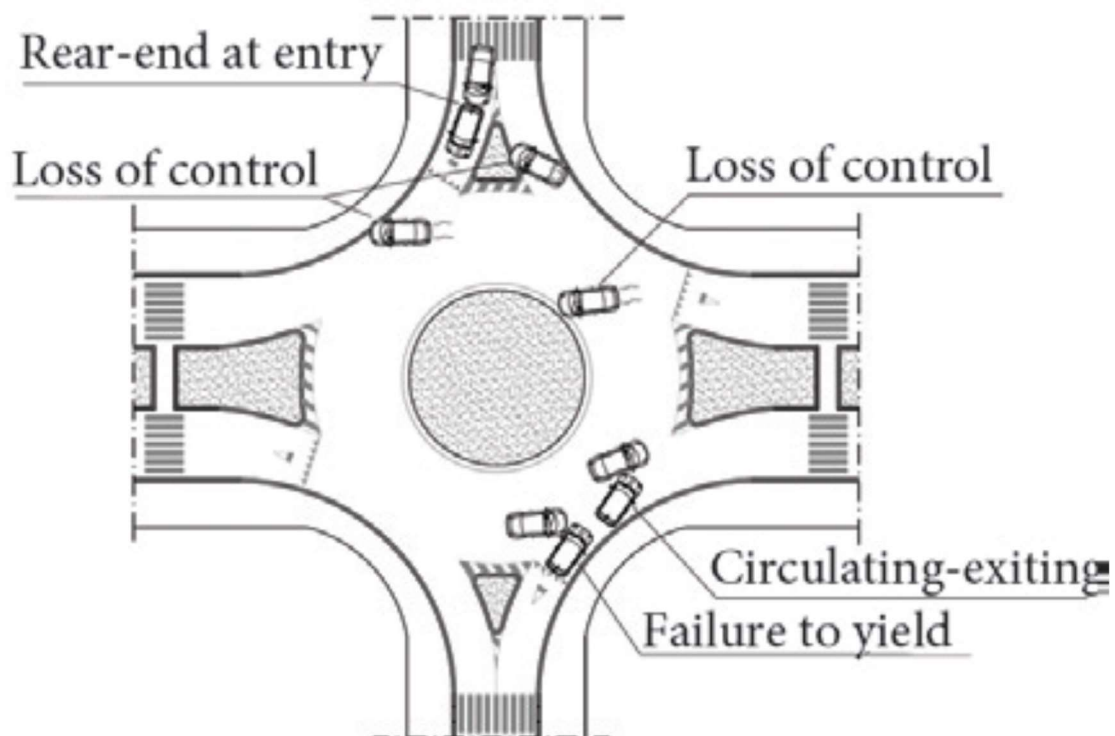
Det finnes også forskning som konkluderer med at turborundkjøring ikke alltid har bedre kapasitet enn tradisjonelle rundkjøringer. Dette er blant annet omtalt i artikkelen «*Moving from conventional roundabouts to turbo-roundabouts (Procedia – Social and behavioral sciences 111 (2014) – 146*»". Artikkelforfatterne har her konkludert med at tidligere forskning og artikler kun har brukt en forenklet tilnærming for å konkludere med at turborundkjøringer gir bedre kapasitet enn konvensjonelle rundkjøringer med tilsvarende størrelse. Deres «kjørefeltbaserte» beregningsmetode viser derimot at det bare er i svært spesifikke scenarier som er uvanlige i virkelige trafikknettverk at en standard turborundkjøring forventes å gi mer kapasitet enn tilsvarende rundkjøring med to kjørefelt.

Her er det verdt å nevne som en avsluttende kommentar at turborundkjøringer alltid må tilpasses til trafikkmønstret som er observert på stedet. Det vil ikke være tilstrekkelig og bare velge en «turborundkjøring-layout» og tro at alle problemer er løst.

2.1.3 Trafikksikkerhet Turborundkjøringer

I Norge registreres det svært få alvorlige ulykker i rundkjøring, og rundkjøring beskrives ofte som et trafikksikkert alternativ til tradisjonelle kryss. Dette har nok sammenheng med reduksjonen i antall konfliktpunkt i en rundkjøring i forhold til tradisjonelle kryss.

De vanligste ulykkessituasjonene som oppstår er vist av Figur 2. Som vi ser av figuren oppstår ulykken stort sett i rundkjøringens konfliktpunkter (se Figur 1 i forrige delkapittel som viser konfliktpunkter i tradisjonell rundkjøring og turborundkjøring). I tillegg har man singelulykker hvor kjøretøy mister kontrollen. Ut fra dette er det naturlig å tenke seg at en reduksjon i konfliktpunkter medfører en reduksjon i antall ulykker.



Figur 2: Vanlige ulykkesituasjoner som oppstår i tradisjonelle rundkjøringer.
 (FIGURKILDE: *The Baltic journal of road and bridge engineering - Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model*)

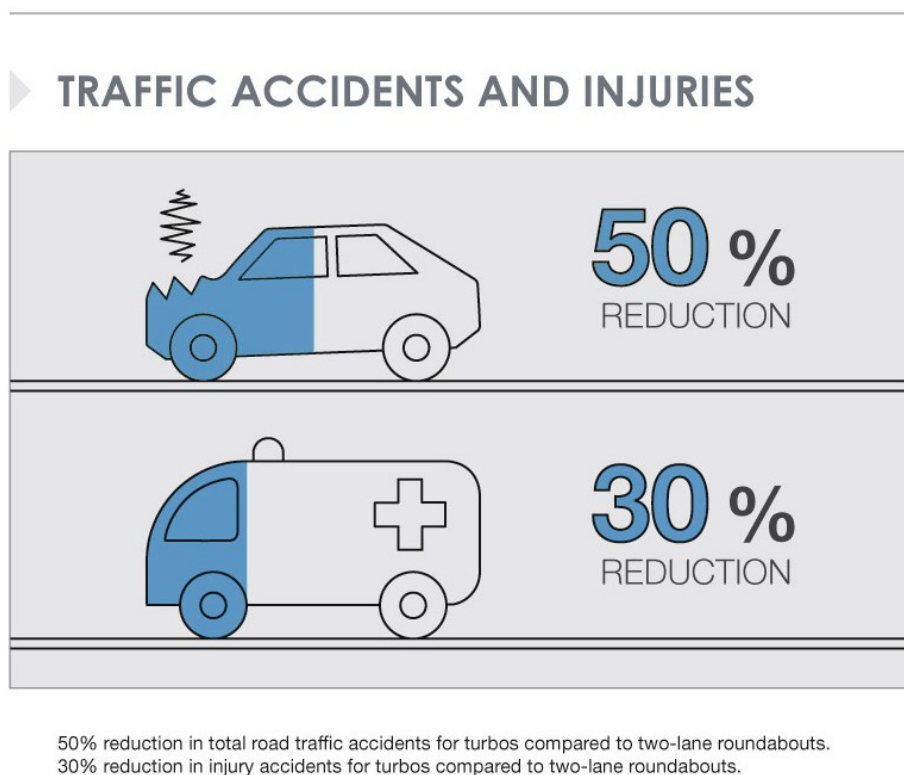
Det er ikke skrevet så mange artikler om trafikksikkerhet i turborundkjøringer, men det finnes noen. I artikkelen fra «The Baltic journal of road and bridge engineering» – *“Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model”*, har artikkelforfatterene laget en beregningsmodell for å se på effekten turborundkjøring har med tanke på trafikksikkerheten. Her tar de for seg de vanlige ulykkene som oppstår i tradisjonelle rundkjøringer. Figur 2 viser følgende vanlige ulykkesituasjoner:

- Vikepliktbrudd (Failure to yield)
- Tap av kontroll av kjøretøy (Loss off control)
- Påkjøring bakfra (Rear-end)
- Kollisjon kjøretøy på tur ut av rundkjøring (Circulating exiting)

Artikkelforfatterne beskriver at turborundkjøringer er såpass ny i Europa, slik at det ikke finnes tilstrekkelig grunnlagsdata for å kalibrere modellen opp mot denne type

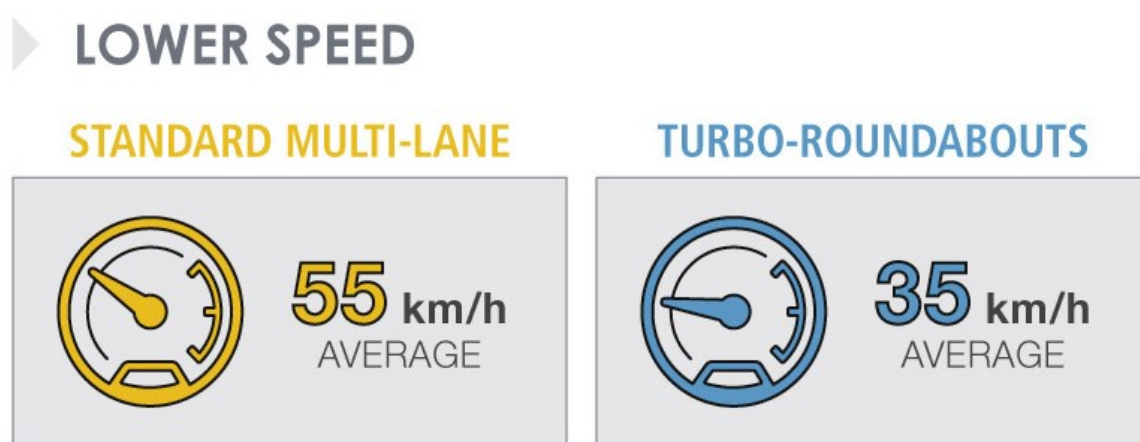
rundkjøring. De har derfor valgt å kalibrere modellen opp mot tradisjonelle et- og tofelts rundkjøringer. Trafikkdataene forfatteren har brukt er også kun hentet fra noen få rundkjøringer i urbane strøk, og er derfor ikke nødvendigvis representativt for en hel rekke andre typer rundkjøringer med annen lokalitet. Modellen tar heller ikke hensyn til at turborundkjøringer kan optimaliseres med en ideell geometrisk utforming ut fra trafikkbilde. Men bakgrunn i dette vil derfor modellen bare gi foreløpig indikasjon på effekten av turborundkjøring.

Til tross for dette viser beregningene i modellen en signifikant forskjell. Man ser en indikasjon på reduksjon av antall ulykker på 40-50%, samt en reduksjon i ulykker med mulighet for personskade på 20-30%. Resultatene er grafisk fremstilt av Figur 3



Figur 3 – Reduksjon i ulykker og skader i turborundkjøring, funnet i “The Baltic journal of road and bridge engineering” (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)

I tillegg beskrives det i Fortuijn: Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, TRAIL, Thesis Series, 2012, at gjennomsnittsfarten i turborundkjøring er betydelig lavere enn i tradisjonelle rundkjøringer, som vist av Figur 4. Reduksjonen i hastighet skyldes at turborundkjøring avbøying og fysisk kjørefeltskille gjør at man blir tvunget til et kjøremønster gjennom rundkjøringen, noe som gjør det vanskelig å holde en høy hastighet.



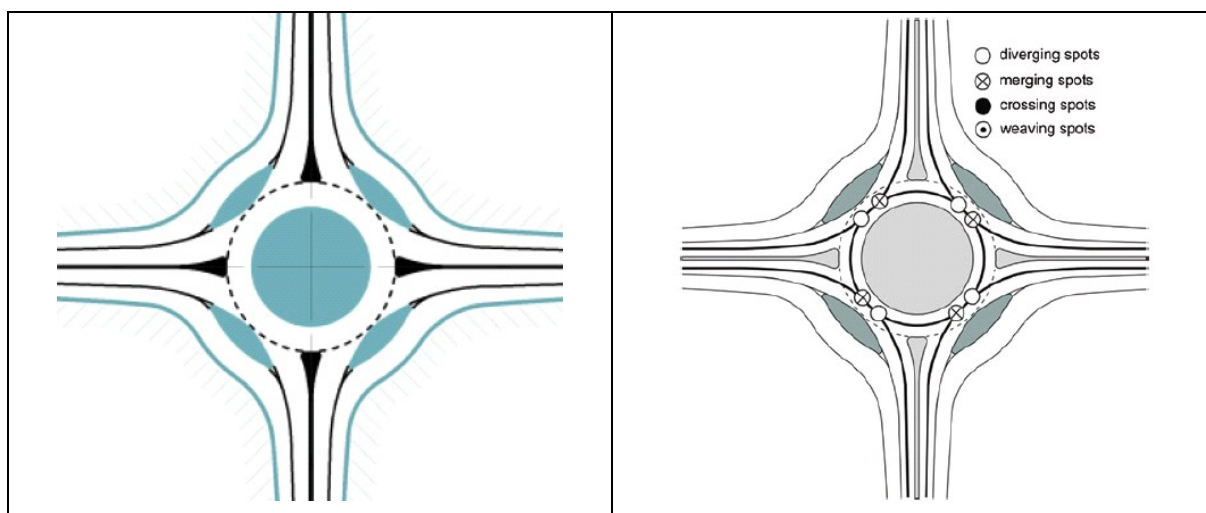
Turbo-roundabout lanes are narrower, which helps keep vehicle speed low as it would be on a standard single-lane roundabout - reducing the possibility for accidents.

Figur 4: Gjennomsnittshastighet i tradisjonell rundkjøring og i turborundkjøring, data hentet fra i «Fortuijn: Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid, TRAIL, Thesis Series, 2012,» (FIGURKILDE: TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane)

Det er almen kjent at jo høyere fart desto større skadepotensiale har en evt. ulykke. Det er derfor naturlig å konkludere med at når det inntreffer en ulykke i en turborundkjøring, vil den med all sannsynlighet være mindre alvorlig enn dersom den hadde intruffet i en tradisjonell rundkjøring. Dette er med å bygge opp under funnene i «The Baltic journal of road and bridge engineering», som illustrert av Figur 3.

2.1.4 Blomsterrundkjøring (Flower roundabout)

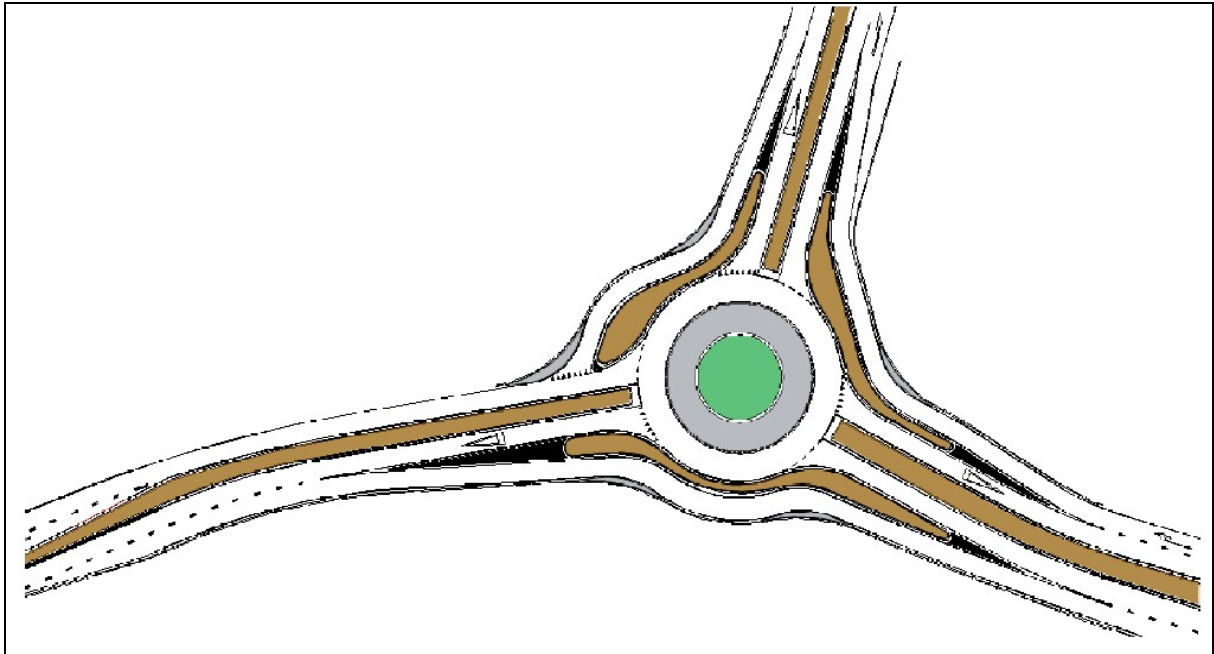
En ny krysstype som også er på trappene og omtalt i flere vitenskapelige artikler er såkalte «blomsterrundkjøring» (*Flower roundabout*). I denne type rundkjøring er det bare fire konfliktpunkt, noe som vil øke kapasiteten og bedre trafikksikkerheten i rundkjøringen. Dette som vist av Figur 5. Blomsterrundkjøring egner seg svært godt hvor man har stor andel gjennomgangstrafikk og høyresvingene, samt få venstresvingene.



Figur 5: "Flower roundabout" (blomster-rundkjøring), hvor høyresvingene har egne felt. (FIGURKILDE VENSTRE: Ferdinando Corriere - Performance analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context - SIIV 5th International Congress). (FIGURKILDE HØYRE: T.Tollazzi – Alternative type of Roundabouts – An information guide)

Blomsterrundkjøring er også omtalt under temaet turborundkjøringer i «FURTUIJN - Turborotonde en turboplein», under navnet «passeerbaanrotonde», eller «passerende kjørefelt rundkjøring» direkte oversatt til norsk. Figur 6 viser hvordan Furtuijn har skissert denne type rundkjøring.

Blomsterrundkjøringen skiller noe i fra den tradisjonelle turborundkjøringen, men undertegnede har funnet det naturlig å ta med rundkjøringen i masteroppgaven. Denne rundkjøringstypen er derfor vurdert separat og sammenstilt med øvrige turborundkjøringsalternativer.



Figur 6: "Passeerbaanrotonde" (blomsterrundkjøring) med to utkjøringsmuligheter.

FIGURKILDE: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein.

2.1.5 Dråperundkjøring

Denne type rundkjøring har mange navn, som for eksempel regndråperundkjøring, hundebainrundkjøring, tåredråperundkjøring, og «dumbell» (manual) rundkjøring. Samtlige navn kommer nok av rundkjøringens utforming sett oven i fra, som vist av *Figur 7*.

Her danner ikke den enkelte rundkjøringen en komplett sirkel, men har i stedet en dråpe form. Dråperundkjøringene smelter så sammen og danner en sammenhengende lang rundkjøring.

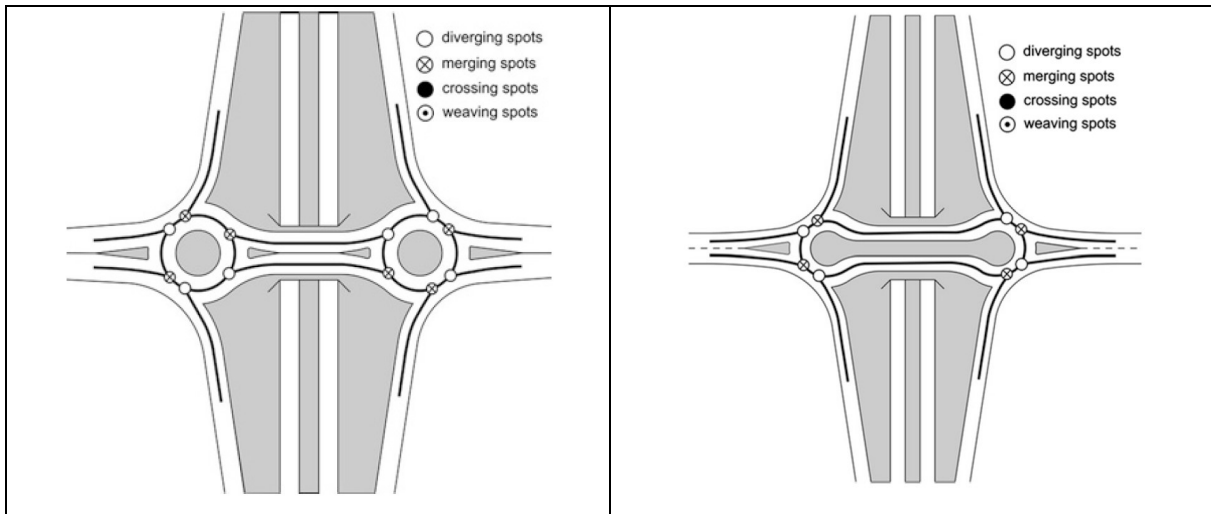
Denne type toplanskryss er nok betydelig dyrere enn det tradisjonelle ruterkrysset. Dette fordi dråperundkjøringen krever en betydelig konstruksjon ved kryssing av hovedveg, mens det for ruterkryss kun er nødvendig med en enkel bro-konstruksjon.



Figur 7: Eksempel på dråperundkjøring. (FIGURKILDE: <https://inhabitat.com/keystone-parkway-is-the-greenest-highway-intersection-in-the-us/double-teardrop-roundabout-3>)

I «Alternative Types of Roundabouts – An information Guide» av Tomaz Tollozzi blir denne type rundkjøring beskrevet nærmere. Her er noen viktige fordelaktige punkter oppsummert under:

- I tradisjonelle ruterkryss er det en viss fare for at kjørende kan kjøre i feil retning ut på rampene. I dråperundkjøring gjør avbøyningen av rampene at sannsynligheten for kjøring i feil retning er betydelig redusert.
- Dråperundkjøringen har færre konfliktpunkt i forhold til det tradisjonelle ruterkrysset. Dette som vist av Figur 8. Dette er med på å øke kryssets kapasitet, samt redusere sannsynligheten for trafikkulykker.
- Rundkjøringens utforming gjør at høyresvingene i liten grad trenger å være innom rundkjøringen.



Figur 8: Figur til venstre viser konfliktpunkt i tradisjonelt ruterkryss. Figur til høyre viser konfliktpunkt i toplanskryss med dråperundkjøring. FIGURKILDE: T.Tollazzi – Alternative type of Roundabouts – An information guide.

Denne type rundkjøring/toplanskryss er etter hvert innført i flere europeiske land, og er spesielt vanlig i Nederland og Storbritannia. Rundkjøringstypen er også å finne i USA og Canada. Se eksempel Figur 9.



Figur 9: Dråperundkjøring i Carmel, Indiana, USA : FIGURKILDE: <https://www.structurepoint.com/engineering-and-infrastructure/project/keystone-parkway-at-126th-street>

3 Dagens situasjon – Kryss E6-Fv.757

3.1.1 Dagens situasjon

E6 deler i dag på mange måter Verdal inn i to «brukssoner». I øst ligger Verdal sentrum med ca. 8000 innbyggere, hvor en finner boligbebyggelse, butikker- og kjøpesentre, rådhus, skoler og barnehager etc. I vest ligger Verdal industripark på hele 2500 mål med et mangfold av bedrifter og ei stor havn. Verdal industripark (også benevnt som «Ørin industriområde») omfatter 165 bedrifter som til sammen sysselsetter 3000 personer med en samlet omsetning på over 8 milliarder i 2016. Industriparken er arbeidsplassen til mange på Innherred, og det området som flest «verdalinge» har som sitt arbeidssted.

Disse to «brukssonene» medfører nødvendigvis en hel del kryssing på tvers av E6. I tillegg er det behov for adkomst til Verdal sentrum og Verdal industripark fra både sør og nord. Den aller meste av aktiviteten på Ørin er tradisjonelt industriarbeid, hvor det stemples inn kl.07.00 og ut kl.15.00. Dette gjør at man hver eneste ukedag får en relativt konsentrert rushtid morgen og ettermiddag.

Det må også nevnes at det er en betydelig tungtransport til og fra Verdal havn. Havna er i dag den største industrihavna i Trondheim Havn IKS med i overkant av 1 million tonn gods årlig over kai. Av dette utgjør kalk og kalkprodukter desidert største andel av godset som transporteres ut. Kalken tas ut i Tromsdalen ca. 1 mil øst for Verdal sentrum og transporteres med lastebiler til depot på Verdal havn. Det foreligger utbyggingsplaner for havna og industriområdet som kan medføre ytterligere økt transport både på veg og vann.

Dagens E6 gjennom Verdal ble ferdigstilt på 1980-tallet, og erstattet da gammel E6 som gikk gjennom Verdal sentrum. Gammel E6 fungerer i dag som lokalvegnett, og er tilkoblet dagens E6 som vist av Figur 10 i «Kryss Vinne», «Havnekrysset» og «Kryss Fleskhus».



Figur 10: Oversikt over eksisterende vegsystemer gjennom Verdal

Dagens E6 er en to-feltsveg med slak horisontalkurvatur og stigninger. Fartsgrensen var på 2000-tallet 90 km/t nord for «Havnekrysset» og 80 km/t sør for havnekrysset, men fartsgrensen er av ukjent årsak nedjustert senere år til henholdsvis 80 km/t og 70 km/t. Alt i alt oppleves vegen som veldig bra, men med en ÅDT sør for havnekrysset på 12200kjt i døgnet og med en andel tungtrafikk på 14 %, (tall fra www.vegvesen.no/vegkart) så begynner makskapasiteten å bli nådd.

Den gang dagens E6 ble prosjektert på 1980-tallet hadde nok datidens vegplanleggere en ide om at det en gang i fremtiden ville bli behov for flere kjørefelt. Spesielt forbi Verdal industripark (Ørin industriområde) er dette synlig, hvor det på vestsiden langs E6 er satt av areal. I «Havnekrysset» er det under brua som krysser E6 også klargjort til å ta i mot flere felt. Som vist av Figur 11 er det under brua i teorien plass til 8 felt, 4 felt i hver retning.



Figur 11: Havnekrysset med bru over dagens E6 (KILDE: <https://www.google.com/maps>)

3.2 Pågående planarbeider

Statens vegvesen har på oppdrag fra «Nye veier» utarbeidet forslag til kommunedelplan med konsekvensutredning for ny E6 fra Åsen i Levanger kommune til Mære i Steinkjer kommune. E6 gjennom Verdal inngår i denne planen.

3.2.1 Planstatus ved oppstart av masteroppgaven

Statens vegvesen sitt planprogram for kommunedelplan med konsekvensutredning ble sendt ut på høring i mars 2016. Planprogrammet ble fastsatt i alle berørte kommuner i september samme år. Vegvesenet valgte å ferdigstille forslag til kommunedelplan for hele strekningen desember 2017. Ambisjonene til vegvesenet er at kommunedelplan skal være vedtatt i alle berørte kommuner vår 2019, slik at prosjektet blir med i Nasjonal Transportplan for perioden 2022-2033.

I Verdal kommune var kommunedelplanen til behandling i komité for plan og samfunn 14.august 2018. Her ble behandlingen av kommunedelplanene enstemmig besluttet utsatt. Det ble også fattet vedtak om nye utredninger fra Statens vegvesen til følgende punkter:

- Konsekvenser for lokaltrafikken
- Konsekvenser for Verdal sentrum og Ørin industripark
- Jordvern
- Eksisterende bebyggelse

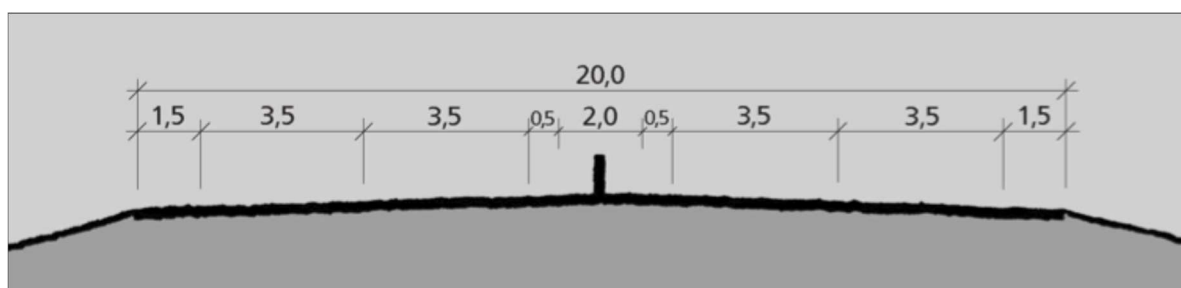
Prosjektet er i dag omtalt i Nasjonal Transportplan for 2018-2029, hvor konseptvalgutredningen sier at det skal bygges to-felts veg med midtdeler og forbikjøringsfelt. I kommunedelplanen har Statens vegvesen valgt å planlegge med gjennomgående 4-felts veg som følge av framskriving av dagens trafikk tall.

Daværende samferdselsminister Ketil Solvik-Olsen uttalte til Trønderavisa i august 2018, på spørsmål om antall felt i prosjektet følgende: *«Vi tror man kan få bedre vei for en lavere pris på ny E6 fra Åsen til Mære. Det er det vi håper vegvesenet skal se når de jobber videre med dette.»* Det er kommet frem i avisene at dette utspillet overrasket flere i Statens vegvesen, da en kan tolke det til at kommunedelplanen med konsekvensutredning muligens er utarbeidet på feil premisser.

Ut fra planstatus, politisk behandling og øvrig drakamp rundt valgalternativene, kan det bli store endringer i prosjektet i løpet av året denne hovedprosjektoppgaven utarbeides. En har derfor som grunnlag for masteroppgaven lag til grunn planstatus og planforslag som foreligger ved masteroppgaveoppstart (dvs. Statens Vegvesen sine kommunedelplaner av desember 2017).

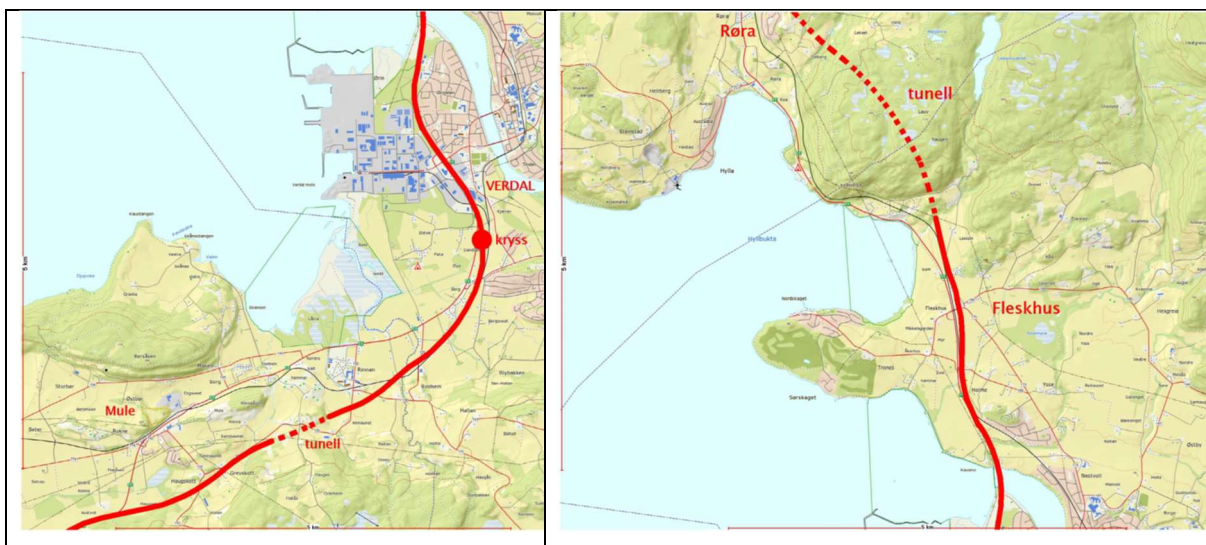
3.2.2 Ny E6

Ny E6 planlegges som 4-felts veg med fartsgrense 110 km/t. I kommunedelplanen er tverrprofil for vegklasse H8 valgt. Denne vegklassen dekker hovedveger med en ÅDT mellom 12000 og 20000. Fartsgrensen for vegklassen er 100 km/t, men horisontalkurvatur og vertikalkurvatur tilfredsstiller krav til fartsgrense 110 km/t. Vegklassens tverrprofil har en bredde på 20,0 meter. I tillegg må det i henhold til vegvesenets håndbøker etableres en sikkerhetssone på 10,0 meter på begge sider av vegen dersom man ikke skal sette opp langsgående rekkverk. Ny E6 får altså en minimum total bredde på 40,0m. Vegens tverrprofil er presentert i *Figur 12*.



Figur 12: Tverrprofil vegklasse H8. 20 meter vegbredde. (KILDE: Statens vegvesen håndbok N100 – veg og gateutforming)

Anbefalt veglinje i kommunedelplan ligger sør for Verdal i en ny trasè, et godt stykke unna dagens E6. I det vegen passer kommunegrensen mellom Levanger og Verdal, kommer ny veg ut fra «Salthammertunnelen» og følger videre i større grad eksisterende trasè gjennom Verdal. Dette gjør den også videre på tur nordover, helt til man kommer til Fleskhus. Her forlater anbefalt veglinje dagens E6, og krysser videre inn i Inderøy kommune gjennom en ca. 4 km lang to-løp vegtunnel («Bjørgetunnelen»). Anbefalt vegtrase fra Statens vegvesen sin kommunedelplan med konsekvensutredning kan leses av *Figur 13*. Utklipp av Statens Vegvesen sin visualisering av anbefalt vegtrase kan sees av *Figur 14* og *Figur 15*.



Figur 13: Anbefalt ny vegtrasè (KILDE: Statens vegvesen - kommunedelplan med konsekvensutredning)



Figur 14: Visualisering av anbefalt trasè gjennom Verdal. (KILDE: Statens vegvesen - <https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JIJPHGq>)



Figur 15: Visualisering av anbefalt trase ved Fleskhus. Ny E6 forlater dagens E6 og går inn i en ca. 4 km lang to-løps tunnel. (KILDE: Statens vegvesen - <https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JJPHGg>)

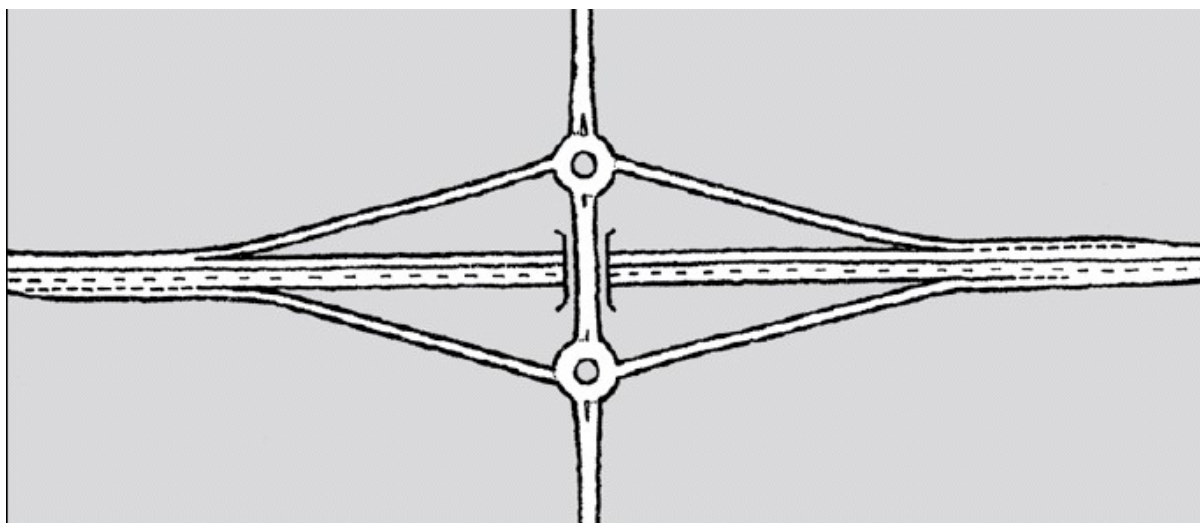
I kommunedelplanen opplyser Statens vegvesen at 30 % av dagens trafikk er gjennomgangstrafikk, og at det er denne gruppen som primært blir å benytte seg av ny E6. Det framgår at 70 % av dagens trafikk er lokaltrafikk som sannsynligvis blir å benytte seg av dagens E6 og øvrig lokalvegnett ved ferdigstillelse av prosjektet. Med dagens ÅDT på 12200 ville man i dag sittet igjen med en ÅDT på 3700 på ny E6. Dette utgjør et betydelig avvik opp mot dimensjoneringsklassen (vegklasse H8, ÅDT 12000-20000) som er valgt for prosjektet.

Prosjektet nye E6 er forutsatt finansiert med bompenger og bidrag fra statskassen. Statens vegvesen er satt til å forvalte våre felles ressurser. Når trafikken på E6 blir redusert, og trafikken på lokalvegnettet er anslått å øke ved ferdigstillelse, er det fra flere hold konkludert med at den planlagte løsningen ikke er god nok. Dette er nok også en vesentlig årsak til at de lokale planmyndigheter ber om ytterligere utredninger.

3.2.3 Planlagt nytt kryss

I kommunedelplan beskrives det at det nye toplanskrysset på E6 Verdal skal utformes som ruterkryss som vist av Figur 16. Det beskrives også at det finnes flere alternativer, men at det en ensartet kryssutforming er ønskelig for strekningen. Verken «*turborundkjøring*», «*dråperundekjøring*» eller «*blomsterrundkjøring*» omtales naturlig nok ikke, da denne type kryss ikke er implementert i Statens vegvesen sine håndbøker.

Minste avstand mellom kryss skal være 3 km i henhold til håndbøkene. Det er i prosjektet beskrevet at det er ønskelig med en større avstand for å redusere antall kryss. Dette for å redusere inngrep i landbruksareal, samt at dette trolig også er et kostnadsspørsmål.



Figur 16: Standard ruterkryss. (KILDE: Statens vegvesen - håndbok N100 – veg og gateutforming)

Det planlegges kun et kryss i Verdal. I kommunedelplanen er foreløpig skissert plassering av nytt kryss mellom dagens «*Kryss Vinne*» og dagens Havnekryss, som vist av Figur 17. Det at det kun etableres et tilkoblingspunkt til ny E6 er nok i betydelig grad med på å påvirke lokaltrafikken til å benytte seg av denne nye vegen.

Det er gjennom media ytret ønske fra næringsliv, industri og politisk hold, at nytt kryss inn til Verdal bør ligge ved dagens havnekryss. Dette er nok på mange måter naturlig, da mye av dagens lokalvegnett er knyttet opp mot nettopp dette krysset. Oppgaven tar for seg selve utformingen av dette nye krysset.



Figur 17: Visualisering av anbefalt plassering av kryss, mellom kryss Vinne og Havnekrysset. (KILDE: Statens vegvesen.

<https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JJPHGg>)

3.2.4 Særskilte forhold knyttet til omkjøring ved stengte tunneler sør og nord for nytt plankryss på E6

Den nye planlagte E6 traseen er basert på en tunnel («*Salthammertunnelen*») sør for «*Havnekrysset*» (E6-Fv.757) og en tunnel («*Bjørgatunnelen*») nord for «*Havnekrysset*». Begge tunnelene planlegges med to løp.

Tradisjonelt underkommuniseres problemer ved stengning av tunnel i alle beslutningsprosesser i planarbeidene. I kommunedelplanen med konsekvensutredning er ikke dette omtalt i det hele tatt.

På planstadiene argumenteres det ofte med at når man har en tunnel med to løp så kan trafikk i det ene løpet gå som normalt, selv om motgående løp blir stengt.

