

# Evaluering af effekter af rundkørsler med forskellig udformning

Del 2



Søren Underlien Jensen

April 2013

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Titel:</b> Evaluering af effekter af rundkørsler med forskellig udformning – Del 2</p> <p><b>Forfatter(e):</b> Søren Underlien Jensen</p> <p><b>Publiceringsdato:</b> 17. april 2013</p> <p><b>Sprog:</b> Dansk</p> <p><b>Antal sider:</b> 116</p> <p><b>Rekvirent/finansiel kilde:</b> Vejdirektoratet</p> <p><b>Projekt:</b> Evaluering af effekter af rundkørsler med forskellig udformning</p> <p><b>Kvalitetssikring:</b> Poul Greibe</p> <p><b>Emneord:</b> Trafiksikkerhed, rundkørsel, evaluering</p> <p><b>Resumé:</b></p> <p>Rapporten indeholder et litteraturstudie, en detaljeret før-efter uheldsevaluering og modeller for sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler.</p> <p>Litteraturstudiet finder på tværs af 18 tidligere før-efter uheldsevalueringer, at ombygninger af kryds til rundkørsler forebygger 58% af personskadeuheldene og 24% af materielskadeuheldene.</p> <p>Den detaljerede før-efter uheldsevaluering viser, at de gunstige sikkerhedseffekter især skyldes færre flerpartsuheld kun med motorkøretøjer involveret. Designet af rundkørsler har stor betydning for de sikkerhedseffekter man opnår. Evalueringen viser, hvordan midterøens størrelse og højde, cirkulationsarealets bredde og udformning, design af sekundærheller, bredde af tilfarts- og frafartsspor, vinkel og afstand mellem vejgrene, oversigt før rundkørsel, cykelfaciliteter, forvarsling, vejvisning og afmærkning påvirker sikkerhedseffekterne.</p> <p>Modellerne viser, at den væsentligste variabel for sikkerhedseffekternes størrelse er hastighedsbegrænsningen på veje hen til rundkørslen. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er effekterne af at bygge kryds om til rundkørsler.</p> | <p><b>Title:</b> Safety evaluation of conversions to roundabouts of varying design – Part II</p> <p><b>Author(s):</b> Søren Underlien Jensen</p> <p><b>Report date:</b> 17 April 2013</p> <p><b>Language:</b> Danish</p> <p><b>No. of pages:</b> 116</p> <p><b>Client/financial source:</b> Road Directorate</p> <p><b>Project:</b> Safety evaluation of conversions to roundabouts of varying design</p> <p><b>Quality management:</b> Poul Greibe</p> <p><b>Key words:</b> Road safety, roundabout, evaluation</p> <p><b>Abstract:</b></p> <p>The report includes a literature study, a detailed before-after safety evaluation and models of safety effects of conversions of intersections to roundabouts.</p> <p>The literature study finds based on 18 before-after safety evaluations that conversions of intersections to roundabouts prevent 58% of injury crashes and 24% of property-damage-only crashes.</p> <p>The detailed before-after safety evaluation shows that the good safety effects primarily are due to fewer multivehicle crashes without pedestrian and two-wheelers involved. The design of roundabouts has significant influence on safety effects. The evaluation shows how central island size and height, circulating lane width and shape, design of splitter islands, width of entry and exit lanes, angle and distance between arms, sight to the roundabout, bicycle facilities, pre-warning, direction signage and marking influence safety effects.</p> <p>Models for safety effects shows that the most important variable is the speed limit on the roads going into the roundabout. As speed limit increase the safety effects of converting intersections to roundabouts become better.</p> |
| <p>Rapporten kan hentes fra <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Ved gengivelse af materiale fra publikationen skal fuldstændig kildeangivelse udføres.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>The report can be acquired from <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Reprinting material from this publication must include a complete reference to original source.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

