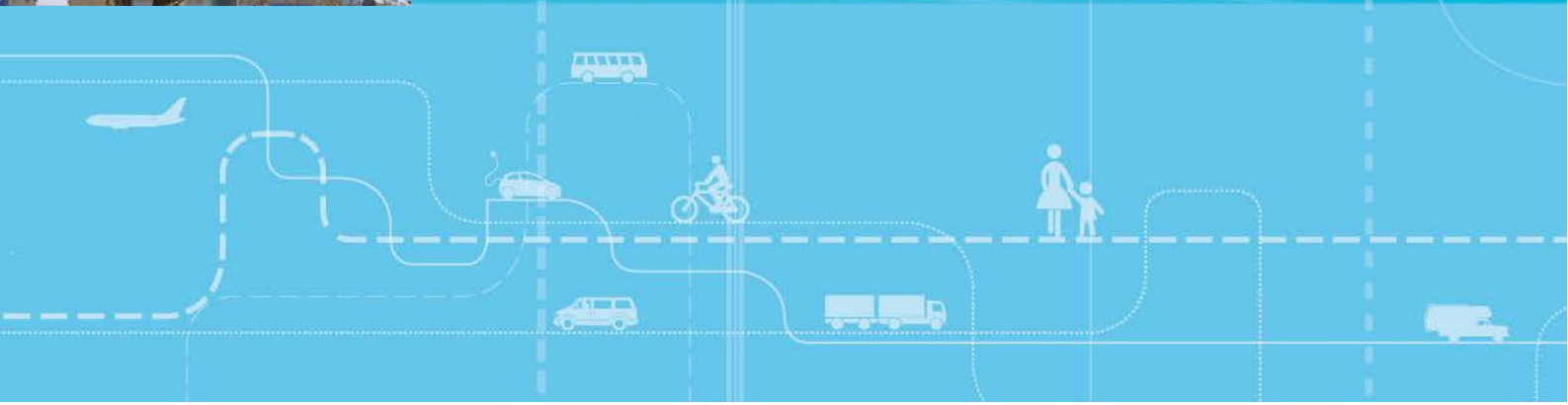


Trafikksikkerhetseffekter av signalregulering av kryss



Trafikksikkerhetseffekter av signalregulering av kryss

Alena Høye

Forsidebildet: Alena Høye

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

Tittel: Trafikksikkerhetseffekter av signalregulering av kryss

Forfattere: Alena Høye

Dato: 02.2015

TØI rapport: 1396/2015

Sider 44

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1613-7

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Samferdselsdepartementet
Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 1175 - Revisjon av trafikksikkerhetshåndboka

Prosjektleder: Alena Høye

Kvalitetsansvarlig: Michael Wøhlk Jæger Sørensen

Emneord: meta-analyser
Signalregulering
Trafikksikkerhet
Ulykker

Sammendrag:

Signalregulerte kryss har i gjennomsnitt lavere ulykkesrisiko og mindre alvorlige ulykker enn høyre- eller vikepliktsregulerte kryss, men flere ulykker med påkjøring bakfra. Virkningen på trafikksikkerheten avhenger i stor grad av hvordan signalanleggene er utformet. Eksempelvis kan ulykker i forbindelse med venstresving forebygges av separat venstresvingfase, mens høyresving på rødt øker antall kollisjoner mellom høyresvingende trafikk og fotgjengere eller syklist. Forlenget gultid, forhåndsvarsling av fasevekslingen og forlenget helrødtid kan redusere kollisjoner mellom kjøretøy i kryssende kjøretninger. Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge) kan forbedre sikkerheten men er først og fremst et fremkommelighetstiltak

Title: Safety effects of signalized intersections

Author(s): Alena Høye

Date: 02.2015

TØI report: 1396/2015

Pages 44

ISBN Electronic: 978-82-480-1613-7

ISSN 0808-1190

Financed by: Ministry of Transport and Communications
The Norwegian Public Roads Administration

Project: 1175 - Revisjon av trafikksikkerhetshåndboka

Project manager: Alena Høye

Quality manager: Michael Wøhlk Jæger Sørensen

Key words: Accidents
Crash
Meta-analysis
Signalized intersection

Summary:

Signalized intersections have on average lower crash risk and fewer serious crashes than other at-grade intersections, but more rear end collisions. Road safety effects depend on various characteristics of traffic signals. Protected left turn phases can reduce collisions between left-turning and oncoming traffic. Right turn on red increases collisions between right turning vehicles and crossing pedestrians. Increased all-red intervals and advance warnings of signal changes were found to reduce side collisions. Adaptive signal control and coordinated signals (green wave) improve safety as well, but are mainly used to reduce travel times.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

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

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Denne rapporten inneholder en lang versjon av kapitlet 3.9 i Trafikksikkerhetshåndboken om signalregulering av kryss som er revidert i 2014. Rapporten er skrevet på oppdrag av Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og Samferdselsdepartementet.

TØIs prosjektleder har vært Alena Høye som også har skrevet rapporten og kapitlet i Trafikksikkerhetshåndboken. Oppdragsgivers kontaktperson har vært Arild Ragnøy og Marianne Stølan Rostoft. Pawel Gajowniczek fra Vegdirektoratet har bidratt med nyttige kommentarer til en tidligere versjon av rapporten.

Michael W. J. Sørensen har stått for kvalitetssikring av rapporten. Trude Rømning har tilrettelagt rapporten for utgivelse elektronisk.

Oslo, mars 2015
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Michael W. J. Sørensen
andelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Innledning	1
2	Problem og formål	2
3	Beskrivelse av tiltaket	4
4	Virkning på ulykkene	7
4.1	Nye signalanlegg	8
4.2	Generell utforming av signalanlegg	10
4.3	Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge).....	11
4.4	Gult blinklys eller rødt lys i perioder med lite trafikk	13
4.5	Omløpstid.....	14
4.6	Antall faser.....	15
4.7	Split phase.....	16
4.8	Gultid og helrødtid.....	17
4.9	Regulering for venstresvingende trafikk	18
4.10	Regulering for høyresvingende trafikk	21
4.11	Forhåndsvarsling av faseveksling.....	23
4.12	Nedtelling av grønt fotgjengersignal.....	26
5	Virkning på framkommelighet	29
6	Virkning på miljøforhold	31
7	Nytte-kostnadsvurderinger	32
8	Formelt ansvar og saksgang	33
8.1	Initiativ til tiltaket	33
8.2	Formelle krav og saksgang.....	33
8.3	Ansvar for gjennomføring av tiltaket.....	33
9	Referanser	34

Sammendrag:

Trafikksikkerhetseffekter av signalregulering av kryss

*TØI rapport 1396/2015
Forfatter: Alena Høye
Oslo 2015 44 sider*

Signalregulerte kryss har i gjennomsnitt lavere ulykkesrisiko enn høyre- eller vikepliktsregulerte kryss. I signalregulerte kryss kan ulykker i forbindelse med venstre- eller høyresving i stor grad forebygges av henholdsvis separat venstre- og høyresvingfase. Høyresving på rødt lys kan bedre fremkommeligheten for høyresvingende trafikk, men øker antall kollisjoner mellom høyresvingende trafikk og fotgjengere eller syklistene.

Blant de mest alvorlige ulykkene i signalregulerte kryss er sidekollisjoner som skjer i forbindelse med rødlyskjøring. Tiltak som skal redusere rødlyskjøring er forlenget gultid og forhåndsvarsling av fasevekslingen. Virkningen av slike tiltak kan være kortvarig fordi førere endrer atferd. En forlenget helrødtid (tømmingsintervall) kan også redusere ulykker i forbindelse med rødlyskjøring.

Signalregulerte kryss har ofte flere ulykker med påkjøring bakfra enn andre kryss. Mange slike ulykker skjer mellom kjøretøy som befinner seg i dilemmasonen når signalet skifter fra grønt til gult. Dilemmasonen er det intervallet hvor det usikkert om man rekker grønt (eller gult) lys eller må stoppe. Noen av tiltakene som skal redusere rødlyskjøring øker dilemmasonen (f.eks. grønt blinkende lys eller gult blinklys på slutten av grønntiden), noe som kan øke risikoen for påkjøring bakfra. Forhåndsvarsling i kombinasjon med forlenget grønntid kan unngå dette problemet ved at færre kjøretøy befinner seg i dilemmasonen når signalet skifter til gult. Økningen av påkjøring bakfra kan dermed stort sett unngås, samtidig som tiltaket reduserer rødlyskjøring.

Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge) kan forbedre sikkerheten og har som regel også positive miljøeffekter, men brukes først og fremst som fremkommelighetstiltak. Virkningen av trafikkstyring, samkjøring og andre signalreguleringstiltak på fremkommeligheten og kryssenes kapasitet avhenger bl.a. av trafikkmengden i de enkelte kryssarmene og hvordan signalanleggene er programmert.

For alle tiltak som er beskrevet i dette kapitlet er virkningene i stor grad avhengige av vegen, trafikken og hvordan signalanlegget er programmert. Derfor er det for de fleste tiltak vanskelig eller umulig å generalisere resultater fra enkelte studier.

1 Innledning

Denne rapporten inneholder en lang versjon av kapittel 3.9 i Trafikksikkerhetshåndboken (Høye et al., 2015) om signalregulering av kryss. Rapporten bygger på en tidligere versjon av dette kapitlet fra 1997 og følger den samme standardiserte strukturen som kapitler i Trafikksikkerhetshåndboken.

Det er gjort en litteraturstudie for å finne nyere studier av hvordan signalregulering av kryss påvirker trafikksikkerheten. Det er lagt størst vekt på studier som har undersøkt virkningen på antall ulykker. Virkninger på fremkommelighet og miljøforhold er også beskrevet i korte drag, det er gjort en vurdering av forholdet mellom nytte og kostnader av signalregulering av kryss og det gis en kort oversikt over formelt ansvar og saksgang.

2 Problem og formål

I kryss medfører økende trafikk økt sannsynlighet for konflikter mellom trafikanter i ulike kjøreretninger, noe som fører til økt ulykkesrisiko og dårligere trafikkavvikling.

Signalregulering av kryss skiller ulike trafikkstrømmer fra hverandre i tid og kan dermed redusere konflikter og bedre trafikkavviklingen. Skiltnormalene angir følgende formål med signaler for vegkryss og gangfelt (Statens vegvesen, 2012, håndbok N300):

- Forbedre trafikksikkerheten
- Øke trygghetsfølelsen ved skoler og andre institusjoner
- Bedre trafikkavviklingen og redusere forsinkelser
- Prioritere kollektivtrafikk eller andre særskilte trafikkstrømmer.

En analyse av norsk ulykkesstatistikk med ulykkesdata fra 2007-2011 (SSB) viser at de mest vanlige ulykkestypene i kryss er ulykker mellom kjøretøy i kryssende kjøreretninger og ulykker i forbindelse med venstresving foran kjøretøy i motsatt retning; ca. 50% av alle skadde i ulykker i T- eller X-kryss blir skadd i slike ulykker. Disse er også blant de mest alvorlige ulykkene; andelen av alle skadde som blir drept eller hardt skadd er henholdsvis 9% (kryssende kjøreretninger) og 6% (venstresving foran møtende trafikk). De minst alvorlige ulykkene i kryss er påkjøring bakfra. Disse utgjør 20% av alle skadde i ulykker i T- eller X-kryss. Andelen drepte / hardt skadde i påkjøring bakfra ulykker er 1,8%. Ulykker i forbindelse med høyresving utgjør 4% av alle skadde og andelen som blir drept eller hardt skadd er 7% i disse ulykkene. Tallene gjelder alle typer kryss (norsk ulykkesstatistikk skiller ikke mellom signalregulerte og andre kryss).

Signalregulering av kryss som trafikksikkerhetstiltak har i hovedsak som formål å redusere risikoen for kollisjoner mellom kjøretøy i kryssende kjøreretninger. Risikoen for ulykker i forbindelse med venstresving eller høyresving (som ikke skyldes rødlyskjøring) kan reduseres i signalregulerte kryss ved å installere separate venstre- og / eller høyresvingfaser (hvis vegen har et separat venstre-/høresvingfelt). Ulykker i forbindelse med høyresving er ofte kollisjoner mellom et kjøretøy som svinger til høyre og fotgjengere eller syklist som går / sykler rett fram gjennom krysset.

Andelen ulykker med påkjøring bakfra kan være høyere i signalregulerte kryss enn i andre kryss fordi andelen kjøretøy som må stanse er høyere på den av de kryssende vegene som har høyst trafikkmengde. Ulykker med påkjøring bakfra kan skje bl.a. når lyset skifter fra grønt til gult og når ett kjøretøy bremses mens det etterfølgende kjøretøyet skal fortsette gjennom krysset. I hvilken grad førere treffer ulike valg når lyset skifter fra grønt til gult avhenger av hvordan signalanlegget er programmert, spesielt av lengden på gultiden og eventuell forvarsling av fasevekslingen fra grønt til gult / rødt. Rødlyskontroll har vist seg å øke andelen ulykker med påkjøring bakfra fordi en større andel bremses kraftig ned for å være sikker på å stanse før lyset skifter til rødt (se kapittel 8.5 i Trafikksikkerhetshåndboken).

Kollisjoner mellom kjøretøy i kryssende kjøreretninger og møteulykker i forbindelse med venstresving i signalregulerte kryss oppstår ofte i forbindelse med rødlyskjøring. Hvor mange som kjører mot rødt lys, og som ikke rekker gjennom hele krysset før den kryssende trafikken får grønt lys, avhenger bl.a. av hvordan signalanlegget er programmert. F.eks. kan en forlenget helrødtid (tømmingsintervall) brukes for å øke sannsynligheten for at eventuelle rødlyskjørere rekker gjennom krysset før den kryssende trafikken får grønt lys, og en forlenget gultid, samt forvarsling av signalanlegget eller av fasevekslingen, kan brukes for å redusere andelen som kjører mot rødt lys.

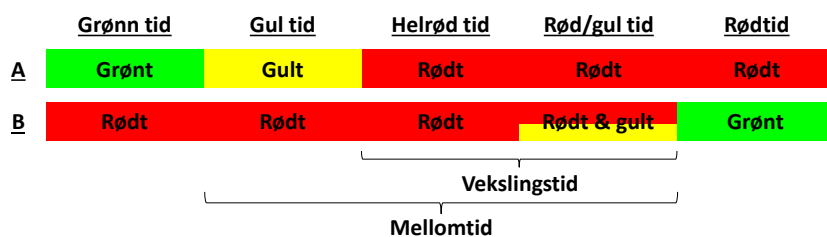
For å unngå unødvendige forsinkelser og nedbremsinger / akselereringer i signalregulerte kryss kan signalanlegg programmeres slik at fasevekslingen tar hensyn til aktuelle trafikkforhold. F.eks. kan signalanlegget være programmert slik at hovedvegen som regel har grønt lys, og at en sideveg med svært lite trafikk kun får grønt lyst når det er kjøretøy som skal krysse hovedvegen (trafikkstyrt signalregulering), eller slik at kjøretøy på hovedvegen som regel kan kjøre en lengre strekning uten å få rødt lys (samkjørt regulering, grønn bølge).