Erfaringsmessig skjer stort sett ikke dette. Det skyldes følgende punkter:

- Når det planlegges arbeid i et løp blir det ofte i risikovurderingen bestemt at begge løp må stenges. Dette med tanke på HMS, da det er viktig at arbeiderne hører hverandre og trafikk fra pågående arbeider godt, og ikke forstyrres av støy fra naboløp.

- Det er utfordrende og kostbart med variabel skilting som ivaretar flere ulike senario ved stengt tunnel.
- To løps tunneler planlegges med at det ved en hendelse i et løp, evakueres over i motsatt løp. Dersom det ene løpet er ute av drift og for eksempel mørklagt som følge av vedlikehold, er det ikke heldig med trafikk i motsatt løp. Dette fordi det er problematisk med evakuering over i stengt tunnellop.

Med bakgrunn i dette vil trolig hele tunnelen bli stengt ved hendelser i et av løpene.

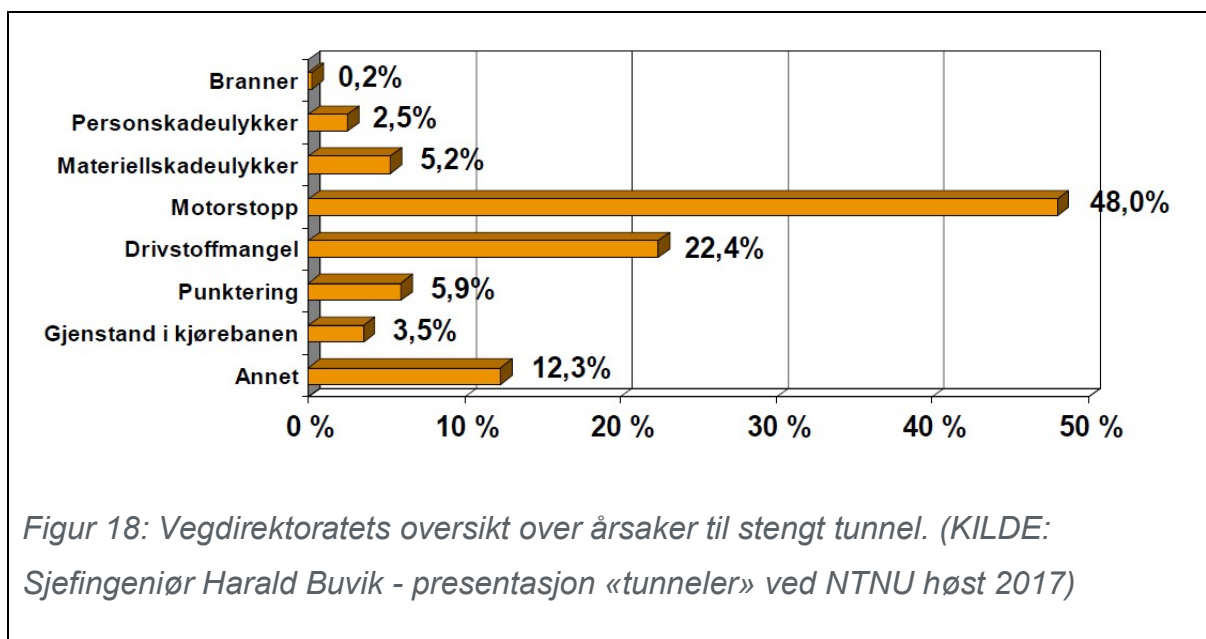
Høsten 2017 var sjefingeniør Harald Buvik (ved Tunnel og betongseksjonen i Vegdirektoratet) gjesteforeleser i faget BA6061 Drift og vedlikehold. Her omtalte Buvik følgende momenter vedrørende planlegging av tunneler og behov for omkjøringsrute.

Generelt bygges tunneler for hendelser som brann og katastrofer, men de fleste (ca. 98 %) stenges som følge av trivielle hendelser som har årsak i:

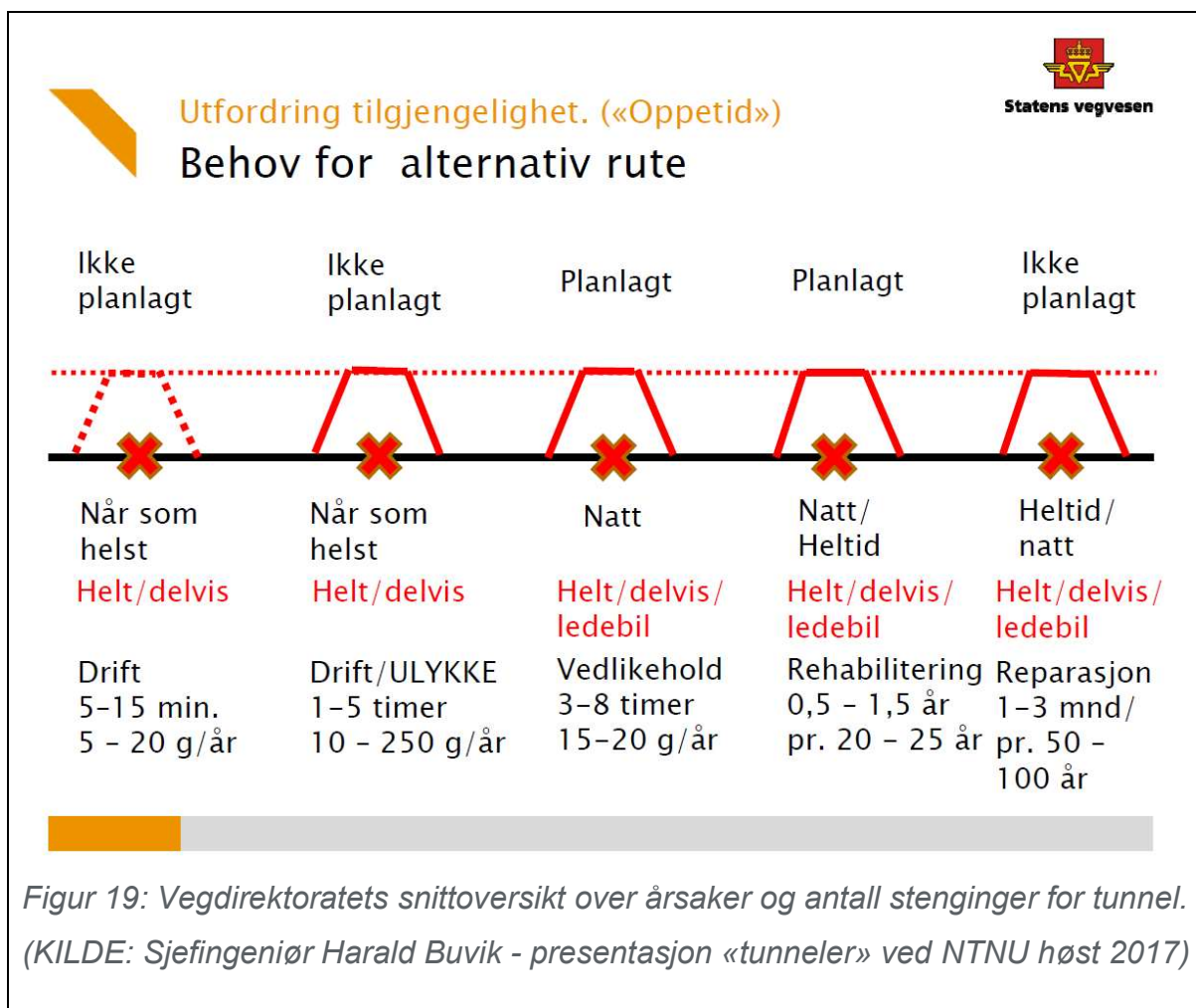
- tom for drivstoff
- punktering
- tap av last
- snø og is fra passerende kjøretøy
- dugg på frontruter og visir.

Denne type hendelser er ikke planlagt, og skjer ofte på høytrafikkveger. Terskelen er lav for å stenge en tunnel for rydding, spesielt på veger med høy trafikk og høy fartsgrense. Ved stengt tunnel må trafikken over på omkjøringsveger. I følge Buvik er gjelder følgende tommelfingerregel:

10 minutt stengt høytrafikk tunnel = 1 time kaos på alternativ rute.
--



Det vil i tillegg også være behov for totalrehabilitering etter en viss tid. Landsnittet for tunneler er etter 20 – 25 år som vist av Figur 19, men for høytrafikk-tunneler er dette betydelig kortere. «Bjørgatunnelen» vil bli forholdsvis lang (ca. 4 km), slik at denne vil ved rehabilitering bli stengt over en lang periode, kanskje over flere år. «Salthammertunnelen» er noe kortere med sine 0,9 km.



Ved fartsgrense 110 km/t er ikke ledebil et alternativ. En kan derfor ut fra Vegdirektoratets statistikk si at «Salthammertunnelen» og «Bjørgatunnelen» med et absolutt minimum vil være stengt i kortere og lengre perioder 25 ganger pr. år.

Undertegnede har også valgt å sammenligne sjefingeniør Buvik sine tall med erfaringstall fra tunneler i Trøndelag. I denne sammenhengen har en fremskaffet statistikk fra Statens vegvesen vedrørende tunnelene som ligger nærmest dette prosjektområdet, nemlig stenging av tunnelene mellom Trondheim og Stjørdal for årene 2016, 2017 og fram til september 2018. Omfanget av stengt tunnel synes veldig likt for alle disse årene. Tall for 2017 er presentert i Tabell 1.

Tunnelnavn	Væretunnelen	Stavsjøfjelltunnelen	Helltunnelen
Alder	30 år	28år	23år
Lengde	1627m	1721m	3924m
Uforutsett hendelse i timer	16	17.5	7.3
Planlagt stenging i timer	405.5	492.3	301
Antall stengninger	60	72	40
Totalt stengt antall timer	421.5	509.8	308.3
Totalt stengt antall dager	17.6	21.2	12.8

Tabell 1: Statistikk stengning av tunneler på strekningen Trondheim - Værnes i 2017

Vi ser av Tabell 1 at det er et stort antall stenging av disse tunnelene, hvor hovedvekten er i kategorien planlagte stengninger. Her kan det nevnes at i perioden 2014-2017 ble riksveg tunnelene oppdatert for å fylle kravene i EU's tunnelforskrift. En god del av stengningene skyldes nok arbeidet med dette, men av meldingsrapportene mottatt fra Statens vegvesen ser en at det også dreier seg om stenging som følge av asfaltering, vegoppmerking, sprengningsarbeider, vedlikeholdsarbeid etc.

Alle disse hendelsene vil med all sannsynlighet også inntreffe med stort sett samme hyppighet i løpet av «Salthammertunnelen» og «Bjørgatunnelen» sin levetid. Det er derfor særdeles viktig at siste kryss før tunnelene, og lokalvegnett er utformet slik at det sikrer god trafikkavvikling ved omkjøring ved stengt tunnel.

Etter avtale med veileder er det ikke tatt høyde for stengt tunnel ved den forestående dimensjonering og simulering av fremtidig kryss. Dette med begrunnelse i at dette blir utfordrende å simulere riktig, samt at det uansett ikke vil være kryssområdet som er flaskehalsen ved stengte tunneler i dette tilfellet. Trolig vil også en løsning med minimum av- og påkjøring før tunnelene komme inn i planene, etter hvert som planprosessen skrider fremover.

4 Datainnsamling - Registrering av trafikkdata

4.1 Metode

4.1.1 Introduksjon

ÅDT oppgis i vegkart på vegvesenet sine hjemmesider til å være 12500 på Fv757 mellom kryssene. Dette er i utgangspunktet ikke så interessant når man skal gjøre trafikksimuleringer, men mengden tilsier 4-felts veg ut fra krav til vegstandard i vegvesenet sine håndbøker.

Trafikkdata ble framskaffet ved hjelp av manuell registrering og med videooptak. Registreringene ble utført i uke 35, fra mandag til fredag i ettermiddagsrushtid. Registreringene ble utført over en hel uke for å fange opp variasjoner over en uke.

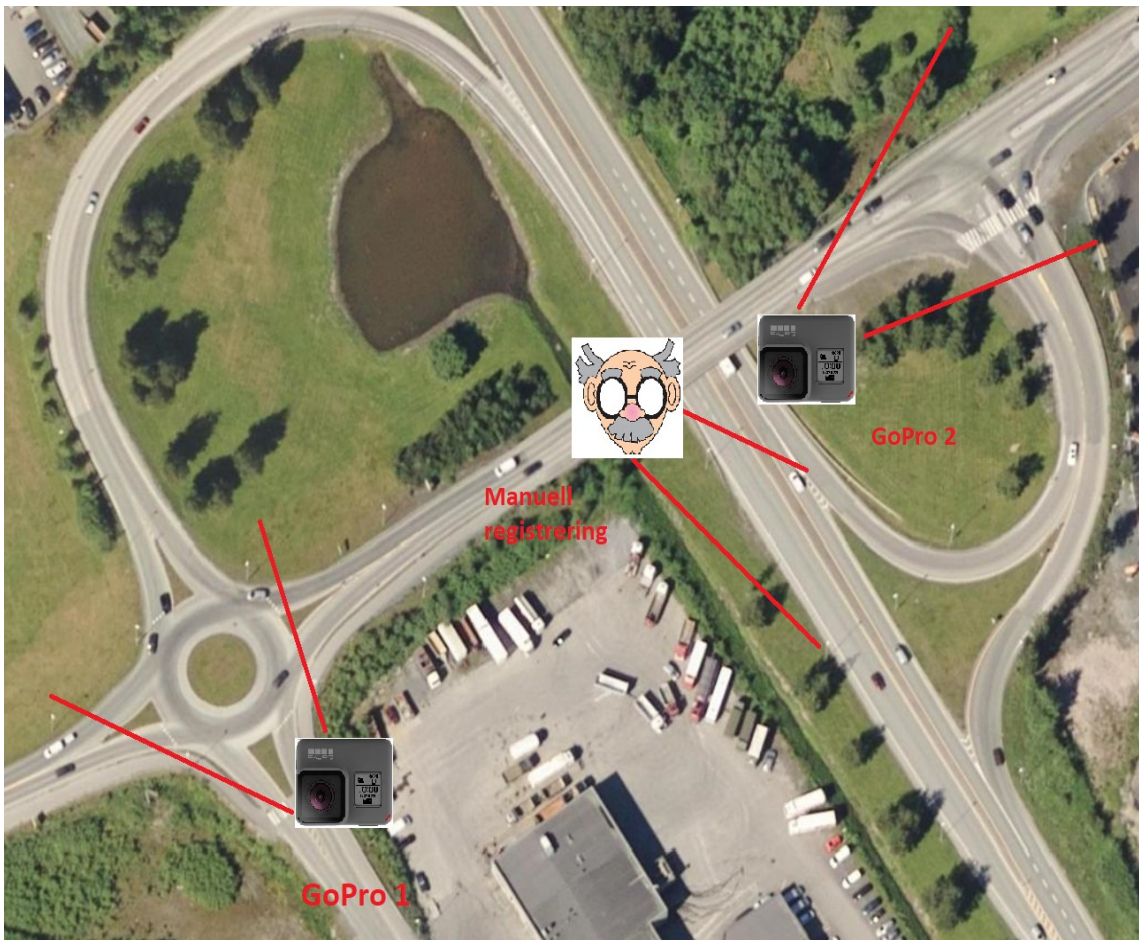
Registreringene ble gjort over 1,5 time, da dette var batterikapasiteten til valgt videokamera. Fra mandag til onsdag ble registreringene gjort i tidsrommet kl.14.30 – kl.16.00. Torsdag til fredag ble registreringene gjort i tidsrommet kl.14.45 til kl.16.15. Dette for å være sikker på at timen med mest trafikk (kritisk time) ble registrert.

I de to kryssene er det totalt 18 ankommende svingebevegelser. Trafikkdata (2 bevegelser) på E6 er også registrert. 20 kjørebvegelser à 1,5 time utgjør totalt 300 trafikk-telletimer. Optimalt burde man utført tellinger fordelt over året for å fange opp års variasjoner, samt vurdert trafikkdata og svingebevegelser i morgenrushet. Dette er ikke gjort da arbeidsomfanget ville bli alt for stort i forhold til hva en masteroppgave skal omfatte.

Det ble heller ikke bruk på å registrere andel tunge kjøretøy, men det opplevdes som en stor andel under registreringen. I vegkart på Statens vegvesen sine hjemmesider er denne oppgitt til å være 11 % for registreringsår 2017. Denne andelen er brukt i det videre arbeidet med masteroppgaven.

Registreringene ble utført i varierende trøndersk høstvær, med sol og varme noen av dagene, regn og sur vind andre dager.

Illustrasjon av hvordan registreringene ble utført vises av *Figur 20*.



Figur 20: Illustrasjon av registrering av trafikk. Flyfoto hentet fra 1881.no

4.1.2 Videoregistrering

To stykk «new GoPro Hero» ble brukt trafikkregistrering av rundkjøring og kryssområdet på hver side av E6. Dette som vist av *Figur 21*. Kameraet ble valgt på grunn av bred linsevinkel slik at hele rundkjøringen og krysset ble fanget opp på opptakene. «New GoPro Hero» er også vanntett og enkelt å montere fast i objekter.



Figur 21: Til venstre GoPro 1 montert på lyktestolpe ved kryss vest. Til høyre GoPro 2 montert på trafikkskilt ved kryss øst. Foto: Kjell-Amund Prestmo

4.1.3 Manuell registrering

Trafikk på E6 ble registrert manuelt. Dette for senere å kunne vurdere effekten i kryss ved stengt tunnel/E6. Trafikkdata ble registrert for hvert 15. minutt med to såkalte «manual handheld tally mechanical clicker» som vist av *Figur 22*. Her ble nordgående kjørebane alltid telt med venstre hånd og sørgående felt alltid telt med høyre hånd. Tellerne ble avfotografert med mobiltelefon ved endt telling, og senere lagt inn i excel-skjema. Disse tellerne ble også senere brukt ved trafikkregistrering av videopptak.



Figur 22: såkalte «manual handheld tally mechanical clicker». Brukt til manuell registrering av trafikk, og ved senere gjennomgang av videomateriale. Her ved endt registrering torsdag 30.august kl16.15. Foto: Kjell-Amund Prestmo

4.2 Usikkerhet

Opptak med de to kameraene ble startet på ulike tidspunkt. Ved oppstart av kameraopptak ble tidspunkt muntlig angitt ut fra klokkeslett i hele minutt avlest fra mobiltelefon. Det er derfor knyttet en viss usikkerhet til at registreringene starter på samme tidspunkt på de to ulike kameraene. Dette kan muligens føre til en del mindre avvik i registreringene, spesielt i trafikkstrømmer med mye trafikk.

I rundkjøringen (kryss vest) oppstår det innimellom problem med sikt inn til rundkjøringen, da ventende store kjøretøy på tur inn i rundkjøringen fra Melkevegen sperrer sikten (se Figur 23). I denne sammenheng er det derfor noe mer krevende å se hvor kjøretøyene kommer fra og hvor de tar veien. Dette kan ha ført til noen feiltellinger.

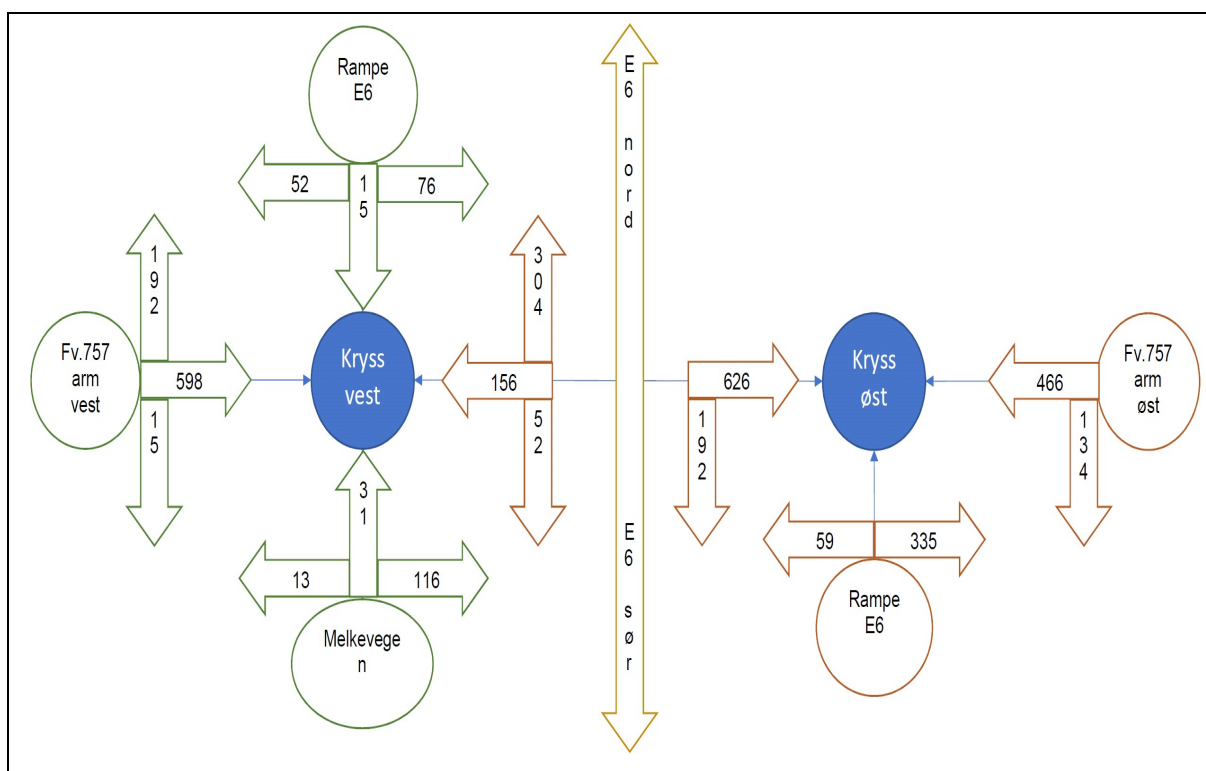
De forannevnte usikre variablene har imidlertid ikke nevneverdig innvirkning på det angitte totalbildet av trafikksituasjonen i Havnekrysset.



Figur 23: Eksempel på utfordrende situasjon med tanke på trafikkteiling, fra videoregistrering onsdag 29.august ca. kl14:38

4.3 Trafikkdata kjørende

Detaljerte trafikk tall fra feltregistreringen ligger vedlagt masteroppgaven. Kritisk time er ut fra trafikk tallene funnet til å ligge mellom kl. 15.00 og kl.16.00. Trafikk tall i dette tidsrommet fra registreringene for hver svingebevegelse i rundkjøringens fire armer er brukt som grunnlag i trafikksimuleringen i denne masteroppgaven. Registret data for hver svingebevegelse er vist av *Figur 24*.



Figur 24: Trafikk tall for hele kryssområdet i perioden 1500 – 1600

Ved planlegging og dimensjonering av veger og utstyr, er det viktig å velge riktig tidsperspektiv for planleggingen. Ved utbygging av hovedvegnettet legges det tradisjonelt til grunn et 20-års perspektiv i forhold til åpningsåret. Ved dimensjonering av vegkryss, rundkjøringer etc. vil ofte et 10-års perspektiv være riktig.

For ny E6 Åsen – Mære er åpningsåret foreløpig uklart. Årlig trafikkvekst er heller ikke oppgitt. Satsing på utvidelse av industriområdet, samt fortetting visjon av sentrumsområdene, vil trolig føre til en stabil og forholdsvis normal økning av trafikken i Havnekrysset. Trafikkøkningen er derfor estimert til 2 % over 20 år, fra årstall for trafikk tellingen. (2018).

Formel for framskriving av årsdøgntrafikk gitt av følgende formel:

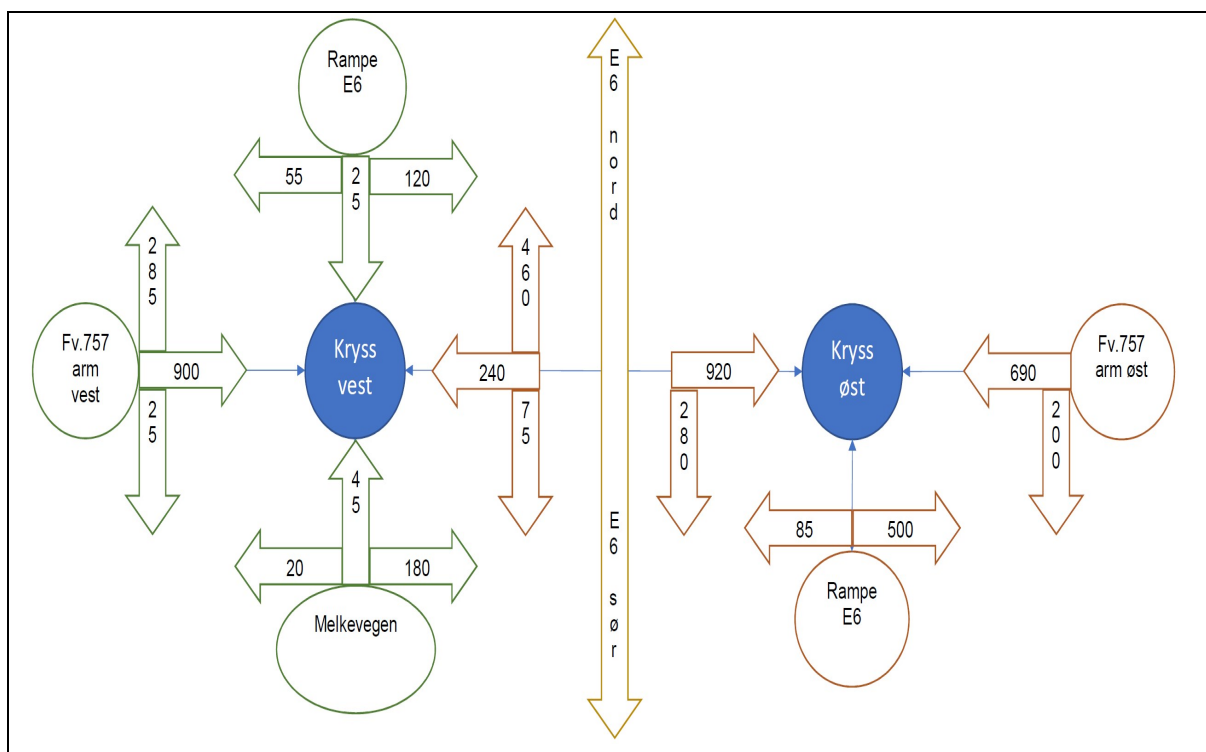
- $\text{ÅDT Beregnet år} = (\text{ÅDT Utgangstår} \times \text{Årlig trafikkekst}^{\text{(Beregnet år-utgangstår)}}$

Formelen kan også benyttes for å framskrive rushtidstrafikk. For denne oppgaven blir dermed rushtidstrafikken (RTT) i år 2038 beregnet på følgende måte:

- $\text{RTT}_{2038} = (\text{RTT}_{2018} \times \text{Årlig trafikkekst}^{\text{(2038-2018)}}$

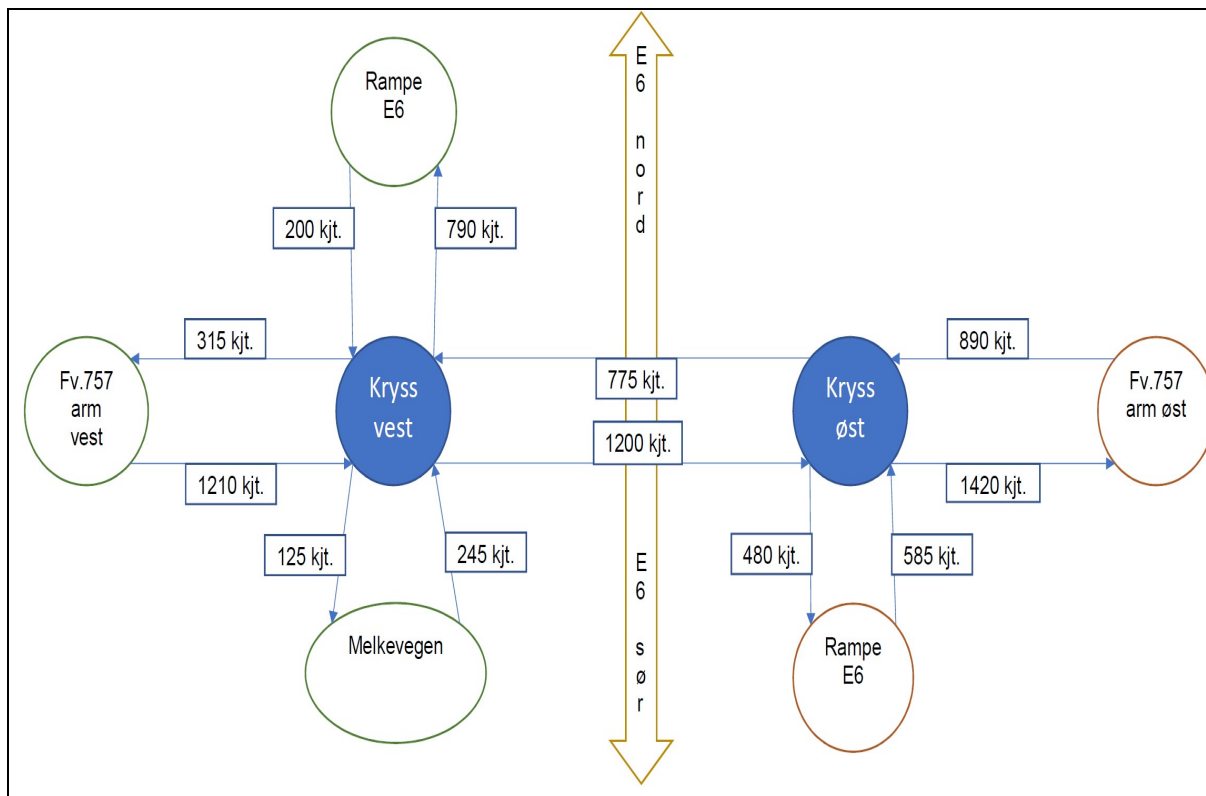
Denne øvelsen er gjennomført for alle svingebevegelser.

Siden trafikken i kryssene er registrert hver for seg, er det under trafikktellingen oppstått en liten ubalanse i trafikk registrert ut fra kryss vest og inn i kryss øst, samt motsatt veg. Dette trolig som følge av tellefeil, samt at trafikktellingene nødvendigvis ikke ble startet akkurat til samme tid for hvert kryss. Framskriving av trafikk til åpningsåret 2038 er med på å øke denne differansen. Med bakgrunn i dette er trafikk tall for hver svingebevegelse avrundet og justert noe opp eller ned. Dette for å skape balanse mellom kryssene. Trafikkdata som grunnlag for simuleringer i Sidra blir som følger, vist av *Figur 25*.



Figur 25: Trafikktall alle svingebevegelser for hele kryssområdet, 20 år fram i tid.

Trafikktallene for hver svingebevegelse er også sammenstilt til trafikktall for hvert kjørefelt i hele kryssområdet, som vist av *Figur 26*.



Figur 26: totalt antall kjøretøy i hvert kjørefelt i hele kryssområdet, 20år fram i tid.

Resultatet fra trafikkberegningene for år 2038 er brukt i de videre simuleringsøvelsene for de ulike kryssalternativene i SIDRA INTERSECTION.

4.4 Trafikkdata gående

Ved dimensjonering/modellering av kryss har man primært fokus på det å løse konflikter mellom kjørende, men gående og syklede har også en viktig rolle, da kryssende i gangfelt inn mot kryss vil i stor grad påvirke trafikkavviklingen i kryssområdene.

Det er under trafikktelegningene registrert svært få gående og syklende i kryssområdet. Totalt utgjør denne gruppen i snitt ca. 10 personer i kritisk time. Disse 10 kommer ofte i grupper på 2-3 personer, noe som tilsier at vi bare har 4-5 kryssinger av gangfeltet i kryssområdene. Trafikkgruppen vil derfor i denne sammenheng ha lite å si for trafikkavviklingen. I en fremtidig situasjon vil det heller ikke være naturlig å lede gående og syklende gjennom et slikt trafikkert hovedkryss. Alternative ruter for kryssing av E6 for gående og syklende bør bygges/utbedres. Med bakgrunn i dette er ikke gående og syklende lagt inn i Sidra-simuleringen for dagens og fremtidig kryssløsninger.

4.5 Trafikkdata kryss Vinne og kryss Fleskhus

Det er ikke foretatt trafikktelegninger av dagens kryss Vinne og dagens kryss Fleskhus, da omfanget ville blitt for stort for denne masteroppgaven. Det er også knyttet såpass stor usikkerhet til hvor denne trafikken vil ta vegen i framtiden, slik at det ville være vanskelig å bruke data fra disse trafikktelegningene til noe fornuftig.

Med bakgrunn i tidligere nevnte problematikk med omkjøringsmulighet ved stengt tunnel, vil trolig en kryssløsning av en eller annen type presse seg fram ved Fleskhus. Kryss Vinne vil trolig utgå som tiltenkt i kommunedelplanen.

For enkelhetens skyld har undertegnede i samråd med veileder valgt at dagens trafikk i «Kryss Vinne» og «Kryss Fleskhus» vil lekke ut på dagens E6 og øvrig lokalvegnett. Trafikk i dagens havnekryss vil fortsatt benytte seg av nytt kryss ved ferdigstillelse av ny E6.

4.6 Visuelle observasjoner

Det er under trafikk tellingen observert en rekke faktorer som er verdt å bemerke, spesielt i kryss øst.

I rushtiden stanser trafikk langs Fv.757 svært ofte for å slippe inn kjøretøy fra adkomstrampene, selv om det er kjøretøy på rampene som har vikeplikt. Dette som vist av Figur 27. Det oppstår da kortere perioder med kø langs fv.757, men den løser seg hurtig opp. Denne «kameraderi-kjøring» er nødvendigvis ikke fordelaktig med tanke på trafikkavviklingen i krysset. Det kan faktisk virke som kjøretøy i rampe svært ofte blir stående og vente på at kjøretøy langs Fv.757 viker, før de svinger inn på Fv.757. Dette resulterer i at nødvendig tidsluke for innsving øker, samt at enkelte mulige tidsluker for innsving ikke blir benyttet.



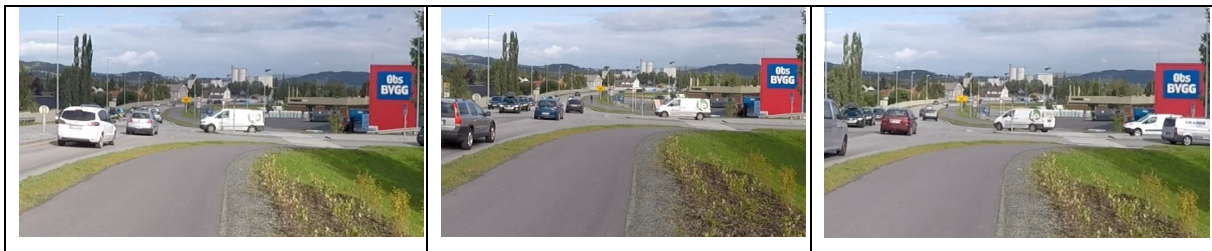
Figur 27: Trafikk stanser for å slippe fram venstresvingene fra rampe og motgående venstresvingene. Foto: Kjell-Amund Prestmo

Det er også ved flere anledninger observert at større kjøretøy i rampe bryter vikeplikten, og bruker sin størrelse på å «presse seg fram». Dette som vist av Figur 28.



Figur 28: Vogntog ser seg lei av å vente på venstresvingemulighet, bryter vikeplikten og presser seg fram. Foto: Kjell-Amund Prestmo

Det er under trafikk tellingen observert flere kjøretøy i adkomstrampene som oppgir forsøk på venstresving. De velger da i stedet høyresving, for så å komme tilbake etter en runde i nærmeste rundkjøring. Dette som illustrert av *Figur 29*.



Figur 29: Kjøretøy ser seg lei av å vente på venstresvingemulighet. Rygger tilbake, og svinger til høyre i stedet. Foto: Kjell-Amund Prestmo

Alle disse faktorene er sannsynligvis med på å påvirke den faktiske trafikkavviklingen i en noe negativ retning. Men vil derfor kunne forvente at Sidra-beregning av dagens situasjon vil komme noe bedre ut enn observert trafikkavvikling på stedet.

Det er ved trafikk telling av kryss vest (rundkjøringen) hver dag observert 2-3 kjøretøy i løpet av 1,5 time som bare tar en runde i rundkjøringen, for så å kjøre ut samme veg som de kom. Dette kjørebvegelsen vil påvirke avviklingen i krysset noe, men er i denne masteroppgaven ikke hensyntatt i den videre beregningen.

5 Trafikksimuleringer

5.1 Innledning

Trafikksimuleringer av dagens og framtidig situasjon er gjort med Sidra intersection 8.0. Trafikktall er hentet fra trafikktelegningene fra ettermiddagsrush som tidligere beskrevet. Her er det viktig å påpeke at morgenrush vil kunne gi kapasitet, kø og forsinkelsesproblemer i andre armer enn for ettermiddagsrush. Siden trafikken i ettermiddagsrushet er større enn morgenrushet, er trafikk i ettermiddagsrush valgt som vurdering og simulering grunnlag.

I Sidra intersection er det nødvendig å korrigere en rekke standard parameter, for at simuleringene skal være så lik norske forhold som mulig. Korrigering av parameterne er gjort i samarbeid med veileder.