# Indhold

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammenfatning .....</b>                                                   | <b>5</b>  |
| <b>1. Introduktion .....</b>                                                 | <b>15</b> |
| 1.1 Evalueringens indhold .....                                              | 15        |
| 1.2 Definition af rundkørsler .....                                          | 16        |
| <b>2. Litteraturstudie .....</b>                                             | <b>19</b> |
| 2.1 Effekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler .....                  | 20        |
| 2.2 Effekter af rundkørselsdesign .....                                      | 25        |
| 2.2.1 Midterø .....                                                          | 25        |
| 2.2.2 Cirkulations- og overkørselsarealer samt shunts .....                  | 26        |
| 2.2.3 Tilfartsspor, heller, oversigtsforhold, hastighed, forsætning mv. .... | 27        |
| 2.2.4 Gang- og cykelfaciliteter .....                                        | 29        |
| <b>3. Datagrundlag og metode .....</b>                                       | <b>31</b> |
| 3.1 Metode .....                                                             | 31        |
| 3.2 Datagrundlag .....                                                       | 33        |
| <b>4. Overordnede sikkerhedseffekter .....</b>                               | <b>37</b> |
| 4.1 Alder, køn og selebrug .....                                             | 38        |
| 4.2 Partskombination .....                                                   | 39        |
| 4.3 Uheldstidspunkt og -vej .....                                            | 39        |
| 4.4 Uheldsomkostninger .....                                                 | 41        |
| <b>5. Trafikmængdens betydning .....</b>                                     | <b>43</b> |
| 5.1 Rundkørsler med trafiktal .....                                          | 43        |
| 5.2 Sikkerhedseffekt og samlet indkørende trafikmængde .....                 | 44        |
| 5.3 Sikkerhedseffekt og indkørende trafik fra hoved- og sideveje .....       | 46        |
| <b>6. Rundkørselsgeometriens betydning .....</b>                             | <b>47</b> |
| 6.1 Type af rundkørsel .....                                                 | 47        |
| 6.2 Midterø og overkørselsareal .....                                        | 48        |
| 6.3 Cirkulationsareal og cykelbane .....                                     | 49        |
| 6.4 Sekundærheller, bredde af til- og frafartsspor .....                     | 52        |
| 6.5 Vinkel og afstand mellem vejgrene .....                                  | 54        |
| 6.6 Indskreven cirkeldiameter, forsætning og geometriske relationer .....    | 56        |
| <b>7. Oversigt, forvarsling og afmærkning .....</b>                          | <b>63</b> |
| 7.1 Midterøens højde og udseende .....                                       | 63        |
| 7.2 Oversigt før rundkørsel .....                                            | 67        |
| 7.3 Forvarsling og vejvisning .....                                          | 69        |
| 7.4 Kant- og midtlinjer .....                                                | 73        |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8. Cykelfaciliteter i og før rundkørsler .....</b>      | <b>75</b>  |
| 8.1 Cykelfaciliteter i rundkørsler .....                   | 75         |
| 8.2 Cykelfaciliteter før rundkørsler .....                 | 79         |
| <b>9. Eneuheld, sprituheld og mørkeuheld .....</b>         | <b>83</b>  |
| 9.1 Sikkerhedseffekter og overlap .....                    | 83         |
| 9.2 Sikkerhedseffekter på eneuheld og flerpartsuheld ..... | 84         |
| <b>10. Modeller for sikkerhedseffekter .....</b>           | <b>89</b>  |
| 10.1 Indledning .....                                      | 89         |
| 10.1.1 Variable for krydsdesign .....                      | 94         |
| 10.1.2 Variable for rundkørselsdesign .....                | 96         |
| 10.1.3 Variable for lokalisering .....                     | 100        |
| 10.2 Modeller for sikkerhedseffekter på uheld .....        | 102        |
| 10.3 Modeller for sikkerhedseffekter på personskader ..... | 104        |
| <b>11. Konklusion .....</b>                                | <b>107</b> |
| <b>Referencer .....</b>                                    | <b>113</b> |

## Sammenfatning

Trafitec har af Vejdirektoratet fået stillet til opgave at evaluere sikkerhedsmæssige effekter af rundkørsler med forskellig udformning. Rapporten indeholder dels et litteraturstudie af sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler og sikkerheden ved forskellige rundkørselsdesign, dels en detaljeret før-efter uhelds-evaluering af 332 ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark samt dels modeller for sikkerhedseffekter af de 332 ombygninger.

I den systematiske del af litteraturstudiet er anvendt meta-analyse til kombination af sikkerhedseffekter fundet i forskellige tidligere studier. I før-efter uheldsevalueringen er sikkerhedseffekter estimeret ved at korrigere for generelle udviklinger i trafiksikkerheden samt tilfældige ophobninger af uheld og personskader.