3 Beskrivelse av tiltaket

Signalregulering i vegkryss omfatter kjøretøysignaler (trelyssignal, sykkelsignal og pilsignal), fotgjengersignal og kollektivsignal. Signalanlegg kan ifølge Statens vegvesen (2012; håndbok N300) settes opp når trafikkmengden er tilstrekkelig stor. Signalanlegg kan ikke, eller kun under spesielle forutsetninger, settes opp på veger med fartsgrense over 60 km/t, når 85%-fraktilen er større enn 65 km/t, i umiddelbar tilknytning til høyreregulerte kryss eller rundkjøringer eller når signalene vil komme overraskende på trafikantene.

Signalregulering innføres med trafikklyssignaler som er enten tidsstyrte (fasene skifter etter en viss tid, uansett trafikkmengde) eller trafikkstyrte (fasenes lengde tilpasses antall ankomende kjøretøy, opp til en viss maksimal faselengde). Signalanlegg kan utformes med egne faser for hver trafikkstrøm i et kryss (konfliktfri regulering; f.eks. separat venstresvingfase), eller med felles faser for noen av trafikkstrømmene. I Norge er det vanlig at kjørende som skal svinge til høyre har felles fase med kryssende fotgjengere og at kjørende som skal svinge til venstre har felles fase med møtende trafikk.

Mellom to grøntider for kryssende kjøreretninger har signalregulerte kryss (uten separat venstre- eller høyresvingfase) ulike faser som er vist i figur 1 (Statens vegvesen, 2007). Lengden på de enkelte fasene er bl.a. avhengig av trafikkmengden og fartsgrensen. Kriteriene er nærmere beskrevet i Statens vegvesens håndbok V322 (2007). Helrødtiden skal vare i minst 1 sekund, rød-gul tiden skal vare i 1 sekund, og gultiden skal vare i 3 eller 4 sekunder, avhengig av fartsgrensen.



Figur 1: Faser mellom to grøntider for kryssende kjøreretninger A og B.

I denne rapporten omtales følgende typer tiltak:

- (1) **Nye signalanlegg** omfatter konvertering av vikeplikts- eller høyreregulerte kryss til signalregulerte kryss (eller konvertering av signalregulert kryss til vikeplikts- eller høyreregulerte kryss).
- (2) **Generell utforming av signalanlegg** har som regel generelle forbedringer av sikkerheten som formål, f.eks. ved at signalanlegget blir bedre synlig eller ved at siktforholdene blir bedre.

- (3) **Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge)** har som formål at flest mulig ankommer krysset ved grønt lys eller, ved samkjøring av signalanlegg, at flest mulig kan kjøre en lengst mulig strekning på grønt lys ved definert fartsnivå (uten at dette medfører uakseptabelt lange ventetider for annen trafikk).
- (4) **Gult blinklys eller rødt lys i perioder med lite trafikk** har som formål å redusere forsinkelser og å øke sikkerheten, spesielt for fotgjengere. Gult blinklys er ikke lenger i bruk i Norge, mens hvilefase på rødt brukes i noen kryss med lite trafikk.
- (5) **Omløpstid** følger av faseinndelingen og fase lengden. Ett omløp er en sekvens av faser der alle signalgrupper har, eller kunne hatt, grønt lys i minst én fase.
- (6) **Antall faser** avhenger bl.a. av om ett signalanlegg har en separat venstresvingfase, en separat høyresvingfase eller separate fotgjengerfaser.
- (7) **Split phase** er en spesiell reguleringsform hvor kun én av kryssarmene får grønt lys om gangen og hvor grøntiden gjelder for alle bevegelser gjennom krysset.
- (8) **Gultiden** har som formål å gjøre det mulig for trafikk som nærmer seg krysset å stanse ved stopplinja før signalet skifter til rødt. **Helrødtiden** (tømmingsintervallet) skal gjøre det mulig for alle som krysset stopplinja i den siste delen av gultiden (og eventuell i de første sekundene av rødtiden) å kjøre ut av krysset før kryssende trafikk får grønt lys.
- (9) **Regulering for venstresvingende trafikk** har som formål å bedre trafikkavviklingen for venstresvingende trafikk med minst mulig ulemper for annen trafikk, samt å redusere risikoen for ulykker i forbindelse med venstresving.
- (10) **Regulering for høyresvingende trafikk** har som formål å bedre trafikkavviklingen for høyresvingende trafikk med minst mulig ulemper for annen trafikk, samt å redusere risikoen for ulykker i forbindelse med høyresving.
- (11) **Forhåndsvarsling av faseveksling**, ev. i kombinasjon med trafikkstyrt forlenget grøntid, brukes i hovedsak på veger med høy fartsgrense og har som formål å redusere rødlyskjøring.
- (12) **Nedtelling av grønt lys / grønt fotgjengersignal** viser hvor mange sekunder som gjenstår til lyset skifter til rødt.

Tiltakene beskrives nærmere i kapittel 4 Virkning på ulykkene. Ikke alle disse tiltakene er i dag i bruk i Norge, men de erfaringer som er gjort i land der de ulike tiltakene har vært utprøvd omtales likevel, da dette kan ha interesse for å vurdere en mulig bruk av tiltakene i Norge.

Andre tiltak som kan være relevante i forbindelse med signalregulering av kryss er beskrevet i andre kapitler av Trafikksikkerhetshåndboken:

- Kanalisering av kryss (kapittel 1.4)
- Rundkjøringer (kapittel 1.6)
- Planskilte kryss (kapittel 1.9)
- Signalregulering av gangfelt (kapittel 3.10)
- Tilfartskontroll (kapittel 3.23)
- Automatisk kontroll av rødlyskjøring (kapittel 8.5).

4 Virkning på ulykkene

Virkingen av å konvertere høyre- eller vikepliktsregulerte kryss til signalregulerte kryss og virkingen av endringer av eksisterende signalanlegg på antall ulykker er blitt studert i et stort antall undersøkelser.

Mange av dem er *før-etter studier* som i varierende grad har kontrollert for forstyrrende variabler og regresjonseffekter. Signalregulering installeres ofte for å bedre fremkommeligheten. I slike tilfeller er regresjonseffekter trolig ikke noe stort problem. Hvis signalregulering derimot installeres i spesielt ulykkesbelastede kryss for å bedre sikkerheten, kan resultatene være påvirket av regresjonseffekter fordi en del av kryssene vil ha tilfeldig høye ulykkestall i før-perioden. Ulykkestallet i etterperioden vil da mest sannsynlig gå ned, uavhengig av om det settes inn noen (effektive) tiltak eller ikke.

Andre studier er *tverrsnittstudier* som har sammenlignet antall ulykker (eller ulykkesrisiko) mellom kryss med og uten signalregulering eller mellom signalregulerte kryss med ulike varianter av signalanlegg. De fleste slike studier har kontrollert for en rekke andre variabler (bl.a. trafikkmengde, antall kryssarmer og antall kjørefelt). Resultatene viser likevel ikke nødvendigvis hvordan installering av nye signalanlegg, eller endringer av eksisterende signalanlegg, påvirker ulykkestallet. Det foreligger som regel ikke informasjon om kryssegenskapene og ulykkestallene før signalreguleringen ble installert / endret og signalanlegg kan være installert i spesifikke typer kryss (f.eks. i kryss med høy trafikkmengde og mange avviklingsproblemer eller konflikter).

I denne rapporten er det lagt størst vekt på de beste studiene som i mer eller mindre grad har kontrollert for forstyrrende variabler og regresjonseffekter, og det skilles mellom resultatene fra før-etter studier og tverrsnittstudier.

For de fleste tiltakene er det ikke uten videre mulig å generalisere resultatene. For det første er ulykkestallet i kryss og virkingen av signalanlegg i stor grad avhengig av lokale forhold som den geometriske utformingen av krysset (antall kjørefelt, venstre- / høyresvingfelt mv.), gjennomsnittsfarten og trafikkmengden og forholdet mellom disse i de ulike kryssarmene. For det andre har det i flere studier vist seg at bilister ofte tilpasser seg utformingen av signalanleggene og at endringene derfor kan derfor være kortvarige. Endringer av eksisterende signalanlegg kan også ha forskjellige virkninger avhengig av hvordan andre signalanlegg i det samme området eller i den samme byen er utformet.

4.1 Nye signalanlegg

Signalregulerte kryss har i gjennomsnitt færre ulykker enn vikeplikts- eller høyreregulerte kryss. Forskjellen er størst for sidekollisjoner og ulykker i forbindelse med venstresving. Antall ulykker med påkjøring bakfra derimot er i gjennomsnitt høyere i signalregulerte kryss.

Nye signalanlegg omfatter konvertering av vikeplikts- eller høyreregulerte kryss til signalregulerte kryss (eller konvertering av signalregulert kryss til vikeplikts- eller høyreregulerte kryss). Det er utført mange undersøkelser, både i Norge og i andre land, om virkningen på ulykkene av å signalregulere kryss. Resultatene som presenteres her bygger på følgende undersøkelser:

Young, 1967 (USA)
Andreassen, 1970 (Australia)
Cribbins & Walton, 1970 (USA)
Gunnarsson & Olsson, 1974A, 1974B (Sverige)
Johannessen & Heir, 1974 (Norge)
King & Goldblatt, 1975 (USA)
Amundsen et al., 1976 (Norge)
Grønnerød, 1976 (Finland)
Hoff & Overgaard, 1976 (Danmark)
Vodahl & Johannessen, 1977 (Norge)
Hakkert & Mahalel, 1978 (Israel)
Vaa & Johannessen, 1978 (Norge)
Dahlen & Toftenes, 1979 (Norge)
Hvoslef, 1979 (Norge)
Short, Woelfl & Chang, 1982 (USA)
Cedersund, 1983 (Sverige)
Dahlen & Toftenes, 1984 (Norge)
Brüde & Larsson, 1985 (Sverige)
Craven, 1986 (USA)
Frith & Harte, 1986 (New Zealand)
Vodahl & Giæver, 1986 (Norge)
Brüde & Larsson, 1988 (Sverige)
Dagestad, 1989 (Norge)
Datta & Dutta, 1990 (USA)
Datta, 1991 (USA)
Lalani, 1991 (USA)
Brüde & Larsson, 1992 (Sverige)
Seim, 1994 (Norge)
Kulmala, 1995 (Finland)
Poch & Mannering, 1996 (USA)
Persaud et al., 1997 (USA)
McGee, Taori & Persaud, 2003 (USA)
Harkey et al., 2008 (USA)
Jensen, 2010 (Danmark)
Gross & Donnell, 2011 (USA)
Chen et al., 2013 (USA)
Sasidharan & Donnell, 2013 (USA)

Det er gjort en meta-regresjonsanalyse med resultatene fra alle studiene for å undersøke hvilke faktorer som påvirker virkningen av signalregulering. Resultatene viser at det er signifikante forskjeller mellom resultater fra før-etter studiene og tverrsnittsstudiene. Før-etter studiene har i gjennomsnitt funnet større ulykkesreduksjoner enn tverrsnittsstudiene. Blant før-etter studiene har studier som har kontrollert for en rekke forstyrrende variabler og regresjonseffekter, funnet langt mindre ulykkesreduksjoner enn andre før-etter studier. Tabell 1 viser sammenlagte effekter som er basert på resultatene fra de beste før-etter studiene.

Tabell 1: Virkninger av signalregulering av kryss på antall ulykker (uspesifisert skadegrad).

Ulykker som påvirkes	Prosent endring av antall ulykker	
	Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Alle ulykker	-29	(-41; -14)
Sidekollisjoner	-74	(-77; -71)
Ulykker i forbindelse med venstresving	-60	(-65; -54)
Påkjøring bakfra	+45	(+24; +70)

Resultatene fra før-etter studiene viser at det totale antall ulykker i kryss har gått ned med i gjennomsnitt 29% etter at signalreguleringen ble installert. Ulykkestypene som gikk mest ned er sidekollisjoner og ulykker i forbindelse med venstresving. Det er ikke spesifisert om kryssene har separat venstresvingfase eller ikke. Antall påkjøring bakfra derimot har økt med 45%. Reduksjoner av det totale antall ulykker og av antall sidekollisjoner, samt økt antall ulykker med påkjøring bakfra ble også funnet i andre ulykkesstudier som det ikke er mulig å inkludere i beregningen av sammenlagte effekter (Jensen, 2010; Golias, 1997).

Resultatene fra meta-regresjonsanalysen tyder ikke på at det finnes systematiske forskjeller i virkningen for ulike skadegrader eller for ulike typer kryss (X- vs. T-kryss og tidligere høyre-, vikeplikts- eller stoppregulerte kryss). Dette betyr likevel ikke at virkningen vil være den samme i alle kryss. Det er mange ulike typer kryss som inngår i studiene og virkningen kan variere som en funksjon av bl.a. trafikkmengden, antall kjørefelt, om det finnes separate venstre- / høyresvingfelt, siktforhold og hvordan signalanlegget er utformet (Bonneson et al., 2011; Datta, 1991).

Signalregulerte kryss har i to studier som ikke er inkludert i resultatene i tabell 1 vist seg å ha bedre virkning på sikkerheten ved **høy trafikkmengde** og blant **eldre førere**.

Resultatene fra Oh et al. (2004) viser at antall ulykker i kryss øker i mindre grad med økende trafikkmengde når krysset er signalregulert enn i andre typer kryss. Når trafikkmengden på hovedvegen øker med 10% vil antall ulykker ifølge modellene øke med 8,8% i T-kryss uten signalregulering, med 7,3% i X-kryss uten signalregulering og med 4,4% i signalregulerte kryss. Når trafikkmengden på sidevegen øker med 10% vil antall ulykker ifølge modellene øke med 3,1% i T-kryss uten signalregulering, med 2,3% i X-kryss uten signalregulering og med 2,6% i signalregulerte kryss.

Eldre førere har generelt høyere ulykkesrisiko i kryss enn yngre førere, men i signalregulerte kryss er den relative risikoen for å bli innblandet i en dødsulykke 17% lavere enn i andre typer kryss for eldre førere (65 til 79 år) og 55% lavere enn i andre typer kryss for eldre førere (80 år og eldre) (Preusser et al., 1998). Risikoen for førere i alderen 40 til 49 år er satt lik 1.

Tverrsnittstudiene har funnet lignende resultater som før-etter studiene, men ulykkesreduksjonene er mindre og økningen av antall påkjøring bakfra er større enn i resultatene fra før-etter studiene. En mulig forklaring på at ulykkesreduksjonene tilsynelatende er mindre i tverrsnittstudier er at signalregulering ofte installeres i kryss med mange ulykker.

4.2 Generell utforming av signalanlegg

Et ekstra signalhode i bortsiden av krysset, forbedrede siktforhold og forbedret synlighet av signalanlegg har vist seg å redusere antall ulykker, spesielt sidekollisjoner som ofte har sammenheng med rødlyskjøring, men virkningene er usikre og kan være overestimert.