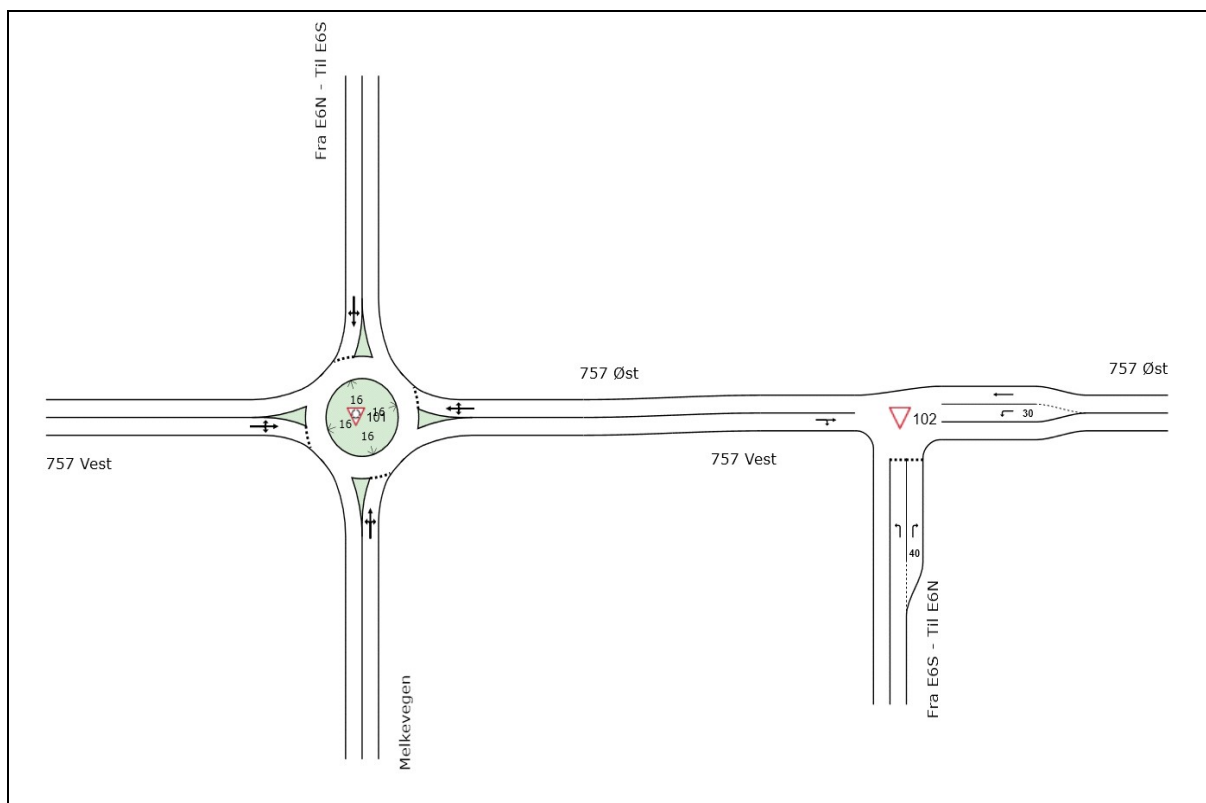
- **Environment Factor (EF)** – Gir mulighet til å øke verdier som er beregnet for kritisk tidsluke og følgetid. I Norge er vi nok noe dårligere til å utnytte tidsluker og korte inn følgetiden. EF settes derfor til 1,1 for alle simuleringer, noe som tilsier at vi øker verdier som er beregnet for kritisk tidsluke og følgetid med 10%
- **Peak Flow Period (PFP)** – Settes til 30 min for alle simuleringer, og er vurdert ut ifra observerte forhold på stedet.
- **Peak Flow Factor (PFF)** – gir mulighet til å ta hensyn til trafikkvariasjonen. Angir man her f.eks PFF til 0,9, vil det si at vi øker trafikken med ca. 10%. PFF bør vurderes ut fra observerte trafikkvariasjoner. Default verdien er 0,95. Denne verdien beholdes i alle beregningene/simuleringene.
- **Exiting Flow Effect (EFE)** – Angir hvor påvirket man blir av de som kjører ut av rundkjøringen. Default verdien er satt til 0, noe som tilsier at man ikke blir påvirket i noen grad. Verdien bør vurderes ut fra lokale forhold og planlagt geometri. Ved simulering i oppgaven er EFE satt til 50 for tradisjonelle rundkjøringer. I turborundkjøringene er EFE vurdert for hver svingebevegelse. Høyresvingene har blant annet fått en betydelig lavere EFE-verdi enn venstresvingene, da de i turborundkjøring nærmest ikke trenger å ta hensyn til

kjøretøy i rundkjøringa i det hele tatt. Alle turborundkjøringene i oppgaven har fått lik EFE-verid for lik svingebevegelse, slik at kryssene er sammenlignbare.

- **Approach Cruise Speed og Exit Cruse Speed** – angir fart inn og ut av rundkjøringen. Fartsgrensen på stedet er 50km/t. Approach- og Exit Cruse Speed settes derfor til 50km/t for alle kjøretøy i alle armer for alle simuleringene.
- **Heavy Vehicles** - Angir tungtrafikkandelen. Tungtrafikkandelen er ikke registrert for hver arm under trafikkteilingene. I vegkart ligger tungtrafikkandel på E6, ramper og Fv.757 mellom 9 og 14%. Trungrafikkandelen for Fv.757 er oppgitt til 11%. Fordeling av framtidig tungbiltrafikk er vanskelig å vurdere. Tungtrafikkandel er derfor estimert og satt til 11% i alle armene for alle simuleringene.
- **Trafikkdata** – Trafikktall inn i simuleringene er tall fra trafikkteilingene beskrevet i kapittel 5.

5.2 Trafikksimulering dagens situasjon

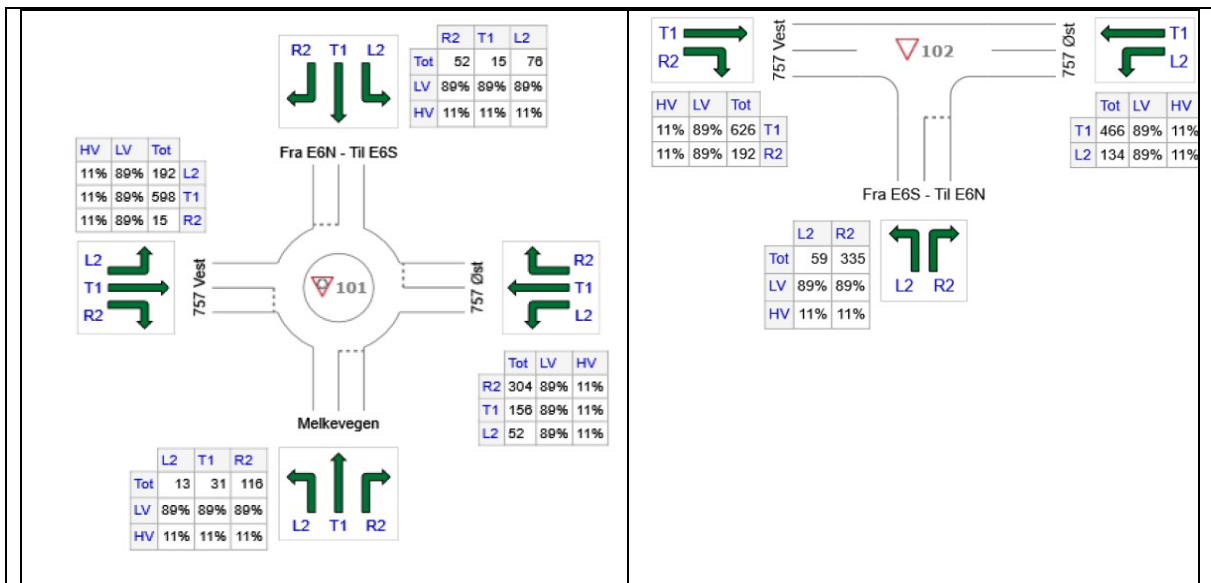
Dagens kryssløsning er simulert i Sidra. Layout som vist av *Figur 30*, hvor E6 går mellom kryssene under Fv.757.



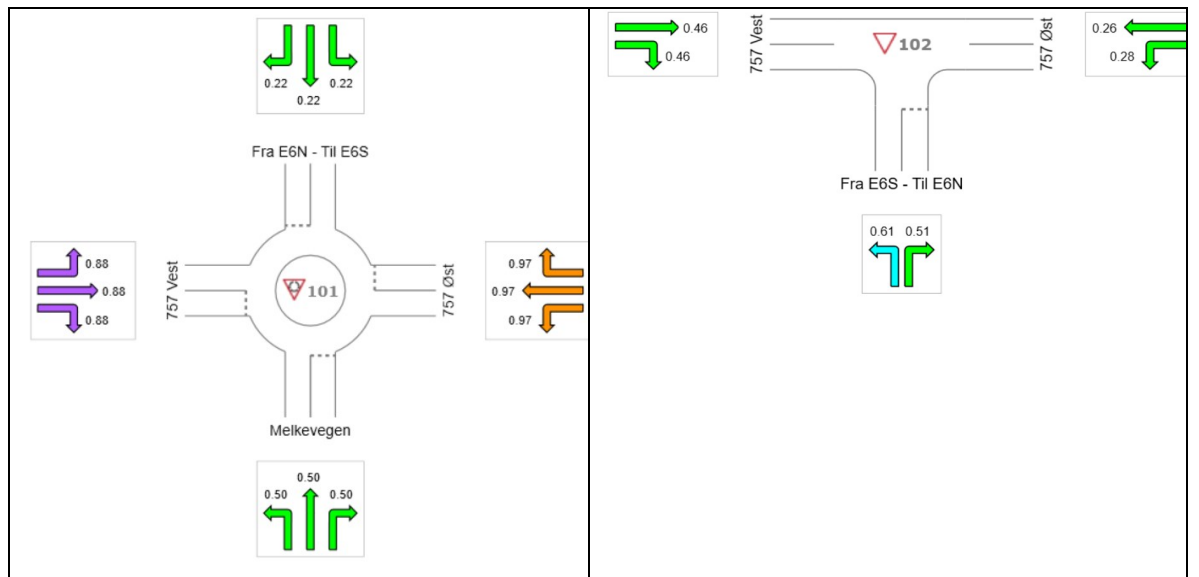
Figur 30: Nettverk-layout fra Sidra som viser dagens situasjon.

I kryss vest er det lagt inn eget høyresvingefelt for ankommende kjøretøy fra E6. Dette avviker noe fra virkelig situasjon, da det her ikke er oppmerket to felt inn i mot krysset. Kjørefeltet er dog i virkeligheten så bredt at kjørende stiller seg opp i to rekker inn mot krysset, avhengig av hvilken retning de skal. Det synes derfor mer riktig å simulere dette med to kjørefelt inn mot kryss, i stedet for et kjørefelt.

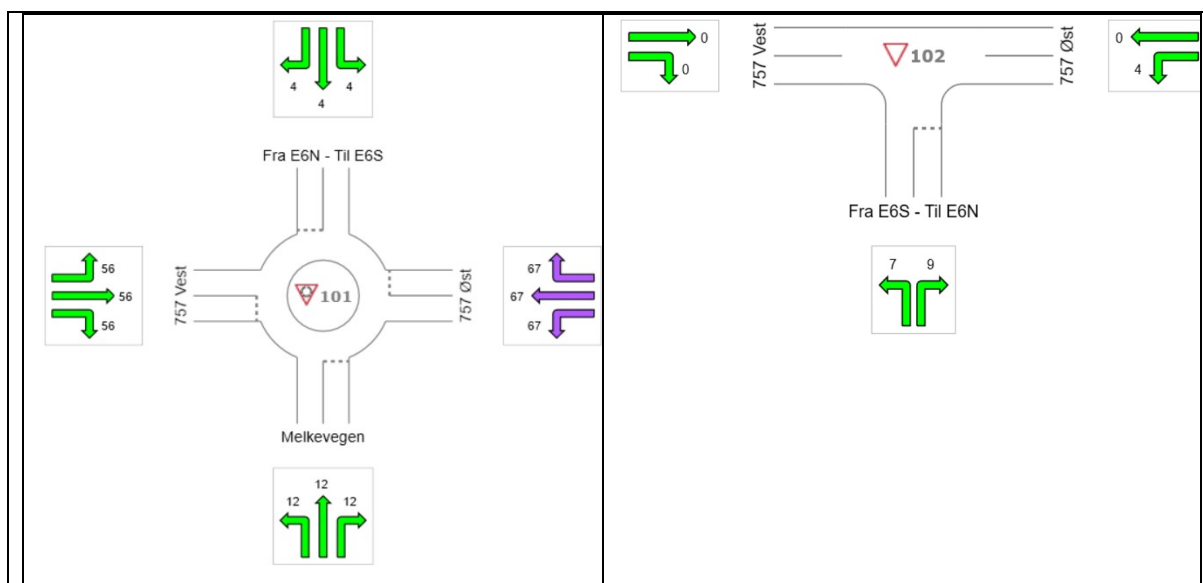
Øvrige armer har et kjørefelt inn og ut av kryssområdene.



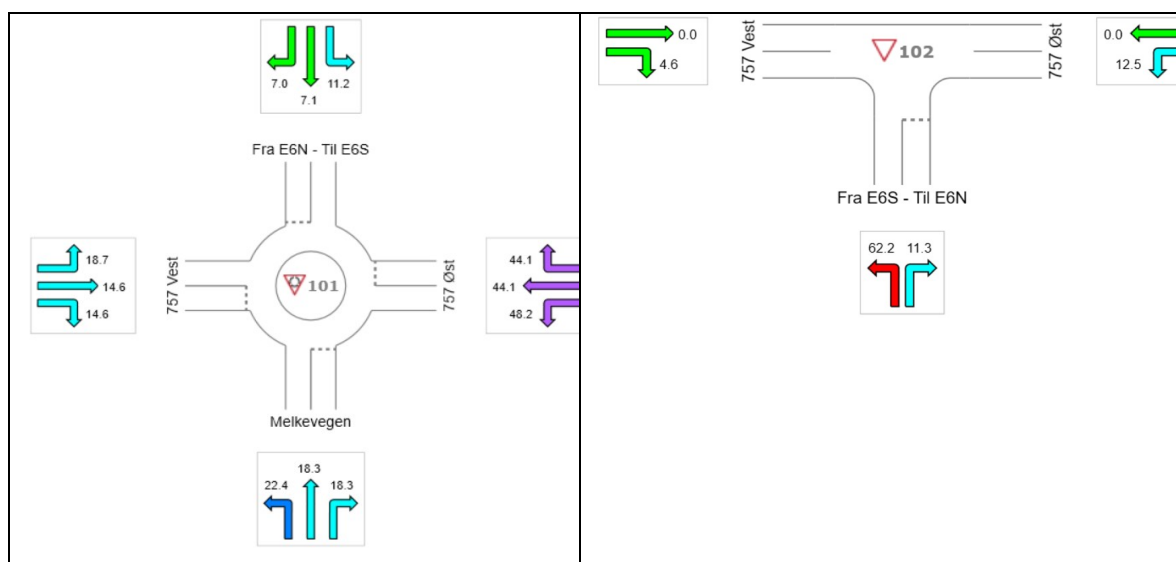
Makstimetrafiikk [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølengde [m]



Gjennomsnittlig forsinkelse [sek]

Figur 31: Trafikktall, belastningsgrad, kølengde og gjennomsnittlig forsinkelse for dagens kryss.

Resultatet av Sidra-beregningene for dagens kryssløsning med dagens trafikkmengde er vist av Figur 31.

Belastningsgrad

For kryss vest ser vi det for fv.757 er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 0,88 og 0,97. Dette indikerer en høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve. Øvrige armer i krysset har en beregnet belastningsgrad på henholdsvis 0,22 og 0,50. Dette indikerer tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss øst ser vi det for fv.727 er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 0,26, 0,28 og 0,46. Dette indikerer tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve. For adkomstrampe fra E6 er beregnet belastningsgrad venstresvingene 0,61 og belastningsgrad høyresvingene 0,51. Dette indikerer at venstresvingefeltet har en noe høy belastningsgrad med en noe begrenset kapasitetsreserve. Høyresvingefeltet har en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

Kø

For kryss vest er det er beregnet noe kø i armene for fv.757. I øvrige armer i kryss vest og i kryss øst er det beregnet lite kødannelse.

Forsinkelse

For kryss vest er det beregnet noe forsinkelse i alle armer. Spesielt kommer arm Fv.757-øst dårlig ut.

For kryss øst er det beregnet lite forsinkelse langs fv.757. Adkomstrampe fra E6-sør er det derimot beregnet en del forsinkelse, spesielt for venstresvingene.

Vurdering

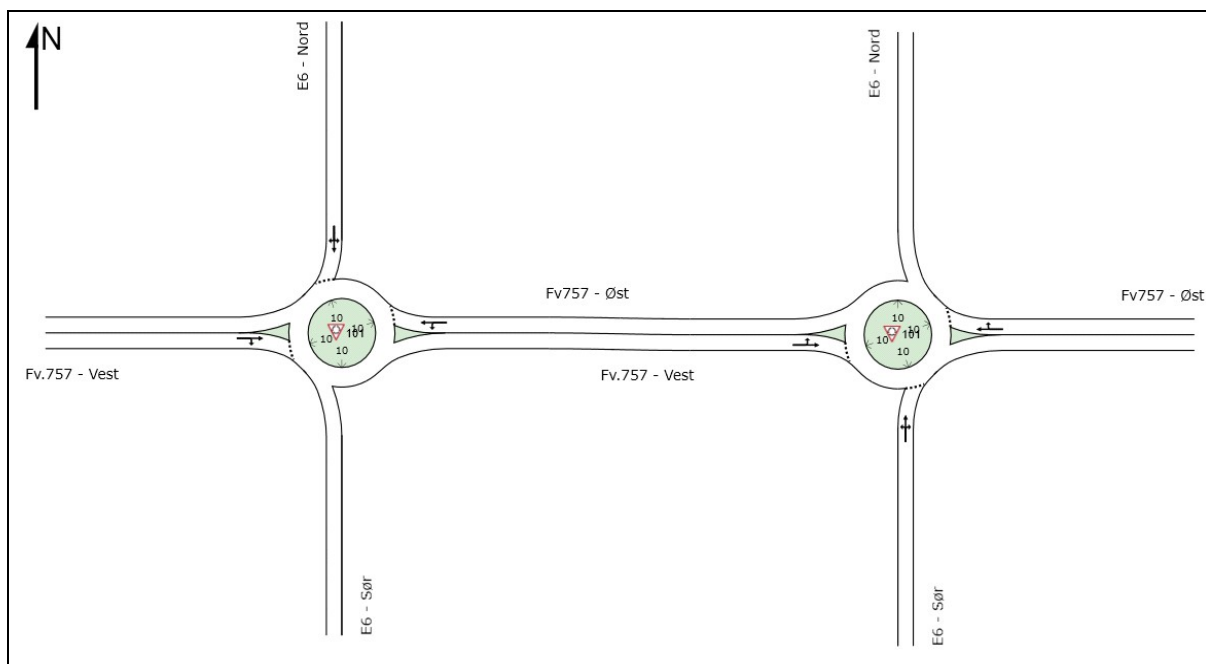
I all hovedsak synes beregningene å stemme godt overens med det observerte trafikkbilde, men det synes å være noen mindre avvik:

- Kryss vest – Arm Fv.757-vest (adkomst fra industriområdet) synes å komme noe bedre ut enn virkeligheten, spesielt med tanke på kølengde og forsinkelse. Ute i felt registreres det er lange køer og forholdsvis lang ventetid. Dette avviket har nok sammenheng med at det under trafikkteellingen er registrert antall ankommende kjøretøy til rundkjøringen, noe som i realiteten betyr at det er kapasiteten til denne armen som er registrert.
- Kryss vest – Arm Fv.757-øst synes i beregningene å komme noe dårligere ut enn virkeligheten. Her sier beregningene at det er en del kø og forholdsvis mye forsinkelse. I virkeligheten registreres det forholdsvis lite kø og forsinkelse i denne armen. Grunnen til dette avviket vites ikke, men det kan nok ha sammenheng med at motsatt arm (Arm vest) kommer bedre ut i beregningen enn i virkeligheten.
- Kryss øst – Adkomstrampe fra E6-sør. Her synes beregning av venstresvingene å være riktig med tanke på gjennomsnittlig forsinkelse, men kølengden er i virkeligheten betydelig lengre. Dette har nok også her sammenheng med et det i trafikkteellingen er ankommende biler som er registrert. Når det gjelder høyresvingene, synes de å komme bedre ut med tanke på gjennomsnittlig forsinkelse i beregningen i forhold til virkeligheten. Dette har nok sammenheng med at det i beregningsmodellen er lagt inn eget høyresvingefelt for å gjenskape observert kjøremønster. Også her blir det beregnet betydelig mindre kølengde enn det som er registrert på stedet.

Totalbilde av beregningene vurderes til å stemme god overens med virkeligheten. Trafikktall og valg av inndata/parametre synes derfor å være av god nok kvalitet for videre beregning av alternative kryssløsninger.

5.3 Trafikksimulering av planlagt kryssløsning

Kryssløsning fra kommunedelplan er simulert i Sidra. Layout som vist av *Figur 32*, hvor E6 går mellom kryssene under Fv.757.

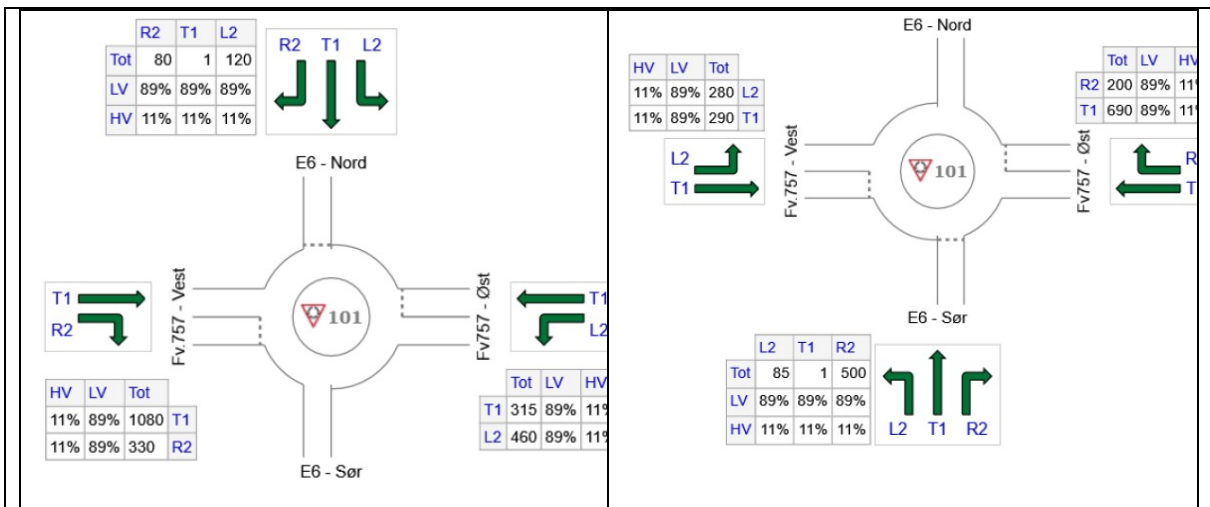


Figur 32: Nettverk-layout fra Sidra som viser standard planlagt toplanskryss fra Kommunedelplan

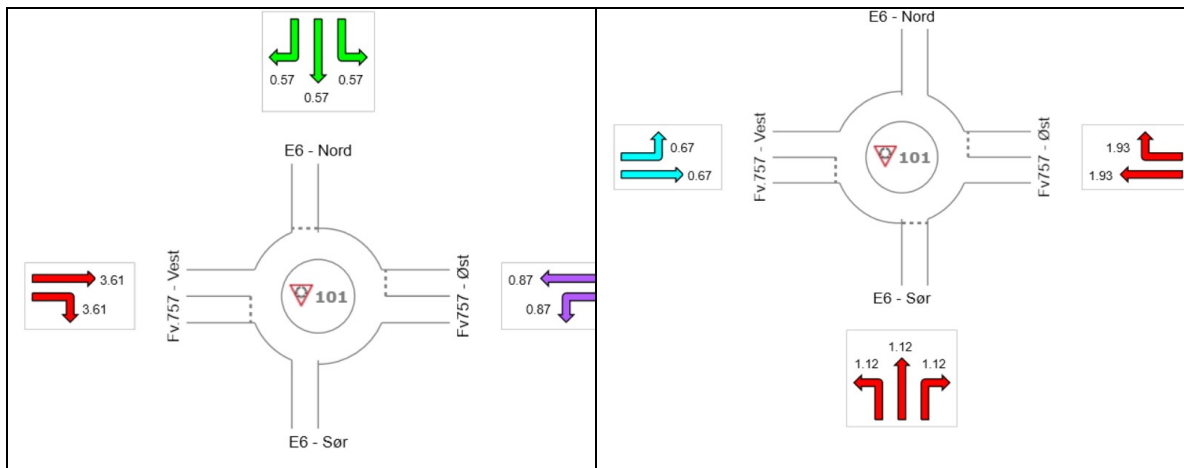
Krysset er prosjektert som et standard ruterkryss, som vist av *Figur 32*.

Rundkjøringenes verdier som diameter, kjørefeltbredder etc. er hentet fra tilsvarende ferdigstilt toplanskryss i prosjektet «E6 Havnekrysset – Kvithammar». Samtlige armer har et kjørefelt inn og ut av krysset. «E6 Havnekrysset – Kvithammar» i Stjørdal kommune ble ferdigstilt høsten 2013, og er det nyeste krysset av denne typen i regionen.

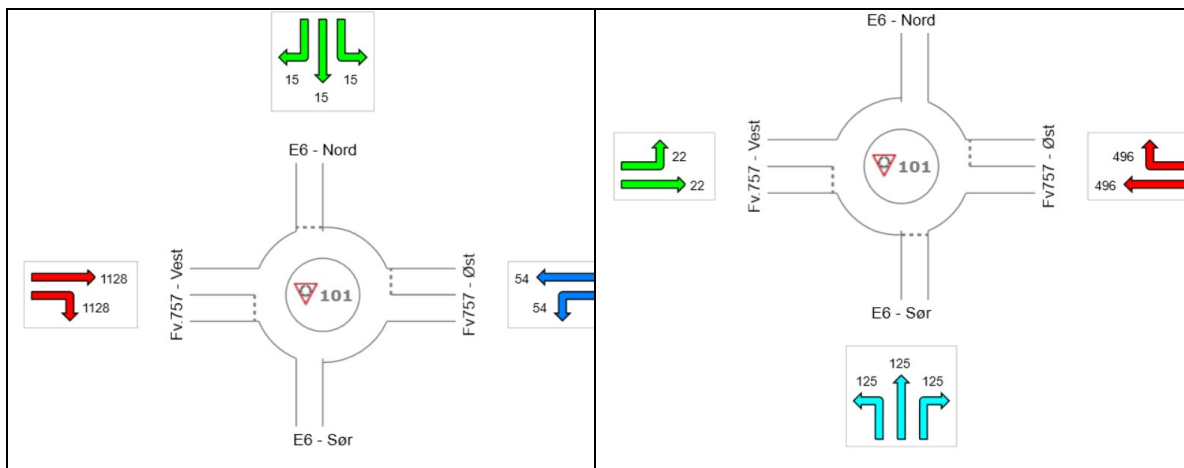
For denne krysstypen er det ikke lenger mulig med tilknytning av Melkevegen til kryss vest. Trafikken i denne vegen må derfor ned på industriområdet, for så å komme inn til krysset sammen med øvrig trafikk i arm Fv.757-vest.



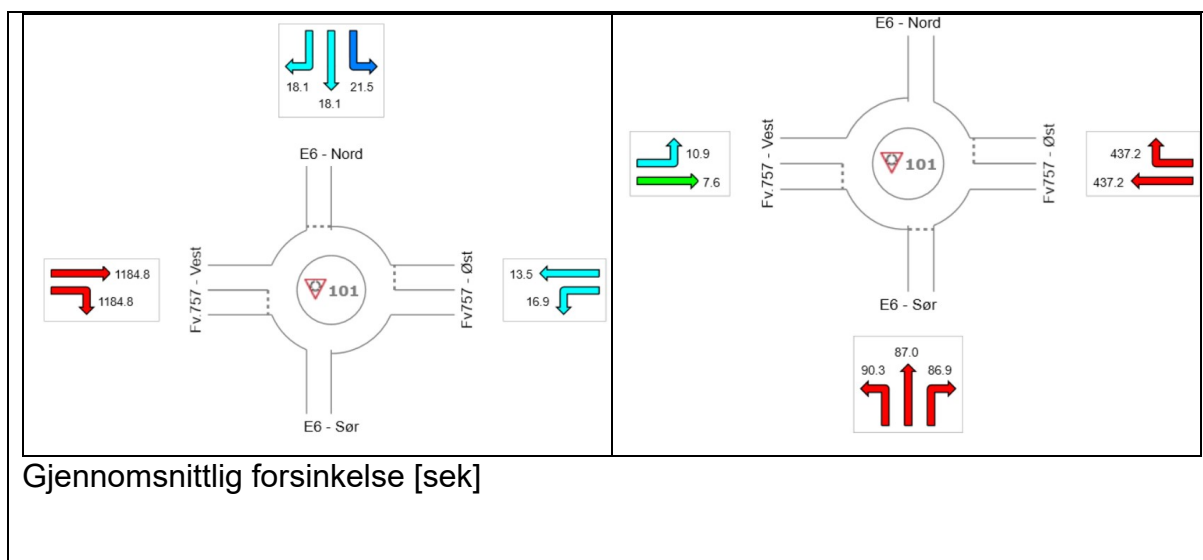
Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølength [m]



Figur 33: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for standard planlagt toplanskryss fra Kommunedelplan

Resultatet av Sidra-beregningene for planlagt standard ruterkryss, sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av Figur 33.

Belastningsgrad

For kryss vest ser vi det for fv.757 er beregnet en belastningsgrad for arm Fv.757-vest på 3,61. Dette tilsier at armen er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Arm Fv.757-øst har en beregnet belastningsgrad på 0,87, noe som indikerer en høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve. Adkomstarm E6-nord har en beregnet belastningsgrad på 0,57. Dette indikerer tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss øst ser vi at det for adkomstarm E6-sør og arm Fv.757-øst er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 1,12 og 1,93. Dette tilsier at også her er armene overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Fv.757 arm vest har en beregnet belastningsgrad lik 0,67, noe som indikerer en høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve.

Kø

For kryss vest er det beregnet mye kø i arm Fv.757-vest, samt noe kø i arm Fv757-øst. Adkomstarm fra E6-nord vil trolig ha lite kø.

For kryss øst kommer arm Fv.757-vest godt ut med tanke på kø, men det vil være svært mye kø i arm Fv.757-øst og i adkomstarm fra E6-sør.

Forsinkelse

For kryss vest er det beregnet en del forsinkelse i alle armer, spesielt kommer arm Fv.757- vest veldig dårlig ut.

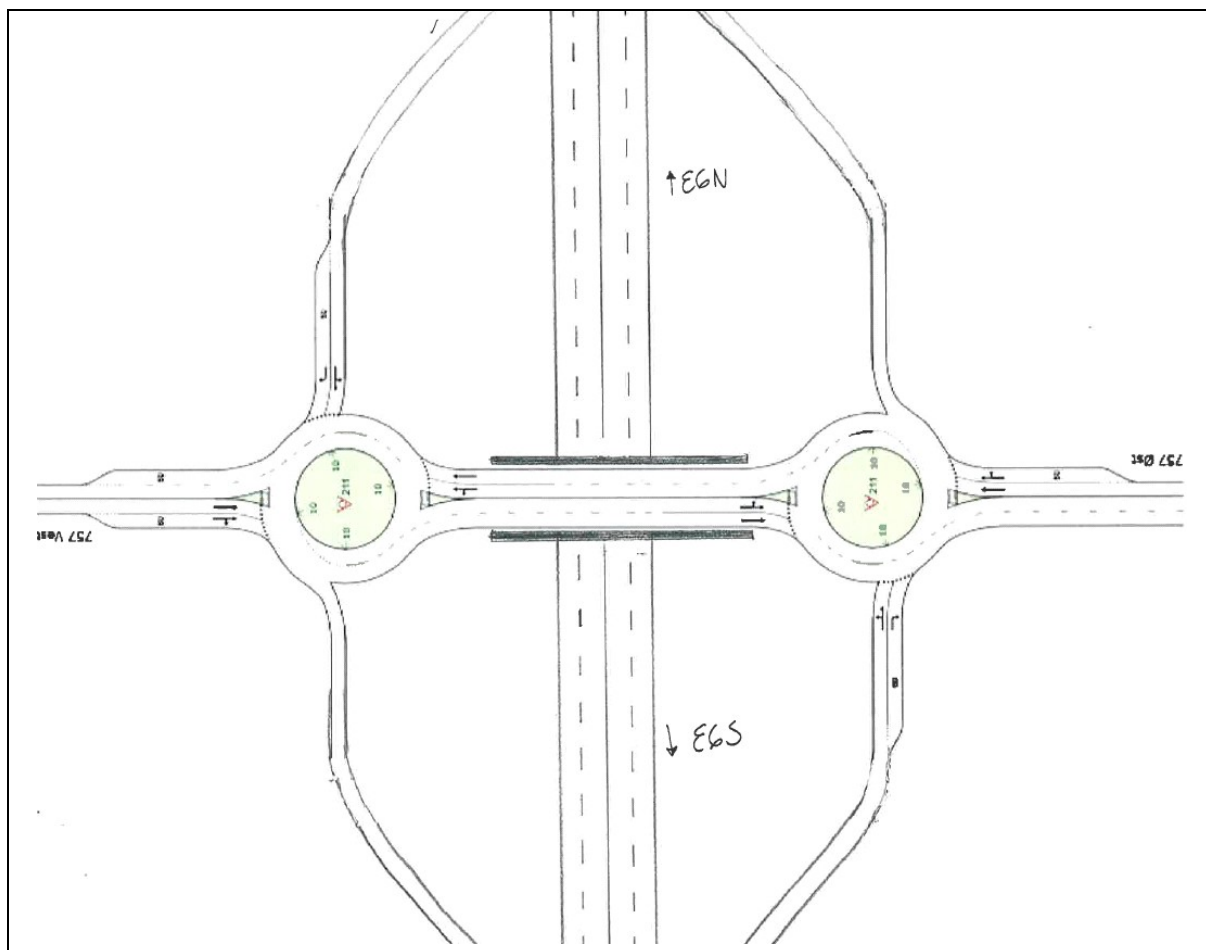
For kryss øst er det beregnet lite forsinkelse for arm Fv.757-vest. For arm Fv.757-øst og adkomstarm fra E6-ser er derimot beregnet en mye forsinkelse.

Vurdering

I all hovedsak synes beregningene å bekrefte at planlagt kryssløsning fra kommunedelplan ikke er egnet ved opprettholdelse av dagens havnekryss. Beregningene viser at vi i flere armer er overbelastet med ingen kapasitetsreserve. Flere armer får også store kødannelser og høy grad av gjennomsnittlig forsinkelse. Dersom kryssløsningen ruterkryss skal beholdes, må den optimaliseres.

5.4 Trafikksimulering alternative toplanskryss

5.4.1 Ruterkryss med turborundkjøring

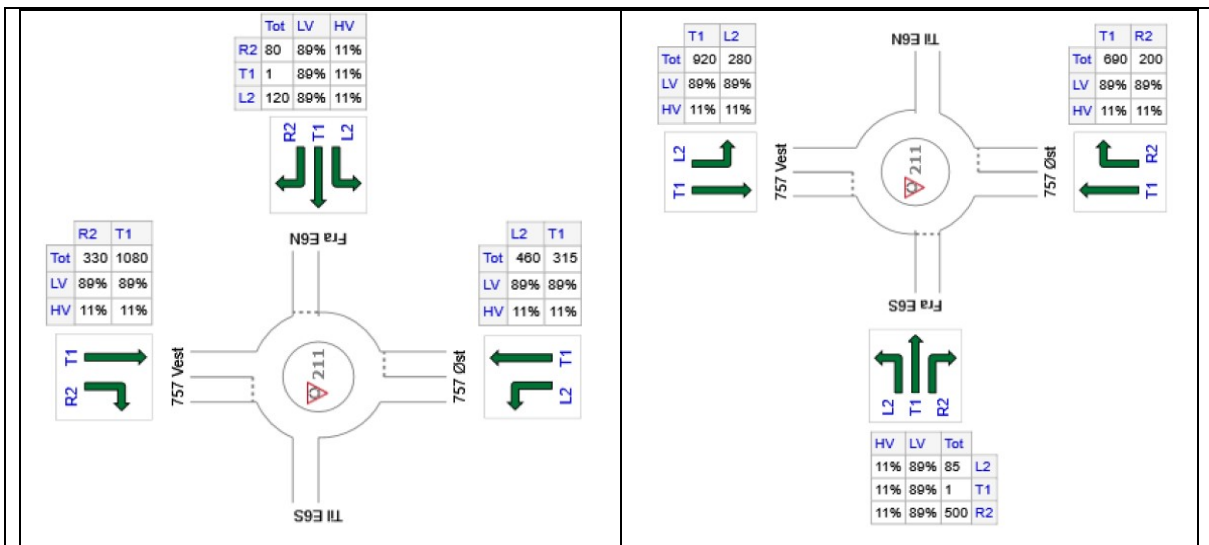


Figur 34: Nettverk-layout fra Sidra av ruterkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med turborundkjøringer.

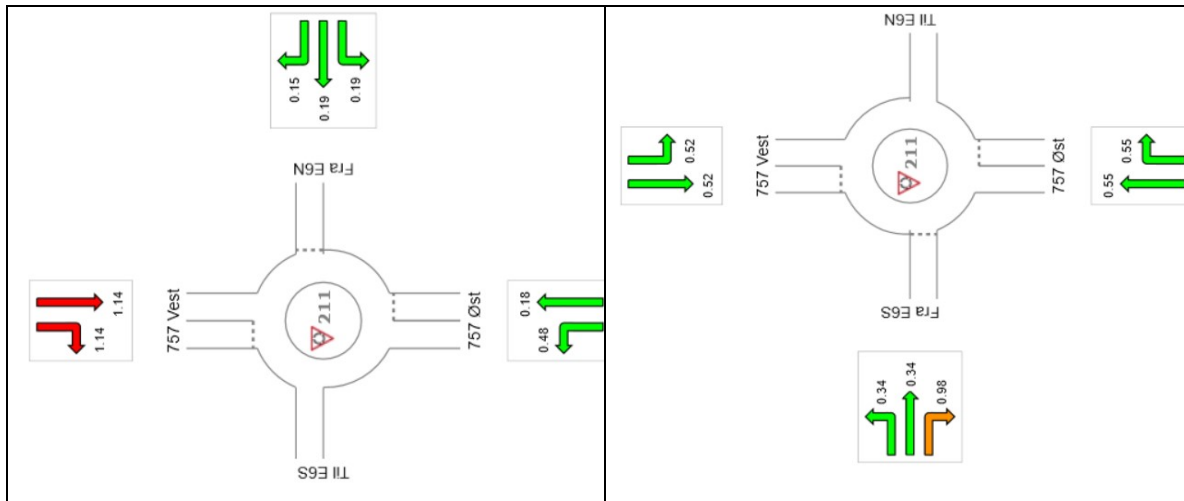
I dette alternative toplanskrysset er tidligere beskrevet ruterkryss fra kommunedelplan forsøkt optimalisert, som vist av *Figur 34*. Her er de tradisjonelle rundkjøringene erstattet med turborundkjøringer. For adkomstarmene er det lagt inn to kjørefelt inn mot rundkjøring, samt at det for Fv.757 også er lagt inn to kjørefelt på tur ut av rundkjøringene.

Også for denne krysstypen er det ikke lengre mulig med tilknytning av Melkevegen til kryss vest. Trafikken i denne vegen må derfor ned på industriområdet, for så å komme inn til krysset sammen med øvrig trafikk i arm Fv.757-vest.