Sikkerhedseffekter beskriver forskelle i antallet af uheld, der er observeret i en periode efter kryds er bygget om til rundkørsler, og et forventet antal uheld, der ville være sket i den samme periode, hvis ombygningen ikke var udført. En effekt på ”-30%” svarer til, at ombygninger har resulteret i et fald i antallet af uheld eller personskader på 30%.

Den detaljerede før-efter uheldsevaluering er en videre analyse af en tidligere dansk evaluering af Jensen (2012) med tilføjelse af nye data og kvalitetssikring af data om rundkørselsdesign. Nye data indbefatter oplysninger om trafikmængder, oversigt før rundkørsel og bredder af til- og frararter. Kvalitetssikringen har medført opretning af en del fejl, unøjagtigheder og manglende oplysninger, herunder type af rundkørsel, cykelfacilitet og sekundærhelle, forekomst af forvarsling og vejvisning, højde af midterø samt længde af forsætning og forsætningsstrækning.

### Litteraturstudie

Ud fra i alt 18 før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opgøre de overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler, se tabellen herunder.

| Antal studier | Type af uheld/personskade | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|---------------|---------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 18            | Alle uheld                | -42%   | -48% ; -36%           | Nej      |
| 3             | Dødsuheld                 | -80%   | -92% ; -49%           | Ja       |
| 17            | Personskadeuheld          | -58%   | -65% ; -50%           | Nej      |
| 10            | Materielskadeuheld        | -24%   | -33% ; -13%           | Nej      |
| 5             | Alle personskader         | -62%   | -67% ; -56%           | Ja       |
| 5             | Dræbte                    | -87%   | -96% ; -61%           | Ja       |
| 5             | Alvorlige skader          | -61%   | -69% ; -51%           | Ja       |
| 4             | Lette skader              | -60%   | -67% ; -51%           | Ja       |

*Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler fundet via meta-analyse af 18 før-efter uheldsevalueringer.*

Tabellen viser, at ombygninger af kryds til rundkørsler reducerer antallet og alvorligheden af uheld. Alle effekter er statistisk signifikante og bredder af konfidensintervaller er relativt beskeden. Nogle effekter er ikke homogene, da effekterne fundet i de enkelte studier er for forskellige. Det synes at skyldes, at de studerede kryds og rundkørsler samt deres lokalisering er forskellige. Eksempelvis indgår kun ombygninger fra vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler på landet i et studie, mens et andet alene ser på ombygninger af signalregulerede kryds til rundkørsler i byer. Der er dog fundet sikkerhedsmæssige gevinster af ombygninger af kryds til rundkørsler i samtlige 18 studier. Sikkerhedseffekterne på kort sigt i det første og andet år efter ombygning fra kryds til rundkørsel er 12-13 procentpoint dårligere end i de efterfølgende år.

Ombygninger af kryds til rundkørsler forebygger venstresvingsuheld og tværkollisioner, mens eneuheld, bagendekollisioner, højresvingsuheld og mødeuheld stiger i antal. Sikkerhedseffekterne er væsentligt dårligere i mørke end i dagslys. Seks studier angiver effekter på cykeluheld og cyklisters personskader. De viser en stigning i cykeluheld på 38% og en stigning på 20% i cyklisters personskader som følge af ombygninger af kryds til rundkørsler.

Ti studier angiver effekter opdelt på by og land. I byer ses fald på 21% og 54% i hhv. uheld og personskader, mens der på landet ses effekter på 55% og 81%. Det giver således bedre sikkerhedseffekter at bygge kryds om til rundkørsler på landet end i byer, hvilket i hovedtræk synes at skyldes, at hastighedsbegrænsningen er højest på landet. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er de sikkerhedsmæssige effekter.

Studierne viser, at der opnås bedre sikkerhedseffekter ved ombygning af firevejskryds til rundkørsler end ved ombygning af T-kryds. Der opnås bedre effekter ved ombygning af vigepligtsregulerede kryds end ved ombygning af signalregulerede kryds. Der opnås bedre effekter ved ombygning af kryds til 1-sporede rundkørsler end ved ombygning til flersporede rundkørsler. De hollandske flersporede turbo-rundkørsler forekommer dog at give lige så gode sikkerhedseffekter på landet som 1-sporede rundkørsler.