Forbedringer av den generelle utformingen av signalanlegg omfatter bl.a. økt synlighet av signalanleggene og generelle forbedringer av oppmerking og siktforhold. Virkningen av slike forbedringer på antall ulykker er undersøkt av:

- Malo, 1967 (USA)
- Bach & Jørgensen, 1986 (Danmark)
- Craven, 1986 (USA)
- Bhesania, 1991 (USA)
- Lalani, 1991 (USA)
- Poch & Mannering, 1996 (USA)
- Kumara et al., 2003 (Singapore)
- Sayed et al., 2007 (Canada)
- Harkey et al., 2008 (USA)
- Srinivasan et al., 2008 (USA)

Det er ulike forandringer som er undersøkt i de enkelte studiene og i de fleste tilfellene er det flere ting som ble endret samtidig. Resultatene fra alle studiene viser sammenlagt en reduksjon av det totale antall ulykker på 32% og et omtrent uendret antall personskadeulykker.

Studier som har undersøkt virkningen av **diverse tiltak** (endringer i utformingen av vegoppmerking, signalhodene m.v.) og som i varierende grad har kontrollert for forstyrrende variabler og regresjonseffekter har funnet en stor nedgang av det totale antall ulykker (-40% [-51; -25]) og omtrent uendret antall personskadeulykker (-1 [-36; +53]). Resultatet for det totale antall ulykker kan være påvirket av regresjonseffekter og dermed overestimert. For et **ekstra signalhode på bortsiden av krysset** ble det også funnet en stor reduksjon av det totale antall ulykker (-51% [-70; -21]), og også denne kan være påvirket av regresjonseffekter og dermed overestimert.

Tiltak som er blitt undersøkt i studier som har kontrollert for en del forstyrrende variabler og regresjonseffekter er sikthindre i kryss og forbedret synlighet av signalanlegg. De sammenlagte resultatene tyder på at signalregulerte **kryss uten sikthindre** har 55% færre ulykker [-77; -12] enn signalregulerte kryss med sikthindre. En studie som ikke inngår i det sammenlagte resultatet (Chin & Quddus, 2003) viser derimot at økende sikt lengde medfører signifikant *flere* ulykker. En mulig forklaring er at lange sikt lengder frister til økt fart. Økningen er imidlertid svær liten, selv om den er statistisk signifikant.

For forbedret synlighet av signalanlegg (større og bedre synlige signalhoder, større og bedre synlig bakgrunnskjerm, større lyssignaler og dobbelt rødt lyssignal) viser resultatene at antall sidekollisjoner er redusert med 22% [-44; +10], mens det totale antall ulykker (både med og uten personskader) er omtrent uendret (-3% [-8; +1]). Resultatene er basert på tre før-etter studier som alle har kontrollert for regresjonseffekter (Sayed et al., 2007; Srinivasan et al., 2008; Harkey et al., 2008). Det foreligger ingen informasjon om hvilken type signalhoder som ble brukt i disse studiene. LED-lamper er bedre synlig enn andre lamper, også under dårlige lysforhold. I Norge brukes derfor nesten ikke lenger bakgrunnskjermer og større signalhoder fordi de aller fleste signalhodene har LED-lys siden ca. året 2000. Det er ikke funnet studier som har undersøkt virkningen av LED-lys på antall ulykker.

Resultatene stemmer overens med resultatene av en studie av faktorer som påvirker rødlyskjøring (Bonneson et al., 2002) og som viste at andelen rødlyskjøring er nesten 25% lavere i kryss hvor signalanlegg har bakgrunnskjerm enn i kryss med signalanlegg uten bakgrunnskjerm (signalhodene i denne studien hadde trolig ikke LED-lys).

4.3 Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge)

Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg (grønn bølge) har vist seg å redusere antall ulykker, bl.a. fordi rødlyskjøring er redusert.

Signalanlegg kan være tids- eller trafikkstyrt. Ved **tidsstyring av signalanlegg** skjer fasevekslingen etter forhåndsinnstilte faste tidsintervaller, som regel for å redusere forsinkelser i perioder med lite trafikk eller når det er store og uregelmessige variasjoner i trafikkmengden (FHWA, 2004).

Ved **trafikkstyring** av signalanlegg avhenger fasevekslingen av de aktuelle trafikkforholdene.

Både tidsstyring og trafikkstyring kan brukes for enkelte signalanlegg eller for flere signalanlegg på en rute langs en hovedveg. **Samkjøring** av flere signalanlegg (grønn bølge) har som regel som formål å forbedre trafikkavviklingen på hovedvegen og å redusere andelen som må stanse på rødt lys.

Ved **trafikkstyring av enkelte signalanlegg** («vehicle actuation» / «traffic responsive system») er signalanlegg programmert slik at innkommende kjøretøy detekteres automatisk og at fasevekslingen kan tilpasses de aktuelle trafikkforholdene. Virkningen av slike signalanlegg (istedenfor tidsstyrte signalanlegg) er studert av:

Malo, 1967 (USA)

Andreassen, 1970 (Australia)
Wu, Lee, Machemehl & Williams, 1982 (USA)
Craven, 1986 (USA)
Hanbali & Fornal, 1997 (USA)
Chin & Quddus, 2003 (USA)

Sammenlagt ble det funnet en reduksjon av antall ulykker på 20% [-31; -7], men de fleste studiene er metodisk forholdsvis svake før-etter studier som kan ha overestimert virkningen. Chin og Quddus (2003) viste at kryss med trafikkstyrte signalanlegg har 5% færre ulykker [-17; +8] enn kryss med tidsstyrte signalanlegg når man kontrollerer for en rekke forstyrrende variabler. Ulykkesreduksjonen forklares med at fasevekslingen som regel skjer når det er ingen eller lite trafikk i den kjøreretningen som får rødt lys og at dette reduserer konflikter ved fasevekslingen.

Virkningen av trafikkstyring avhenger av hvordan signalanlegget er programmert. Dette illustreres av resultatene av en eksperimentell studie (Midenet et al., 2011). Noen signalanlegg i denne studien var styrt med en algoritme som minimerer køer og forsinkelser. Med denne algoritmen var antall situasjoner hvor det (teoretisk) kan skje sidekollisjoner, redusert i forhold til en enklere trafikkstyrt algoritme.

Samkjøring av signalanlegg (grønn bølge) er studert av:

Crook, 1970 (Storbritannia)
Bastable, 1980 (Australia)
Senneset & Skjetne, 1982 (Norge)
Schlabach et al., 1984 (Tyskland)
Hodge, Daley & Nguyen, 1986 (Australia)
Lalani, 1991 (USA)
Guo et al., 2010 (USA)
Dutta et al., 2010 (USA)

Resultatene fra før-etter studiene viser sammenlagt en reduksjon av det totale antall ulykker (alle skadegrader) på 15% [-23; -7]. Resultatene er forholdsvis konsistente mellom de enkelte studiene. To tverrsnittstudier derimot viste at signalregulerte kryss som er del av et system med koordinerte signalanlegg, har flere ulykker enn andre kryss når man kontrollerer for en rekke faktorer som bl.a. trafikkmengden, fartsgrensen og tett- vs. spredtbygd strøk (Guo et al., 2010; Turner et al., 2011).

Samkjøring av signalanlegg blir som regel innført for å bedre trafikkavviklingen i kryss langs én eller flere hovedveger. Det er derfor lite sannsynlig at resultatene av før-etter studiene er påvirket av unormalt høye ulykkestall i enkelte kryss (regresjonseffekter). Det er likevel mulig at veger hvor signalanleggene blir samkjørt har flere ulykker enn andre veger. F.eks. har kryss med samkjørte signalanlegg ofte høyere fart, kortere avstand til andre kryss og flere konfliktmuligheter enn andre signalregulerte kryss (Guo et al., 2010). Dette kan være en forklaring på at tverrsnittstudiene har funnet flere ulykker i kryss med samkjørte signalanlegg enn i andre kryss.

Resultater fra studier av virkninger på føreratferd tyder, på samme måte som før-etter studiene, på at samkjøring av signalanlegg kan redusere antall ulykker. Rakha et al. (2000) viste i en eksperimentell studie at antall ulykker kan være 6,7% lavere når signalanleggene er samkjørte. Dette er estimert ut fra den generelle sammenhengen mellom vegegenskaper og fart med ulykkesrisikoen, samt virkningen av samkjøring av signalanlegg på disse. En annen studie viste at rødlyskjøring er redusert i kryss som inngår i et system med samkjørte signalanlegg (Shinar et al., 2004). Reduksjonen skyldes ikke bare at det er færre kjøretøy som er potensielle rødlyskjørere (dvs. som ankommer krysset når lyset skifter til gult / rødt). Andelen av potensielle rødlyskjørere som kjører mot rødt lys er også redusert. Reduksjonen er på over 80%.

Virkingen av samkjøring av signalanlegg på ulykker er bl.a. avhengig av hvordan signalreguleringen er styrt, både før og etter samkjøringen. Dutta et al. (2010) viste at konvertering av samordnede kryss med tidsstyring til samordnede kryss med en trafikkavhengig programmeringsalgoritme som optimaliserer trafikkavviklingen øker antall personskadeulykker med 7% [-3; +10] og det totale antall ulykker med 20% [-1; +44]. Resultatene fra Li og Tarko (2011) tyder på at risikoen for konflikter og ulykker er lavest når flest mulig ankommer kryss i midten av grønntiden. Dette reduserer både konflikter i forbindelse med fasevekslingen og gjør at kjøretøy i minst mulig grad er utsatt for rødlyskjørere fra den kryssende kjøreretningen. Ifølge Li og Tarko (2011) har kryss med samkjørte signalanlegg færre ulykker når det er kort avstand mellom kryssene enn når det er lang avstand.

Hvordan omløpstiden og fase lengden påvirker konflikter og ulykker varierer mellom studiene. Ulykkesstudier fant dels en økning av antall ulykker med økende fase lengde og dels ingen sammenheng mellom fase lengde og antall ulykker i kryss med samkjørt signalregulering, mens omløpstiden generelt har vist seg å medføre færre ulykker (se avsnitt 4.5). Ifølge Al-Ofi (1994) medfører en lengre fase lengde færre konflikter enn kortere fase lengder.

4.4 Gult blinklys eller rødt lys i perioder med lite trafikk

Gult blinklys i perioder med lite trafikk har vist seg å øke antall ulykker, mens rødt lys i perioder uten trafikk kan redusere antall ulykker på grunn av redusert fart.

Gult blinklys i perioder med lite trafikk har som formål å redusere forsinkelser og å øke sikkerheten for fotgjengere (som går mot rødt lys). Gult blinklys er ikke lenger i bruk i Norge. Gult blinklys ved lavtrafikk er studert av:

- Grønnerød, 1976 (Finland)
- De Werd, 1982 (Nederland)
- Barbaresso, 1987 (USA)
- Polanis, 2002 (USA)
- Harkey et al., 2008 (USA)
- Srinivasan et al., 2008 (USA)

Disse studiene har undersøkt virkningen av å deaktivere gulblink ved lavtrafikk, dvs. at signalanlegg var i vanlig funksjon døgnet rundt, istedenfor å vise gulblink om natten. Omregnet til virkningen av gult blinklys ved lavtrafikk istedenfor vanlig funksjon viser resultatene sammenlagt at gulblink ved lavtrafikk øker det totale antall ulykker med 85% [+85; +153] og antall sidekollisjoner med 144% [+1; +489].

Med **rødt lys i perioder uten trafikk** har kjøretøy som nærmer seg krysset alltid rødt lys, men lyset skifter til grønt når kjøretøyene kommer fram til krysset. Formålet er å redusere farten, i hovedsak for å unngå ulykker med fotgjengere om natten og for å gjøre slike ulykker mindre alvorlige. I Norge brukes dette tiltaket i noen kryss med lite trafikk.

Lenné et al. (2007) viste at gjennomsnittsfarten er redusert med 9% (fra 41,7 til 37,8 km/t) 30 m før stopplinjen og med 28% (fra 39,0 til 28,0 km/t) ved stopplinjen. Dette forventes å redusere både ulykkesrisikoen og ulykkenes alvorlighet for fotgjengere som krysser (mot rødt lys).

4.5 Omløpstid

Økende omløpstid kan medføre både flere og færre ulykker, avhengig bl.a. av antall faser, faselengder og trafikkmengden i de enkelte kryssarmene.

Med omløpstid («cycle length») menes tiden som medgår til ett omløp. Ett omløp er en sekvens av faser der alle signalgrupper har, eller kunne hatt, grønt lys i minst én fase. I store kryss med mange faser kan omløpstiden være 2 minutter eller mer (FHWA, 2004). I Norge er den maksimale omløpstiden 120 sekunder, men de fleste kryss har omløpstider på under 90 sekunder. Sammenhengen mellom omløpstid og antall ulykker er blitt undersøkt i fem tverrsnittstudier:

- Li & Tarko, 2011 (USA)
- Almonte-Valdivia, 2007 (USA)
- Pei et al., 2011 (Kina)
- Turner et al., 2012 (New Zealand)
- Xie et al., 2013 (Kina)

Tre av studiene har undersøkt ulykker i signalregulerte kryss som inngår i system med samkjørte signalanlegg (og noen enkelte med trafikkstyrte signalanlegg). To av disse viser at økende omløpstid medfører flere ulykker, spesielt flere ulykker med påkjøring bakfra, mens den tredje ikke fant noen sammenheng mellom omløpstid og antall ulykker. Økt omløpstid er i disse studiene trolig kun et resultat av økte faselengder (ikke av økt antall faser).

Turner et al. (2012) derimot har undersøkt ulykker i ulike typer signalregulerte kryss (samkjørte og andre). Resultatene tyder på at de fleste typer ulykker går ned med økende omløpstid. Pei et al. (2011) fant ingen signifikant sammenheng mellom omløpstid og verken antall ulykker eller skadegrad. Det er kontrollert for antall faser i denne studien.

De sprikende resultatene gir ikke noe entydig svar på om økende omløpstider medfører flere eller færre ulykker og det finnes mulige forklaringer på begge effektene. En mulig forklaring på sammenhengen mellom økende omløpstid og **flere** ulykker er at omløpstider som regel er lange når det er mye trafikk, lange rødtider og mye kø, og at mange ulykker med påkjøring bakfra skjer når det er saktekjørende eller stillestående kjøretøy foran lyskryss (Li & Tarko, 2011). Andre mulige forklaringer er at lengre omløpstid medfører flere konflikter på grunn av blandede venstresvingfaser (Bonneson et al., 2011) og at lange omløpstider føre til mye rødlyskjøring fordi førere vil slippe å vente på neste grøntid (FHWA, 2004). En mulig forklaring på økende omløpstid og **færre** ulykker er at kryss med lengre omløpstider i større grad har separate venstre- og høyresvingfaser enn andre kryss. I tillegg kan økende omløpstider gjøre det tryggere for fotgjengere å krysse (Tuner et al., 2012).

4.6 Antall faser

Signalregulerte kryss med flere faser har i gjennomsnitt færre ulykker enn signalregulerte kryss med færre faser, i hovedsak fordi kryss med flere faser ofte har separate venstresvingfaser. Når man kontrollerer for om kryss har separat venstresvingfase har kryss med flere faser flere ulykker. Dette kan delvis skyldes at de fleste ulykker i signalregulerte kryss skjer i forbindelse med faseveksling, og delvis at det er andre forskjeller mellom kryss med ulike antall faser.