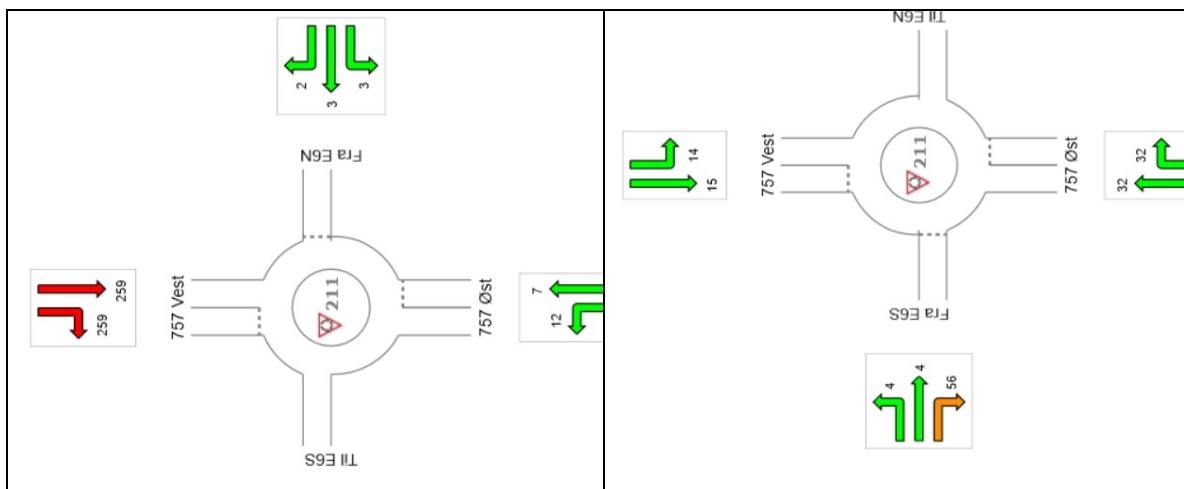
Denne kryssløsningen betinger en betydelig utbygging av dagens havnekryss.



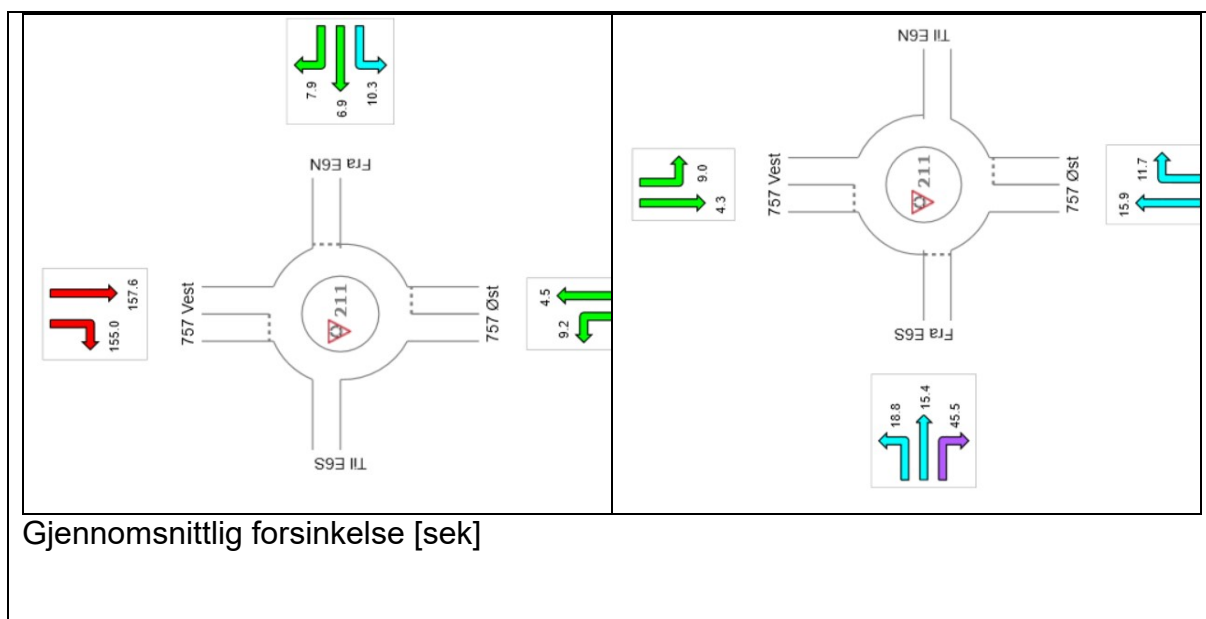
Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølengde [m]



Figur 35: Trafikktall, belastningsgrad, kølede og gjennomsnittlig forsinkelse for "Ruterkryst med turborundkjøring»

Resultatet av Sidra-beregningene for «ruterkryst med turborundkjøring», sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av Figur 35.

Belastningsgrad

For kryss vest ser vi det for fv.757 er beregnet en belastningsgrad for arm Fv.757-vest på 1,14. Dette tilsier at armen er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Øvrige armer i kryss vest har en beregnet belastningsgrad på hhv. 0,45, 0,15 og 0,19. Dette indikerer tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss øst er det beregnet en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve for tilnærmet alle armer og svingebevegelser. Den eneste svingebevegelsen som kommer litt dårlig ut er høyresvingene fra adkomstarm fra E6-sør. Dette har sammenheng med at høyresvingefeltet er satt til 60 m, noe som gjør at feltet nesten blir fylt opp med ventende biler. Kapasitetsreserven kan derfor enkelt forbedres ved å øke lengden på venstresvingefeltet.

Kø

For kryss vest er det er beregnet mye kø i arm Fv.757-vest. I øvrige armer er det beregnet tilnærmet ingen kø.

For kryss øst er det beregnet lite kø for armer langs Fv.757. Som tidligere beskrevet er det beregnet en del kø for venstresvingene i adkomstarm fra E6-sør.

Forsinkelse

For kryss vest er det beregnet mye forsinkelse i arm Fv.757-vest. I de øvrige armene er det beregnet tilnærmet ingen forsinkelse.

For kryss øst er det beregnet tilnærmet ingen forsinkelse for arm Fv.757-vest. For arm Fv.757-øst og adkomstarm fra E6-ser er beregnet noe forsinkelse, spesielt for høyresvingene adkomstarm E6-sør

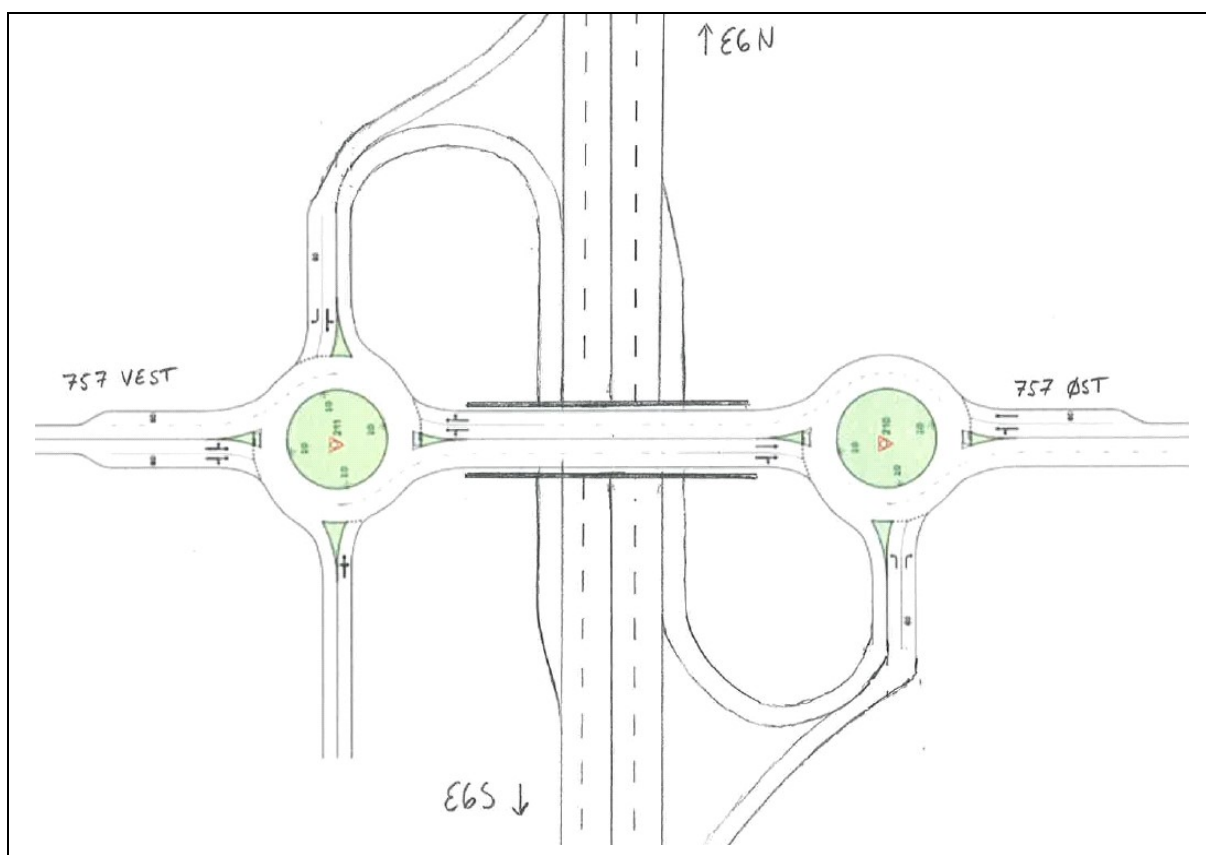
Vurdering

Sammenlignet med standard ruterkryss fra kommunedelplan, kommer denne optimaliserte ruterkryssløsningen med turborundkjøringer forholdsvis godt ut.

I kryss vest sliter man fortsatt med å ta unna all trafikk fra industriområdet. Dette har nok sammenheng med den store andelen venstresvingene fra arm Fv.757vest i retning E6-sør, som kjørende i arm Fv.757 øst må vike for.

I kryss øst sliter man med å ta unna trafikk som kommer i adkomstarm fra E6-sør. Dette har nok sammenheng med stor gjennomgangstrafikk langs Fv.757, samt at kjørende nå må ta hensyn til venstresvingene i rundkjøringen som skal i retning E6-nord.

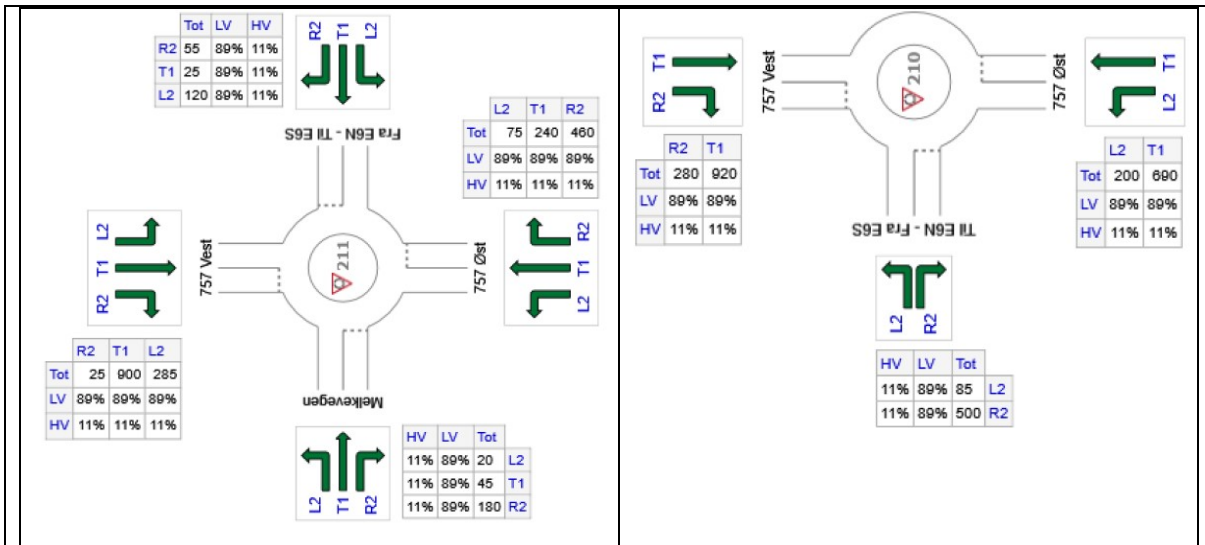
5.4.2 Halvt kløverbladkryss med turborundkjøring



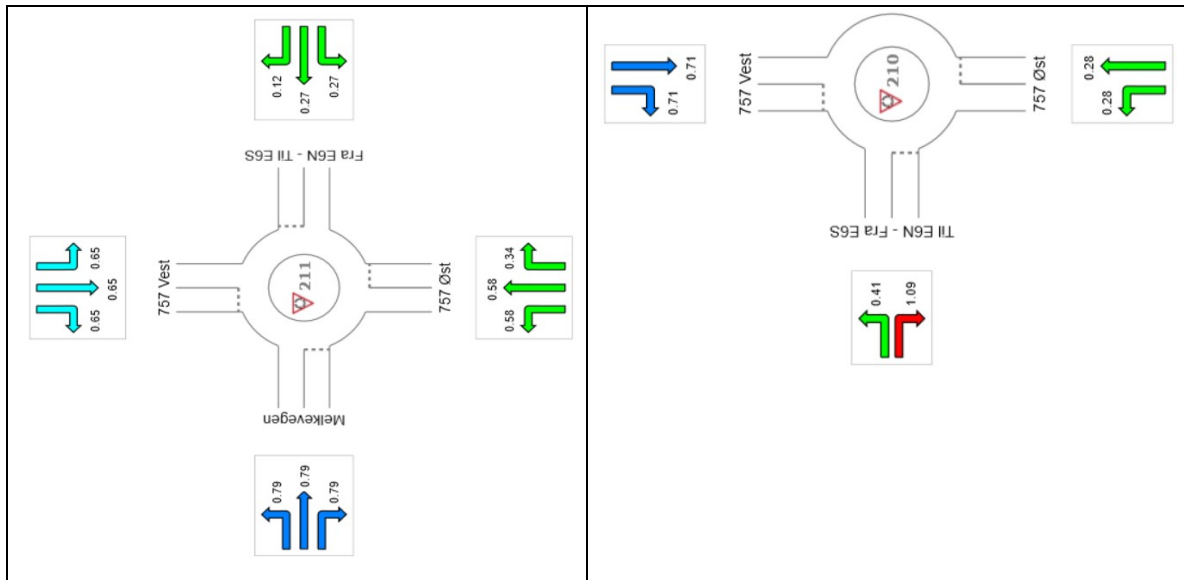
Figur 36: Nettverk-layout fra Sidra av halvt kløverbladkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med turborundkjøringer.

I dette alternative toplanskrysset er dagens kryssløsning som halvt kløverbladkryss optimalisert, som vist av Figur 36. Her er dagens rundkjøring og kanalisert T-kryss erstattet med turborundkjøringer. For adkomstarmene er det lagt inn to kjørefelt inn mot rundkjøring, samt at det for Fv.757 også er lagt inn to kjørefelt på tur ut av rundkjøringene.

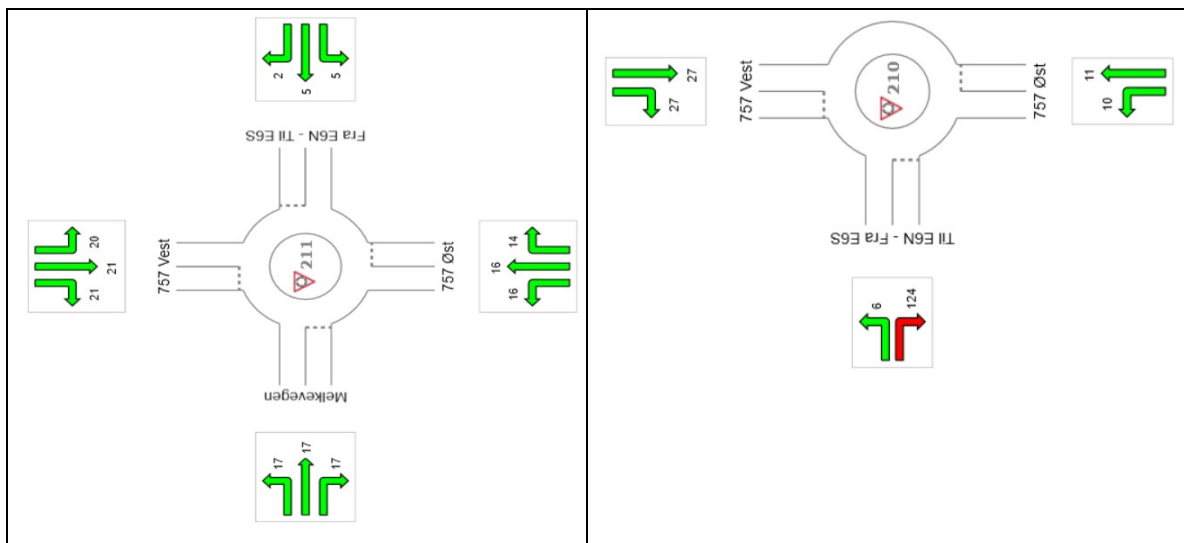
Kryssløsningen nødvendiggjør en betydelig utbygging av dagens havnekryss.



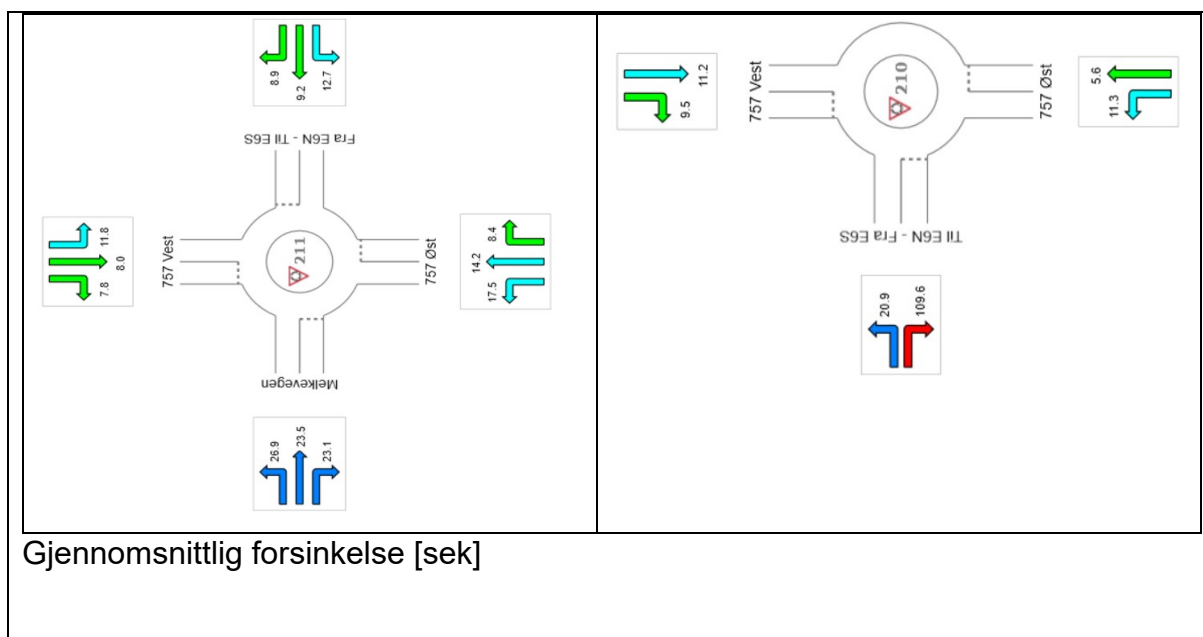
Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølength [m]



Figur 37: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "halvt kløverbladkryss med turborundkjøring»

Resultatet av Sidra-beregningene for «halvt kløverbladkryss med turborundkjøring», sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av Figur 37.

Belastningsgrad

For kryss vest ser man det for arm fv.757-vest og arm Melkevegen er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 0,65 og 0,69, noe som indikerer en noe høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve. For arm Fv.757-vest er dette likevel en bedring i forhold til dagens situasjon, selv med en betydelig større trafikkmengde. Øvrige armer og svingebevegelser i krysset har en beregnet belastningsgrad på henholdsvis. 0,12, 0,27, 0,34 og 0,58, noe som indikerer en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss Øst er det for arm Fv.757-vest beregnet en belastningsgrad på 0,71. Dette indikerer en noe høy belastningsgrad og en noe begrenset kapasitetsreserve. For arm Fv.757-øst er belastningsgraden beregnet til 0,28, og for venstresvingene i adkomstarm fra E6-sør er belastningsgraden beregnet til 0,41. Dette indikerer en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve. Høresvingende i adkomstarm fra E6-sør kommer derimot betydelig dårligere ut med beregnet belastningsgrad på

1,09. Dette tilsier at armen for høyresvingene er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Dette har nok også her sammenheng med at kølengden overstiger lengden satt for høyresvingefeltet.

Kø

I begge kryssene er det tilnærmet i samtlige armer beregnet svært liten kø. Det er kun i høyresvingefelt i adkomstarm fra E6-sør det beregnes en mye kø.

Forsinkelse

For kryss vest er det beregnet noe forsinkelse i Melkevegen. I de øvrige armene er det beregnet liten/ingen forsinkelse.

For kryss øst er det beregnet liten/ingen forsinkelse for arm Fv.757-vest og arm Fv.757 øst. For adkomstarm fra E6-sør er det derimot beregnet en del forsinkelse, spesielt for høyresvingene.

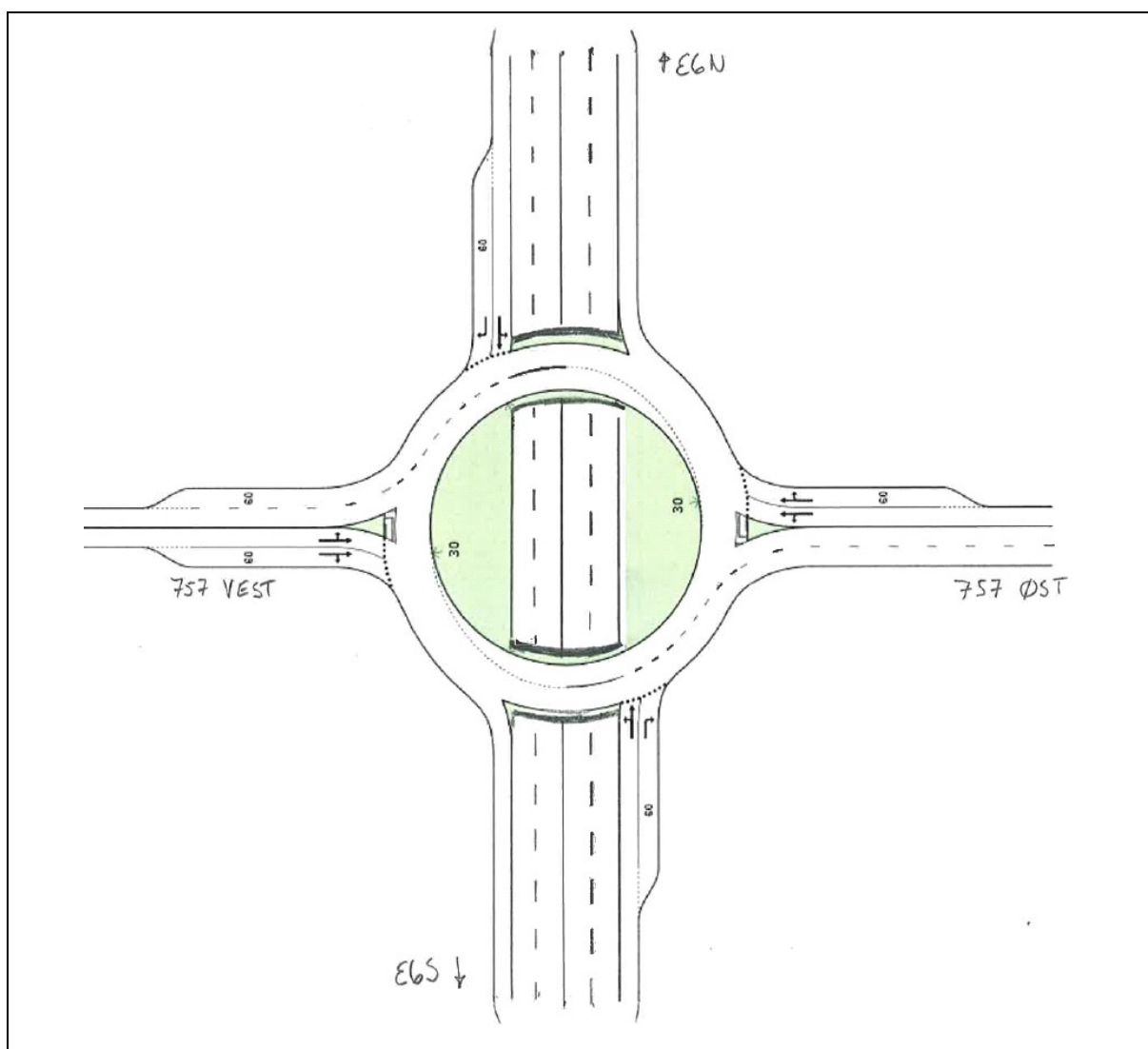
Vurdering

Sammenlignet med dagens havnekryss og med standard ruterkryss fra kommunedelplan, kommer denne optimaliserte kløverbladkryssløsningen med turborundkjøringer forholdsvis godt ut.

I kryss øst sliter man med å ta unna høyresvingende trafikk som kommer i adkomstarm fra E6-sør, men magefølelsen tilsier at høyresvingende skal komme bedre ut enn det Sidra beregner i dette tilfellet. Grunnen til at akkurat denne svingebevegelsen kommer så dårlig ut, har nok også her sammenheng med stor gjennomgangstrafikk langs Fv.757, samt at kjørende stor grad må vurdere hvorvidt trafikk fra arm Fv.757-vest skal foreta høyresving som skal i retning E6-nord.

Alt i alt kommer «Halvt kløverbladkryss med turborundkjøring» godt ut med tanke på kapasitet, kø og forsinkelser ved ettermiddagsrush.

5.4.3 Turbo-kompaktkryss

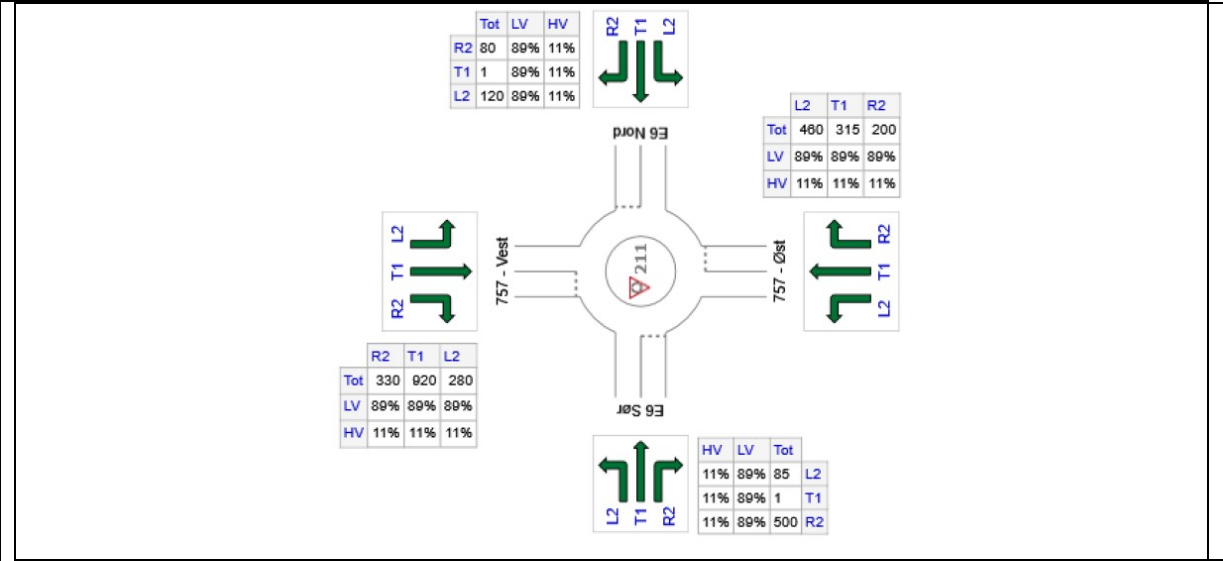


Figur 38: Layout fra Sidra som viser kompakttrundkjøring, utformet som turborundkjøring.

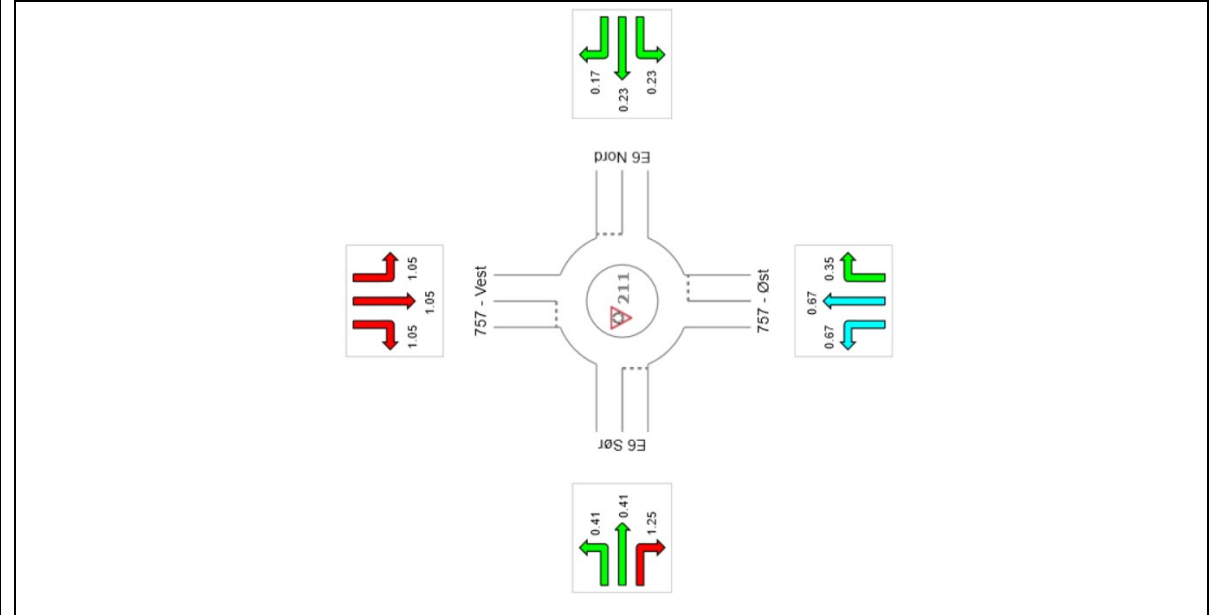
I dette alternative toplanskrysset er tradisjonelt kompaktkryss optimalisert, som vist av Figur 38. Her er den tradisjonelle kompaktkryssrundkjøringen erstattet med turborundkjøring. For adkomstarmene er det lagt inn to kjørefelt inn mot rundkjøring, samt at det for Fv.757 også er lagt inn to kjørefelt på tur ut av rundkjøringene.

Også for denne krysstypen er det ikke lengre mulig med tilknytning av Melkevegen til kryss vest. Trafikken i denne vegen må derfor ned på industriområdet, for så å komme inn til krysset sammen med øvrig trafikk i arm Fv.757-vest.

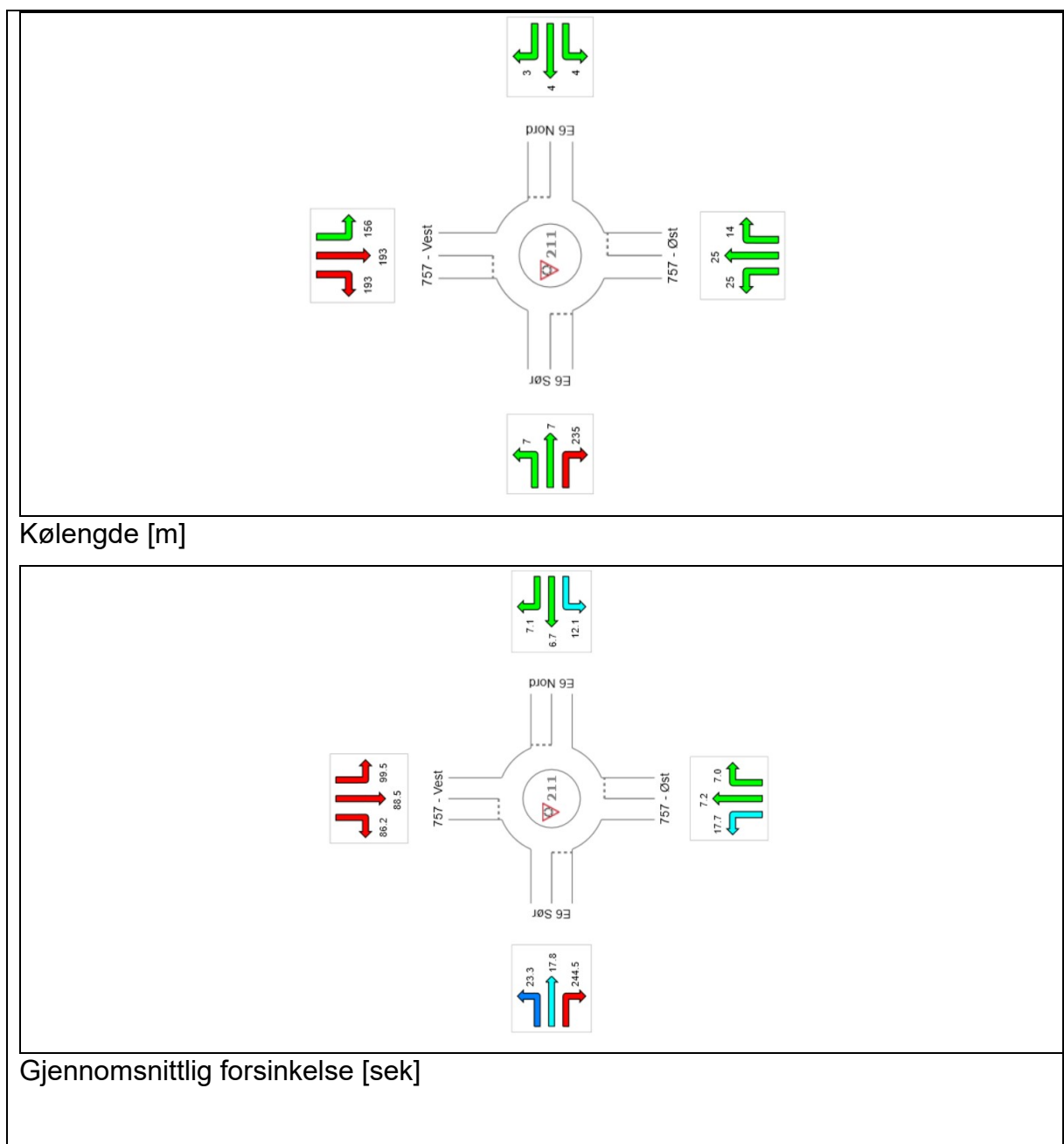
Også denne kryssløsningen betinger en betydelig utbygging av dagens havnekryss.



Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Figur 39: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "Turbo kompaktkryss"

Resultatet av Sidra-beregningene for «turbo kompaktkryss», sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av Figur 39.

Belastningsgrad

For arm fv.757-vest er det beregnet en belastningsgrad på 1,05, noe som indikerer at armen er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Det samme er situasjonen for høyresvingende i adkomstarm fra E6-sør, hvor beregnet belastningsgrad er 1,25.

For arm fv.757-øst er det en beregnet belastningsgrad for venstresvingene og rett-frem på 0,67. Dette indikerer en noe høy belastningsgrad og en noe begrenset kapasitetsreserve. Øvrige armer og svingebevegelser er beregnet til å ha en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

Kø

Det er beregnet mye kø i arm fv.757-vest og for høyresvingene i adkomstarm fra E6-sør. I de øvrige armene og svingebevegelesene er det beregnet liten/ingen kø

Forsinkelse

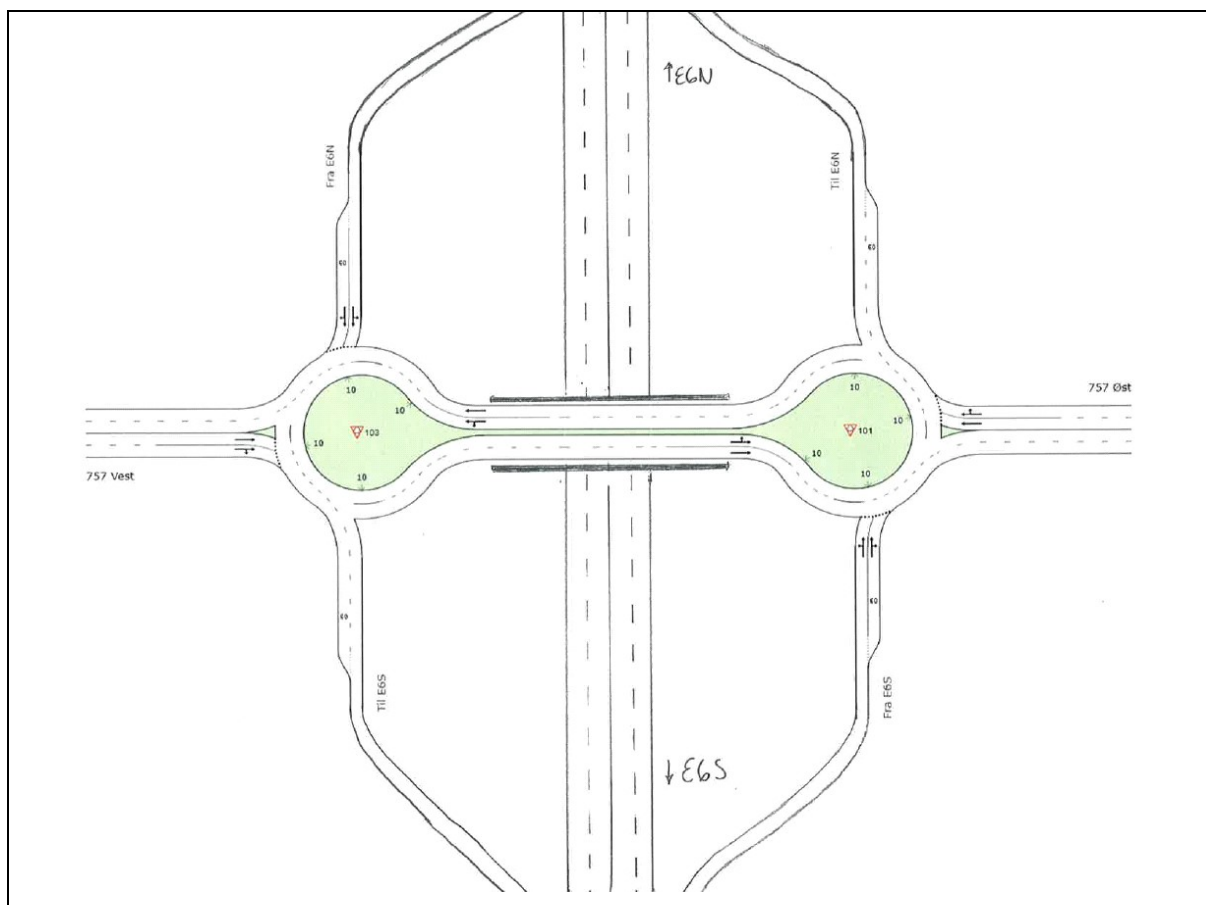
Det er beregnet mye forsinkelse i arm fv.757-vest og for høyresvingene i adkomstarm fra E6-sør.

Beregningen viser også noe forsinkelse for de øvrige svingebevegelesene adkomstarm fra E6-sør, samt for venstresvingene i adkomstarm fra E6-nord og venstresvingene i arm fv.757-vest. For øvrige de svingebevegelesene er det beregnet liten/ingen forsinkelse.