Et stort antal studier er gennemgået for at erfare rundkørselsdesignets betydning for sikkerheden. Studierne tyder på, at rundkørsler med midterø diameter på 10-35 m fungerer sikkerhedsmæssigt bedre end mindre eller større rundkørsler. Midterøens højde synes at have en stor betydning for sikkerheden, idet rundkørsler med så høje midterøer, hvor trafikanter på den anden side ikke kan ses, er langt sikrere end rundkørsler med lavere midterøer. Brede cirkulationsspor synes at resultere i dårligere sikkerhed end smalle cirkulationsspor. Sikkerheden synes at blive bedre jo længere afstanden er mellem to vejgrene. Tangentielle tilfarter synes at være sikrere end radiale, dvs. trekants- og trompetheller er mere sikre end parallelheller og tilfarter uden sekundærheller. God oversigt med oversigt mere end 15 m før rundkørslen synes at være forbundet med dårligere sikkerhed end ved dårlig oversigt før rundkørslen. En rimelig forsætning på omkring 2 m eller mere synes at

give en bedre sikkerhed end ved mindre forsætning. Cyklisteres sikkerhed synes at være dårligst med cykelbane og/eller farvede cykelfaciliteter i rundkørslen, mens en separat sti, hvor cyklister skal vige for biler ved krydsning af vejgrene eller hvor cyklister er ført i tunnel under vejgrene, synes at give den bedste sikkerhed. Rundkørsler uden cykelfacilitet eller med cykelsti synes at give en middelmådig sikkerhed for cyklister.

### Detaljeret før-efter uheldsevaluering

Den tidligere danske før-efter uheldsevaluering af Jensen (2012) som nærværende detaljerede før-efter uheldsevaluering bygger videre på fandt følgende overordnede sikkerhedseffekter:

| Type af uheld og personskade  | Før   | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|-------------------------------|-------|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| Personskadeuheld              | 738   | 371       | 195   | -47%   | Ja           | Nej      |
| Materielskadeuheld            | 820   | 515       | 366   | -29%   | Ja           | Nej      |
| Ekstrauehld                   | 171   | 165       | 207   | +25%   | Ja           | Ja       |
| Alle uheld                    | 1.729 | 1.051     | 768   | -27%   | Ja           | Nej      |
| Alle uheld ekskl. ekstrauehld | 1.558 | 886       | 561   | -37%   | Ja           | Nej      |
| Dræbte                        | 54    | 23        | 3     | -87%   | Ja           | Ja       |
| Alvorlige skader              | 435   | 211       | 88    | -58%   | Ja           | Nej      |
| Lette skader                  | 622   | 304       | 126   | -59%   | Ja           | Nej      |
| Alle personskader             | 1.111 | 538       | 217   | -60%   | Ja           | Nej      |

*Overordnede sikkerhedseffekter af 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler i Danmark år 1995-2009.*

Tabellen viser, at ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark har medført et fald i uheld og personskader på hhv. 27% og 60%. I det følgende fokuseres på de nye resultater, som den detaljerede evaluering har givet.

Børn under 15 år og ældre over 64 år har opnået de største procentuelle fald i antal personskader som følge af ombygningerne. Det procentuelle fald i personskader er nogenlunde ens blandt mænd og kvinder. De gunstige sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler skyldes især færre flerpartsuheld kun med motorkøretøjer (personbiler, varebiler, busser og lastbiler) involveret. Sikkerhedseffekterne er bedst i dagslys tirsdag-fredag. Sikkerhedseffekterne bliver stadig ringere, jo dårligere kørselsforholdene er, dvs. er dårligst i glat føre, i mørke, med nedsat sigt og i snevejr. De 332 ombygninger har reduceret uheldsomkostningerne med 209 mio. kr. pr. år (2010-priser). Ud fra en samfundsøkonomisk vurdering har ombygningerne ved 40-50 km/t set under ét ikke været en god investering, mens ombygninger ved højere hastighedsbegrænsninger har været en gevinst.