Antall faser avhenger bl.a. av om ett signalanlegg har en separat venstresvingfase, en separat høyresvingfase eller separate fotgjengerfaser. Signalanlegg med mange faser er som regel installert i kryss med mye trafikk, mange kjørefelt og separate kjørefelt for venstre- / høyresvingende trafikk (Wong et al., 2007). Sammenhengen mellom antall faser og antall ulykker er undersøkt av:

- Poch & Mannering, 1996 (USA)
- Chin & Qddus 2003 (Singapore)
- Kumara et al., 2003 (Singapore)
- Pei et al., 2011 (Kina)
- Kim & Le, 2013 (Korea)
- Xie et al., 2013 (Kina)

Fire av studiene har kontrollert for om det finnes en separat venstresvingfase eller ikke eller andelen av alle felt som er venstre- / høyresvingfelt (Poch & Mannering, 1996; Chin & Quddus, 2003; Kumara et al., 2003; Xie et al., 2013). Alle fire studiene fant en sammenheng mellom økende antall faser og flere ulykker (alle skadegrader). Sammenlagt viser resultatene at kryss med fire faser har 47% flere ulykker [+28, +69] enn kryss med to faser og at kryss med åtte faser har 40% flere ulykker [+16; +79] enn kryss med to faser. Mulige forklaringer er at kryss med mange faser som regel har mye trafikk og mange køer og at de fleste ulykker i signalregulerte kryss skjer i forbindelse med faseveksling. Resultatene kan dermed ikke nødvendigvis tolkes slik at økende antall faser i seg selv fører til flere ulykker.

De to studiene som ikke har kontrollert for om det finnes en separat venstresvingfase eller ikke (Kim & Lee, 2013; Pei et al., 2011) har begge funnet færre ulykker i kryss med flere signalfaser. Sammenlagt viser resultatene at kryss med fire faser har 11% færre [-26; +5] ulykker enn kryss med to signalfaser og at kryss med seks signalfaser har 22% færre [-45; +11] ulykker enn kryss med to signalfaser. Ulykkesreduksjonen kan (delvis) være et resultat av at signalanlegg med mange faser oftere enn andre har venstresvingfase.

4.7 Split phase

Split phase kan redusere antall ulykker, spesielt fotgjengerulykker, men kun i spesielle typer kryss.

Split phase er en faseinndeling hvor alltid kun ett av kryssarmene får grønt lys og hvor grønttiden gjelder for alle bevegelser gjennom krysset. En slik faseinndeling kan f.eks. brukes når kryssgeometrien gjør det vanskelig å avvikle trafikk fra flere kryssarmer samtidig (f.eks. når det er mye venstresvingende trafikk, men ikke tilstrekkelig plass for å installere et separat venstresvingfelt eller i kryss med spisse vinkler mellom armene) eller i kryss hvor det er svært lite trafikk på en av armene og når signalanlegget er trafikkstyrt (FHWA, 2004). Følgende studier har undersøkt hvordan split phase påvirker antall ulykker i signalregulerte kryss:

- Greiwe, 1986 (USA)
- Turner et al., 2012 (New Zealand)
- Chen et al., 2013 (USA)

Før-etter studiene fant en reduksjon av antall ulykker etter at split phase ble installert. Den metodisk beste studien som har kontrollert for en reke forstyrrende variabler og regresjonseffekter (Chen et al., 2013) fant en reduksjon av det totale antall ulykker på 22% [-59; +47] etter installasjonen av split phase. Resultatet gjelder kryss i New York City hvorav de fleste er kryss mellom envegskjørtede gater med mange kryssende fotgjengere. Resultatet kan ikke uten videre overføres til andre typer kryss. Den andre studien (Greiwe, 1986) fant en reduksjon av antall ulykker i forbindelse med venstresving på 72% [-85; -45] etter at en split phase ble installert på hovedvegen (hovedvegen har split phase, sidevegen har en vanlig fase med felles grønn for begge kjøretningene). Resultatet kan imidlertid være påvirket av metodiske svakheter. I begge studiene har fotgjengere separate faser, noe som reduserer risikoen for konflikter mellom fotgjengere og høyresvingende trafikk (Pratt et al., 2012). Turner et al. (2012) viste i en tverrsnittstudie at kryss med split phase har færre sidekollisjoner og i større kryss også færre ulykker med påkjøring bakfra. Antall eneulykker og påkjøring bakfra i mindre kryss er derimot høyere i kryss med split phase. Alt i alt tyder resultatene på at det totale antall ulykker, og spesielt antall sidekollisjoner, trolig er lavere i kryss med split phase enn i andre kryss.

4.8 Gultid og helrødtid

En forlenget helrødtid kan redusere antall ulykker, især ulykker med fotgjengere eller syklist. Sammenhengen mellom lengden på gul- og helrødtiden og antall ulykker er trolig U-formet og en forlenget gul- eller helrødtid kan ikke forventes å redusere antall ulykker når den er lenger enn det som er optimalt.

Gultiden skal gjøre det mulig for trafikk som nærmer seg krysset å stanse ved stopplinja før signalet skifter til rødt. Hvis gultiden i utgangspunktet er for kort kan gultiden forlenges for å redusere andelen som kjører mot rødt lys.

En **helrød fase** hvor alle armene i krysset har rødt lys (tømmingsintervall) skal gjøre det mulig for alle som krysset stopplinja i den siste delen av gultiden (og eventuell i de første sekundene av rødtiden) å kjøre ut av krysset før kryssende trafikk får grønt lys.

Kriterier for lengden på gultiden og helrødtiden har blitt forandret over tid og er forskjellige mellom ulike land og ulike kryss (Eccles & McGee, 2001). Anbefalingene går i hovedsak ut på at gul- og helrødtidene skal ha en optimal lengde. Både for korte og for lange tider kan ha utilsiktede virkninger. Den optimale lengden avhenger av ulike faktorer, bl.a. av gjennomsnittsfarten og vegbredden. Resultater fra studier som har undersøkt virkningen av å forlenge gul- eller helrødtiden kan derfor ikke uten videre generaliseres.

Innføring en helrødtid i signalregulerte kryss med fartsgrense 30 mph (48 km/t) som tidligere ikke hadde noen helrødtid er undersøkt av Souleyrette et al. (2004). Resultatene viser en stor men ikke signifikant ulykkesreduksjon det første året etter at signalreguleringen ble endret (-21% [-46; +16]). Når man ser på en femårs periode etter at signalreguleringen ble endret er antall ulykker omtrent uendret (+3 [-29; +48]). I en tverrsnittundersøkelse viser Mishra og Zhu (2013) at kryss med helrødtid i gjennomsnitt har 15% færre ulykker enn signalregulerte kryss uten helrødtid.

Den sammenlagte lengden på gul- og helrødtiden har trolig en U-formet sammenheng med antall ulykker. For korte intervaller kan føre til økt rødlyskjøring og til at ikke alle kjøretøy rekker å kjøre gjennom hele krysset før den kryssende trafikken får grønt lys, noe som kan øke antall sidekollisjoner. For lange intervaller kan også føre til økt rødlyskjøring fordi førere mister respekten for signalanlegget. Dermed kan det bli færre som bremses når lyset skifter til gult eller rødt (Kennedy & Sexton, 2009).

Endringer av gul- og helrødtiden i tråd med anbefalinger av Institute for Transportation Engineers (i de fleste tilfeller ble tidene forlenget) har vist seg å redusere det totale antall ulykker med 8% [-16; 0] og antall personskadeulykker med 12% [-20; -2] (Retting et al., 2002). Virkningen er størst for ulykker med fotgjengere eller syklist (-37% [-57; -10]). Virkningen er forskjellig for ulike ulykkestyper. Ulykker med fotgjengere eller syklist er redusert med 37% [-57; -10]; ulykker med påkjøring bakfra øker med 12% [-7; +35]; sidekollisjoner er redusert med 4% [-25; +23]).

To tverrsnittstudier (Li & Tarko, 2011; Turner et al., 2012) fant derimot ikke noen sammenheng mellom den sammenlagte lengden på gul- og helrødtiden og ulike ulykkestyper. Det foreligger ikke informasjon om lengden på helrødtidene i disse studiene. Forklaring kan være at kryss som i utgangspunktet har mange ulykker oftere får en forlenget helrødtid enn andre kryss, eller at det ikke er tatt hensyn til at sammenhengen mellom gul- og helrødtiden kan være U-formet.

En forlenget gultid (opp til omtrent 5,5 sekunder) har i flere studier vist seg å redusere rødlyskjøring (med opptil 50%) og andelen som forlater krysset etter at den kryssende trafikken har fått grønt lys (bl.a. Bonneson & Zimmerman, 2004; Retting & Greene, 1997; Retting et al., 2008). Rødlyskjøring har ifølge Bonneson et al. (2002) vist seg å gå ned med økende gultidlengde opp til omtrent 4,5 sekunder, men øker noe når gultiden er lenger enn 4,5 sekunder. En forlenget helrødtid har vist seg å redusere andelen som forlater krysset etter at den kryssende kjøretøret har fått grønt lys, men ikke rødlyskjøring (Retting & Greene, 1997). Virkningen av forlenget gultid kan være kortvarig fordi førerne blir kjent med hvordan signalreguleringen er programmert og endrer atferd (Van der Horst & Wilmink, 1986). Bonneson og Zimmerman (2004) viste at førere endret atferd etter at gultiden ble forlenget ved å kjøre inn i krysset senere i gultiden enn før forlengelsen av gultiden. Rødlyskjøringen var likevel redusert, men i mindre grad enn forventet hvis bremseatferden hadde vært uendret. Retting og Greene (1997) viste at virkningene av forlenget gultid avtok noe over tid i løpet av det første året. Endringen var imidlertid ikke statistisk signifikant. Dette gjelder både virkningen på rødlyskjøring og på andelen som forlater krysset etter at den kryssende trafikken har fått grønt lys.

En forlenget helrødtid har vist seg å redusere det totale antall ulykker med 48% [-71; -6]. Dette er basert på studiene til Malo (1967), Bach og Jørgensen (1986), Lalani (1991) og Retting et al. (2002). De fleste studiene er metodisk forholdsvis svake før-etterstudier som kan være påvirket av regresjonseffekter og virkningen kan være overestimert. Lengden på helrødtiden før og etter endringene er heller ikke kjent. Wang & Abdel-Aty (2008) viste at lengre helrødtider medfører at ulykker mellom venstresvingende kjøretøy og møtende trafikk er mindre alvorlige. For andre typer ulykker ble det ikke funnet noen sammenheng. Virkningen av forlenget helrødtid er trolig mer stabil over tid enn virkningen av forlenget gultid fordi det er vanskelig for førere å legge merke til endringer i denne fasen (Retting & Greene, 1997). En forlenget helrødtid har ikke vist seg å påvirke rødlyskjøring (Retting & Greene, 1997).

4.9 Regulering for venstresvingende trafikk

Både en separat og en blandet venstresvingfase (på hovedvegen) ser ut til å redusere det totale antall alvorlige ulykker og spesielt ulykker i forbindelse med venstresving.

Regulering for venstresvingende trafikk har som formål å bedre trafikkavviklingen for venstresvingende trafikk med minst mulig ulemper for annen trafikk, samt å redusere risikoen for ulykker i forbindelse med venstresving. Venstresvingende trafikk kan være regulert på ulike måter i signalregulerte kryss (FHWA, 2004):

- **Ingen separat venstresvingfase («permissive left turn phasing»):** De samme signalene gjelder for venstresvingende trafikk som for annen trafikk og venstresvingende trafikk har vikeplikt for møtende trafikk og fotgjengere / syklistene.
- **Separat venstresvingfase («protected left turn phasing»):** Venstresvingende trafikk har egne signaler (med piler) og har ikke vikeplikt for annen trafikk i grønttiden.
- **Blandet venstresvingfase («protected-permissive left turn phasing»):** Som uten separat venstresvingfase, men i tillegg har venstresvingene trafikk et eget signalhode (med piler) og en egen separat venstresvingfase (etter eller før den blandede fasen og eventuelt avhengig av mengden venstresvingende trafikk). Blandet venstresvingfase brukes bl.a. i USA og Norge for å redusere forsinkelser for venstresvingende trafikk, samtidig som tiden for den separate venstresvingefasen, og dermed forsinkelser for annen trafikk, kan reduseres. Ved blandet venstresvingfase er det i USA noen steder tatt i bruk en gul blinkende pil som erstatter det runde grønne lyset for venstresvingende trafikk i den perioden hvor venstresvingende trafikk kan kjøre gjennom krysset med vikeplikt for annen trafikk.

Virkingen på ulykker av **separat venstresvingfase** er undersøkt av:

Baier & Schlabbach, 1981 (Tyskland)
 Bach & Jørgensen, 1986 (Danmark)
 Craven, 1986 (USA)
 Shebeeb, 1995 (USA)
 Poch & Mannering, 1996 (USA)
 Stamatiadis & Agent, 1997 (USA)
 Kumara, Chin & Weerakoon, 2003 (Singapore)
 Chin & Quddus, 2003 (USA)
 Lyon et al., 2005 (USA)
 Wang, Abdel-Aty & Brady, 2006 (USA)
 Abdel-Aty & Wang, 2006 (USA)
 Wang & Abdel-Aty, 2006 (USA)
 Harkey et al., 2008 (USA)
 Srinivasan et al., 2008 (USA)
 Srinivasan et al., 2012 (USA)
 Chen et al., 2013 (USA)

Resultatene er sammenfattet i tabell 2. Resultatene som vises i tabell 2 baseres kun på før-etter studier som har kontrollert for en rekke forstyrrende variabler og regresjonseffekter. Resultatene tyder på at innføring av verken en separat eller en blandet venstresvingfase har noen virkning på det totale antall ulykker, men at begge tiltakene reduserer antall personskadeulykker i forbindelse med venstresving med omtrent 15%. For antall ulykker med påkjøring bakfra ble det funnet en økning på 8% ved blandet venstresvingfase. Siden ulykker med påkjøring bakfra som regel er mindre alvorlige enn andre ulykker, kan antall alvorlige personskadeulykker likevel tenkes å være redusert.

Konklusjonene støttes av resultater fra andre studier. Wang og Abdel-Aty (2008) viste at en separat venstresvingfase fører til at ulykker mellom venstresvingende kjøretøy og møtende trafikk er mindre alvorlige. Andre typer ulykker er i denne studien ikke påvirket. Pratt et al. (2012) viste at en separat venstresvingfase reduserer konflikter mellom fotgjengere og venstresvingende trafikk, noe som også kan bidra til færre og mindre alvorlige ulykker i forbindelse med venstresving. Bonneson et al. (2011) viste derimot at en venstresvingfase som kommer rett før grøntiden for møtende trafikk (leading left turn phase; vs. annen type venstresvingfase) fører til flere konflikter mellom venstresvingende trafikk og fotgjengere.

Tabell 2: Virkninger av separat og blandet venstresvingfase på antall ulykker.