Vurdering

Kryssløsningen ligner på mange måter på tradisjonelt ruterkryss, noe som fører til at vi her har de samme avviklingsproblemene. I arm fv.757-vest sliter vi fortsatt med å ta unna all trafikk fra industriområdet. Dette som følge av vikeplikt for den store andelen venstresvingene fra arm Fv.757-vest som tar runden gjennom rundkjøringen i retning E6-sør. I liket med tidligere ruterkryss-løsninger sliter vi også her med adkomstarm fra E6-sør, grunnet stor gjennomgangstrafikk langs fv.757.

5.4.4 Ruterkryss med «dråperundkjøring»

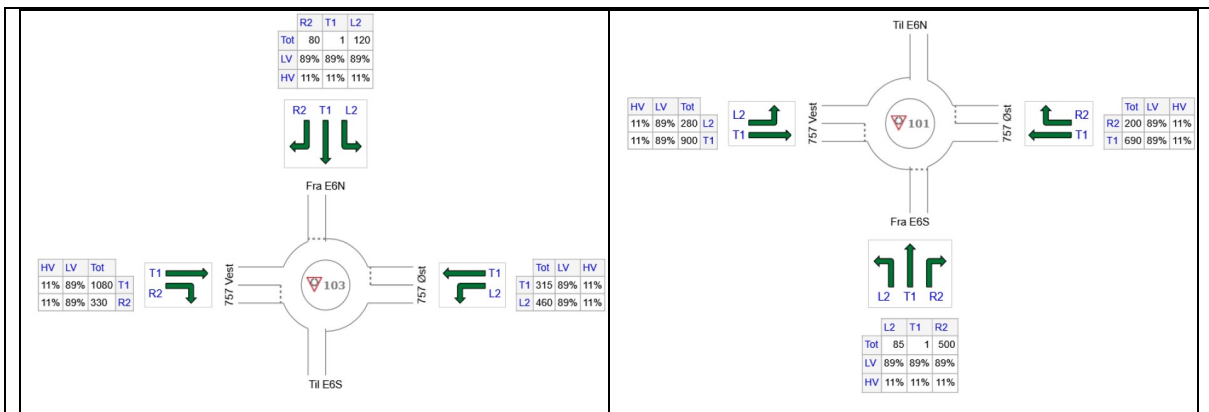


Figur 40: Nettverk-layout fra Sidra av ruterkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med dråperundkjøringer

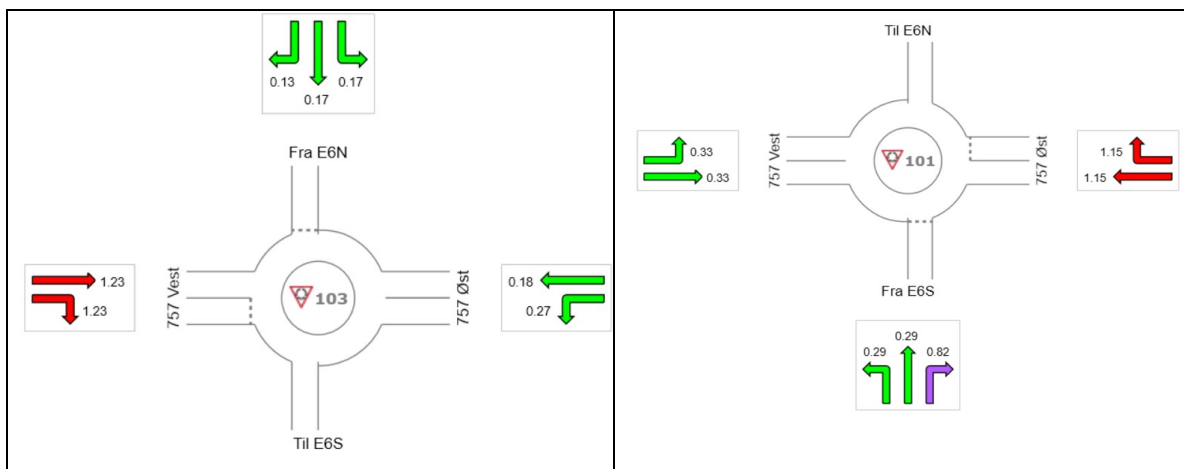
I dette alternative toplanskrysset er tidligere beskrevne ruterkryss forsøkt optimalisert, som vist av Figur 40. Her er de tradisjonelle rundkjøringene erstattet med dråperundkjøringer. For adkomstarmene er det lagt inn to kjørefelt inn mot rundkjøring, samt at det for Fv.757 også er lagt inn to kjørefelt på tur ut av rundkjøringene.

Også for denne krysstypen er det ikke lenger mulig med tilknytning av Melkevegen til kryss vest. Trafikken i denne vegen må derfor ned på industriområdet, for så å komme inn til krysset sammen med øvrig trafikk i arm Fv.757-vest.

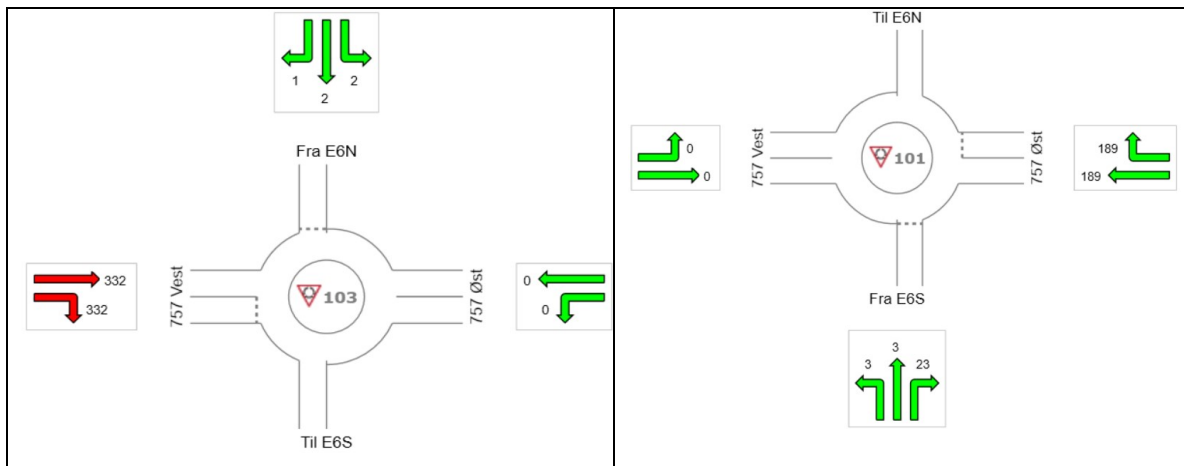
Også denne kryssløsningen nødvendiggjør en betydelig utbygging av dagens havnekryss.



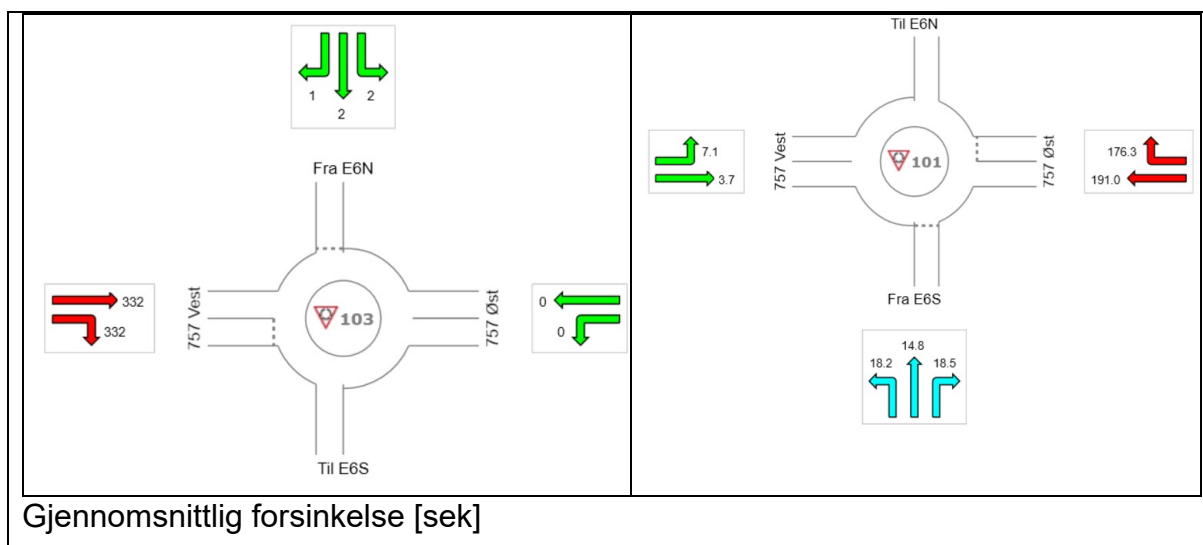
Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølengde [m]



Figur 41: Trafikktall, belastningsgrad, kølende og gjennomsnittlig forsinkelse for "ruterkryss med dråperundkjøring"

Resultatet av Sidra-beregningene for «ruterkryss med dråperundkjøring», sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av Figur 41.

Belastningsgrad

For kryss vest ser vi det for arm Fv.757-vest er beregnet en belastningsgrad på 1,23. Dette tilsier at armen er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. Øvrige armer i kryss vest har en beregnet belastningsgrad på hhv. 0,13, 0,17, 0,15 og 0,27. Dette indikerer tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss øst er det for arm Fv.757-øst beregnet en belastningsgrad på 1,15. Dette tilsier at armen er overbelastet og har ingen kapasitetsreserve. For høyresvingene i adkomstarm fra E6-sør er det beregnet en belastningsgrad på 0,82, noe som indikerer en noe høy belastningsgrad og en noe begrenset kapasitetsreserve. Øvrige armer og svingebevegelser i krysset har en beregnet belastningsgrad på henholdsvis 0,29 og 0,33, noe som indikerer en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

Kø

For kryss vest er det beregnet mye kø i arm Fv.757-vest. I øvrige armer er det beregnet tilnærmet ingen kø.

For kryss øst er det beregnet en del kø i arm Fv.757-øst. I øvrige armer er det beregnet tilnærmet ingen kø.

Forsinkelse

For kryss vest er det beregnet mye forsinkelse i arm Fv.757-vest. I de øvrige armene er det beregnet tilnærmet ingen forsinkelse.

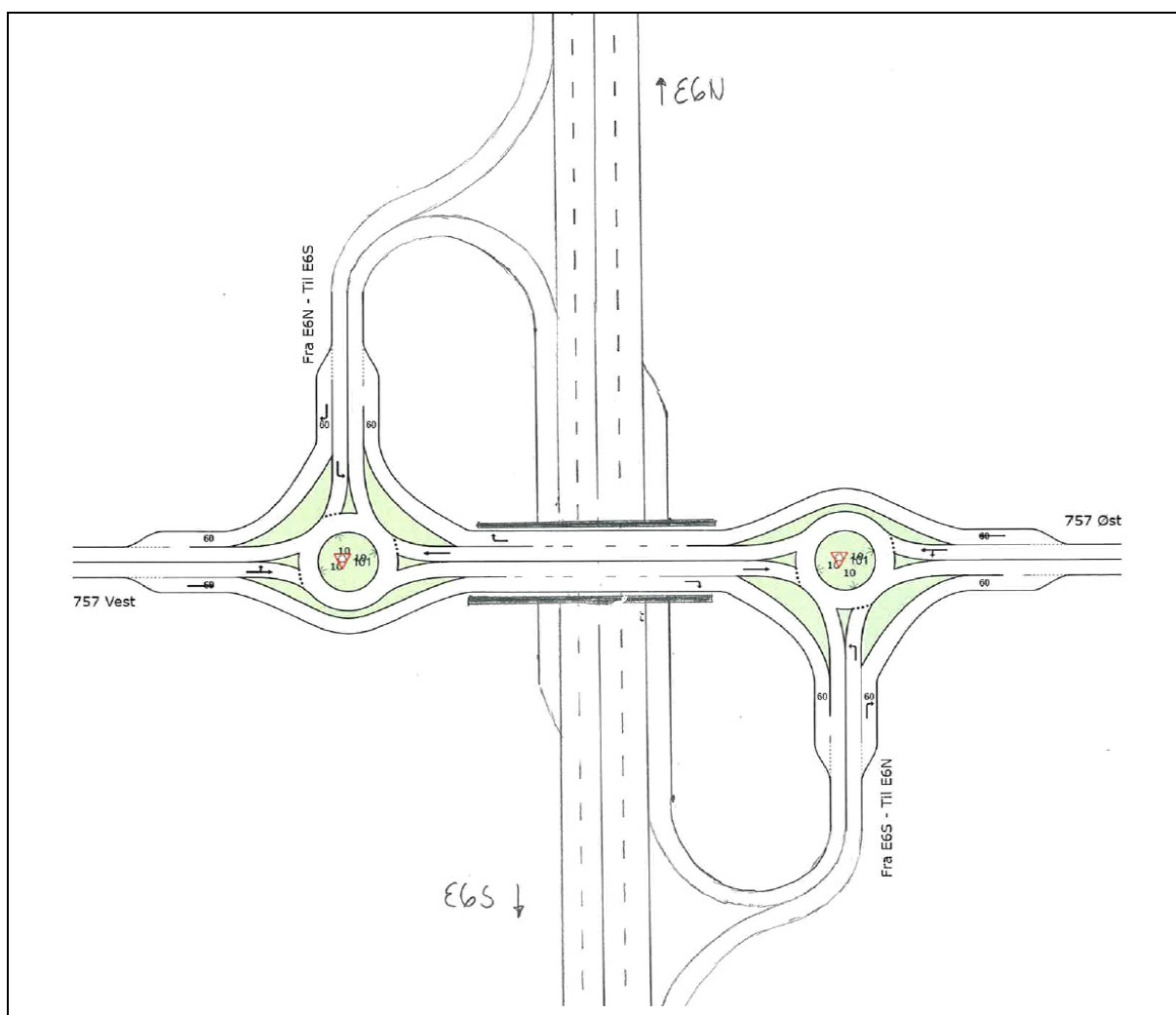
For kryss øst er det beregnet mye forsinkelse i arm Fv.757-øst. For adkomstarm fra E6-sør er det beregnet noe forsinkelse, mens det for arm fv.757-vest er beregnet tilnærmet ingen forsinkelse.

Vurdering

Kryssløsningen ligner på mange måter på tidligere beskrevet kryssløsninger som «ruterkryss med turborundkjøringer» og «Turbo-kompaktkryss». Dette medfører at vi også her på mange måter får de samme avviklingsproblemene for «ruterkryss med dråperundkjøringer»

I arm fv.757-vest er det fortsatt utfordrende å ta unna all trafikk fra industriområdet. Dette som følge av vikeplikt for den store andelen venstresvingene fra arm Fv.757-vest som tar runden gjennom rundkjøringen i retning E6-sør. I liket med tidligere ruterkryss-løsninger sliter man også her noe med adkomstarm fra E6-sør, grunnet stor gjennomgangstrafikk langs fv.757. I dette ruterkryssalternativet sliter man i tillegg med avvikling av trafikk som kommer inn til kryssområdet fra arm fv.757 øst.

5.4.5 Halvt kløverbladkryss med «blomsterrundkjøring»

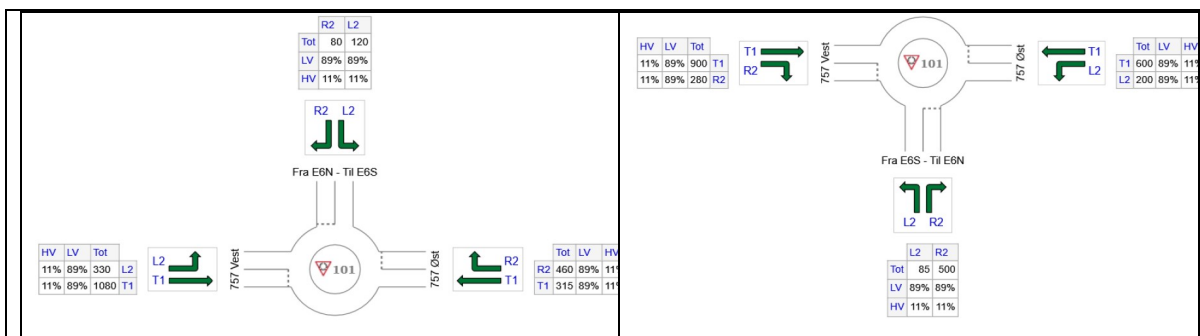


Figur 42: Nettverk-layout fra Sidra av halvt kløverbladkryss, hvor tradisjonelle rundkjøringer er byttet ut med blomsterrundkjøringer.

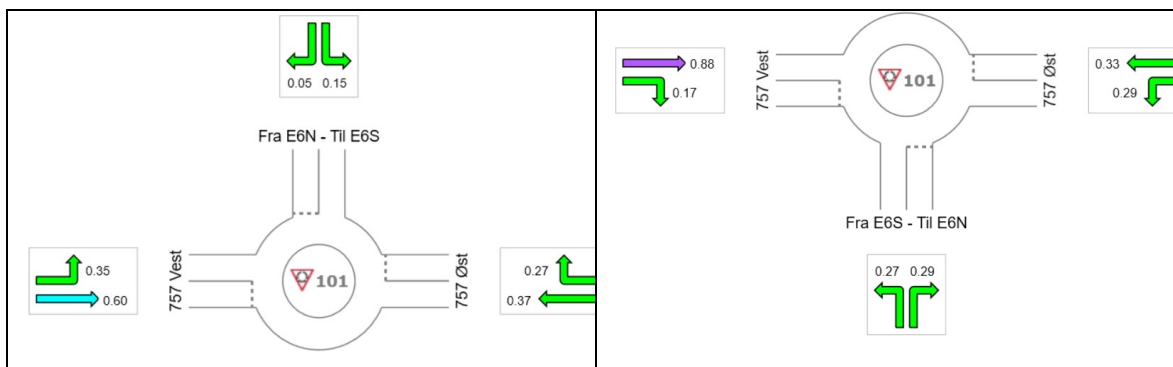
I dette siste alternative toplanskrysset er dagens kryssløsning som halvt kløverbladkryss optimalisert, som vist av *Figur 42*. Her er dagens rundkjøring og kanalisert T-kryss erstattet med blomsterrundkjøringer. For adkomstarmene er det lagt inn to kjørefelt inn mot rundkjøring, samt at det for Fv.757 også er lagt inn to kjørefelt på tur ut av rundkjøringene.

For å optimalisere krysset ytterligere er det valgt å sløyfe Melkevegen i kryss vest. Trafikken i denne vegen må derfor ned på industriområdet, for så å komme inn til krysset sammen med øvrig trafikk i arm Fv.757-vest.

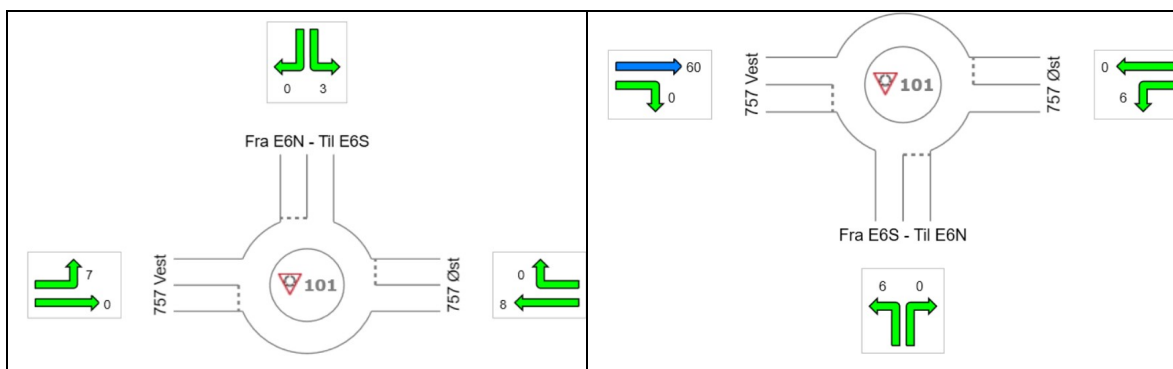
Også denne kryssløsningen betinger en betydelig utbygging av dagens havnekryss.



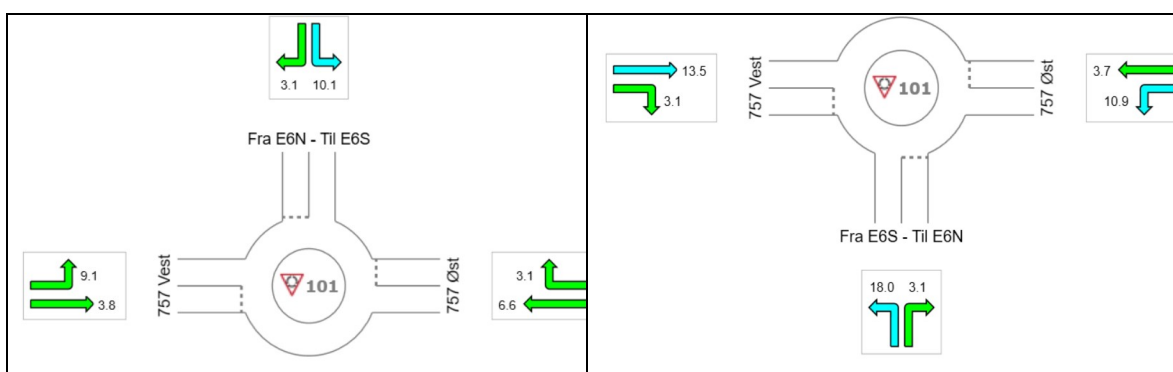
Makstimetraffic [kjt/t]



Belastningsgrad



Kølengde [m]



Gjennomsnittlig forsinkelse [sek]

Figur 43: Trafikktall, belastningsgrad, kølengde og gjennomsnittlig forsinkelse for "halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøring"

Resultatet av Sidra-beregningene for «halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøring», sammen med estimert framtidig trafikkmengde er vist av *Figur 43*.

Belastningsgrad

For kryss vest ser man det for arm fv.757-vest, rett fram, er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 0,60 noe som indikerer en noe høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve. Øvrige armer og svingebevegelser i krysset har en beregnet belastningsgrad på henholdsvis 0,35, 0,05, 0,15, 0,27 og 0,37, noe som indikerer en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

For kryss øst ser man det for arm fv.757-vest, rett fram, er beregnet en belastningsgrad på henholdsvis 0,88 noe som indikerer en noe høy belastningsgrad og en begrenset kapasitetsreserve. Øvrige armer og svingebevegelser i krysset har en beregnet belastningsgrad på henholdsvis. 0,17, 0,27, 0,29, 0,29 og 0,33, noe som indikerer en tilfredsstillende belastningsgrad og kapasitetsreserve.

Kø

I begge kryssene er det tilnærmet i samtlige armer beregnet svært liten kø. Det er kun i kryss øst i arm fv.757 vest det er beregnet noe kø for svingebevegelsen rett frem.

Forsinkelse

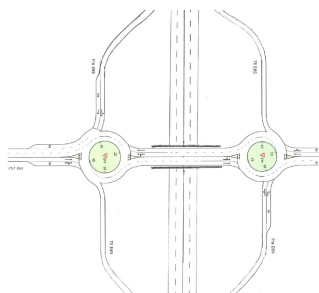
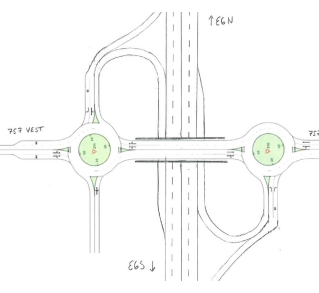
For kryss vest er det beregnet noe forsinkelse for venstresvingene i adkomstarm fra E6-nord. I de øvrige armene er det beregnet liten/ingen forsinkelse.

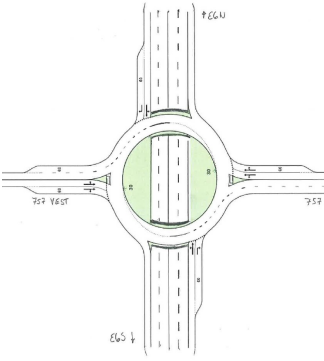
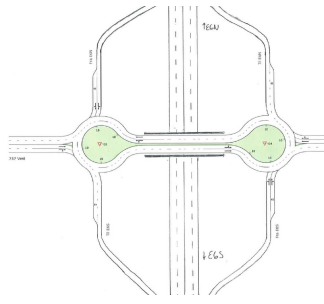
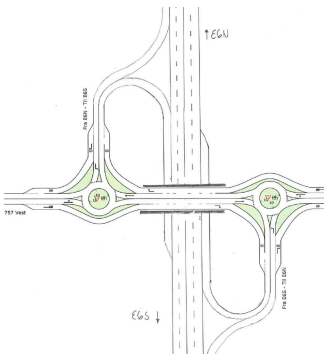
For kryss øst er det beregnet noe forsinkelse for arm Fv.757-vest svingebevegelse rett fram, arm Fv.757-øst venstresvingene og adkomstarm fra E6-sør venstresvingene. I de øvrige armene er det beregnet liten/ingen forsinkelse.

Vurdering

«Halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøring» ser ut til i stor grad å løse framtidens estimerte trafikkbilde for havnekrysset. Beregningene viser at det kommer svært godt ut med tanke på kapasitet, kø og forsinkelser ved ettermiddagsrush.

5.5 Sammenstilling av de alternative toplanskryssløsningene

Alternativ toplanskrysstype:	Belastningsgrad:	Kølengde:	Forsinkelse:	Totalvurdering:
Ruterkryss med turborundkjøring 	<i>Største verdi</i> <i>kryss Vest = 1,4</i> <i>Største verdi</i> <i>kryss Øst = 0,98</i>	<i>Største</i> <i>verdi kryss</i> <i>Vest = 259</i> <i>Største</i> <i>verdi kryss</i> <i>Øst = 56</i>	<i>Karakter</i> <i>kryss Vest</i> <i>= F</i> <i>Karakter</i> <i>kryss Øst</i> <i>= B</i>	Karakter F
	<i>Karakter F</i>	<i>Karakter F</i>	<i>Snitt = D</i> <i>Karakter D</i>	
Halvt kløverbladkryss med turborundkjøring 	<i>Største verdi</i> <i>kryss Vest =</i> <i>0,79</i> <i>Største verdi</i> <i>kryss Øst = 1,09</i>	<i>Største</i> <i>verdi kryss</i> <i>Vest = 21</i> <i>Største</i> <i>verdi kryss</i> <i>Øst = 124</i>	<i>Karakter</i> <i>kryss Vest</i> <i>= B</i> <i>Karakter</i> <i>kryss Øst</i> <i>= C</i>	Karakter C
	<i>Karakter E</i>	<i>Karakter B</i>	<i>Snitt = B-C</i> <i>Karakter B</i>	

<p>Turbo kompaktkryss</p> 	<p><i>Største verdi kryss</i> = 1,05</p> <p>Karakter F</p>	<p><i>Største verdi kryss</i> = 235</p> <p>Karakter F</p>	<p>Karakter kryss = F</p> <p>Karakter F</p>	<p>Karakter F</p>
<p>Ruterkryss med dråperundkjøring</p> 	<p><i>Største verdi kryss Vest</i> = 1,23</p> <p><i>Største verdi kryss Øst</i> = 1,15</p> <p>Karakter F</p>	<p><i>Største verdi kryss Vest</i> = 332</p> <p><i>Største verdi kryss Øst</i> = 189</p> <p>Karakter F</p>	<p><i>Karakter kryss Vest</i> = F</p> <p><i>Karakter kryss Øst</i> = F</p> <p>Snitt = F</p> <p>Karakter F</p>	<p>Karakter F</p>
<p>Halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøring</p> 	<p><i>Største verdi kryss Vest</i> = 0,6</p> <p><i>Største verdi kryss Øst</i> = 0,88</p> <p>Karakter C</p>	<p><i>Største verdi kryss Vest</i> = 8</p> <p><i>Største verdi kryss Øst</i> = 60</p> <p>Karakter A</p>	<p><i>Karakter kryss Vest</i> = A</p> <p><i>Karakter kryss Øst</i> = A</p> <p>Snitt = A</p> <p>Karakter A</p>	<p>Karakter A</p>

Tabell 2: Sammenstilling av de alternative toplanskryssene

Som vi ser at *Tabell 2*, er det «Halvt kløverbladkryss med blomsterrundkjøringer» som kommer best ut av beregningene/simuleringene. Når det kommer til turborundkjøringsalternativene, er det «Halvt kløverbladkryss med turborundkjøring» som skiller seg ut. Siden denne masteroppgaven primært omhandler turborundkjøringer, er det dette alternativet jeg har valgt å ta utgangspunkt i ved visualisering, skilt og oppmerking av et nytt havnekryss i Verdal.

6 Studietur Nederland

I forbindelse med masteroppgaven ble det gjennomført en liten studietur til Nederland 22. – 24. november 2018. Målet med studieturen var å ta turborundkjøringer i nærmere øyensyn. Her var det ønskelig å bli bedre kjent med hvordan turborundkjøring fungerte i det virkelige liv, se på trafikkavvikling, samt se på skilt og oppmerking som omtales i egne kapitler senere i denne masteroppgaven.

Det ble forsøkt via mail å få kontakt med ulike ressurser innenfor fagfeltet i Nederland før avreise, uten at jeg lyktes med dette. Studieturen ble derfor arrangert i egenregi.

6.1 Studieområdet

Som studieområdet ble Geldrop utenfor Eindhoven valgt, markert med rød ring i Figur 44. Eindhoven ligger helt sør i Nederland, på grensen til Belgia.

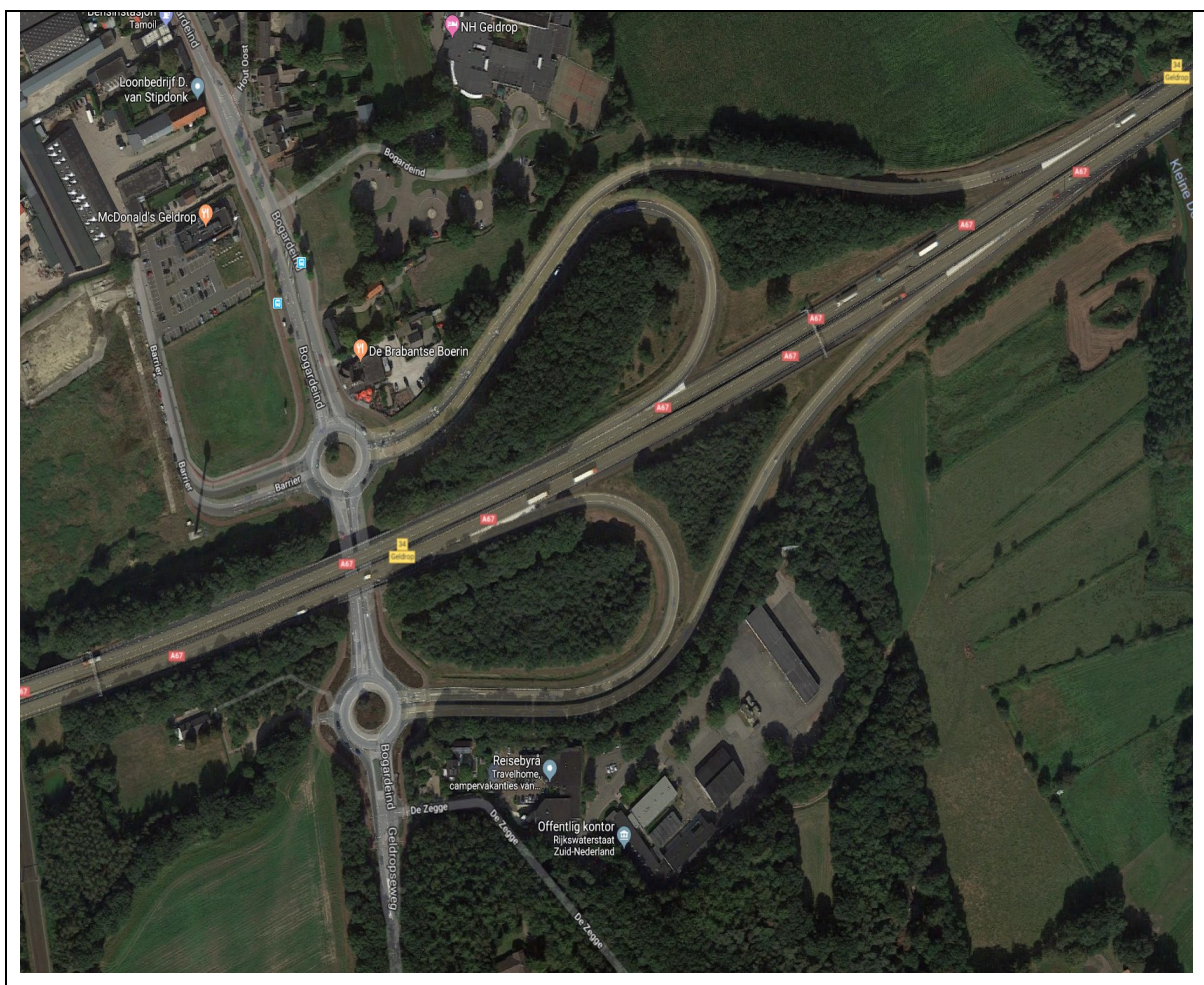


Figur 44: Studieområdet Geldrop utenfor Eindhoven, markert med rød ring. Figur hentet fra google.com

Grunnen til at Geldrop ble valgt som studiested, er den store tettheten av turborundkjøringer. Geldrop er også en liten by i Nederlandsk sammenheng med ca.30.000 innbyggere, noe som gjør den sammenlignbar med byene på Innherred.

I Geldrop finnes også bruk av turborundkjøring i planskilte kryss. En slik løsning er brukt i hovedatkomsten fra motorveg A67, som vist av Figur 44. Dette er tilsvarende

løsning som i denne masteroppgaven er tenkt for Havnekrysset. Dette planskilte krysset ble derfor hovedfokus under oppholdet i Nederland. Det ble ordnet med hotell i tilknytning til krysset, slik at turborundkjøringen kunne observeres over hele døgnet.



Figur 45: Hovedadkomst til Geldrop, hvor turborundkjøring er brukt i forbindelse med planskilte kryss. Figur hentet fra google.com

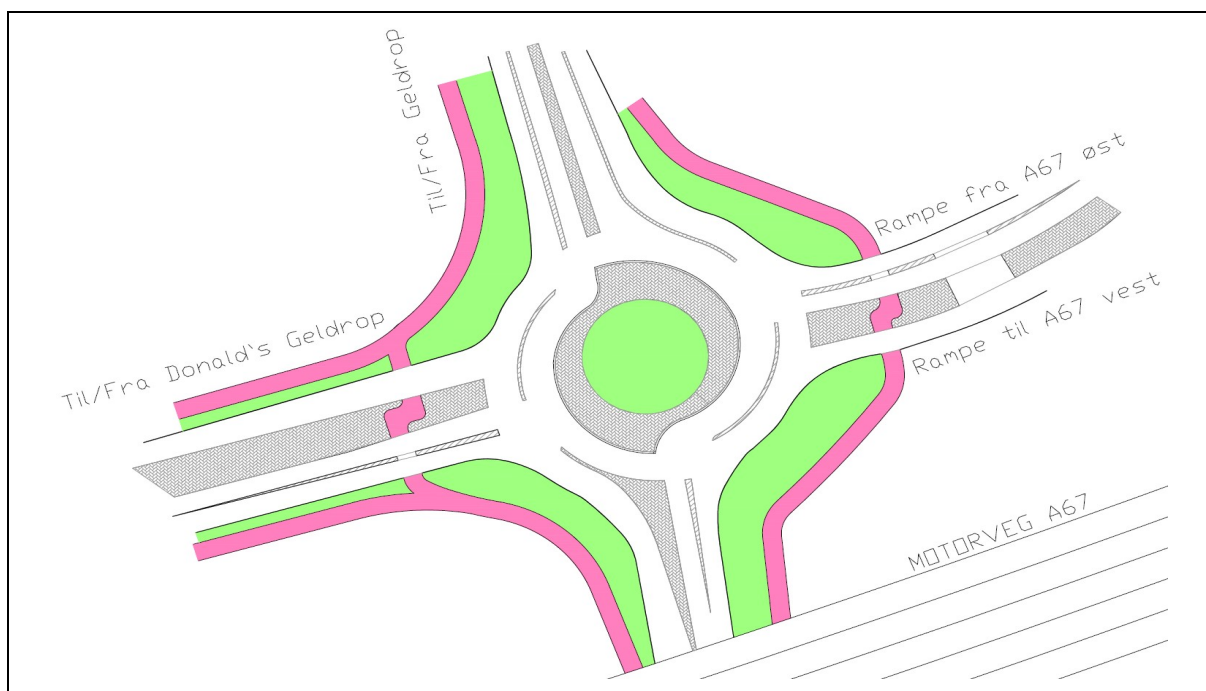
Som vi ser av *Figur 45*, ligger lokalvegen mellom de to turborundkjøringene under motorveg A67. Det at lokalveg ligger under hovedveg virker som en gjennomgående løsning i hele Nederland. Dette er en noe motsatt tankegang i forhold til Norge, hvor stort sett lokalveg blir plassert over hovedveg. Hovedargumentet som brukes i Norge for valg av lokalveg over hovedveg er den betydelige reduksjonen i akselerasjon- og retardasjonsramper denne fordelaktige høydeforskjellen medfører. Der hvor hovedveg har flere felt, vil hovedveg over lokalveg i tillegg medført en vesentlig større og kostnadsøkende brukonstruksjon. Løsning med hovedveg høyt over

omkringliggende områder vil også gi store utfordringer med tanke på støyskjerming. Det ble observert en del bruk av støyskjermer langs hovedvegene i Nederland, men sjelden i tilknytning til toplanskryssene. Det er ikke sikkert de har de samme strenge støykravene som vi har i Norge.

De to turborundkjøringene i tilknytning til det planskilte krysset er nærmest identiske. I nord ble rundkjøringens geometriske utforming forsøkt oppmålt på stedet med vanlig laser avstandsmåler. Funn/målene er i ettertid kontrollert opp mot flyfoto.

Turborundkjøringen er ut fra oppmåling og flyfoto skissert opp i AutoCad som vist av *Figur 46*. Som vi ser av skissen har samtlige veger to felt inn og et felt ut, unntatt veg inn til Geldrop sentrum som har to felt inn og to felt ut. Utkjøring i arm sør går også relativt hurtig over til to felt inn mot turborundkjøringen sør for motorveg A67.

Grunnen til at man her starter med et felt før man går over til to, har nok sammenheng med at det er ønskelig at kjørende gjør et bevist feltvalg i god tid før de kommer fram til neste turborundkjøring. Vi ser også av skissen at det i ytterkant av turborundkjøringen er etablert separat sykkelveg. Det er ikke lagt opp til løsninger for gående.



Figur 46: Skisse av turborundkjøring nord i det planskilte krysset. Skissen er basert flyfoto og oppmålinger på stedet.

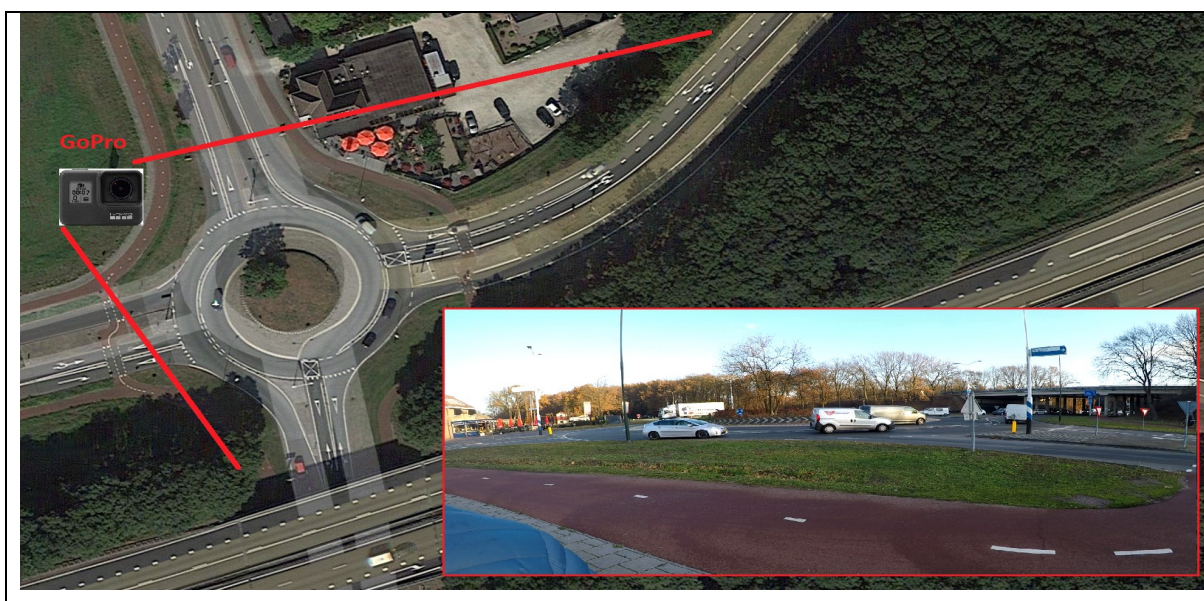
Noen sentrale funn er oppsummert under.

<ul style="list-style-type: none">• Diameter sentraløy = 20 m• Overkjørbart areal inn mot rundkjøringens sentraløy = 2-7 m• Bredder kjørefelt i rundkjøring = 5 m• Bredder kjørefeltskille/overkjørbart inkludert oppmerking = 0,5 m• Bredder sykkelveger rundt turborundkjøringen = 3,0 m	<ul style="list-style-type: none">• Bredder kjørefelt inn mot rundkjøring = 3 m• Bredder kjørefelt ut av rundkjøringen = 4,5-5 meter• Bredder midtdeler i armer inn/ut av rundkjøringen = 2-5 meter• Turborundkjøringens ytre diameter = 48-53m
--	--

Disse funnene er brukt som supplement til utforming og innesituasjon av turborundkjøring i «Havnekrysset» senere i oppgaven.

6.2 Trafikkdata

Det var av interesse å finne ut av hvilket trafikkvolum det var snakk om toplanskryssets turborundkjøring. Med bakgrunn i dette ble det foretatt en enkel trafikk telling av turborundkjøringen i nord. Som for Havnekrysset i Verdal ble det også her brukt videokamera av typen «new GoPro Hero» i trafikkregistrering, som illustrert av Figur 47. Trafikkdata ble så manuelt registrert ut fra opptak med de tidligere omtalte «manual handheld tally mechanical clicker».



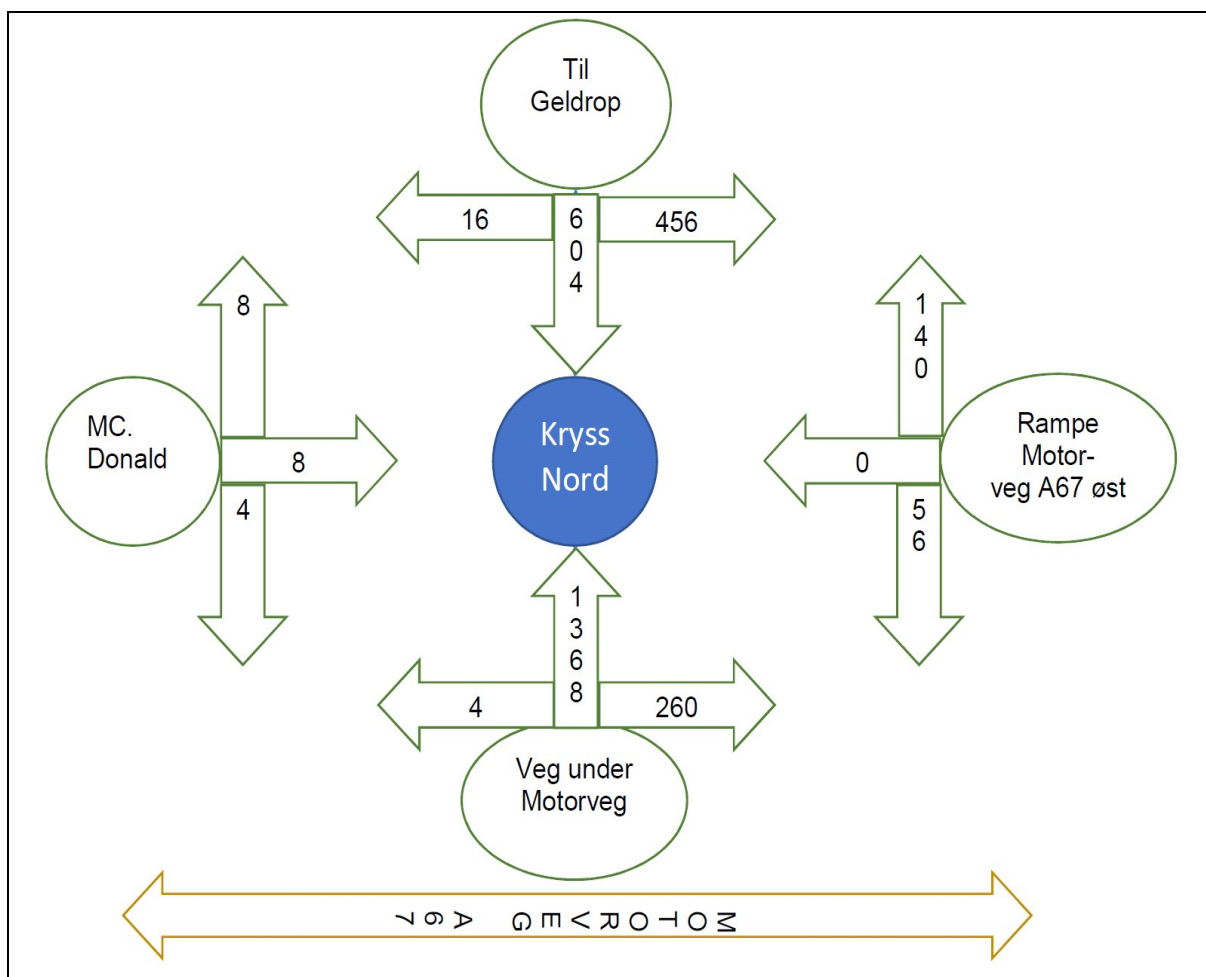
Figur 47: Illustrasjon av registrering av trafikk under studieturen. Plassering og skjermdump av videoopptak. Hovedadkomst til Geldrop, hvor turborundkjøring er brukt i forbindelse med planskilte kryss. Flyfoto hentet fra google.com

Undertegnede er ikke kjent med lovgivningen rundt billedtaking og filming av offentlig trafikk i Nederland. Alle kjøretøy på foto er derfor forsøkt anonymisert (registreringsnummer fjernet). Filmingen ble også gjort diskre.

6.2.1 Data kjørende

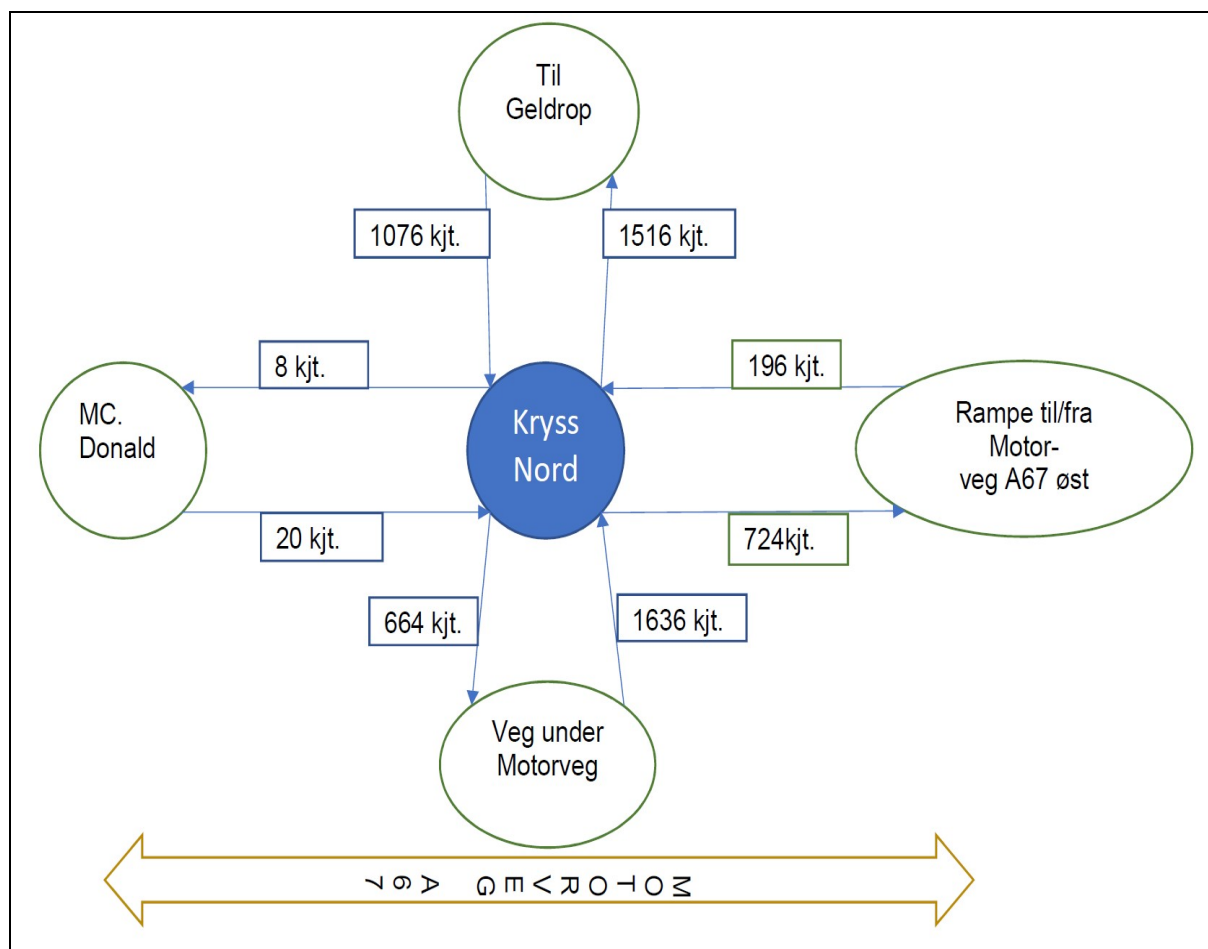
Tidspunkt for maks trafikkvolum var vanskelig å finne ut av. Turbourndkjøringen synes å være relativt tungt belastet over alle døgnets timer, men det ble aldri observert noen kø av betydning. Norge og Nederland er nok ikke så ulikt med tanke på arbeidstid, slik at tidspunkt for trafikk tellingen ble derfor lagt til 23.november kl. 15.30. Dette tilsvarende tidsrommet for den tradisjonelle norske rushtiden.

Trafikkregistreringen ble over en periode på bare 15 min. Trafikktall er multiplisert for å gi timetrafikk. Metodikken gir nok data med relativt stor feilmargin, men vil kunne gi en indikasjon på rundkjøringens trafikkmengde. Registret data for hver svingebevegelse er vist av *Figur 48*.



Figur 48: Trafikktall for hver svingebevegelse i hele kryssområdet

Trafikktallene for hver svingebevegelse er også sammenstilt til trafikktall for hvert kjørefelt i hele kryssområdet, som vist av *Figur 49*.



Figur 49: Totalt antall kjøretøy i hvert kjørefelt i hele kryssområdet

Av trafikktallene er det interessant å se at dette ligner veldig på det framskrevne trafikkvolumet vi ser for havnekrysset. Også her med stor gjennomgangstrafikk langs lokalveg på tvers av hovedveg, samt en god del trafikk i akselerasjon og retardasjonsrampene. Tungtrafikkandelen er registrert til 16% i arm til/fra motorveg. Dette er relativt høyt, men ikke langt i fra den tungtrafikkandelen som er registrert i Havnekrysset. I de øvrige armene ble tungtrafikkandelen bare registrert fra 2 til 3%. Dette er relativt lavt.

6.2.2 Data sykkeltrafikk og moped

Det er interessant å se at i mopedister henvises til det lokale sykkelvegnettet. Under trafikk tellingen ble det registrert et relativt stort antall tohjulinger langs sykkelvegen. Totalt ble det i løpet av 15 minutter registrert 62 sykklister/mopedister, noe som utgjør 248 på timen.

Tohjulinger som ferdes langs sykkelveg har nesten alltid vikeplikt for kjørende ved kryssing av veg. Figur 50 viser løsning for syklende og mopedister i en av turborundkjøringens armer. Sykklister og mopedister syntes å ha god evne til å krysse vegene i de små tidslukene som oppstod mellom kjøretøy, uten å redusere sin egen eller kjøretøyenes framdrift av betydning.



Figur 50: I ytterkant av turborundkjøring er det lagt opp til sykkelveg. Mopedister henvises også hit. Det er ikke lagt opp til løsning for gående i rundkjøring. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Det er almen kjent at Nederland er et sykkelland, med en betydelig utbygd infrastruktur for syklende. Rene sykkelveger er lite utbygd i Norge, og det er kanskje ikke i en ny turborundkjøring man skal starte med slike løsninger. Løsninger for syklende (og gående) vil derfor ikke bli implementert i arbeidet med prosjektering av turborundkjøring i havnekrysset i denne oppgaven.

6.3 Visuelle observasjoner

Hastigheten til kjørende i rundkjøringen syntes å være relativt lav, estimert til 30-40 km/t. Lav hastighet i turborundkjøringen i forhold til tradisjonelle rundkjøringer sammen godt studier referert til tidligere i denne oppgaven. Tidsluke mellom kjøretøy i rekke observert til ca. 2 - 3 sekunder.

Før studieturen var det knyttet stor spenning til hvordan store kjøretøy klarte seg gjennom turborundkjøringen. Hvor «godt» vogntoget tar seg gjennom turborundkjøringen er nok i vesentlig grad avhengig av sjåførenes kjøreferdigheter. Ut fra visuelle observasjoner var det tydelig at det tradisjonelle vogntoget klarte seg svært godt gjennom turborundkjøringen, uten i noen vesentlig grad å berøre rundkjøringens overkjørbare arealer eller trafikkskille mellom kjørebane. Dette som illustrert av vogntog i Figur 51.



Figur 51: Tradisjonelt vogntog tar seg inn, gjennom og ut turborundkjøringen, uten å berøre «hinder». FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Av de store kjøretøyene som trafikkerte turborundkjøringen var det en overvekt av Semitrailere (Trekkvogn med lang henger). Denne type kjøretøy er ikke så vanlig å se i Norge lengre, og kjøretøytypen er ikke lengre omtalt som et dimensjonerende kjøretøy i vegvesenet sine håndbøker. Semitrailere har en del dårligere svingeegenskaper enn de tradisjonelle vogntogene, og under observasjonene kjørte de alltid over overkjørbart areal mot rundkjøringas sentraløy, trafikkskille mellom kjørefeltene, eller begge deler. Dette som vist av Figur 52



Figur 52: Eksempel hvor semitrailer kjører over rundkjøringas overkjørbare areal og trafikkskille mellom kjørefeltene. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Til tross for de delvis fysiske trafikkskille mellom kjørefeltene, ble det observert enkelte feltskifter i selve turborundkjøringen. Se Figur 53. Dette ble gjort av små og store kjøretøy. Denne typen feltskifter er noe man nettopp ønsker å unngå når man bygger turborundkjøring. Kjøremåten oppleves nok ubehagelig for trafikanten, og bevegelsen ville nok funnet sted betydelig oftere dersom trafikkskille bare var markert med vanlig vegoppmerking.

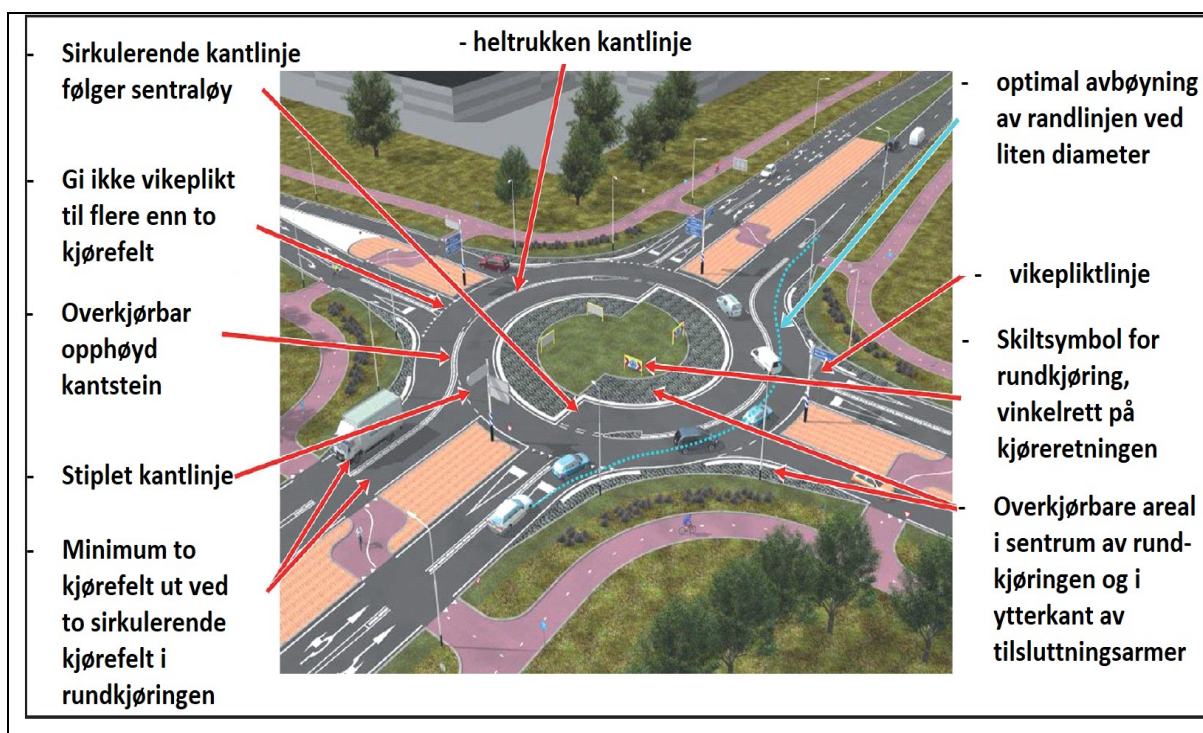


Figur 53: Eksempel hvor vogntog har valgt feil felt på tur inn i rundkjøringen. Velger derfor å ta seg over rundkjøringas overkjørbare areal, for å komme seg ut på Motorveg A67. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

7 Utforming, oppmerking og skilting av turborundkjøringer

Figur 54 viser en karakteristisk turborundkjøring med noen av de viktigste elementene. Det er disse elementene vi skal se nærmere på i dette kapittelet.

Det vil i stor grad bli referert til «turborundkjøringens far» Bertus Fortuijn sin håndbok/veileder (Turborotonde en turboplein – ontwer, capaciteit en veiligheid) som omhandler teori og historikk rundt valg av utforming, skilt og oppmerking etc. av turborundkjøringer. Det vil også bli referert til Statens vegvesen sine skilt- og oppmerkingshåndbøker. Dette for å sammenligne løsninger for turborundkjøringer opp mot tradisjonelle rundkjøringer i Norge, samt vurdere hvorvidt det er behov for endringer dersom turborundkjøring skal etableres i Norge. Det vil også bli gjort egne refleksjoner rundt tematikken.



Figur 54: Viktige elementer ved utforming, skilting og oppmerking av turborundkjøring. Figur hentet fra FURTUIJN, tekst oversatt fra nederlandsk til norsk. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

7.1 Utforming

Det mest typiske kjennetegnet til turborundkjøringene er trafikkskille mellom kjørefeltene inn mot og i rundkjøringen. Dette skille skal hindre uønskede feltskifter inn mot og i rundkjøringen. Eksempel på trafikkskille fra turborundkjøringen ved toplanskrysset i Geldop vist av Figur 55.



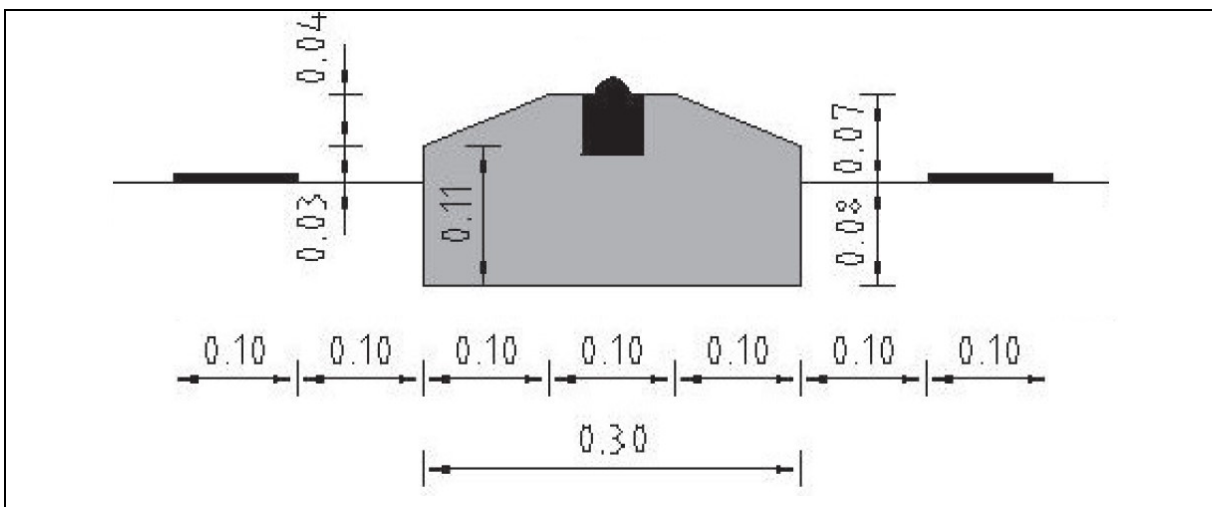
Figur 55: Standard trafikkskille mellom kjørefelt inn mot, og i turborundkjøring. Foto av Kjell-Amund Prestmo

I Fortuijns håndbok/veileder blir det beskrevet hvordan man endte opp med denne typen betongstein i trafikkskille. I turborundkjøringens barndom ble det kjørt forsøk med flere alternative typer steiner. I starten ble det forsøkt brukt 10 cm tykke betongsteinelementer i trafikkskille, som ble limt på toppen av asfalten. Denne løsningen viste seg å fungere dårlig, da steinene løsnet eller ble knekt ved påkjørsel av store kjøretøy. Denne løsningen ble også observert under studieturen, som vist av Figur 56.



Figur 56: Trafikkskille og refleksjonsdioder i turborundkjøring er delvis borte, trolig som følge av «påkjøringssslitasje». Foto av Kjell-Amund Prestmo

Med bakgrunn i dette var derfor nødvendig med en tykkere armert betongstein. Resultatet ble en standard betongstein med bredde 30 cm, tykkelse 15 cm, vis 7 cm og fas 4x10 cm, som vist av Figur 57. Det ser ut som om at det er denne type stein som er valgt i det planskiltet toplanskrysset med turborundkjøring i Geldrop, som tidligere vist av Figur 55. Kantsteinen limes/klebes til overbygningens bindelag, og «omstøpes» med 8 cm Asfalt.



Figur 57: Tverrsnitt av standard trafikkskille inn mot, og i turborundkjøring. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

Furtuijn beskriver også bruk av reflektorer i betongstein, men ulik plassering. I den opprinnelige betongsteinen er reflektor skissert på topp stein, som vist av Figur 57. Undertegnede så ikke reflektorer i betongstein et eneste sted under studieturen, noe som kan tyde på at dette muligens er en løsning man har valgt å gå bort i fra. Reflektorer mellom betongstein og vegoppmerkingen i «eldre» turborundkjøring ble dog observert, som vist av Figur 56. Også denne løsningen syntes å fungere dårlig, da det var flere reflektorer som var revet bort enn de som faktisk stod igjen.

Furtuijn beskriver avslutningsvis at i områder hvor man kan forvente seg snø, kan man skrå starten og slutten på betongstein, samt ha opphold i betongstein for hver meter. Det er denne beskrevne utforming av betongstein i trafikkskille som også er brukt i det planskilte toplanskrysset med turborundkjøring i Geldrop, som vist av Figur 55. Denne type utforming sikrer vannavrenning på tvers av kjørebanelen, samt reduserer sjansen for at vedlikeholdsutstyr tar tak i, og river bort betongsteinen.

Vintervedlikehold er lite omtalt i Furtuijn, men dette er nok ikke noe stort problem i Nederland. Trolig salter de seg ut av problemene de få dagene i året de opplever «arktiske forhold». I Norge vil nok vintervedlikeholdet av slike turborundkjøringer være noe mer utfordrende. Den tradisjonelle brøytepløgen vil med all sannsynlighet ta tak i, skade og/eller rive bort disse betongsteinene i trafikkskillet. Denne bekymringen er også delt i artikkelen «*Turbo-roundabouts and their Basic Evaluation at Realized Constructions in Czech Republic (Procedia Engineering 190 (2017) 283-290)*». Her beskriver artikkelforfatterne at i Slovenia ble dette problemet løst ved å bruke børster ved vintervedlikehold av turborundkjøringer. Slovenia kan i likhet med Norge ha lange og snørike vintre. Børstning i kombinasjon med salting er en løsning som blir mer og mer vanlig også her til lands, spesielt i urbane strøk. Dette kan være en fullverdig løsning for vedlikehold av turborundkjøringer i Norge.

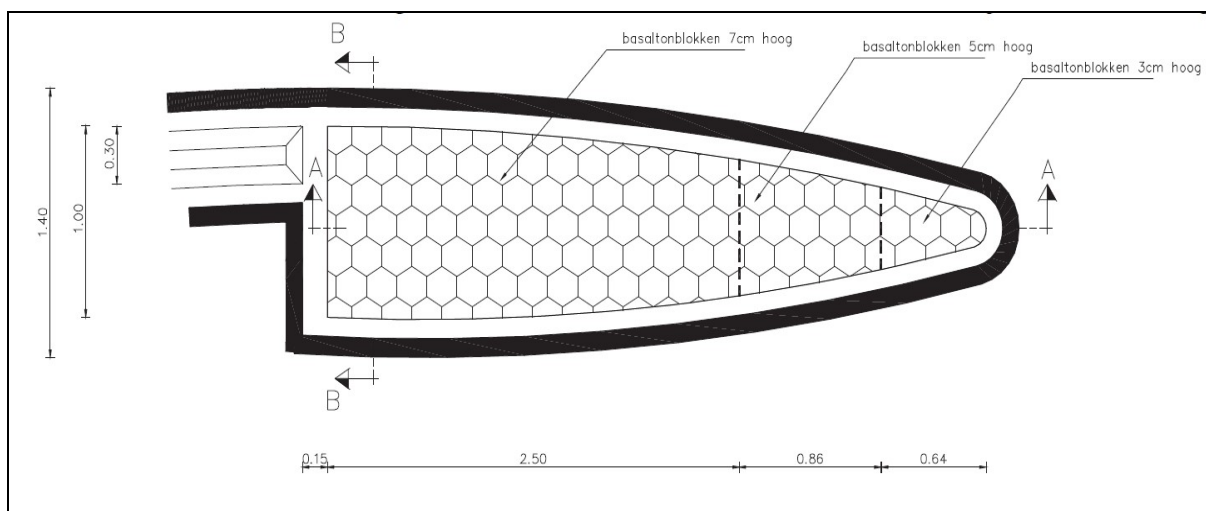
Selv om vinterdrift er lite omtalt i Furtuijn og andre vitenskapelige kilder, er det tydelig at drift er tenkt på under bygging av turborundkjøringene. Under befaringen i Geldrop ble det f.eks observert at i av- og påkjøringsrampene er midtrabatt gjort overkjørbar som vist av Figur 58. Dette gjør det mulig å kjøre inn på påkjøringsrampen fra turborundkjøringen i retning motorvegen, for så å ta en U-sving i retning turborundkjøringen igjen. Man slipper altså å kjøre inn på motorvegen til nærmeste toplanskryss for å finne første snumulighet. Dette muliggjør f.eks. børsting/brøyting

av turborundkjøringen, inkl. armer, med enklere lette vedlikeholdsmaskiner. Det er også valgt en sirkulær øy i senter av rundkjøringen som vist av Figur 46, fremfor den tradisjonelle «taggete» utformingen fra Furtuijn vist av Figur 54. Dette gjør vintervedlikehold helt inn til rundkjøringas sentraløy betydelig lettere.



Figur 58: På- og avkjøringsrampe fra motorveg A67. Avslutning av kantstein i midtrabatt, stiplet oppmerking og steinsetting gjør arealet overkjørbart. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Når det i turborundkjøring benyttes fysisk trafikkskille, bør disse steinene være godt synlige. I adkomstrampene inn mot turborundkjøringen er ikke dette noe stort problem. Litt verre er det nok ved innkjøring til selve rundkjøringen, da oppmerksomheten fort rettes mot andre forhold. Furtuijn beskriver at for å forbedre synligheten av trafikkskille i selve rundkjøringen, kan det etableres en bred dråpe i starten på trafikkskille. Anbefalt utforming av dråpe vist av Figur 59 Vi ser her at dråpen er steinsatt, hvor høyden på stein i dråpen er økende inn mot betongsteinen i standard trafikkskille. I tillegg til den synlige effekten av dråpen, gjør utformingen at man blir fysisk oppmerksom på skille ved overkjøring av dråpen inn mot turborundkjøringens indre sirkulasjonsareal.



Figur 59: Anbefalt utforming av dråpe før start av separasjonsareal mellom kjørefelt i selve rundkjøringa. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

Det er etter hvert allment kjent i det norske fagmiljøet at belegg av stein generelt alltid bør omkranses av en eller annen form for kantstein, og ikke bare asfalteres inntil som vist av Figur 59. Under studieturen ble denne dråpen observert i relativt få turborundkjøringer. Under litteratursøk i forbindelse med masteroppgaven er ikke denne dråpen så ofte å se i andre europeiske land heller. Trolig har man erfart at denne type dråpe får såpass mye juling ved overkjøring, at dråpen og omkringliggende asfaltflater etter hvert går i oppløsning. Man velger derfor heller å gå rett på betongstein som standard trafikkskille, satt utenfor arealer man forventer vil bli overkjørt.

Det ble under studieturen også observert alternative utforminger til dråpen som vist av Figur 60. Her har man kun gått for oppmerking av dråpen, i kombinasjon med refleksjonsdioder. Med tanke på vintervedlikehold vil nok ikke diodene fungere spesielt godt i Norge, men oppmerkingen er et ok alternativ. Her kan man også se for seg oppmerking i kombinasjon med nedfreste sinuslinjer for dråpen og øvrige kantlinjer. Nedfrest sinuslinje brukes etter hvert i stor skala langs kjørebane kant på hovedveger i Norge men også inn mot midtlinje/middeler. Denne type rumlefelt gir både vibrasjon og støy ved overkjøring, noe som åpenbart vil gjøre den kjørende observant på at her skjer det noe. Kombinasjonen støy og vibrasjon vil også trolig redusere påkjøringen av det fysiske trafikkskille.



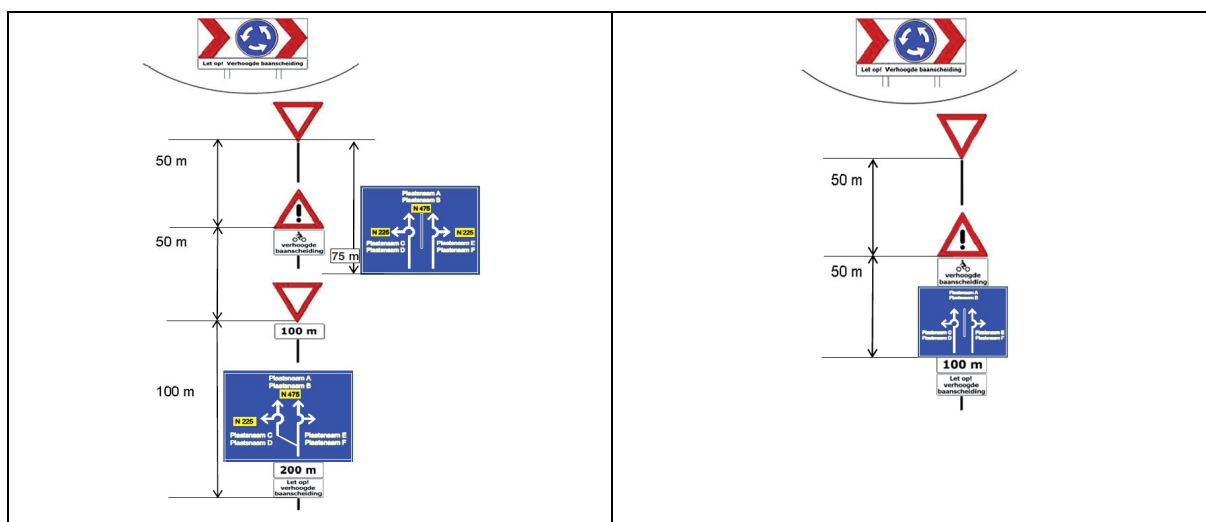
Figur 60: Observert alternativ utforming av dråpe ved start av separasjonsareal mellom kjørefelt i selve rundkjøringa. Her med kun oppmerking og refleksjonsdioder. Fra turborundkjøring langs veg Collse Hoedfdijk nord for Geldrop, mellom hovedveg A67 og A270. Foto: Kjell-Amund Prestmo

For turborundkjøringer er det inn mot rundkjøringens sentraløy et tradisjonelt steinsatt overkjørbart areal med varierende bredde, avgrenset inn mot kjørefelt med en motorveikantstein eller tilsvarende. Løsningen kan skimtes av Figur 60 over. Denne løsningen kjenner vi igjen fra de tradisjonelle rundkjøringene i Norge, og er dermed uproblematisk å implementere ved etablering av turborundkjøring her til lands. Løsningen er også enkelte steder valgt i ytterkant av turborundkjøringen, hvor det er nødvendig med tilleggsareal for at enkelte kjøretøy skal kunne ta seg gjennom rundkjøringen.

7.2 Skilting

Som følge av det fysiske trafikkskille inn mot og i turborundkjøringen, må kjørende ta stilling til hvor de skal før de ankommer rundkjøringen. Det er derfor viktig med svært god skilting før turborundkjøringen, for å gi tilstrekkelig informasjon til de kjørende.

I «turborotonde en turboplein» av Furtuijn er det angitt hvordan man bør skilte inn mot en turborundkjøring. Dette som vist av Figur 61. Man ser her tradisjonell skilting utenfor- og i tettbebygd strøk, hvor anbefalt avstand fra hver skilttype fram til rundkjøringen.



Figur 61: Skiltoppsett for turborundkjøring, hentet fra FURTUIJN - Turborotonde en turboplein. Oppsett til venstre gjelder utenfor tettbebygde strøk, oppsett til høyre utenfor tettbebygde strøk. Kilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

Furtuijn beskriver at det første skiltet på tur inn mot turborundkjøringen skal være et veivisningsskilt, som angir hvilket felt man bør velge for å komme til riktig destinasjon. Her benyttes også et underskilt som angir avstanden fram til turborundkjøringen.

I tillegg har man underskilt med teksten «Let op! - verhoogde baanscheiding», direkte oversatt «Vær oppmerksom! Økt kjørefelt separasjon». Dette er en advarsel om at kjørefelt vil bli skilt med opphevet trafikkskille.

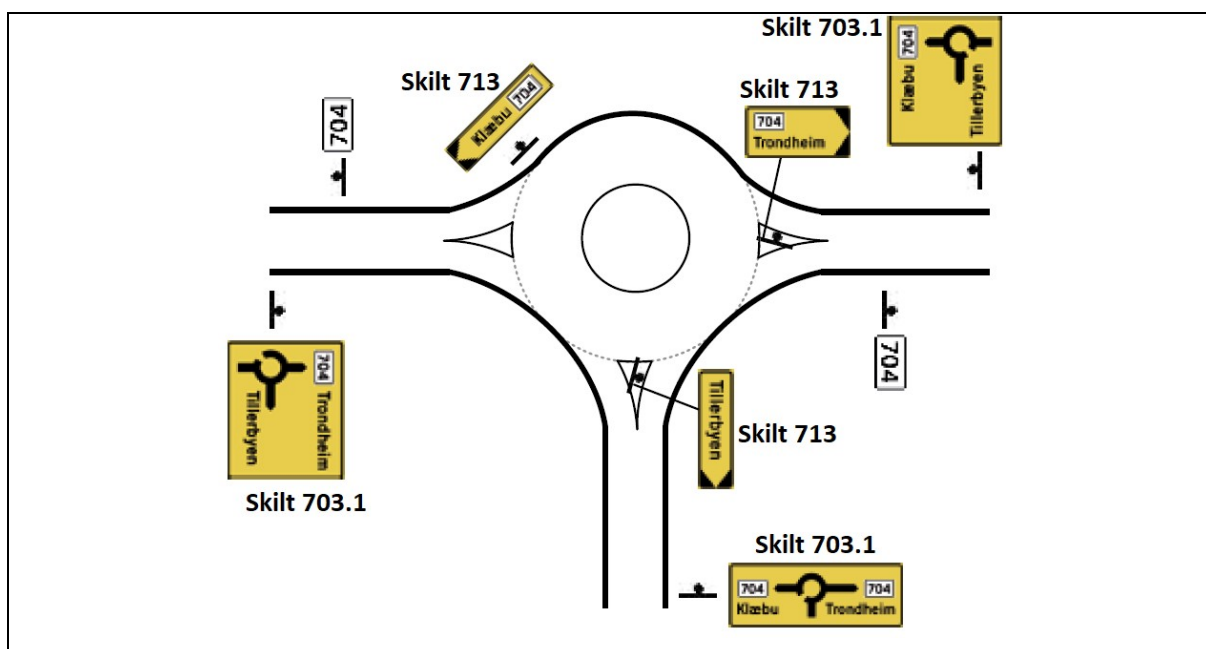
For turborundkjøring utenfor tettbebygde strøk, gjentas veivisningsskiltet før det fysiske trafikkskille, i passende avstand fra rundkjøringen. Eksempel på forvarsel og repetisjon av veivisningsskilt fra studieturen (Planskilt turborundkjøring Geldrop) vist

av Figur 62. Her er underskilt i kombinasjon med fareskilt rundkjøring satt på siste veivisningsskilt før turborundkjøringen.