Type tiltak	Prosent endring av antall ulykker		
	Ulykker som påvirkes og alvorlighetsgrad	Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Separat venstresvingfase («protected»)	Alle ulykker	0	(-9; +9)
	Personskadeulykker i forbindelse med venstresving	-15	(-19; -12)
Blandet venstresvingfase («protected-permissive»)	Alle ulykker	+3	(-1; +8)
	Ulykker i forbindelse med venstresving	-14	(-21; -5)
	Påkjøring bakfra	+8	(+0; +15)

Virkingen av en separat venstresvingfase kan være forskjellig på hoved- og sidevegen. Abdel-Aty og Wang (2006) og Wang og Abdel-Aty (2006) viste at det totale antall ulykker og antall ulykker med påkjøring bakfra er henholdsvis 22% og 16% lavere i kryss som har en separat venstresvingfase på hovedvegen enn i kryss uten separat venstresvingfase på hovedvegen. Derimot er det totale antall ulykker og antall ulykker med påkjøring bakfra henholdsvis 24% og 28% høyere i kryss som har en separat venstresvingfase på sidevegen enn i kryss uten separat venstresvingfase på sidevegen.

Sammenlagde resultater fra tverrsnittstudier, hvorav de fleste har beregnet multivariate ulykkesmodeller, viser at signalregulerte kryss med separat venstresvingfase i gjennomsnitt har 25% færre ulykker [-41; -5] (gjelder alle ulykkestyper og skadegrader) og 21% flere ulykker med påkjøring bakfra [-16; +72] (gjelder alle skadegrader) enn signalregulerte kryss uten separat venstresvingfase. Siden studiene er tverrsnittstudier viser resultatene ikke nødvendigvis virkingen av å innføre en separat venstresvingfase. Dessuten kan resultatene være påvirket av publikasjonsskjevhet. Roozenburg og Turner (2005) har ikke funnet noen signifikant sammenheng mellom separat venstresvingfase og antall ulykker og derfor ikke oppgitt noen resultater; studien kunne derfor ikke tas med i beregningen av den sammenlagte effekten.

Gul blinkende pil istedenfor grønt lys for venstresvingende trafikk brukes noen steder i USA i signalregulerte kryss med blandet venstresvingfase. Formålet er i hovedsak å gjøre venstresvingreguleringen mer forståelig for trafikantene. Virkningen på antall ulykker er undersøkt i flere før-etter studier hvorav de fleste har kontrollert for en del forstyrrende variabler og regresjonseffekter:

Noyce et al., 2007 (USA)
Pulugurtha et al., 2011 (USA)
Srinivasan et al., 2012 (USA)
Qi et al., 2012 (USA)

I kryss som tidligere hadde en separat venstresvingfase ble det funnet en økning av antall ulykker på i gjennomsnitt 97% [+15; +237]. I kryss med andre former for regulering for venstresvingende trafikk (permissive eller protected-permissive) ble det funnet en reduksjon av antall ulykker på i gjennomsnitt 19% [-25; -12].

Studier som har undersøkt virkningen på føreratferd viste at gul blinkende pil (istedenfor vanlig signalregulering uten venstresvingfase) i de fleste kryss reduserer antall konflikter. I kryss med mye trafikk, høy fartsgrense eller tidligere separat venstresvingfase kan gul blinkende pil derimot føre til mer rødlyskjøring og økt antall konflikter (Qi et al., 2012). Tidslukene som aksepteres av venstresvingende trafikk øker i kryss med lite eller middels tett trafikk, noe som kan forventes å bedre sikkerheten. Ingen endring av hvor korte tidsluker som aksepteres ble funnet i kryss med tett trafikk (hvor det stort sett kun finnes korte tidsluker) (Gonzalez-Velez et al., 2012).

U-sving fra venstresvingfelt kan føre til at det skjer ulykker som ellers ikke hadde skjedd. De fleste ulykker i forbindelse med U-sving er sidekollisjoner eller påkjøring bakfra. Slike ulykker skjer oftere i kryss med flere venstresvingfelt og / eller mye venstresvingende trafikk enn i andre kryss og når venstresvingfasen overlapper med en separat høyresvingfase på den kryssende vegen (Carter et al., 2005). Det er ikke funnet studier som har undersøkt virkningen av et forbud mot U-sving i signalregulerte kryss på antall ulykker.

4.10 Regulering for høyresvingende trafikk

En separat høyresvingfase har vist seg å redusere antall ulykker, mens høyresving på rødt øker antall ulykker, spesielt ulykker med kryssende fotgjengere eller syklistene.

Regulering for høyresvingende trafikk har som formål å bedre trafikkavviklingen for høyresvingende trafikk med minst mulig ulemper for annen trafikk, samt å redusere risikoen for ulykker i forbindelse med høyresving.

En **separat høyresvingfase** er i langt mindre grad blitt empirisk undersøkt enn separat venstresvingfase. Virkningen på antall ulykker er undersøkt i to studier som begge er tverrsnittstudier. Kumara et al., (2003) viste at det totale antall ulykker er 24% lavere [-57; +34] i kryss med separat venstresvingfase enn i kryss uten separat venstresvingfase¹ når man kontrollerer for en rekke andre egenskaper ved kryssene. Hubacher og Allenbach (2004) viste at kryss med en separat høyresvingfase har i gjennomsnitt 74% færre ulykker i forbindelse med høyresving [-81; -65] enn kryss hvor høyresvingende trafikk har samme grønntid som øvrig trafikk og vikeplikt for fotgjengere og syklister.

Høyresving på rødt lys (med vikeplikt) har som formål å forbedre fremkommelighet for høyresvingende trafikk. Kjøretøy som skal svinge til høyre på rødt lys har vikeplikt for annen trafikk, inkludert kryssende fotgjengere, og må alltid stanse ved stopplinjen. Høyresving på rødt lys er tillatt i USA og deler av Canada i en del kryss uten separat høyresvingfase. Det finnes forskjellige varianter med ulike regler. Høyresving på rødt kan være tillatt hvis ikke noe annet er opplyst på skilt, tillatt kun hvis dette er spesifisert på trafikkskilt, eller tillatt for noen (f.eks. syklende) og forbudt for andre kjøretøygrupper (Albrecht et al., 1999). I Tyskland er kryss hvor høyresving på rødt lys er tillatt merket med en grønn pil ved siden av det røde lyset i signalanlegget.

Virkingen av høyresving på rødt lys på antall ulykker er undersøkt av:

- McGee & Warren, 1976 (USA)
- McGee, 1977 (USA)
- Preusser, Leaf, DeBartolo, Blomberg & Levy, 1982 (USA)
- Zador, Moshman & Marcus, 1982 (USA)
- Hauer, 1991 (USA)
- Kumara, Chin & Weerakoon, 2003 (Singapore)

Resultatene som er sammenfattet i tabell 3, viser at antall ulykker øker. Økningen er størst for personskadeulykker med fotgjengere og syklister. Ut fra resultater fra studier av virkningen på ulykker og føreraterferd anbefales i Tyskland at høyresving på rødt lys ikke skal være tillatt bl.a. i kryss utenfor tettbygd strøk, ved utilstrekkelige siktforhold, i kryss med flere høyresvingfelt eller i nærheten av skoler (Albrecht et al., 1999).

Tabell 3: Virkninger av høyresving på rødt lys på antall ulykker.

Ulykkes alvorlighetsgrad	Ulykker som påvirkes	Prosent endring av antall ulykker	
		Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Personskadeulykker	Alle ulykker	+10	(-29; +69)
Uspesifisert skadegrad	Alle ulykker	+8	(+4; +13)
Personskadeulykker	Fotgjengerulykker	+56	(+35; +80)
Personskadeulykker	Sykelulykker	+71	(+47; +99)

¹ Studien er gjennomført i Singapore hvor det er venstretrafikk, en separat venstresvingfase i Singapore tilsvarer derfor en separat høyresvingfase i land med høyretrafikk.

4.11 Forhåndsvarsling av faseveksling

Tiltak som varsler slutten av grøntiden kan redusere ulykker i forbindelse med rødlyskjøring, men virkningen avtar ofte over tid fordi førere endrer atferd. Ulykker med påkjøring bakfra kan øke, med mindre grøntiden forlenges når det er kjøretøy i dilemmasonen. Tiltak som varsler slutten av rødtiden har i hovedsak som formål å bedre fremkommeligheten og virkninger på antall ulykker er ukjent.

Det finnes ulike tiltak som forhåndsvarsler førere om fasevekslingen i signalregulerte kryss. Tiltak som forhåndsvarsler slutten av grøntiden har i hovedsak som formål å redusere rødlyskjøring og dermed å bedre sikkerheten. Tiltak som forhåndsvarsler slutten av rødtiden har som formål å redusere forsinkelser ved oppstart når signalet skifter til grønt lys. Det finnes en del ulike varianter av forhåndsvarsling av faseveksling:

- **Grønt blinkende signal på slutten av grøntiden** varsler førere om at signalet snart skifter fra grønt til gult. Tiltaket er undersøkt i flere studier fra Israel.
- Ved **nedtelling av grønt signal** viser et display over eller ved siden av signalhodet antall sekunder som er igjen til signalet skifter til gult. Tiltaket kan kun brukes ved tidsstyrte signalanlegg og er undersøkt i flere asiatiske land.
- **Gult blinklys på slutten av grøntiden** varsler førere om at signalet snart skifter fra grønt til gult. Dette tiltaket brukes mange steder i USA og Canada på veier med en fartsgrense på 70 km/t eller høyere (Sunkari et al., 2005). På slutten av grøntiden aktiveres et gult blinklys på et skilt «Prepare to stop when flashing» eller lignende som er installert oppstrøms for krysset. Tiltaket kan være kombinert med en **forlengt grøntid** når kjøretøy befinner seg i dilemmasonen («*dilemma zone protection*») for å redusere andelen kjøretøy som befinner seg i dilemmasonen når lyset skifter til gult og dermed å redusere risikoen for påkjøring bakfra. For å unngå store forsinkelser på den underordnede vegen er det som regel definert en maksimal lengde av grøntiden. **Redusert fartsgrense** i tillegg til gult blinklys har som formål å redusere farten og dermed ulykkesrisikoen.
- Ved **nedtelling av rødt signal** viser et display over eller ved siden av signalhodet antall sekunder som er igjen til signalet skifter til gult. Tiltaket kan kun brukes ved tidsstyrte signalanlegg og er undersøkt i flere asiatiske land og i Slovenia.
- Ved **rød-gul tid («starting amber»)** vises gult lys i tillegg til rødt lys på slutten av rødtiden. Tiltaket brukes i mange, men ikke alle europeiske land, og ikke i USA, Canada og New Zealand. Formålet er å øke kryssets kapasitet ved å redusere forsinkelser når lyset skifter til grønt (Kennedy & Sexton, 2009). Studier av virkninger på ulykker er ikke funnet.

Virkningen av disse tiltakene på ulykker og førerferd er oppsummert i tabell 4.

Resultatene som gjelder virkningen på ulykker er basert på de følgende studiene:

Hakkert & Mahalel, 1978 (Israel)	Grønt blinkende signal på slutten av grønttiden
Malahel & Zaidel, 1985 (Israel)	Grønt blinkende signal på slutten av grønttiden
Appiah et al., 2011 (USA)	Gult blinklys på slutten av grønttiden og forlenget grønttid
Bonneson et al., 2002 (USA)	Deteksjonssystem for automatisk regulering av grønttiden
Schultz & Talbot, 2008 (USA)	Forhåndsvarsling av rødt lys oppstrøms for krysset med / uten forlenget grønttid (rødlyskjøring, fart)
Wu et al., 2013 (USA)	Redusert fartsgrense i tillegg til gult blinklys

Resultatene som gjelder virkningene på førerferd (bl.a. rødlyskjøring og konflikter) er basert på de følgende studiene:

Mussa et al., 1996 (USA)	Gult blinklys på slutten av grønttiden (uten forlenget grønttid) (rødlyskjøring, konflikter)
Newton et al., 1997 (USA)	Gult blinklys på slutten av grønttiden (uten forlenget grønttid) (rødlyskjøring, konflikter)
Farraher et al. 1999 (USA)	Forhåndsvarsling av rødt lys oppstrøms for krysset uten forlenget grønttid (rødlyskjøring, fart)
Huang & Zegeer, 2000 (USA)	Nedtelling av grønt fotgjengersignal (fotgjengerferd)
Bonneson et al., 2002 (USA)	Forhåndsvarsling av rødt lys oppstrøms for krysset med / uten forlenget grønttid (rødlyskjøring)
Sunkari et al., 2005 (USA)	Gult blinklys på slutten av grønttiden og forlenget grønttid (rødlyskjøring)
Lum & Halim, 2006 (Singapore)	Nedtelling av grønt signal (rødlyskjøring, konflikter)
Schultz et al., 2006 (USA)	Forhåndsvarsling av rødt lys oppstrøms for krysset med / uten forlenget grønttid (rødlyskjøring, fart)
Chiou & Chang, 2010 (Taiwan)	Nedtelling av grønt / rødt signal (rødlyskjøring, konflikter)
Factor et al., 2012 (Israel)	Grønt blinkende signal på slutten av grønttiden (rødlyskjøring)
Sharma et al., 2012 (India)	Nedtelling av grønt / rødt lys
Zhang & Olarte, 2012 (USA)	Gult blinklys på slutten av grønttiden og forlenget grønttid (rødlyskjøring, kjøretøy i dilemmasonen når signalet skifter til gult)
Long et al., 2013 (Kina)	Nedtelling av grønt signal (antall som fortsetter istedenfor å bremse)
Rijavec et al., 2013 (Slovenia)	Nedtelling av grønt / rødt signal (rødlyskjøring)

Tabell 4: Virkninger av høyresving på rødt lys på antall ulykker.

Tiltak	Ulykker / atferd som påvirkes	Prosent endring av antall ulykker ...	
		Beste anslag	Usikkerhet i virkning
Grønt blinkende signal på slutten av grønttiden	Alle ulykker	+29	(+3; +62)
	Påkjøring bakfra	+37	(-15; +123)
	Sidekollisjoner	+12	(-5; +32)
	Rødlyskjøring		Redusert
Nedtelling av grønt signal	Rødlyskjøring	Redusert (kortvarig; under et halvt år)	
	Konflikter		Økt
Gult blinklys på slutten av grønttiden (uten forlenget grønttid)	Rødlyskjøring		Redusert
	Konflikter		Økt
Gult blinklys på slutten av grønttiden og forlenget grønttid	Alle ulykker	-9	(-20; +3)
	Påkjøring bakfra	-9	(-38; +31)
	Sidekollisjoner	-44	(-54; -31)
	Ulykker med tunge kjøretøy	-1	(-24; +31)
	Rødlyskjøring		Redusert / økt langvarig (usikre resultater)
	Fart		Redusert (kortvarig / langvarig)
	Fartsvariasjon		Økt
	Rødlyskjøring og fart blant tunge kjøretøy		Redusert (langvarig)
	Kjøretøy i dilemmasonen		-57%
Redusert fartsgrense i tillegg til gult blinklys	Ulykker	Redusert hvis fartsgrense redusert med minst 10 mph (16 km/t)	
Nedtelling av grønt fotgjengersignal	Fotgjengere som begynner å krysse ved blinkende grønt lys		Økt
	Fotgjengere i gangfeltet når fotgjengersignal skifter til rødt / som må løpe for å unngå dette		Redusert / uendret
Nedtelling av rødt signal	Rødlyskjøring	Uendret / redusert / økt	

Tiltakene som varsler slutten av grønttiden har felles at rødlyskjøring er redusert i den første tiden etter at tiltaket er installert. Virkningen på rødlyskjøring kan imidlertid være kortvarig. For antall konflikter ble det funnet en økning i to studier. For antall ulykker spriker resultatene. For grønt blinkende signal på slutten av grønttiden ble det funnet en økning av både påkjøring bakfra og sidekollisjoner. For gult blinklys på slutten av grønttiden med forlenget grønttid tyder resultatene på at antall ulykker er uendret eller redusert. Redusert fartsgrense i tillegg til gult blinklys ha vist seg å redusere antall ulykker, men kun hvis fartsgrensen er redusert med minst 10 mph (16 km/t). Tidsinnstillingene for det gule blinklyset har ifølge Wu et al. (2013) ingen sammenheng med antall ulykker, noe som forklares med at førere etter hvert blir kjent med systemene og tilpasser atferden.

Resultatene kan tolkes slik at de fleste tiltak oppnår den ønskede virkningen på rødlyskjøring, noe som kan forventes å redusere sidekollisjoner. Resultater fra flere studier tyder imidlertid på at førere blir kjent med systemet og endrer atferd, og at noen bruker slike systemer som fremkommelighetstiltak og akselererer for å forsøke å rekke gult lys når slutten av grønttiden varsles. En annen utilsiktet virkning er at noen av systemene forlenger dilemmasonen, dvs. at det er flere kjøretøy som ankommer krysset i en fase hvor det er usikkert om det er best å bremse eller å fortsette. Dermed blir sjansen større for at to kjøretøy som kjører etter hverandre treffer ulike valg, noe som kan være forklaringen på økt antall konflikter og påkjøring bakfra (Factor et al., 2012). Dette gjelder for grønt blinkende signal, gult blinklys på slutten av grønttiden uten forlenget grønttid og nedtelling av grønt signal. Disse tiltakene kan også føre til økte ventetider fordi flere enn ellers bestemmer seg for å bremse ned og ankommer stopplinja før lyset skifter til rødt (Köll et al., 2004).

Når tiltak som varsler slutten av grønttiden er kombinert med at *grønttiden forlenges* når det er kjøretøy i dilemmasonen kan en slik effekt unngås. Det finnes mange slike systemer. Hvordan systemene er programmert avhenger bl.a. av kryssutformingen, trafikkmengden, føreratferd og tungbilandel (McCoy & Pesti, 2002; Zhang & Olarte, 2012). Virkningene på antall kjøretøy i dilemmasonen, konflikter og rødlyskjøring er i stor grad avhengig av systemets utforming og førernes tilvenning til systemet. Eksempelvis fant Schulz et al. (2006, 2008) at fart og rødlyskjøring gikk ned rett etter at systemet ble implementert, økte etter åtte måneder, og gikk ned igjen senere som følge av at faselengdene ble endret.

Nedtelling av rødt signal og rødgul tid («starting amber») har forskjellige virkninger på rødlyskjøring i ulike studier. Chiou og Chang (2010) fant redusert rødlyskjøring rett etter at tiltaket var installert, men ingen virkning etter 4,5 måneder. Sharma et al. (2012) fant en økning av rødlyskjøring.

4.12 Nedtelling av grønt fotgjengersignal

Virkningen av nedtelling av grønt fotgjengersignal på fotgjengeratferd varierer mellom ulike studier og antall fotgjengerulykker ser ut til å være uendret, selv om fotgjengerne føler seg tryggere.

Ved nedtelling av grønt fotgjengersignal viser et display ved siden av signalhodet hvor mange sekunder som gjenstår til lyset skifter til rødt. Dette skal gjøre det enklere for fotgjengere å velge om de skal begynne å krysse eller ikke. De fleste studier som har undersøkt tiltaket er fra USA. Fotgjengersignaler uten nedtelling er i alle studiene signaler som viser en blinkende rød mann eller blinkende «Don't walk» i en periode før lyset skifter til rødt eller «Don't walk». Med nedtelling er det blinkende røde lyset (eller blinkende «Don't walk») supplert med en visning av antall sekunder som gjenstår til lyset skifter til rødt / «Don't walk».

Følgende studiene har undersøkt virkningen på antall fotgjengerulykker:

- Markowitz et al., 2006 (USA)
- Pulugurtha et al., 2010 (USA)
- Camden et al., 2012 (Canada)

Sammenlagt ble det funnet en ikke-signifikant nedgang av antall fotgjengerulykker på 4% [-18; +14]. Ingen av studiene har kontrollert for regresjonseffekter, men to av studiene har oppgitt resultater for kryss med høye vs. lave ulykkestall før nedtelling ble installert. For kryss med mange ulykker i førperioden ble det funnet en reduksjon av antall fotgjengerulykker på 34% [-55; -2], og for kryss med få ulykker i førperioden ble det funnet en økning av antall ulykker på 62% [-32; +287]. Alt i alt tyder dermed resultatene ikke på at nedtelling av grønt fotgjengersignal påvirker antall fotgjengerulykker.

Virkningen på fotgjengeratferd ble undersøkt i de følgende studiene:

- Eccles et al., 2004 (USA)
- Kamlarz & Ford, 2005 (USA)
- Leistner, 2005 (USA)
- Markowitz et al., 2006 (USA)
- Schattler et al., 2007 (USA)
- Wanty & Wilkie, 2010 (New Zealand)
- Arhin et al., 2011 (USA)
- Schmitz, 2011 (USA)
- Lipovac et al., 2013 (Serbia)

Tabell 5 gir en oversikt over resultatene. De fleste studiene viser at rødlysgåing er redusert eller uendret. Reduksjonene som ble funnet er på mellom 1 og 47%; én studie fant en økning av rødlysgåing fra 20 til 23%. Den gjennomsnittlige endringen er en reduksjon av rødlysgåing på 12%. I de fleste tilfeller av rødlysgåing begynner fotgjengere å krysse når signalet står på blinkende rødt.

To studier fant at den gjennomsnittlige gangfarten er økt. Én studie fant også en økt andel fotgjengere som måtte løpe for å rekke å krysse ferdig før lyset skifter til rødt, mens to studier fant reduserte andeler løpende fotgjengere. Resultatene gir dermed ikke noe klart svar på hvorvidt kryssende fotgjengere får det mer travelt.

Andelen fotgjengere som fortsatt befinner seg i krysset når lyset skifter til rødt er redusert i to studier (fra 23 til 18% og fra 48 til 45%), mens andelen er økt i én studie (fra 11 til 17%).

Alt i alt gir resultatene ikke noe klart svar på om nedtelling er bra eller dårlig for sikkerheten, selv om flere studier viste at fotgjengere flest forstår fotgjengersignaler med nedtelling, og at forståelsen er bedre enn for klassiske fotgjengersignaler (Arhin et al., 2011; Eccles et al., 2004; Verma, 2012). Fotgjenger synes også å føle seg tryggere i kryss med nedtelling (Wanty & Wilkie, 2010). Resultatene fra studien til Verma (2012) tyder på at nedtelling har større (positiv) effekt på fotgjengeratferd i kryss med lang veg for kryssende fotgjengere (bred kjørebane) enn i kryss med kort veg (smal kjørebane).

Tabell 5: Oversikt over resultater av studier av nedtelling av grønt fotgjengersignal på fotgjengeratferd.

	Konflikter	Røddlysgåing	Gangfart	Late exit ¹
Arhin et al., 2011 (USA)	Uendret	Uendret		Uendret
Eccles et al., 2004 (USA)		Redusert i gjennomsnitt fra 42% til 35%		
Kamlarz & Ford, 2005 (USA)	Uendret	Uendret	Økt fra 4,6 til 4,8 ft. per sek.	Redusert fra 23% til 18%
Leistner, 2005 (USA)		Redusert fra 87% til 86%	Andel som løper økt fra 5,1% til 6,4%	Redusert fra 48% til 45%
Lipovac et al., 2013 (Serbia)		Redusert fra 30% til 23%		
Markowitz et al., 2006 (USA)			Andel som løper eller snur redusert fra 13% til 8%	
Schattler et al., 2007 (USA)		Redusert fra 35,5% til 18,8%		
Schmitz, 2011 (USA)			Økt med 2 ft. per sek.	
Wanty & Wilkie, 2010 (New Zealand)		Økt fra 20% til 23% (krysser på blinkende rødt lys) redusert fra 4% til 3% (krysser på rødt lys)	Andel som løper redusert fra 7% til 5%	Økt fra 11% til 17%

¹Fotgjengere som avslutter krysningen når fotgjengersignalet har skiftet til rødt

5 Virkning på framkommelighet

Virkingen av signalregulering av kryss på framkommelighet avhenger bl.a. av trafikkmengden i de enkelte kryssarmene. Utformingen av signalanlegg, bl.a. med trafikkstyring og samkjøring, kan forbedre framkommeligheten og øke kapasiteten til kryss.

I kryss med stor trafikk (over 600 biler i mest trafikkerte time), vil signalregulering som regel redusere ventetiden for alle trafikkstrømmer sett under ett når man sammenligner signalregulerte kryss med vikeplikts- eller høyregulerte kryss (Blakstad, 1988). Tidligere vikepliktige trafikkstrømmer kan få en tidsgevinst, mens tidligere forkjørsrettede kan bli forsinket. Gående kan ofte få en tidsgevinst ved signalregulering. I forhold til rundkjøringer kan signalregulerte kryss medføre økte ventetider (se kapittel 1.6 Rundkjøringer i Trafikksikkerhetshåndboken).

Virkingen av signalregulering på ventetider er i stor grad avhengig av trafikkmengden i de enkelte kryssarmene og av utformingen av henholdsvis signalregulering og alternative reguleringsmåter. Flere av tiltakene som er beskrevet i denne rapporten har i hovedsak som formål å bedre framkommeligheten. Dette gjelder følgende tiltak:

- **Trafikkstyring av signalregulering og grønn bølge:** Formålet er at fleste mulig kjøretøy ankommer krysset ved grønt lys (uten at dette medfører uakseptabelt lange ventetider for annen trafikk). Grønn bølge kan redusere ventetider og øke gjennomsnittsfarten i bygater med trafikkavviklingsproblemer betydelig.
- **Gult blinklys eller rødt lys i perioder med lite trafikk:** Gult blinklys i perioder med lite trafikk kan føre til noe bedre framkommelighet i perioder med lite trafikk, men det er per definisjon ikke mange som vil ha nytte av det. Med trafikkstyring er det mulig å oppnå samme effekt.
- **Regulering for venstresvingende trafikk:** En separat venstresvingfase kan forbedre framkommeligheten for venstresvingende trafikk, spesielt når det er mye venstresvingende trafikk og mye trafikk i den motgående kjøreretningen. I perioder med lite trafikk kan en separat venstresvingfase medføre (unødvendige) forsinkelser for øvrig trafikk (Bennett, 2011).
- **U-sving fra venstresvingfelt:** Dette reduserer framkommeligheten for venstresvingende trafikk og et forbud mot U-sving kan følgelig medføre forbedret framkommeligheten i det aktuelle krysset (men dårligere framkommelighet for den trafikken som skal foreta U-sving, avhengig av alternative muligheter). Carter et al. (2005) viste at en økning av antall U-sving på 10% medfører en reduksjon av framkommeligheten for venstresvingende trafikk på 1,8%, og på 3,3% når venstresvingfasen overlapper med en separat høyresvingfase på den kryssende vegen.

- **Omløpsti og antall faser:** Dette er som regel tilpasset kryssutformingen og trafikken for å oppnå best mulig fremkommelighet, men kan også ta hensyn til sikkerheten (f.eks. ved etablering av separate venstre- eller høyresvingfaser). Hvordan omløpsti, antall faser (og ev. split phase) påvirker fremkommeligheten avhenger av kryssutformingen (antall armer og kjørefelt, venstre-/ høyresvingfelt m.v.) og trafikkmengden i de enkelte trafikstrømmene, samt hvordan signalanlegget er programmert.
- **Split phase:** Split phase kan brukes i spesielle typer kryss som et sikkerhets- eller fremkommelighetstiltak og virkningen avhenger av kryssutformingen og trafikken (se kapittel 4 Virkning på ulykker).
- **Regulering for høyresvingende trafikk:** Høyresving på rødt lys kan forbedre fremkommeligheten for høyresvingende trafikk og for annen trafikk i kryss som ikke har separat høyresvingfelt.
- **Nedtelling av rødt lys:** Dette har vist seg å redusere forsinkelser når lyset skifter til grønt (Limanond et al., 2009). Dette medfører reisetidsbesparelser for de kjøretøyene som starter tidligere enn de ellers hadde gjort, og øker antall kjøretøy som kan krysse per grøntid.

Tiltak som i hovedsak har som formål å bedre sikkerheten har ofte, men ikke alltid, mindre gunstige virkninger på fremkommeligheten. Dette gjelder følgende tiltak:

- **Siktforholdene** i signalregulerte kryss kan påvirke fremkommeligheten, hvis trafikk med vikeplikt for andre trafikanter (f.eks. venstresvingende trafikk uten separat venstresvingfase) venter lenger på en akseptabel tidsluke enn den ellers hadde gjort (Yan, 2005).
- **Rødt lys i perioder med lite trafikk:** Med trafikkstyrt rødt lys i perioder med lite trafikk skifter lyset til grønt kun når det er trafikk inn mot krysset. Dette har vist seg å redusere gjennomsnittsfarten, men siden kjøretøyene automatisk får grønt lys kan fremkommelighetseffekten være bedre enn ved vanlig tidsstyrt regulering.
- **Gultid og helrødtid:** Lengre gul- / helrødtider kan medføre økte ventetider og dermed noe redusert kapasitet og fremkommelighet.
- **Forhåndsvarsling av faseveksling:** Formålet er å redusere rødlyskjøring. Tiltaket kan imidlertid ha utilsiktede virkninger på føreratferd. For blinkende grønt lys på slutten av grønttiden ble det vist at andelen som stopper istedenfor å fortsette gjennom krysset øker, noe som fører til økte ventetider og redusert kapasitet (Köll et al., 2004). Tiltak som varsler slutten av grønttiden kan også føre til at flere enn ellers akselererer på slutten av grønttiden for å forsøke å rekke over stopplinjen før signalet skifter til rødt. Dette kan medføre bedret fremkommelighet, både for dem som på denne måten rekker gjennom krysset og hvis det er mye trafikk også fordi køene kan være noe redusert (denne type atferd kan imidlertid føre til økt rødlyskjøring).

6 Virkning på miljøforhold

Virkingen av signalregulerte kryss på miljøforhold er i stor grad avhengig av bl.a. hvordan signalanlegget er programmert. Trafikkstyring og samkjøring av signalanlegg har som regel positive miljøeffekter.

Signalanlegg kan påvirke miljøforhold ved å endre gjennomsnittsfart, fartsvariasjonen og nedbremsing / akselerering i kryss. Virkningene er i stor grad avhengige av veg- og kryssutforming, fartsgrense og andre lokale faktorer, samt hvordan signalanlegget er utformet og hvordan fasevekslingen er programmert. Det er derfor vanskelig å trekke generelle konklusjoner om virkninger på miljøforhold. Generelt har trafikkstyrte signalanlegg som minimerer antallet kjøretøy som stanser på rødt lys trolig gunstigere miljøeffekter enn andre signalanlegg.