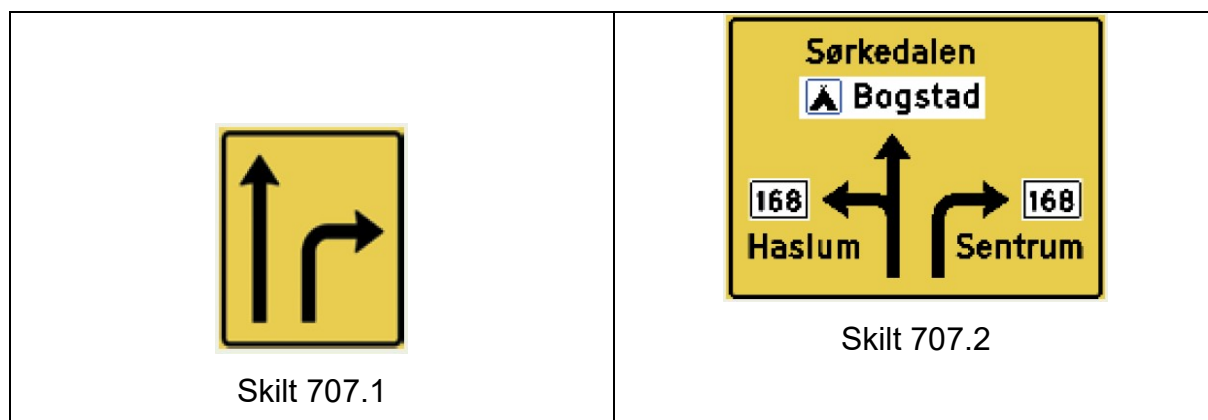
Figur 62: Figur til venstre viser eksempel på forvarsling av turborundkjøring i toplanskryss i Geldrop. Figur til venstre viser repetisjon av veivisningsskiltet. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

I Norge skjer vanligvis forvarsel av rundkjøringer for riksveger, hovedveger og veger med stor trafikk, med diagramorienteringstavle 703.1. I selve rundkjøringen benyttes skilt 711 eller skilt 713. Dette som vist av Figur 63.



Figur 63: Tradisjonell bruk av vegvisningsskilt i rundkjøring. Kilde: Håndbok N300 Del 4A Trafikkskilt

Når det er spesielle behov for å angi riktig feltbruk foran rundkjøring, sier vegvesenets sine skilthåndbøker at skilt 707 skal benyttes. Dette som vist av Figur 64.



Figur 64: Skilt 707.1 og skilt 707.2, benyttes der det er behov for å angi spesiell feltbruk foran rundkjøring. Kilde: Håndbok N300 Del 4A Trafikkskilt

Her benyttes skilt 707.1 som et supplement til forvarsklingskilt 703.1. Skilt 707.2 kan erstatte Skilt 707.1 når det er nødvendig å angi visningsmål til konkrete kjørefelt inn mot rundkjøringen.

Denne type oppsett er tilnærmet helt identisk med forvarsel av turborundkjøringen. Den største forskjellen er at i Nederland benyttes et rundkjøringssymbol på skilttavlen, i stedet for piler. Dagens norske løsning vil med all sannsynlighet fungere meget godt, selv om kanskje den Nederlandske løsningen burde vært implementert.

På rampene i toplanskrysset i Geldrop var første veivisningsskilt erstattet med fareskilt rundkjøring. Underskilt som vanlig. Dette som vist av Figur 65. Valg av denne type løsning på retardasjonsrampene har nok sammenheng med den høye farten kjøretøy har på dette tidspunktet. Det vil derfor være begrenset med tid til å få med seg alt av budskap på et tradisjonelt veivisningsskilt.



Figur 65: Geldrop - Rampe fra motorvei inn mot turborundkjøring i sør. veivisningskilt erstattet med fareskilt rundkjøring. FIGURKILDE: Google Maps

Håndbok N300 sier at bruk av fareskilt rundkjøring (skilt nr 126) unntaksvis kan anvendes som første forvarsling av rundkjøring. Dette gjelder rundkjøringer med ulykkes problemer. N300 sier videre at bruk av skilt nr 126 skal i hvert enkelt tilfelle drøftes med Vegdirektoratet. Med tanke på at turborundkjøringer ikke er spesielt utsatt for ulykker, er nok ikke dette skiltet så aktuelt ved etablering av turborundkjøringer i Norge.

Når man i Norge ikke bruker veivisningsskilt (diagramorienteringstavle, Skilt nr 703.1) til forvarsling av rundkjøring, sier N300 at forvarslingen skal skje med kombinasjonen vikepliktskilt (Skilt nr 202), påbudt rundkjøring (Skilt nr 406) og avstandsskilt (Skilt nr 802). Denne løsningen kan nok fint implementeres ved etablering av turborundkjøring i Norge.

Det neste skiltet man i Nederland kommer til ved turborundkjøringer utenfor tettbebygde strøk er forvarsling av vikeplikten. Dette minner om skiltkombinasjonen for alternativt til forvarsel beskrevet over. Denne skiltingen ble under studieturen observert alltid til å være tosidig. På rampene i toplanskrysset i Geldrop ble også underskilt for varsling av opphøyde trafikkskille gjentatt. Dette som vist av Figur 66.



Figur 66: Geldrop - Rampe fra motorvei inn mot turborundkjøring i sør. Forvarsling av vikeplikt i Turborundkjøring. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Det siste skiltet man kommer til på tur inn mot turborundkjøringen er varsling av vikeplikt like før man kjører inn i rundkjøringen. Håndbok V320 sier at når det er to eller flere kjørefelt inn mot en rundkjøring, skal det benyttes tosidig vikepliktskilt (Skilt nr202) i kombinasjon med påbudt rundkjøring (Skilt nr406) benyttes. Den samme løsningen finner vi igjen i Nederland. Her er dog skilt for påbudt rundkjøring (skilt nr406) plassert i rundkjøringens sentraløy. Dette som vist av Figur 67. Man kan også se at rundkjøringens sentraløy er steinsatt på en slik måte at den angir kjøreretning. Steinsettingen utformet som piler, i kombinasjon med «påbudt rundkjøring» (skilt nr406), erstatter nok derfor skiltoppsettet i rundkjøringas sentraløy.



Figur 67: Skilting inn i rundkjøring i Norge og Skilting av turborundkjøring.

FIGURKILDE: Håndbok V320 Planlegging og oppsetting av trafikkskilt. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

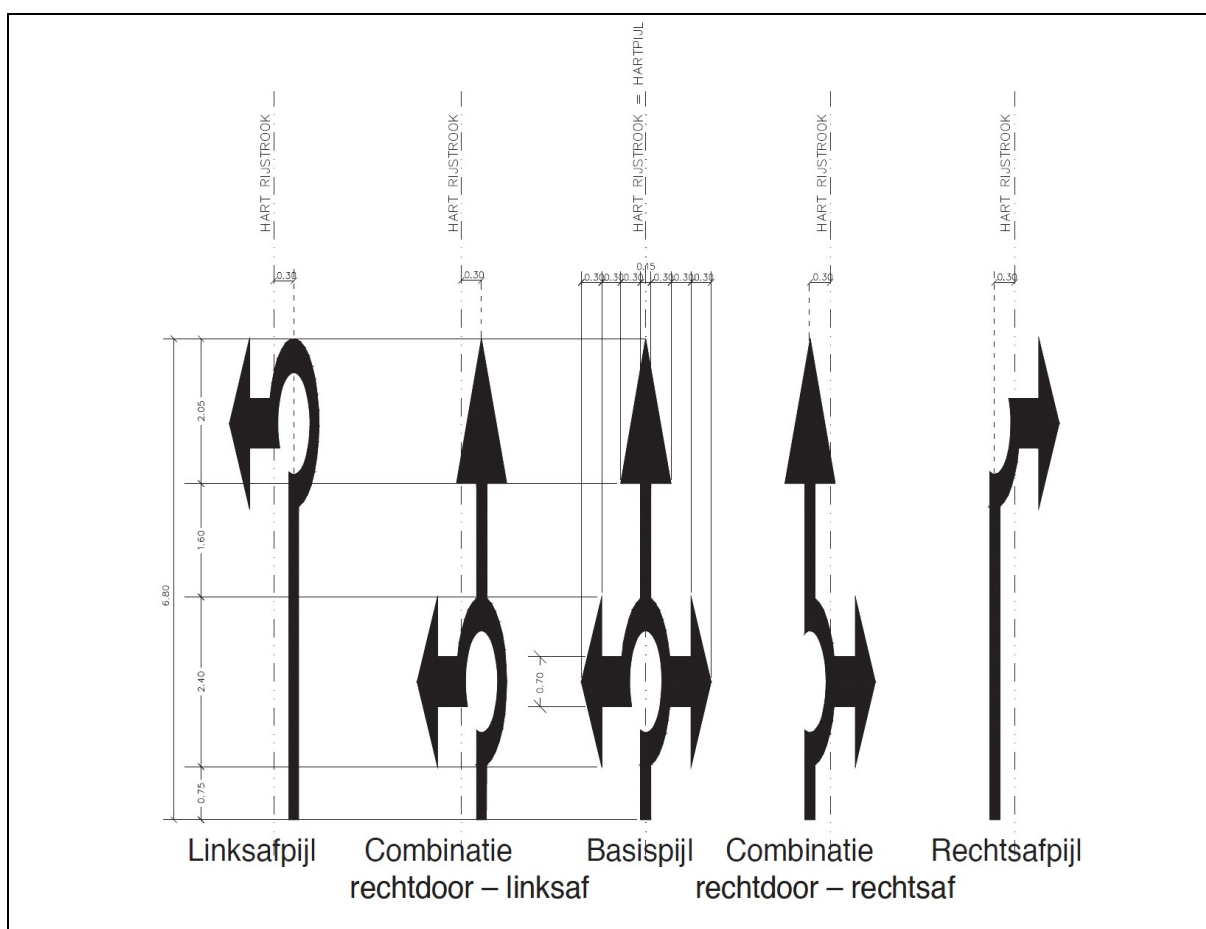
Hvorfor man i Nederland setter skilt for påbudt rundkjøring (skilt nr.406) i rundkjøringens sentraløy er ikke undertegnede kjent med. Årsaken kan være så enkel som at man ved denne løsningen sparer en skiltplate, eller at skiltet i Nederland også angir påbudt kjøreretning. I enkelte norske rundkjøringer hvor det har vært spesielt behov for å angi påbudt kjøreretning, har man satt skilt nr.408 – påbudt kjøreretning i rundkjøringen – opp i rundkjøringens sentraløy. Det legges tradisjonelt ikke opp til denne løsningen ved bygging av nye løsninger i dag.

Turborundkjøringens utforming gjør det vanskelig å kjøre i feil retning inn i rundkjøringen. Undertegnede ser derfor ikke noe behov for ekstra skilting i rundkjøringens sentraløy. Med bakgrunn i dette, synes løsning tosidig vikepliktsskilt i kombinasjon med påbudt rundkjøring, fra vegvesenet sin håndbok V320, å være tilstrekkelig også for skilting av turborundkjøring i Norge.

7.3 Oppmerking

Som tidligere beskrevet må kjørende ved turborundkjøring ta stilling til hvor de skal før de ankommer rundkjøringen. Det er derfor i tillegg til skiltingen viktig med god oppmerking før turborundkjøringen, slik at kjørende får tilstrekkelig informasjon.

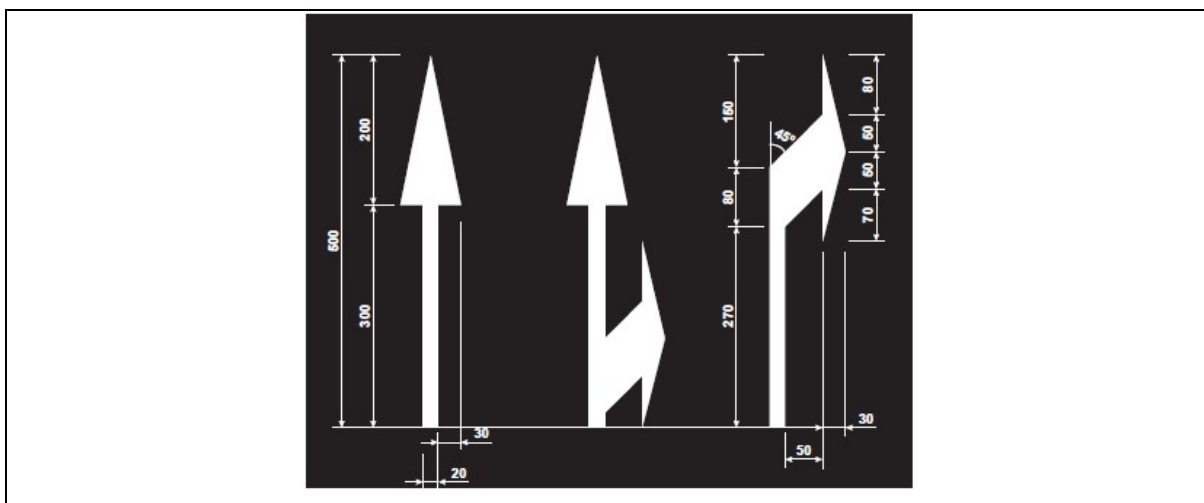
Fortuijn beskriver i «Turborotonde en turboplein» at det i forbindelse med turborundkjøring er blitt utviklet en egen rundkjøringsoppmerking med bedre informasjonsverdi enn de standard pil-markeringene som var vanlig før turborundkjøringens inntog i Nederland. Dimensjonen fra standard piler er beholdt, men rundkjøringens runde form implementert på pil-symbolene. Pil ut fra rundkjøringssymbolet viser hvor man kan komme ut av turborundkjøringen ved valg av det aktuelle feltet symbolet er merket opp. De ulike oppmerkingspilene med dimensjoner er vist av Figur 68.



Figur 68: Standard nederlandske oppmerkingspiler for rundkjøring. Figurkilde:

FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

Tilsvarende oppmerking av rundkjøringer i Norge er ikke kjent for undertegnede. I vegvesenet sin vegoppmerkingshåndbok N302 står det at «Piler kan merkes opp, i kombinasjon med vegvisningsskilt, dersom dette er nødvendig for å bedre utnyttelsen av tilfartene eller for å redusere konflikter i sirkulasjonsarealet eller utfartene». Her er det nok snakk om bruk av pil-symbol «Piler (1034)», som vi tradisjonelt bruker i kryssområder. Disse pil-symbolene er vist av Figur 69.

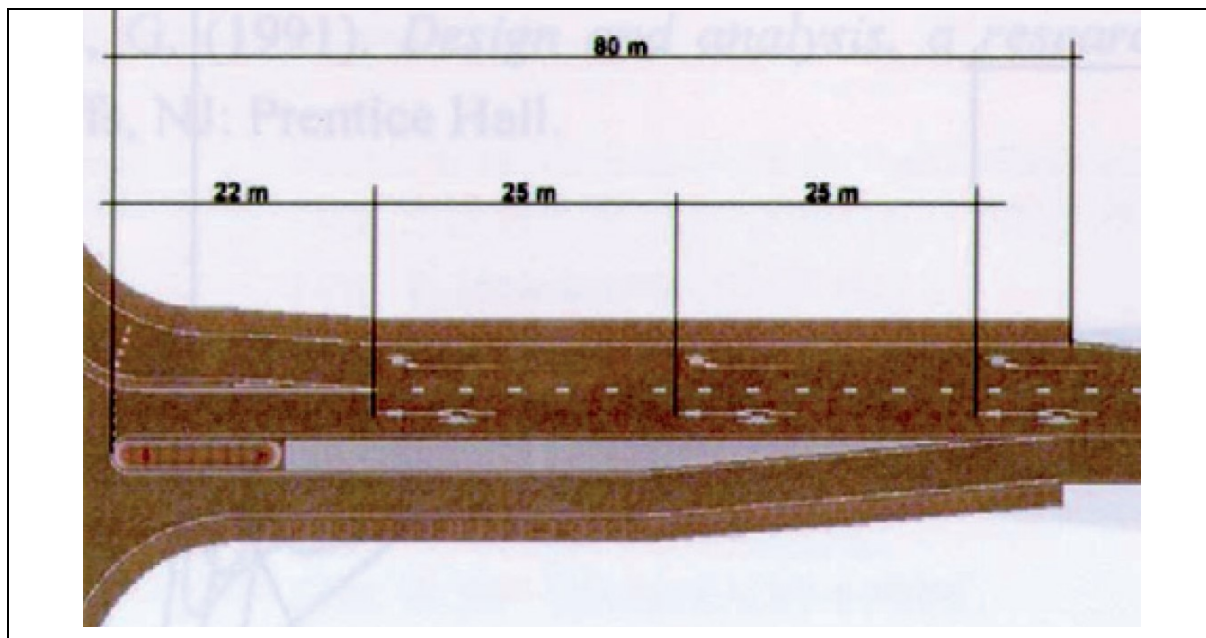


Figur 69: Oppmerkingssymbol "Piler - (1034)", for oppmerking av kryss ved fartsgrense mindre enn 60 km/t. Kilde: Håndbok N302 Vegoppmerking

Dersom man sammenligner de nederlandske pil symbolene for turborundkjøring vist av Figur 68, med de Norske pil symbolene for kryss vist av Figur 69, ser man at de har nærmest identisk utforming med tanke på linjetykkelse, lengde og «pil-utforming». Det bør derfor være uproblematisk å implementere den nederlandske utformingen av piler ved oppmerking av en eventuell turborundkjøring i Norge.

Furtuijn beskriver videre i «Turborotonde en turboplein» at avstanden fra vikelinje til første pil til 22 m. Avstand mellom pilene er så 25 m. Dette som vist av Figur 70. Håndbok N302 vegoppmerking angir at i Norske kryss skal avstand fra kryss til første pil være 10-15 m. Avstanden mellom pilene skal så være i en avstand på 20-30 m. Den Norske oppmerkingen for kryss ligner altså svært mye på det nederlandske oppsettet for turborundkjøring. Avstanden fra vikelinje til første pil er noe lengre i Nederland. Dette er kanskje en liten fordel, da det er mindre sannsynlig at ventende kjøretøy på tur inn i rundkjøringen blir stående å dekke til oppmerkingssymbolet. Det er heller ikke noe poeng i å merke opp pil-symboler etter at det fysiske trafikkskille

mellom kjørefeltene er startet. Den Nederlandske-løsningen bør derfor implementeres ved etablering av norsk turborundkjøring.



Figur 70: Nederlandsk standard avstand for oppmerkingspiler inn mot turborundkjøring. Figurkilde: FURTUIJN - Turborotonde en turboplein

Den anbefalte pil oppmerkingen fra i «Turborotonde en turboplein» ble under studieturen observert i alle turborundkjøringene. Den eneste forskjellen var at oppmerket vikepliktsymbol ikke alltid var av den tradisjonelle typen vi kjenner fra Norge eller som vist av Figur 72, men var i stedet erstattet med et stort vikepliktsymbol satt i forlengelsen av pil-symbolene midt i kjørefeltet like før adkomst turborundkjøring. Dette som vist av Figur 71. Vegvesenet sin oppmerkingshåndbok beskriver tilsvarende vikepliktsymbol som typen «1036 vikepliktsymbol». Denne er svært sjelden å se her til lands, men oppmerkingshåndboken gir åpning for bruk ved forvarsling av vikeplikten angitt med skilt 202 «vikeplikt».



Figur 71: Geldrop - Nederland. Oppmerking inn mot turborundkjøring. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Under studieturen ble det i turborundkjøringen ved toplanskrysset i Geldrop også observert oppmerket kryss (sperrelinje) i ytre sirkulasjonsfelt på vei inn i rundkjøringen. Dette som vist av Figur 72. Undertegnede finner ikke denne type oppmerking omtalt i Fortujin eller andre kilder. Trolig har man her erfart at ankommende kjøretøy til rundkjøringen kjører inn i ytre sirkulasjonsareal, for så å bli stående å vente på at det blir klart i indre sirkulasjonsareal. Oppmerkingen er nok derfor etablert for å unngå dette.



Figur 72: Geldrop – Nederland. Kryss i ytre sirkulasjonsfelt oppmerket med linjetype sperrefelt. FOTO: Kjell-Amund Prestmo

Øvrig oppmerking inn mot og i turborundkjøringen består av tosidig/dobbel sperrelinjer, vikelinjer, heltrukne kantlinjer og kjørefeltlinjer. Valg av linjetyper fremstår nærmest identisk som ved oppmerking av tradisjonelle rundkjøringer i Norge, og kan nok implementeres ved bygging av Norsk turborundkjøring uten behov for endringer/justeringer.

8 Detaljprosjektering og visualisering av turborundkjøring i toplanskryss

8.1 Programvare

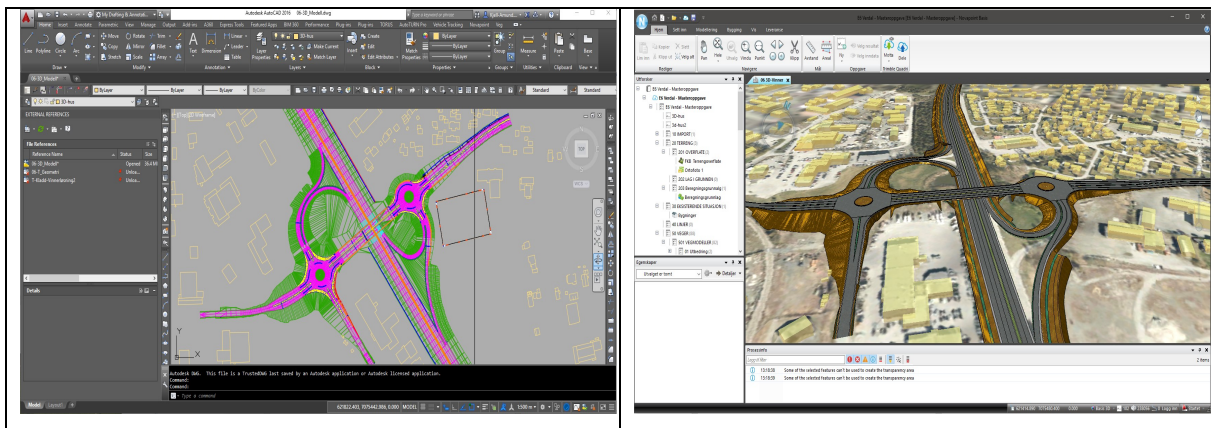
I forbindelse med denne oppgaven er toplanskryssløsningen med turborundkjøring som kom best ut i trafikksimuleringen detaljprosjektert og visualisert. Dette delkapitlet vil gi en kort introduksjon til de programvarene som er brukt.

8.1.1 Trimble Novapoint

Nytt toplanskryss med turborundkjøringer for «Havnekrysset» er i sin helhet prosjektert i Trimble Novapoint. Krav i gjeldende håndbøker fra Statens vegvesen er forsøkt opprettholdt, samtidig som kryssløsningen er tilpasset lokale forhold.

Novapoint er, og har utvilsomt vært det vanligste prosjekteringsverktøyet for vegfaget her til lands i mange år. Programmet brukes også i stor skala for fagområdene vann- og avløp, jernbane, konstruksjon og geoteknikk.

Trimble Novapoint kjøres sammen med programvaren AutoCad. I de senere år er Novapoint-delen vesentlig oppgradert med egen innsynsmodell som til enhver tid viser hva som er prosjektert inn i prosjektet for alle fagområder. Dette som vist av Figur 73.



Figur 73: Prosjektet toplanskryss med turborundkjøring i Autocad til venstre. Resultat av prosjektering fremstilt in innsynsmodellen til Trimble novapoint til venstre.

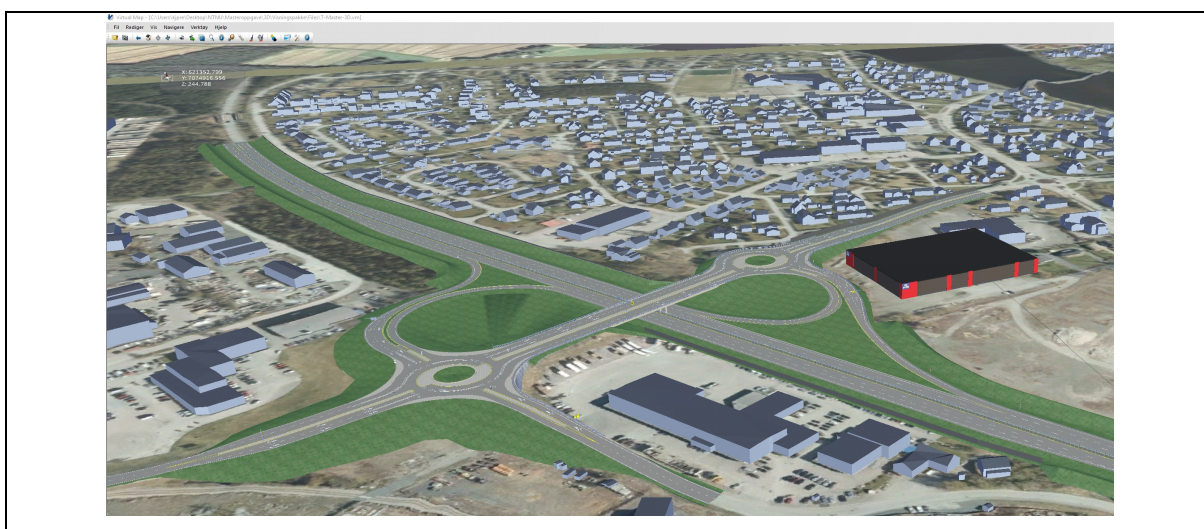
Den nye innsynsmodellen gjør at konflikter identifiseres tidlig og dermed finnes det kvalitetssikring under hele prosjekteringsperioden. Større kunnskap og oversikt over prosjektets løsninger sikrer også en bedre utførelse og reduserer omfanget av feil. Samtidig gir innsynsmodellen et greit grunnlag for presentasjoner til eksterne parter. Dette kan forenkle kommunikasjonen, noe som i sin tur kan føre til en bedre og hurtigere beslutning i forhold til for eksempel vegvalg eller kryssløsning.

8.1.2 Virtual Map

Etter prosjektering av nytt «Havnekryss» i Trimble Novapoint, er «prosjektet» tatt over i programvaren Novapoint Virtual Map. Dette er en undermodul til Trimble Novapoint. Denne programvaren/modulen er på full fart ut som prosjekteringsverktøy, og hadde kanskje sin glansperiode i tidsrommet 2005-2015. Innsynsmodellen i Trimble Novapoint har i dag på mange måter erstattet funksjonen virtual map en gang hadde.

Virtual Map ble likevel brukt i denne masteroppgaven, da dette er et enkelt verktøy for å tilegne teksturegenskaper til ulike lag i rutenettmodell eksportert fra Trimble Novapoint. Programvaren gjør det også enkelt å drapere ortofoto/flyfoto over terrengoverflaten. Visualiseringen man får ut av Virtual Map ser på mange måter noe gammeldags ut. Dette som vist av Figur 74. Det er dog veldig enkelt å eksportere modellen videre fra Virtual Map over til en rekke andre programvarer for videre optimalisering.

Undertegnede skrev i desember 2008 litt om virtual map i tidsskriftet Novanews. Her oppsummeres Virtual Map som et verktøy som dekker de fleste funksjoner og behov innenfor visualiseringsfeltet. Programmet fordrer ingen tung kompetanse innen 3D-modellering, men basiskunnskaper i Autocad og Novapoint er å foretrekke. Virtual Map er bygd opp på en fornuftig måte og programvaren baserer seg på logiske prinsipper.



Figur 74: Skjermdump av visualisering av nytt havnekryss med turborundkjøringer vist i programvaren Novapoint Virtual Map

8.1.3 Lumion

Lumion er i utgangspunktet et visualiseringsprogram for arkitekter. Undertegnede har dog ved flere anledninger i jobbsammenheng funnet det svært nyttig for å fremstille vegprosjekt på en realistisk måte.

Programmet gjør det mulig å importere enkle modeller fra prosjekteringsprogrammer som Setchup, AutoCad, Revit, 3D studio max etc, for så å skape utrolig fine og realistiske modeller. Gode gjennomarbeidede modeller fra prosjekteringsprogramvaren er en fordel for best mulig resultat. Lumion er svært enkelt i bruk, slik at de fleste med noe data-kunnskaper vil kunne benytte seg av programmet. Det minner på mange måter på et enkelt data-spill. Skjermdump av programmet vist av Figur 75.



Figur 75: Skjermdump fra programvaren Lumion. Det prosjekterte topplanskryss med turborundkjøring er her importert fra Virtual Map.

I Lumion kan man fra et bibliotek velge ut tusenvis av teksturer og ferdige 3D-objekter som man enkelt kan sette direkte inn i modellen. Biblioteket bærer dog noe preg av å være rettet mot arkitektur, men det finnes også en del teksturer og objekter som egner seg ved fremstilling av vegprosjekter. Man kan for eksempel sette inn

skilt, kjøretøy, beplanting, gående- og syklende med mere. Det er også i programvaren mulig å vise hvordan solen står ved ulike dager og tidspunkter i løpet av et år, samt legge inn forskjellige værforhold.

For fremstilling av nytt havnekryss med turborundkjøring er det i dette tilfellet brukt en noe eldre versjon av Lumion (Lumion pro 5.0) Siden utgivelsen av denne er det kommet er rekke oppdateringer med forbedringer og utvidelse av tekstur- og objektbibliotek. I dag er Lumion å få i versjon 9.0.

Med noe bearbeiding i Lumion kan man på relativt kort tid kunne produsere flotte bilder av modellen, samt videosnutter. Programvaren egner seg således ikke bare for framstilling av planer for arkitekter, men også planer for andre fag.

8.1.4 TORUS

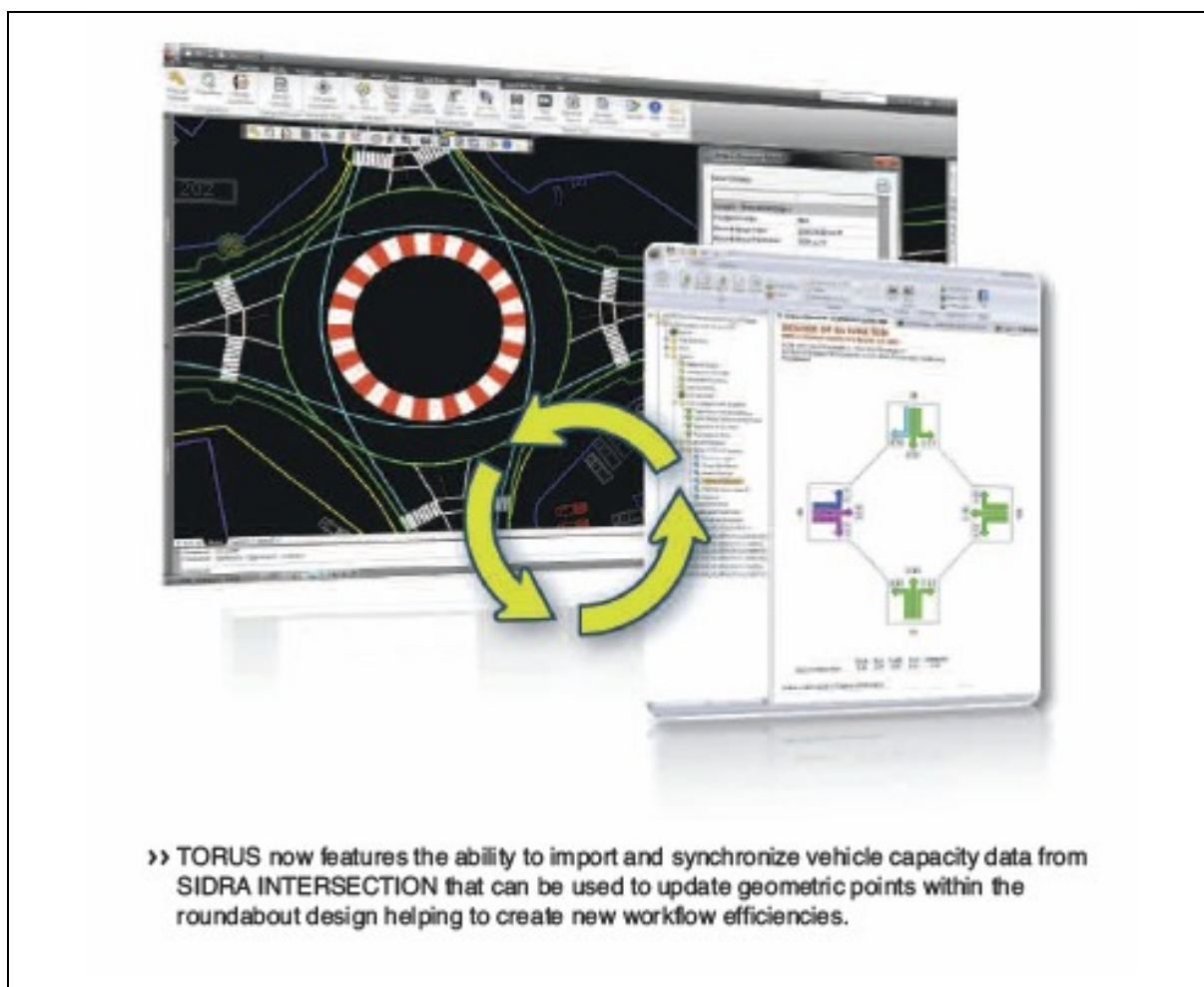
Ved oppstart av denne masteroppgaven var det interessant å finne ut av om det fantes alternative programvarer for prosjektering av turborundkjøringer. Det ble derfor gjort et google-søk for å se hvilke programvarer man brukte i andre land.

Her ble det blant annet treff på programleverandøren Transoft solutions og deres program TORUS ROUNDABOUTS. Dette programmet var helt nytt for undertegnede. Det ble derfor sendt forespørsel til Transoft Solution Europe i Rotterdam, Nederland, om det var noen mulighet for å få prøve denne programvaren. Transoft responderte hurtig, og undertegnede fikk tildelt en 3 måneders gratis prøveperiode. Transoft solution ønsket dog en kopi av masteroppgaven ved ferdigstillelse.

TORUS ROUNDABOUTS er en modul som i likhet med Novapoint kjøres sammen med Autocad. Erfaringen med TORUS er at det går relativt hurtig å prosjektere utkast layout til turborundkjøringer. Sporinganalyser med forskjellige kjøretøy sytes også å fungere meget godt. Det kan dog virke som om TORUS i stor grad er et 2D-verktøy, selv om programmet lar deg triangulere 3D-flater innenfor turborundkjøringens layout. Programmet synes ikke å hensynta vertikalgeometri. Det virker heller ikke som det er mulig å gå inn å styre vegens tverrfall. Dette kan også ha sammenheng med undertegnedes manglende kompetanse innenfor verktøyet.

Transoft reklamerer også med at TORUS kan importere trafikk tall fra Sidra Intersection. Man kan kjøre simuleringer, tilpasse rundkjøringen og så eksportere ferdig detaljprosjektet rundkjøring tilbake til Sidra Intersection. Dette som illustrert av *Figur 76* Figur 76. Denne øvelsen gikk som en drøm for tradisjonelle rundkjøringer med forhåndsdefinerte Transoft-layouts, men funksjonen var ikke mulig å benytte seg av når layout for turborundkjøring ble valgt. Dette har nok sammenheng med at det nok er utfordrende å kode trafikkstrømmen inn i Tourus når turborundkjøring er valgt, samt at det er utfordrende å kode tilbake turborundkjøringen inn i Sidra.

TORUS har for øvrig foreløpig bare synkroniseringsmulighet opp mot Sidra 7.



Figur 76: Fra flygeblad/reklame; "TORUS roundabouts - the ultimate roundabout design solution", hvor det reklameres for synkroniseringsmuligheten mellom Sidra og TORUS

Med bakgrunn i de begrensninger nevnt over, samt undertegnede manglende erfaring med programvaren, ble ikke TORUS i vesentlig grad brukt til prosjektering av turborundkjøring i toplanskryss i denne masteroppgaven.

9 Visualisering

Bilder fra visualiseringer ligger ved som vedlegg til masteroppgaven. Eksempel på bilder fra visualiseringen er vist av *Figur 77*. Bildene vedlegges også digitalt.



Figur 77: Visualisering av turborundkjøring i Havnekrysset, Verdal

Det er også etablert video av visualiseringen. Denne ligger også vedlagt oppgaven digitalt.

Videoen kan for øvrig sees på youtube på følgende internettadresse:

<https://www.youtube.com/watch?v=kxeZoarm5Ac&feature=youtu.be>

Alternativt kan QR-kode under skannes for direkte tilgang.



Filmmusikk til videoen er «Fates Calling» av Paul Werner. Lisens for publisering av musikken er kjøpt fra <http://www.jamendo.com/>

10 Konklusjon

Denne oppgaven og studiet viser at nye typer rundkjøringer, slik som turborundkjøring, både har bedre kapasitet, kortere forsinkelser, bedre trafikkflyt og færre konfliktpunkt enn tradisjonelle kryssløsninger.

Tidligere påpekte ulemper knyttet til drift og vedlikehold av turborundkjøring er begrensede, og bør ikke være til hinder for valg av mer moderne kryssløsninger i Norge. Det er heller ikke vesentlige forskjeller i skiltbruk/skiltløsninger ved turborundkjøringer i Nederland og norsk skiltbruk/skiltløsninger.

I denne konkrete casen – planlagt nytt Havnekryss Verdal - kom henholdsvis halvt kløverbladkryss med «blomsterrundkjøring» best ut, tett fulgt av halvt kløverbladkryss med «turborundkjøring». Begge er såkalt moderne kryssløsninger som er utprøvd i flere land, men ingen så langt i Norge. Før en eventuelt tar stilling til endelig valg av kryssløsning for havnekrysset i Verdal, bør begge disse to alternativene utredes nærmere. Det bør også vurderes lagt eget ferdselsfelt for gående og syklende utom krysset.

Den foretatte visualisering av dette ene alternativet – halvt kløverbladkryss med «turborundkjøring» - vil forhåpentligvis kunne redusere noe av skepsisen til nye kryssløsninger som tidligere er kommet til uttrykk fra deler av fagmiljøet og beslutningstakere.