For **samkjøring av signalanlegg** viste en eldre tysk undersøkelse (Schlabach et al., 1984) at drivstofforbruk og avgassutslipp kan være redusert. En nyere studie som har estimert mulige virkninger av samkjøring av signalanlegg med trafikksimuleringer (De Coensel et al., 2012) viste at utslipp kan være redusert med mellom 10 og 40 % under de mest gunstige forutsetningene, og at støy i nærheten av kryssene kan være redusert med opptil 1 dB(A). Mellom kryssene ble det derimot funnet økt støy. Virkingen avhenger av hvor mye samkjøring av signalanlegg bedrer trafikkavviklingen. En studie med floating cars (Rakha et al., 2000) viste at samkjørte signalanlegg reduserer antall nedbremsinger med 3,6%, reduserer drivstofforbruket med 1,6%, ikke har noen effekt på utslipp av CO₂ og NO_x, og øker utslipp av karbinmonoxid med 1,2%.

Høyresving på rødt lys har ifølge Albrecht et al. (1999) trolig ingen eller liten virkning på drivstofforbruk eller utslipp. Dette fordi alle kjøretøy som skal svinge til høyre på rødt lys må stoppe ved stopplinjen, slik at andelen kjøretøy som stopper ikke er redusert.

7 Nytte-kostnadsvurderinger

Hvorvidt signalregulering av kryss er samfunnsøkonomisk lønnsomt avhenger i stor grad av lokale forhold og utformingen av signalanlegget.

Etablering av signalregulering i et eksisterende kryss kan koste mellom en halv og én mill. kr. (ikke medregnet eventuelle endringer av kryssutformingen som f.eks. venstre- eller høyresvingfelt). Årlige driftskostnader er i gjennomsnitt ca. 100.000 kr. per år. Kostnadene er fra 2013 og omtrentlige anslag på gjennomsnittlige kostnader. Kostnader i enkelte kryss kan avvike, avhengig av bl.a. kryssets størrelse.

Både nytten og kostnader for signalregulering av kryss avhenger i stor grad av lokale forhold og tiltakets utforming. Det er derfor ikke gjort noen nytte-kostnadsanalyse.

8 Formelt ansvar og saksgang

8.1 Initiativ til tiltaket

Initiativ til signalregulering i kryss blir vanligvis tatt av vegmyndighetene, men kan bli tatt av beboere og trafikanter for å oppnå tryggere trafikk. For øvrig inneholder signalnormalene (Statens vegvesen, 2007, håndbok V322) kriterier for vurdering av behovet for signalregulering av kryss, knyttet til kryssets trafikkmengde.

8.2 Formelle krav og saksgang

Signalanlegg må oppfylle signalnormalenes krav til teknisk utforming (Statens vegvesen, 2007, håndbok V322). Det må utarbeides detaljplan for et signalanlegg før det settes i drift. Trafikktellinger og ulykkesanalyser må utføres for å kontrollere at kriteriene for signalregulering er oppfylt. Dessuten pålegger skiltnormalene at en rekke alternative tiltak til signalregulering vurderes først. Det er et krav at politiet og kommunen får uttale seg om planer om signalregulering av kryss før fylkesvegkontoret sender planen til Vegdirektoratet via regionskontoret.

8.3 Ansvar for gjennomføring av tiltaket

Vedtak om signalregulering av kryss treffes av Vegdirektoratet. Utgiftene til signalregulering av gangfelt bæres av vegholderen som andre vegutgifter, det vil si av staten for riksveg, fylkeskommunen for fylkesveg og kommunen for kommunal veg.

9 Referanser

- Abdel-Aty, M., & Wang, X. (2006). Crash estimation at signalized intersections along corridors. *Transportation Research Record*, 1953, 98-111.
- Albrecht, F., Bruehning, E., Frenzel, K., Krause, K., Meewes, V., Schnabel, W., & Topp, H. (1999). Rechtsabbiegen bei rot mit Grünpfeil. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik*, 72. Bergisch Gladbach: BAST.
- Almonte-Valdivia, A. M. (2007). Level-of-service and traffic safety relationship: An exploratory analysis of signalized intersections and multilane high-speed arterial corridors. Thesis. Department of Civil, Environmental and Construction Engineering in the College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida. Orlando, Florida.
- Al-Ofi, K. A. M. A. (1994). The effect of signal coordination on intersection safety. Dissertation presented to the King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
- Amundsen, F. H.; Daas, H. R.; Hvoslef, H.; Magnussen, P. H. & Sakshaug, K. (1976). Gangfelt. Utredninger for gangfeltutvalget i 1975. TØI-rapport. Utgitt i samarbeid med Forskningsgruppen, Institutt for samferdselsteknikk, Norges Tekniske Høgskole. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Andreassen, D. C. (1970). Another look at traffic signals and accidents. In *ARRB Proceedings*, 5, 3, 304-316. Vermont South, Victoria, Australian Road Research Board.
- Appiah, J., Naik, B., Wojtal, R., & Rilett, L. R. (2011). Safety effectiveness of actuated advance warning systems. *Transportation Research Record*, 2250, 19-24.
- Arhin, S. A., Noel, E. C., & Lakew, M. (2011). Evaluation of the impact of two countdown pedestrian signal displays on pedestrian behavior in an urban area (pp. 14-16). 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14-16, 2011, Indianapolis, USA.
- Bach, O. & Jørgensen, E. (1986). Signaler og ulykker - effekt af ombygninger. Næstved, Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger (SSV).
- Baier, H. & Schlabbach, K. (1981). Linksabbiegeunfälle an Lichtsignalanlagen in Darmstadt. Vorher-/Nachher-Untersuchung. *Strassenverkehrstechnik*. Heft 3, 71-78.
- Barbaresso, J. C. (1987). Relative Accident Impacts of Traffic Control Strategies During Low-Volume Nighttime Periods. *ITE-Journal*, 41-46, August 1987.

- Bastable, A. J. (1980). The economic and social impact of dynamic signal coordination in Sydney. *ARRB Proceedings*, 10, 4, 245-251. Vermont South, Victoria, Australian Road Research Board.
- Bhesania, R. P. (1991). Impact of Mast-Mounted Signal Heads on Accident Reduction. *ITE-Journal*, 25-29, October 1991.
- Blakstad, F. (1988). *Trafikkteknikk*. Tredje utgave. Tapir forlag, Trondheim.
- Bonneson, J. A., & Zimmerman, K. H. (2004). Effect of yellow interval timing on red-light violation frequency at urban intersections. *Transportation Research Record*, 1865, 20-27.
- Bonneson, J., Sunkari, S., Pratt, M., & Songchitruksa, P. (2011). *Traffic signal operations handbook*. Report FHWA/TX-11/0-6402-P1. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University, College Station, Texas.
- Bonneson, J., Zimmerman, K., & Brewer, M. (2002). Engineering countermeasures to reduce red light running. Report FHWA-TX-03/4027-2. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Brüde, U. & Larsson, J. (1985). Korsningsåtgärder vidtagna inom vägförvaltningarnas trafik-säkerhetsarbete. Regressions- och åtgärdseffekter. VTI-rapport 292. Linköping, Statens väg- och trafikinstitut (VTI).
- Brüde, U. & Larsson, J. (1988). Trafiksikkerhetseffekt av LHOVRA-signaler. Analysmetoder och resultat. VTI-meddelande 575. Linköping, Väg- och TrafikInstitutet.
- Brüde, U. & Larsson, J. (1992). Ändring från stopp- till väjningsplikt. Effekt på antal personskadeolyckor. VTI-meddelande 695. Linköping, Väg- och TrafikInstitutet.
- Camden, A., Buliung, R., Rothman, L., Macarthur, C., & Howard, A. (2012). The impact of pedestrian countdown signals on pedestrian-motor vehicle collisions: A quasi-experimental study. *Injury Prevention*, 18(4), 210-215.
- Carter, D., Hummer, J., Foyle, R., & Phillips, S. (2005). Operational and safety effects of u-turns at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1912(-1), 11-18.
- Cedersund, H.-Å. (1983). Olyckor i tätortskorsningar. VTI-meddelande 362. Linköping, Statens väg- och trafikinstitut (VTI).
- Chen, L., Chen, C., Ewing, R., McKnight, C. E., Srinivasan, R., & Roe, M. (2013). Safety countermeasures and crash reduction in New York city—experience and lessons learned. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 312-322.
- Chin, H. C., & Quddus, M. A. (2003). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 35, 253-259.
- Chiou, Y.-C., & Chang, C.-H. (2010). Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1057-1065.

- Craven, R. E. (1986). An analysis of traffic signal safety improvements. In Carney, J. F. III (Ed). Effectiveness of highway safety improvements, 73-79. New York, NY, American Society of Civil Engineers.
- Cribbins, P. D. & Walton, C. M. (1970). Traffic Signals and Overhead Flashers at Rural Intersections: Their Effectiveness in Reducing Accidents. Highway Research Record 325, 1-14.
- Crook, A. D. J. (1970). Effect on accidents of area wide traffic control in West London. Traffic Engineering and Control, 11, 30-31.
- Dagestad, K. (1989). Erfaringer med signalregulerte kryss. Ulykkessituasjon i Akershus. Oslo, Statens vegvesen Akershus, Trafikkseksjonen.
- Dahlen & Toftenes (1979). Lyssignalanlegg i Bærum. Trafikksikkerhet. Utarbeidet for Vegkontoret i Akershus. Haslum.
- Dahlen & Toftenes (1984). Trafikksikkerhet i signalregulerte kryss. Utarbeidet for Vegdirektoratet. Haslum.
- Datta, K. T., & Dutta, U. (1990). Traffic signal installation and accident experience. ITE Journal, September 1990, 39-42.
- Datta, K. T. (1991). Head-on left-turn accidents at intersections with newly installed traffic signals. Transportation Research Record, 1318, 58-63.
- De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., De Vlieger, I., & Botteldooren, D. (2012). Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions. Environmental Modelling & Software, 35, 74-83.
- De Werd, P. A. M. (1982). Study on the effect of eliminating intermittent signal from traffic light programmes in Eindhoven. In Proceedings (148-151) of Seminar on Short-term and Area-wide Evaluation of Safety Measures, Amsterdam, The Netherlands, April 19-21, 1982. Leidschendam, Institute for Road Safety Research SWOV.
- Dutta, U., Bodke, S., Dara, B., & Lynch, J. (2010). Safety evaluation of scats control system. MDOT Report No RC1545. Michigan Ohio University Transportation Center, University of Detroit Mercy, Detroit, MI.
- Eccles, K.A. & McGee, H.W. (2001). A history of the yellow and all-red intervals for traffic signals. Report IR-113. Washington, DC, Institute of Transportation Engineers.
- Eccles, K. A., Tao, R., & Mangum, B. C. (2004). Evaluation of pedestrian countdown signals in Montgomery county, Maryland. Transportation Research Record, 1878, 36-41.
- Factor, R., Prashker, J. N., & Mahalel, D. (2012). The flashing green light paradox. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 15(3), 279-288.

- Farraher, B. A. B., Weinholzer, R., & Kowski, M. P. (1999). The effect of advanced warning flashers on red light running. Report CD-006. Washington DC: Institute of Transportation Engineers.
- FHWA. (2004). Signalized intersections: Informational guide. Report FHWA-HRT-04-91, US Department of Transportation. Washington DC.
- Frith, W. J. & Harte, D. S. (1986). The safety implications of some control changes at urban intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 18, 183-192.
- Golias, J. C. (1997). Effects of signalisation on four-arm urban junction safety. *Accident Analysis & Prevention*, 29(2), 181-190.
- Gonzalez-Velez, E., Fabregas, A., & Lin, P.-S. (2012). Assessment of a flashing yellow arrow signal implementation using gap acceptance measures Sustainable transportation systems (pp. 341-348).
- Greiwe, R. R. (1986). Intersection Management Techniques for the Left-Turning Vehicle: The Indianapolis Experience. *ITE-Journal*, 23-28, June 1986.
- Gross, F., & Donnell, E. T. (2011). Case-control and cross-sectional methods for estimating crash modification factors: Comparisons from roadway lighting and lane and shoulder width safety effect studies. *Journal of Safety Research*, 42(2), 117-129.
- Grønnerød, E. (1976). Gulblink på signalanlegg. Bruk av gulblink på signalanlegg i perioder med lite trafikk. Rapport. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Gunnarsson, S. O. & Olsson, L. (1974A). Trafikolyckor i tätort 1. Analys av trafikolyckor i korsningar, Göteborg 1971. Meddelande 66. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för stadsbyggnad.
- Gunnarsson, S. O. & Olsson, L. (1974B). Trafikolyckor i tätort 2. Analys av trafikolyckor före respektive efter signalreglering av korsningar. Meddelande 67. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för stadsbyggnad.
- Guo, F., Wang, X., & Abdel-Aty, M. A. (2010). Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 84-92.
- Hakkert, A. S. & Mahalel, D. (1978). The effect of traffic signals on road accidents - with special reference to the introduction of a blinking green phase. *Traffic Engineering and Control*, 19, 212-215.
- Hanbali, R. M. & Fornal, C. J. (1997). Methodology for evaluating the effectiveness of traffic responsive systems on intersection congestion and traffic safety. Paper 970065. 76th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington DC, January 12-16.
- Harkey, D.L., Srinivasan, R., Baek, J. et al. (2008). Accident modification factors for traffic engineering and ITS improvements. NCHRP Report 617. Washington DC: Transportation Research Board.

- Hauer, E. (1991). Should Stop Yield? Matters of Method in Safety Research. ITE-Journal, 25-31, September 1991.
- Hauer, E. (2001). Overdispersion in modelling accidents on road sections and in empirical bayes estimation. Accident Analysis and Prevention, 33, 799-808.
- Hodge, G. A.; Daley, K. F. & Nguyen, T. N. (1986). Signal co-ordination in regional areas of Melbourne - a road safety evaluation. ARRB Proceedings, 13, 9, 178-190. Vermont South, Victoria, Australian Road Research Board.
- Hoff & Overgaard. (1976). Den sikkerhedsmæssige effekt af signalregulering i landevejskryds. Næstved, Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger (SSV).
- Hubacher, M., & Allenbach, R. (2004). Prediction of accidents at full green and green arrow traffic lights in Switzerland with the aid of configuration-specific features. Accident Analysis & Prevention, 36(5), 739-747.
- Hvoslef, H. (1979). Risikoforhold i bytrafikk - eksempel fra Haugesund. Foredrag ved NIF-kurs trafikksikkerhet, vegutforming, trafikkregulering og gatebruk, 8.-10. januar 1979, NTH, Trondheim
- Høy, A. (2015). Revisjon av Trafikksikkerhetshåndboken: 3.9 Signalregulering i kryss. TØI Arbeidsdokument fra 25. feb. 2015. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Jensen, S. U. (2010). Safety effects of intersection signalization: A before-after study. TRB 89th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM. Washington, D.C.
- Johannessen, S. & Heir, J. (1974). Trafikksikkerhet i vegkryss. En analyse av ulykkesforholdene i 187 vegkryss i perioden 1968-72. Oppdragsrapport 4. Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, Forskningsgruppen, Institutt for samferdselsteknikk.
- Kamlarz, P., & Ford, C. (2005). Evaluation of pedestrian countdown signals. CD-130-02. City of Berkley, Office of the City Manager. Berkley, California.
- Kennedy, J., & Sexton, B. (2009). Literature review of road safety at traffic signals and signalized crossings. TRL Report PPR436. Transport Research Laboratory.
- Kim, D.-G., & Lee, Y. (2013). Modelling crash frequencies at signalized intersections with a truncated count data model. International Journal of Urban Sciences, 17(1), 85-94.
- King, G. F. & Goldblatt, R. B. (1975). Relationship of accident patterns to type of intersection control. Transportation Research Record, 540, 1-12.
- Kulmala, R. (1995). Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application of accident prediction models. VTT Publications 233. Espoo, Technical Research Centre of Finland.
- Kumara, S.S.P., Chin, H.C. & Weerakoon, W.M.S.B (2003). Identification of accident causal factors and prediction of hazardousness of intersection approaches. Transportation Research Record 1840, Paper No. 03-2778, 116-122.

- Köll, H., Bader, M., & Axhausen, K. W. (2004). Driver behaviour during flashing green before amber: A comparative study. *Accident Analysis & Prevention*, 36(2), 273-280.
- Lalani, N. (1991). Comprehensive Safety Program Produces Dramatic Results. *ITE-Journal*, 31-34, October 1991.
- Leistner, D. L. (2005). Evaluation of the effectiveness of pedestrian countdown signals. University of Florida.
- Lenné, M. G., Corben, B. F., & Stephan, K. (2007). Traffic signal phasing at intersections to improve safety for alcohol-affected pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 751-756.
- Li, W., & Tarko, A. P. (2011). Effect of arterial signal coordination on safety. *Transportation Research Record*, 2237/2011, 51-59.
- Limanond, T., Chookerd, S., & Roubtonglang, N. (2009). Effects of countdown timers on queue discharge characteristics of through movement at a signalized intersection. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6), 662-671.
- Lipovac, K., Vujanic, M., Maric, B., & Nestic, M. (2013). The influence of a pedestrian countdown display on pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 20, 121-134.
- Long, K., Liu, Y. & Han, L.D. (2013). Impact of countdown timer on driving maneuvers after the yellow onset at signalized intersections: An empirical study in Changsha, China. *Safety Science*, 54, 8-16.
- Lum, K. M., & Halim, H. (2006). A before-and-after study on green signal countdown device installation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(1), 29-41.
- Lyon, C., Haq, A., Persaud, B., & Kodama, S. T. (2005). Safety performance functions for signalized intersections in large urban areas. *Transportation Research Record*, 1908, 165-171.
- Mahalel, D. & Zaidel, D. M. (1985). Safety evaluation of a flashing-green light in a traffic signal. *Traffic Engineering and Control*, 26, 79-81.
- Malo, A. F. (1967). Signal Modernization. In Highway Research Board, Special Report 93, Improved Street Utilization Through Traffic Engineering, 96-113. Washington DC, Highway Research Board.
- Markowitz, F., Sciortino, S., Fleck, J. L., & Yee, B. M. (2006). Pedestrian countdown signals: Experience with an extensive pilot installation. *ITE Journal*, January 2006, 43-48.
- McCoy, P. T., & Pesti, G. (2002). Advance detection on high-speed signalized intersection approaches. Report SPR-PL-1(035)P525. University of Nebraska, Department of Civil Engineering, Omaha, Nebraska.

- McGee, H. W. (1977). Accident Experience With Right Turn on Red. *Transportation Research Record*, 644, 66-75.
- McGee, H. W. & Warren, D. L. (1976). Right Turn on Red. *Public Roads*, 40, 1, 19-31.
- McGee, H., Taori, S., & Persaud, B. (2003). Crash experience warrant for traffic signals. NCHRP Report 491. National Cooperative Highway Research Program. Washington DC: Transportation Research Board.
- Midenet, S., Saunier, N., & Boillot, F. (2011). Exposure to lateral collision in signalized intersections with protected left turn under different traffic control strategies. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 1968-1978.
- Mishra, S., & Zhu, X. (2013). Analyzing the effect of all-red intervals in crash reduction: A case study of heckman correction at urban signalized intersection crashes. Unpublished manuscript. <http://www.ce.memphis.edu/smishra/Publications/Manuscript-AAP-S-12-00470.pdf> (last accessed may 8th, 2013).
- Mussa, R. N., Newton, C. J., Matthias, J. S., Sadalla, E. K., & Burns, E. K. (1996). Simulator evaluation of green and flashing amber signal phasing. *Transportation Research Record*, 1550, 23-29.
- Newton, C., Mussa, R. N., Sadalla, E. K., Burns, E. K., & Matthias, J. (1997). Evaluation of an alternative traffic light change anticipation system. *Accident Analysis & Prevention*, 29(2), 201-209.
- Noyce, D. A., Bergh, C. R., & Chapman, J. R. (2007). Evaluation of the flashing yellow arrow permissive-only left-turn indication field implementation. NCHRP Web-only document 123. University of Wisconsin-Madison. Contractor's Final Report for NCHRP Project 20-7/Task 222.
- Oh, J., Lyon, C., Washington, S., Persaud, B., & Bared, J. (2003). Validation of FHWA crash models for rural intersections: Lessons learned. *Transportation Research Record*, 1840, 41-49.
- Oh, J., Washington, S., & Choi, K. (2004). Development of accident prediction models for rural highway intersections. *Transportation Research Record*, 1897, 18-27.
- Pei, X., Wong, S. C., & Sze, N. N. (2011). A joint-probability approach to crash prediction models. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1160-1166.
- Persaud, B., Hauer, E., Retting, R., Vallurupalli, R., & Mucsi, K. (1997). Crash reductions related to traffic signal removal in Philadelphia. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 803-810.
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105-113.
- Polanis, S. F. (2002). Right angle crashes and late night / early morning flashing operations: 19 case studies. *ITE Journal*, 72(4), 26-28.

- Pratt, M. P., Songchitruksa, P., & Bonneson, J. A. (2012). Pedestrians and left-turning vehicles: An evaluation of safety treatments. TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers DVD
- Preusser, D. F.; Leaf, W. A.; DeBartolo, K. B.; Blomberg, R. D. & Levy, M. M. (1982). The Effect of Right-Turn-on-Red on Pedestrian and Bicyclist Accidents. *Journal of Safety Research*, 13, 45-55.
- Pulugurtha, S. S., Desai, A. & Pulugurtha, N. M. (2010). Are pedestrian countdown signals effective in reducing crashes? *Traffic Injury Prevention*, 11(6), 632-641.
- Pulugurtha, S. S., Agurla, M. & Khader, K. S. C. (2011). How effective are "flashing yellow arrow" signals in enhancing safety? Transportation and development institute congress 2011 (pp. 1096-1104).
- Qi, Y., Chen, X., Yu, L., Wang, Y., Zhang, M., Yuan, P. & Persad, K. R. (2012). Use of flashing yellow operations to improve safety at signals with protected-permissive left turn (pplt) operations. Report HWA/TX-09/0-6568-1. Department of Transportation Studies, Texas Southern University, Houston, Texas.
- Rakha, H., Medina, A., Sin, H., Dion, F., Aerde, M. V. & Jenq, J. (2000). Traffic signal coordination across jurisdictional boundaries. *Transportation Research Record*, 1727, 42-51.
- Retting, R. A. & Greene, M. A. (1997). Influence of traffic signal timing on red-light running and potential vehicle conflicts at urban intersections. *Transportation Research Record*, 1595, 1-7.
- Retting, R. A., Nitzburg, M. S., Farmer, C. M. & Koblauch, R. L. (2002). Field evaluation of two methods for restricting right turn on red to promote pedestrian safety. *ITE Journal*, January 2002, 32-36.
- Retting, R. A., Ferguson, S. A. & Farmer, C. M. (2008). Reducing red light running through longer yellow signal timing and red light camera enforcement: Results of a field investigation. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 327-333.
- Rijavec, R., Zekovšek, J. & Maher, T. (2013). Acceptability of countdown signals at an urban signalized intersection and their influence on drivers behaviour. *Promet - Traffic & Transportation*, 25, 63-71.
- Roozenburg, A. & Turner, S. (2005). Accident prediction models for signalized intersections. Institution of Professional Engineers New Zealand (IPENZ) Transportation Conference, 2005, Auckland, New Zealand.
- Sasidharan, L. & Donnell, E.T. (2013). Application of propensity scores and potential outcomes to estimate effectiveness of traffic safety countermeasures: Exploratory analysis using intersection lighting data. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 539-553.
- Sayed, T., Esawey, E. & Pump, J. (2007). Evaluating impact on safety of improved signal visibility at urban signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2019, 51-56.

- Schattler, K. L., Wakim, J. G., Datta, T. K. & McAvoy, D. (2007). Evaluation of pedestrian and driver behaviors at countdown pedestrian signals in Peoria, Illinois. *Transportation Research Record*, 2002, 98-106.
- Schlabach, K.; Scharffetter, J.; Lauer, P. & Guttenberger, W. (1984). Vorher-/Nachheruntersuchung verkehrsabhängig betriebener Knotenpunkte in Darmstadt. *Strassenverkehrstechnik*, Heft 2, 49-56.
- Schultz, G. G., Peterson, R., Giles, B. C. & Eggett, D. L. (2006). Evaluation of advance warning signal installation: Phase i final report. Publication UT-06.11. Utah Department of Transportation Research and Development Division, Salt Lake City, UT.
- Schultz, G. G. & Talbot, E. (2008). Evaluation of advance warning signal installation phase ii: Long-term monitoring. Publication UT-08.04. Utah Department of Transportation Research and Development Division, Salt Lake City, UT.
- Schmitz, J. N. (2011). The effects of pedestrian countdown timers on safety and efficiency of operations at signalized intersections. *Civil Engineering Theses, Dissertations and Student Research*, University of Nebraska-Lincoln.
- Seim, R. (1994). Analyse av kryssulykker i Akershus fylke 1990-93. Hovedoppgave i samferdselsteknikk, høsten 1994. Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, Institutt for samferdselsteknikk.
- Senneset, G. & Skjetne, E. (1982). Samkjørte signalanlegg. Oppdragsrapport 66. Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, Forskningsgruppen, Institutt for samferdselsteknikk.
- Sharma, A., Vanajakshi, L., Girish, V. & Harshitha, M. (2012). Impact of signal timing information on safety and efficiency of signalized intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 138(4), 467-478.
- Shebeeb, O. (1995). Safety and Efficiency for Exclusive Left-Turn Lanes at Signalized Intersections. *ITE-Journal*, July 1995, 52-59.
- Shinar, D., Bourla, M. & Kaufman, L. (2004). Synchronization of traffic signals as a means of reducing red-light running. *Human Factors*, 46(2), 367-372.
- Short, M. S., Woelfl, G. A. & Chang, C.-J. (1982). Effects of traffic signal installation on accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 14, 135-145.
- Souleyrette, R. R., O'Brien, M. M., McDonald, T., Preston, H. & Storm, R. (2004). Effectiveness of all-red clearance interval on intersection crashes. Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Srinivasan, R., Council, F., Lyon, C., Gross, F., Lefler, N. & Persaud, B. (2008). Safety effectiveness of selected treatments at urban signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2056, 70-76.
- Srinivasan, R., Lyon, C., Persaud, B., Baek, J., Gross, F., Smith, S. & Sundstrom, C. (2012). Crash modification factors for changes to left-turn phasing. *Transportation Research Record*, 2279/2012, 108-117.

- Stamatiadis, N. & Agent, K. R. (1997). Guidelines for left-turn phasing at signalized intersections. Paper presented at the Conference Traffic Safety on Two Continents, Lisbon, Portugal, September 22-24.
- Statens vegvesen (2007). Trafikksikgnalanlegg- planlegging, drift og vedlikehold. Håndbok V322.
- Statens vegvesen (2012). Trafikksikgnalanlegg. Håndbok N300.
- Sunkari, S. R., Messer, C. J. & Charara, H. (2005). Performance of advance warning for end of green system for high-speed signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1925/2005, 176-184.
- Turner, S. A., Singh, R. & Nates, G. D. (2012). Crash prediction models for signalised intersections: Signal phasing and geometry. NZ Transport Agency Research Report 483.
- Vaa, T. & Johannessen, S. (1978). Ulykkesfrekvenser i kryss. En landsomfattende undersøkelse av ulykkesforholdene i 803 kryss i perioden januar 1970 - juni 1976. Oppdragsrapport 22. Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, Forskningsgruppen, Institutt for samferdselsteknikk.
- Verma, V. (2012). Effectiveness of countdown pedestrian systems in downtown San Diego. Thesis, San Diego State University.
- Vodahl, S. B. & Giæver, T. (1986). Risiko i vegkryss. Dokumentasjonsrapport. Rapport STF63 A86011. Trondheim, SINTEF Samferdselsteknikk.
- Vodahl, S. B. & Johannessen, S. (1977). Ulykkesfrekvenser i kryss. Arbeidsnotat nr 7. Resultater av før/etterundersøkelsen. Oppdragsrapport 178. Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, Forskningsgruppen, Institutt for samferdselsteknikk.
- Wang, X. & Abdel-Aty, M. (2006). Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 38(6), 1137-1150.
- Wang, X. & Abdel-Aty, M. (2008). Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1674-1682.
- Wang, X., Abdel-Aty, M. & Brady, P. A. (2006). Crash estimation at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1953, 10-20.
- Wanty, D. K. & Wilkie, S. M. (2010). Trialling pedestrian countdown timers at traffic signals December 2010. NZ Transport Agency Research Report 428. Wellington, New Zealand.
- Wong, S. C., Sze, N. N. & Li, Y. C. (2007). Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1107-1113.
- Wu, C-S.; Lee, C. E.; Machemehl, R. B. & Williams, J.(1982). Effects of Multiple-Point Detectors on Delay and Accidents. *Transportation Research Record*, 881, 1-9.

- Wu, Z., Sharma, A., Mannering, F. L. & Wang, S. (2013). Safety impacts of signal-warning flashers and speed control at high-speed signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 54, 90-98.
- Xie, K., Wang, X., Huang, H. & Chen, X. (2013). Corridor-level signalized intersection safety analysis in shanghai, china using bayesian hierarchical models. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 25-33.
- Yan, X. (2005). Safety issues of red-light running and unprotected left-turn at signalized intersections. Dissertation submitted to the Department of Civil and Environmental Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida. Orlando, Florida.
- Young, T. E. (1967). New Traffic Signals. Their Effect on Street Utilization. In Highway Research Board, Special Report 93, Improved Street Utilization Through Traffic Engineering, 84-95. Washington DC, Highway Research Board.
- Zador, P.; Moshman, J. & Marcus, L. (1982). Adoption of right turn on red: effects on crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 14, 219-234.
- Zhang, W. & Olarte, R. (2012). Operational evaluation of detection-control system, a dilemma zone protection technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 3307-3316.