11 Referanser

- CROW - Turborotendes - Publicatie 257 - June 2018
- FURTUIJN - Turborotonde en turboplein; Ontovert, capaciteit en veiligheid - TRAIL Thesis Series - 2012
- Raffaella Mauri, Marco Cattani, Maroc Guerrieri – Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model – The Baltic journal of road and bridPotential accident rate of turbo-roundabouts –
- Ferdinando Corriere - Performance analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context - SIIV 5th International Congress (2012)
- T.Tollazzi, M.Rencelj, S.Turnsek – New type of roundabout: Roundabout with “Depressed” lanes of Right Thurning, FLOWER ROUNDABOUT – Traffic Infrastructure Preliminary Communication – July 6, 2011
- A.B.Silva, L.Vasconcelos, S.Santos - Moving from conventional roundabouts to turbo-roundabouts - Procedia – Social and behavioral sciennces 111 (2014) – 146
- Valclav Skvain, Jan Petru, Vladislav Krivda - Turbo-roundabouts and their Basic Evaluation at Realized Constructions in Czech Republic - (Procedia Engineering 190 (2017) 283-290)
- Arvid Aakre - Modelling of pedestrians and bicycles - SIDRA User meeting Oslo 03.09.2018
- T.Tollazzi - Alternative Types of Roundabouts – An information Guide – utgitt 2015 - ISBN 978-3-319-09084-9
- TRANSOFT, INFOGRAPHIC – Turbo-roundabouts vs. Standard multi-lane - <https://www.transoftsolutions.com/emea/blogpost/turbo-roundabout-vs-standard-multi-lane-roundabout-designs/>
- Kjell-Amund Prestmo, Håkon Hofstad Hojem – Krokstadøra, Visualisering av ny Riksveg 714 – Novanews, nummer 2, årgang 10 – utgitt desember 2008 – ISSN 1604-2085
- Statens vegvesen - Video fra kommunedelplan med konsekvensutredning - <https://www.youtube.com/watch?v=Y6d6JIJPHGg>

- Statens vegvesen – Håndbok N100 Veg- og gateutforming – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N300 Del 1 Trafikkskilt – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N300 Del 2 Trafikkskilt – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N300 Del 3 Trafikkskilt – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N300 Del 4A Trafikkskilt – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N300 Del 4B Trafikkskilt – 2014
- Statens vegvesen – Håndbok N302 Vegoppmerking – 2015
- Statens vegvesen – Håndbok V121 Kryssutforming - 2014
- Statens vegvesen – Håndbok V320 Planlegging og oppsetting av trafikkskilt – 2014
- 1881.no – kart og flyfoto
- Google-maps – kart, flyfoto og streetview

12 Vedlegg

1. Trafikktelling Havnekrysset, Verdal.
2. Trafikktelling fra Turborundkjøring i Geldrop – Nederland
3. Bilder av visualisering toplanskryss med turborundkjøring i Havnekrysset
4. Video av visualisering toplanskryss med turborundkjøring i Havnekrysset (leveres digitalt)
5. Trafikkberegninger fra Sidra intersection (leveres digitalt)
6. Bilder av visualiseringen (digital leveranse)

1 Trafikkdata Havnekrysset – E6

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	88	86	66			240	80
1445-1500	71	86	79	76	120	432	86
1500-1515	85	101	77	104	131	498	100
1515-1530	104	129	115	131	135	614	123
1530-1545	107	130	118	136	114	605	121
1545-1600	117	116	109	148	140	630	126
1600-1615				87	104	191	38
Sum kritisk time	413	476	419	519	520		469

Trafikktall E6 Nordgående. Trafikk på ramper til/fra Havnekrysset er ikke inkludert.

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	65	99	81			245	82
1445-1500	29	105	77	85	100	396	132
1500-1515	55	108	115	97	108	483	97
1515-1530	101	114	101	135	114	565	113
1530-1545	97	105	132	95	104	533	107
1545-1600	132	88	88	99	161	568	114
1600-1615				112	91	203	102
Sum kritisk time	385	415	436	426	487		430

Trafikktall E6 sørgående. Trafikk på ramper til/fra Havnekrysset er ikke inkludert.

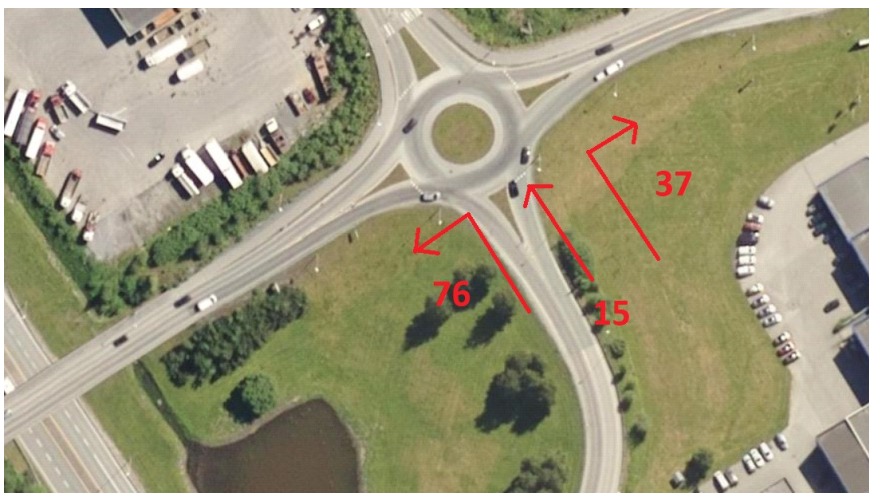
2 Trafikkdata Havnekrysset - Kryss vest

2.1 Kryss samlet

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	297	294	250			841	280
1445-1500	383	287	313	283	292	1558	312
1500-1515	462	433	396	406	449	2146	429
1515-1530	435	466	448	460	444	2253	451
1530-1545	353	399	363	458	395	1968	394
1545-1600	236	346	377	377	316	1652	330
1600-1615				276	253	529	265
Sum kritisk time	1486	1644	1584	1701	1604		1604

Tabell 1: Trafikktall Havnekrysset Vest - Kryss samlet

2.2 Avkjøringsrampe fra E6 Nord



Trafikktall Havnekrysset Vest - Avkjøringsrampe fra E6

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	17	12	15			44	15
1445-1500	13	4	16	11	21	65	13
1500-1515	11	17	12	18	16	74	15
1515-1530	24	20	13	22	25	104	21
1530-1545	15	21	28	23	25	112	22
1545-1600	13	20	10	20	26	89	18
1600-1615				16	20	36	18
Sum kritisk time	63	78	63	83	92		76

Tabell 2: Trafikktall Havnekrysset Vest - Avkjøringsrampe fra E6 - Venstresvingene

Vedlegg 1 – Trafikktelling Havnekrysset, Verdal

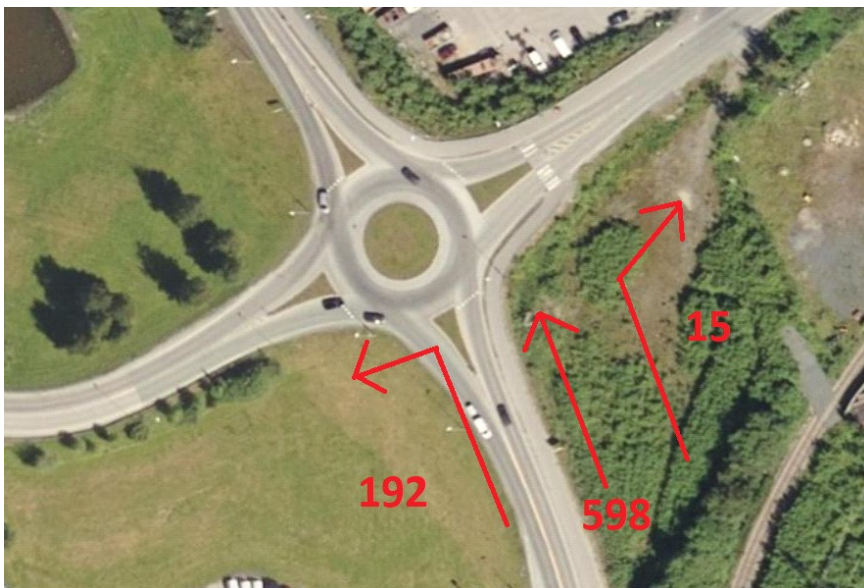
tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	4	2	7			13	4
1445-1500	2	9	2	1	4	18	4
1500-1515	2	4	2	2	3	13	3
1515-1530	2	3	1	2	3	11	2
1530-1545	1	4	8	8	9	30	6
1545-1600	2	8	3	4	2	19	4
1600-1615				3	0	3	1.5
Sum kritisk time	7	19	14	16	17		15

Tabell 3: Trafikktall Havnekrysset Vest - Avkjøringsrampe fra E6 – Rett fram

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	9	17	21			47	16
1445-1500	12	16	19	6	13	66	13
1500-1515	5	3	6	15	18	47	9
1515-1530	6	10	13	13	7	49	10
1530-1545	4	7	12	13	10	46	9
1545-1600	5	8	15	9	6	43	9
1600-1615				8	5	13	7
Sum kritisk time	20	28	46	50	41		37

Tabell 4 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Avkjøringsrampe fra E6 - Høyresvingene

2.3 Fv.757 Arm vest



Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Vest

Vedlegg 1 – Trafikktelling Havnekrysset, Verdal

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	21	18	17			56	19
1445-1500	48	22	20	23	18	131	26
1500-1515	65	46	50	48	58	267	53
1515-1530	56	70	51	64	63	304	61
1530-1545	45	43	35	46	36	205	41
1545-1600	20	42	38	47	36	183	37
1600-1615				26	23	49	25
Sum kritisk time	186	201	174	205	193		192

Tabell 5 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Vest - Venstresvingene

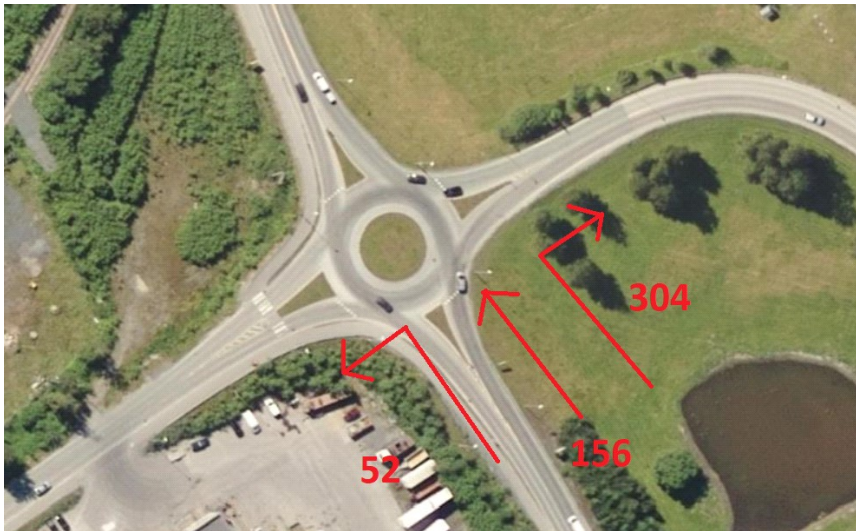
tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	69	75	44			188	63
1445-1500	152	72	71	75	68	438	88
1500-1515	190	151	157	175	193	866	173
1515-1530	176	201	180	196	179	932	186
1530-1545	124	128	135	144	113	644	129
1545-1600	75	94	148	119	112	548	110
1600-1615				85	72	157	79
Sum kritisk time	565	574	620	634	597		598

Tabell 6 - Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Vest - Rett fram

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	3	2	6			11	4
1445-1500	3	2	6	2	2	15	3
1500-1515	1	3	11	7	3	25	5
1515-1530	4	1	7	7	3	22	4
1530-1545	4	6	5	2	1	18	4
1545-1600	2	2	2	1	3	10	2
1600-1615				0	1	1	1
Sum kritisk time	11	12	25	17	10		15

Tabell 7 - Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Vest - Høyresvingene

2.4 Fv.757 Arm øst



Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm øst

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	15	19	13			47	16
1445-1500	8	18	22	21	11	80	16
1500-1515	12	16	7	9	11	55	11
1515-1530	12	18	14	19	10	73	15
1530-1545	12	11	11	25	12	71	14
1545-1600	6	20	8	17	9	60	12
1600-1615				13	2	15	8
Sum kritisk time	42	65	40	70	42		52

Tabell 8 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Øst - Venstresvingene

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	84	70	59			213	71
1445-1500	41	70	76	60	56	303	61
1500-1515	50	70	42	27	32	221	44
1515-1530	44	36	42	29	42	193	39
1530-1545	31	40	40	42	32	185	37
1545-1600	31	43	38	31	38	181	36
1600-1615				30	26	56	28
Sum kritisk time	156	189	162	129	144		156

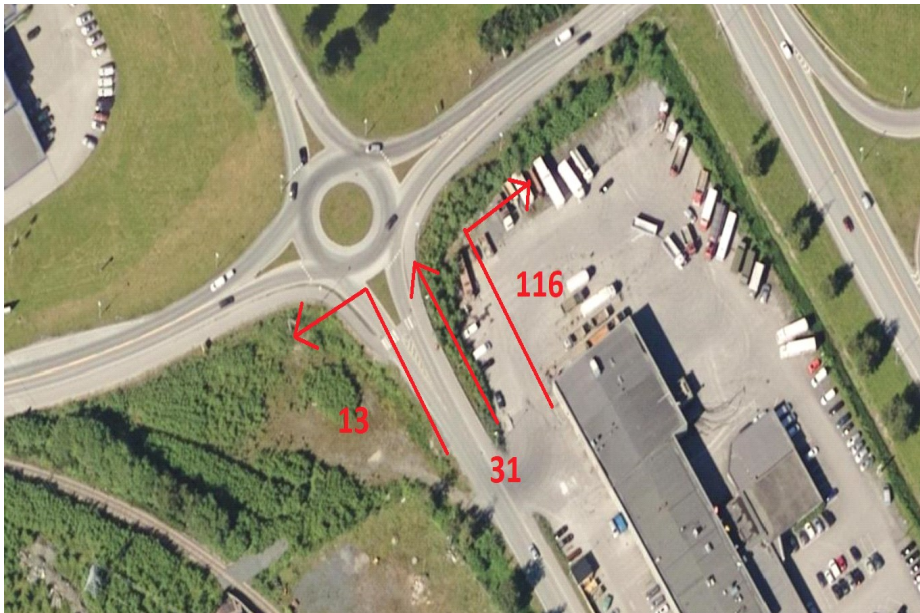
Tabell 91 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Øst - Rett fram

Vedlegg 1 – Trafikktelling Havnekrysset, Verdal

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	43	54	49			146	49
1445-1500	57	44	58	61	65	285	57
1500-1515	86	77	61	63	70	357	71
1515-1530	78	70	86	67	72	373	75
1530-1545	83	90	47	112	98	430	86
1545-1600	59	70	78	92	60	359	72
1600-1615				65	66	131	66
Sum kritisk time	306	307	272	334	300		304

Tabell 10 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Rv.757 Arm Øst - Høyresvingene

2.5 Arm Melkevegen



Trafikktall Havnekrysset Vest - Arm Melkevegen

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	3	5	3			11	4
1445-1500	3	6	7	3	4	23	5
1500-1515	4	6	6	4	8	28	6
1515-1530	4	0	3	4	3	14	3
1530-1545	1	6	2	1	1	11	2
1545-1600	1	3	2	3	2	11	2
1600-1615				2	1	3	2
Sum kritisk time	10	15	13	12	14		13

Tabell 112 - Trafikktall Havnekrysset Vest - Arm Melkevegen – Venstresvingene

Vedlegg 1 – Trafikktelling Havnekrysset, Verdal

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	2	4	5			11	4
1445-1500	7	3	1	7	3	21	4
1500-1515	9	2	8	10	8	37	7
1515-1530	6	5	10	6	9	36	7
1530-1545	9	10	11	10	9	49	10
1545-1600	7	8	6	8	6	35	7
1600-1615				3	4	7	4
Sum kritisk time	31	25	35	34	32		31

Tabell 12 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Arm Melkevegen - Rett fram

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	27	16	11			54	18
1445-1500	37	21	15	13	27	113	23
1500-1515	27	38	34	28	29	156	31
1515-1530	23	32	28	31	28	142	28
1530-1545	24	33	29	32	49	167	33
1545-1600	15	28	29	26	16	114	23
1600-1615				25	33	58	29
Sum kritisk time	89	131	120	117	122		116

Tabell 13 – Trafikktall Havnekrysset Vest - Arm Melkevegen - Høyresvingene

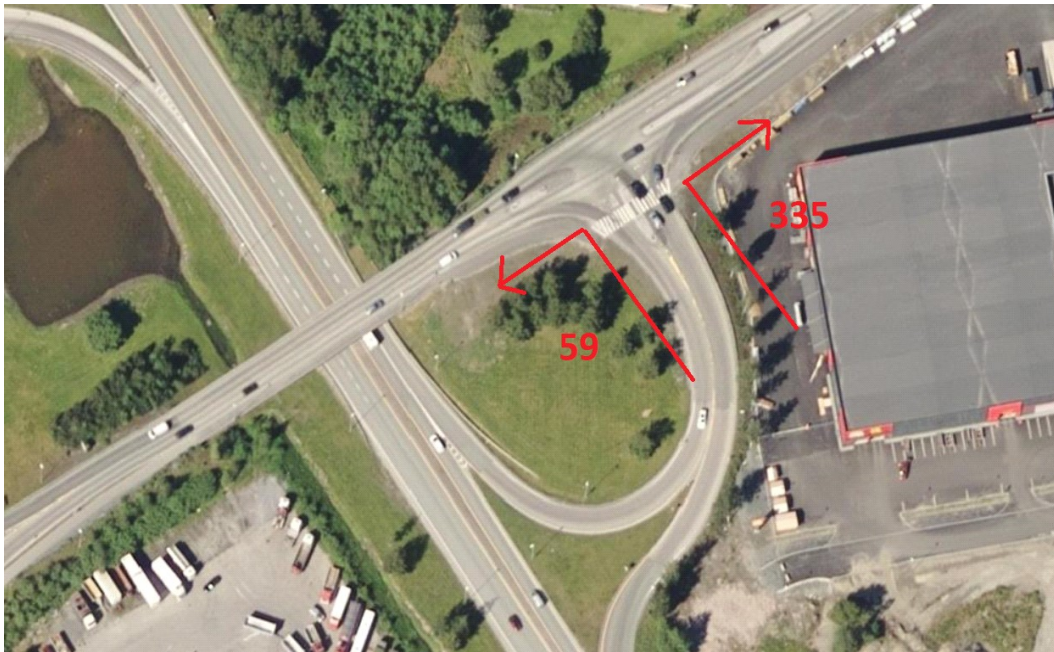
3 Trafikkdata Havnekrysset - Kryss Øst

3.1 Kryss samlet

<i>tidsrom/dato</i>	<i>27.08</i>	<i>28.08</i>	<i>29.08</i>	<i>30.08</i>	<i>31.08</i>	Sum	Snitt
1430-1445	353	361	253			967	322
1445-1500	322	302	316	331	374	1645	329
1500-1515	462	495	448	479	477	2361	472
1515-1530	484	522	507	485	500	2498	500
1530-1545	495	457	517	480	477	2426	485
1545-1600	359	378	349	375	337	1798	360
1600-1615				264	238	502	251
Sum kritisk time	1800	1852	1821	1819	1791		1817

Tabell 14 – Trafikktall Havnekrysset øst - Kryss samlet

3.2 Avkjøringsrampe fra E6



Trafikktall Havnekrysset øst - Avkjøringsrampe fra E6

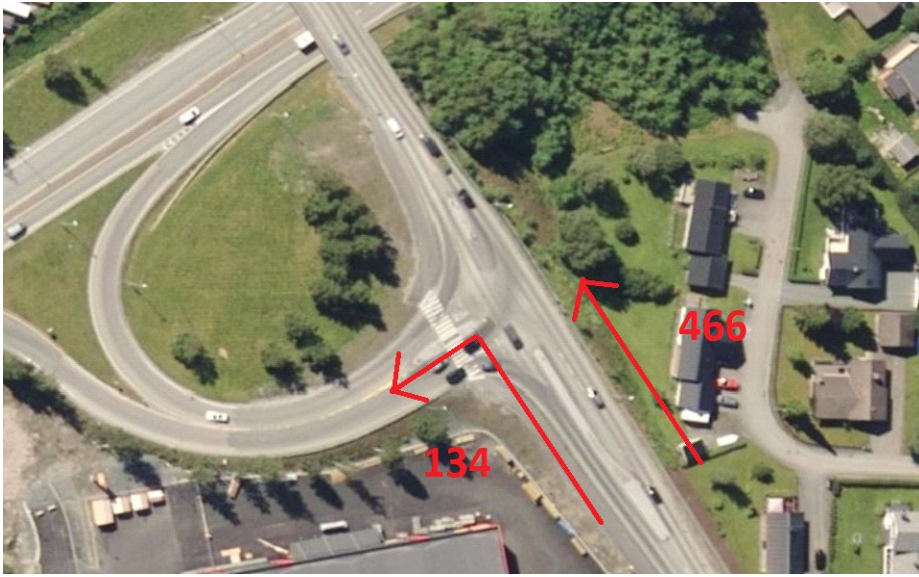
tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	33	23	18			74	25
1445-1500	21	18	23	23	23	108	36
1500-1515	15	10	7	10	13	55	11
1515-1530	18	15	8	12	26	79	16
1530-1545	18	19	15	18	20	90	18
1545-1600	12	17	11	20	11	71	14
1600-1615				6	5	11	6
Sum kritisk time	63	61	41	60	70		59

Tabell 153 – Trafikktall Havnekrysset øst - Avkjøringsrampe fra E6 - Venstresvingene

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	53	40	43			136	45
1445-1500	53	55	68	58	66	300	60
1500-1515	50	62	62	69	69	312	62
1515-1530	99	99	94	94	111	497	99
1530-1545	103	90	93	96	94	476	95
1545-1600	91	97	65	70	65	388	78
1600-1615				32	34	66	33
Sum kritisk time	343	348	314	329	339		335

Tabell 16 – Trafikktall Havnekrysset øst - Avkjøringsrampe fra E6 – Høyresvingene

3.3 Fv.757 Arm øst



Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm øst

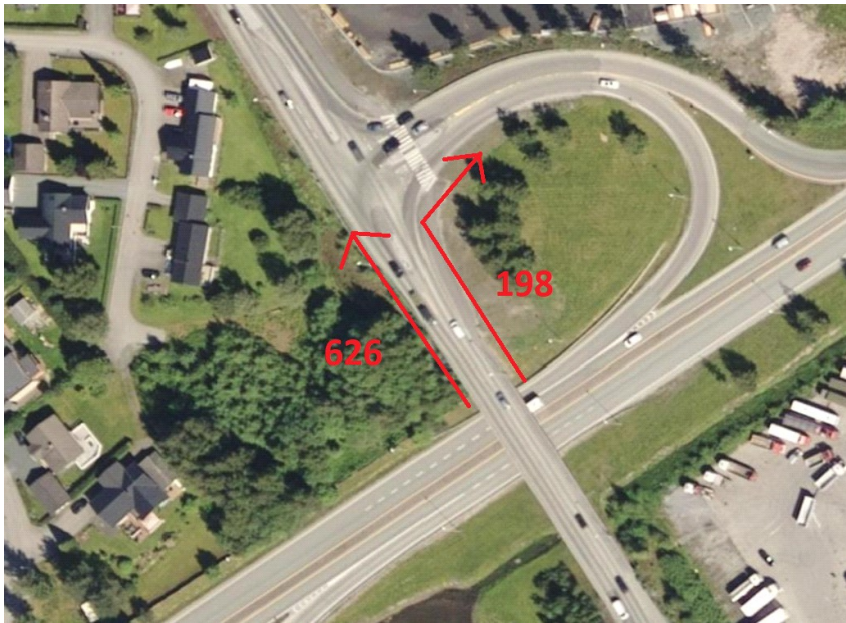
tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	25	20	15			60	20
1445-1500	24	16	10	24	21	95	19
1500-1515	40	31	33	29	41	174	35
1515-1530	25	25	47	29	39	165	33
1530-1545	34	29	46	30	40	179	36
1545-1600	38	24	20	37	31	150	30
1600-1615				31	24	55	28
Sum kritisk time	137	109	146	125	151		134

Tabell 17 – Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm øst - Venstresvingene

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	128	151	103			382	127
1445-1500	104	92	101	99	111	507	101
1500-1515	132	122	120	117	107	598	120
1515-1530	100	123	125	126	117	591	118
1530-1545	124	133	128	117	128	630	126
1545-1600	96	105	96	117	97	511	102
1600-1615				86	73	159	80
Sum kritisk time	452	483	469	477	449		466

Tabell 18 – Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm øst - Høyresvingene

3.4 Fv. 757 Arm vest



Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm vest

tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	96	103	57			256	85
1445-1500	96	96	92	99	129	512	102
1500-1515	168	181	163	192	195	899	180
1515-1530	186	208	179	168	157	898	180
1530-1545	151	138	180	169	151	789	158
1545-1600	96	108	135	93	111	543	109
1600-1615				86	91	177	89
Sum kritisk time	601	635	657	622	614		626

Tabell 19 – Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm vest - Rett fram

Rv.757 Arm Vest - Høyresvingene

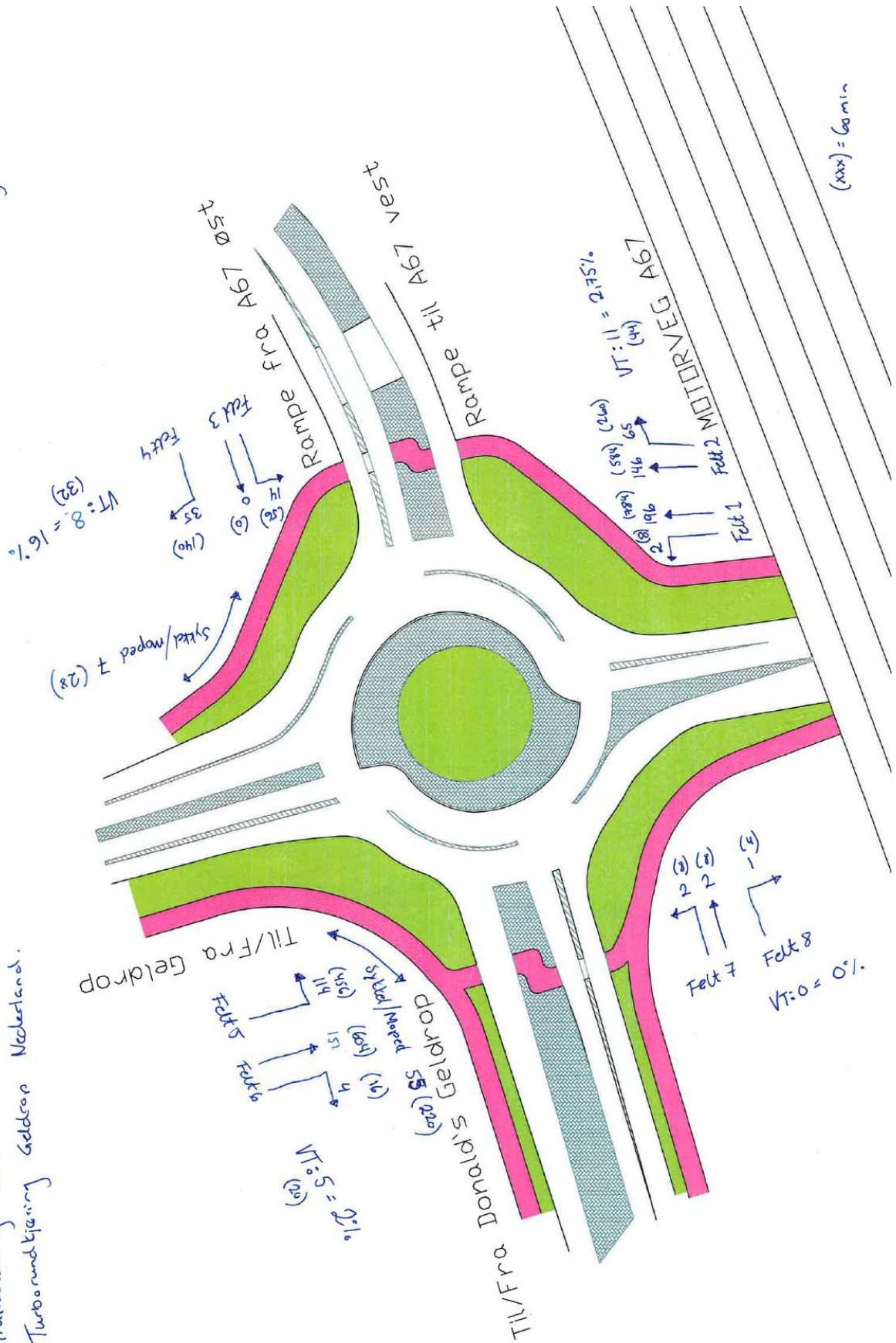
tidsrom/dato	27.08	28.08	29.08	30.08	31.08	Sum	Snitt
1430-1445	18	24	17			59	20
1445-1500	24	25	22	28	24	123	25
1500-1515	57	89	63	62	52	323	65
1515-1530	56	52	54	56	50	268	54
1530-1545	65	48	55	50	44	262	52
1545-1600	26	27	22	38	22	135	27
1600-1615				23	11	34	17
Sum kritisk time	204	216	194	206	168		198

Tabell 204 – Trafikktall Havnekrysset øst - Rv.757 Arm vest - Høyresvingene

Vedlegg 2 – Trafikktelling Turborundkjøring Geldrop - Nederland

Videotelling 27-28 jan 2019

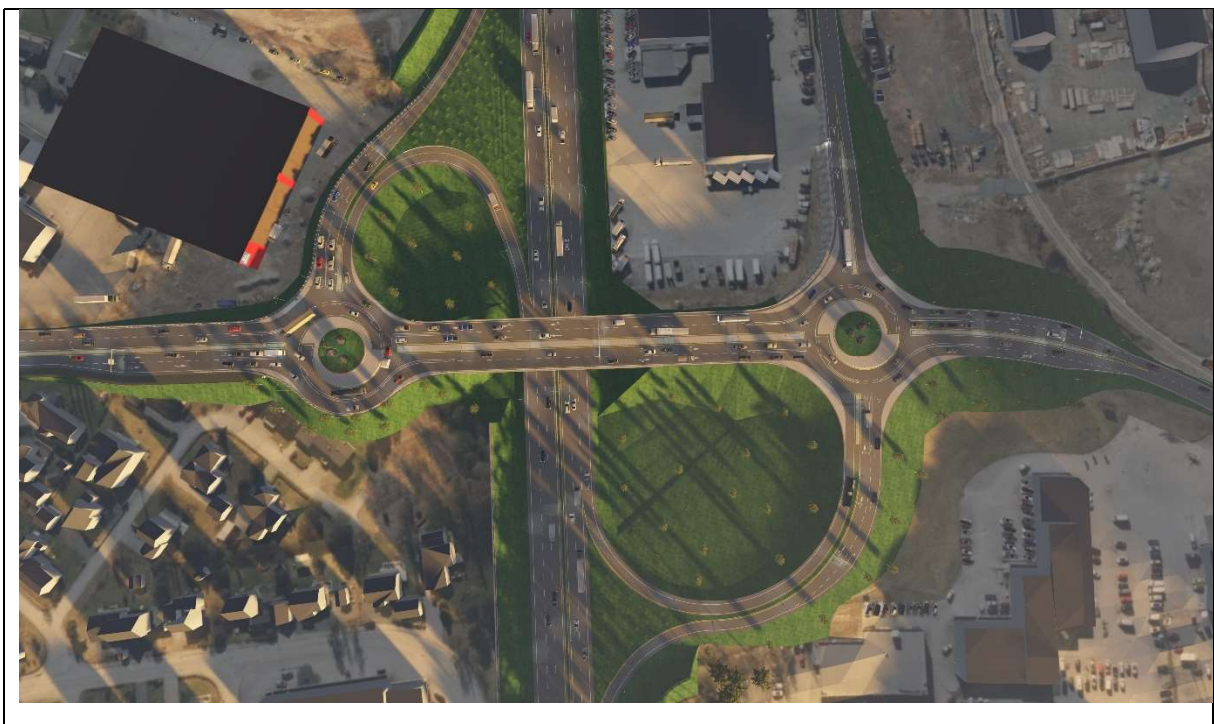
Trafikktelling 23.11.12 KL: 1530-1545
 Turbo rundkjøring Geldrop Nederland.



1 Visualisering Havnekrysset i bilder

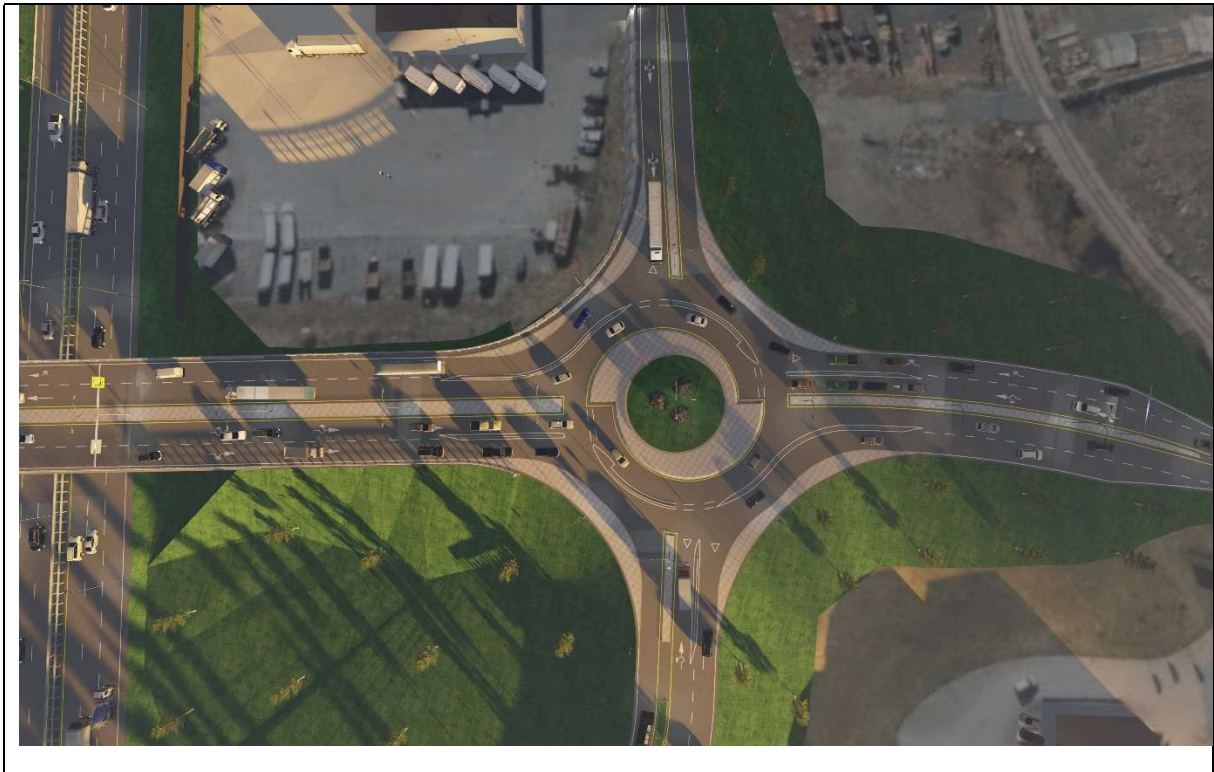


Figur 1: Oversiktsbilde hele toplanskrysset med turborundkjøringer uten trafikk



Figur 2: Oversiktsbilde hele toplanskrysset med turborundkjøringer med trafikk

Vedlegg 3 – Visualisering i Bilder



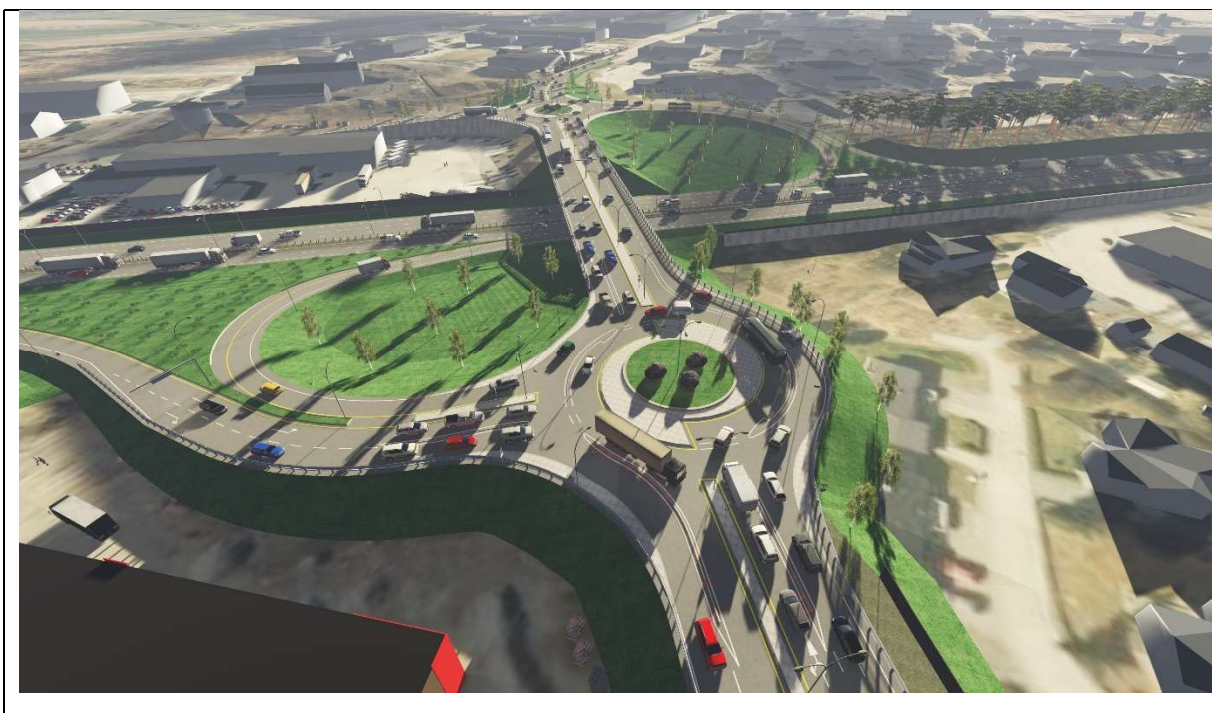
Figur 3: Oversiktsbilde turborundkjøring vest



Figur 4: Turborundkjøring vest, sett fra vest mot øst.



Figur 5: Oversiktsbilde turborundkjøring øst



Figur 6: Turborundkjøring øst, sett fra øst mot vest

Vedlegg 3 – Visualisering i Bilder



Figur 7: Toplanskryss sett fra nord mot sør



Figur 8: Toplanskryss sett fra sør mot nord



Figur 9: Turborundkjøring vest med rampe til/fra E6. Legg merke til prosjektert opphold i midtrabatt som sikrer muligheten for vinterdrift av turborundkjøringen. Lik løsning som observert i Geldrop Nederland, omtalt i masteroppgaven.



Figur 10: Turborundkjøring vest, arm til/fra industriområdet. Forslag til mulig utforming, skilting og oppmerking.



Figur 11: Turborundkjøring vest, arm til/fra Melkeveien. Forslag til mulig utforming, skilting og oppmerking for adkomst til turborundkjøring med kun et kjørefelt.



Figur 12: Turborundkjøring øst, arm til/fra sentrum. Forslag til mulig utforming, skilting og oppmerking.



Figur 13: Turborundkjøring øst med rampe til/fra E6. Forslag til mulig utforming, skilting og oppmerking. Også her med prosjektert opphold i midtrabatt som sikrer muligheten for vinterdrift som tidligere omtalt