Sikkerhedseffekten på uheld synes at blive dårligere, jo mere trafik der kører ind i rundkørslen. Sikkerhedseffekter på uheld og personskader synes at blive dårligere i byzone, jo større en andel af den samlede indkørende trafik som hovedvejen bærer, dog kun når den samlede indkørende trafik er under 10.000 biler pr. døgn.

Sikkerhedseffekterne bliver bedre, jo højere hastighedsbegrænsningen er, særligt ved ombygninger til 1-sporede rundkørsler. Ombygninger til minirundkørsler, 1-sporede rundkørsler med 3 vejgrene ved lave hastighedsbegrænsninger samt fler-sporede rundkørsler med 3 vejgrene har medført dårlige sikkerhedseffekter. Ombygninger til rundkørsler med en samlet diameter for midterø og overkørselsareal på 20-40 m synes at have givet de bedste sikkerhedseffekter.

Flersporede rundkørsler med en fysisk indsnævring af cirkulationsarealet ud for en eller flere vejgrenes midtlinjer har medført bedre sikkerhedseffekter end fler-sporede rundkørsler uden fysisk indsnævring. Det forekommer uklart, hvilken selvstændige betydning bredden af cirkulationsarealet har for sikkerhedseffekter i rundkørsler med et cirkulationsspor. Ser man derimod cirkulationsarealets bredde i sammenhæng med midterøens størrelse, synes 1-sporede rundkørsler med en indskreven cirkeldiameter, der er 1,3-1,5 gange større end den samlede diameter for midterø og overkørselsareal, at medføre de bedste sikkerhedseffekter.

Ombygninger til rundkørsler med parallelheller i byzone synes at give dårligere effekter end når andre typer af sekundærheller anvendes. Sikkerhedseffekterne bliver bedre, jo større forsætningen er, når der forefindes sekundærheller. 3,4-4,3 m brede tilfartsspor og 3,8-4,7 m brede frafartsspor i rundkørsler synes at medføre bedre sikkerhedseffekter end når disse spor er smallere eller bredere.

Antallet af vejgrene i rundkørsler forekommer ikke at være særlig betydningsfuld for sikkerhedseffekterne. Derimod er vinklen og afstanden mellem vejgrenene af en vis betydning. Sikkerhedseffekter er bedst, når forskellen mellem største og mindste vinkel mellem hosliggende vejgrenes midtlinjer er beskeden. Afstanden mellem vejgrene skal helst være 20 m eller mere.

Midterøens højde på midten har betydning for sikkerhedseffekter i 1-sporede rundkørsler. Når højden er 2 m eller mere kan man ikke se trafikanter på den modsatte side af midterøen, og det synes at medføre, at der sker færre uheld mellem cirkulerende og hhv. ind- og udkørende trafikanter. Sikkerhedseffekter på uheld og personskader er således ca. dobbelt så gode ved 1-sporede rundkørsler med høje midterøer end med lave midterøer. Trafikanter vænner sig hurtigt til rundkørsler med høje midterøer, mens det tager lang tid at vænne sig til de lave midterøer, hvilket resulterer i mange ulykker lige efter ombygningen. Rundkørsler med lave midterøer har derfor relativt dårlige sikkerhedseffekter på kort sigt, som så bliver bedre som tiden går.

I rundkørsler med ét cirkulationsspor i byer er sikkerhedseffekterne dårlige, hvis trafikanterne på vej hen til rundkørslen opnår oversigt til cirkulationsarealet og vejgrene til venstre omkring 20-35 m før vigelinjen. Det giver bedre effekter at opnå denne oversigt enten omkring 10-15 m eller 40-100 m før vigelinjen.

I 1-sporede rundkørsler opnås bedre sikkerhedseffekter, jo flere forvarslinger og vejvisninger der er pr. tilfart både i byer og på landet, mens én tavle pr. tilfart sy-



nes at give de bedste effekter i minirundkørsler. Rundkørsler med kantlinjer ved midterøen og evt. ved ydre begrænsning synes at give bedre sikkerhedseffekter end når sådanne kantlinjer ikke er afmærket.

Cykelbaner og farvede cykelfaciliteter i rundkørsler medfører dårlige sikkerhedseffekter for cyklister, og farvede cykelfaciliteter i rundkørsler i byer resulterer samtidig i dårlige effekter for andre trafikanter. Separate stier ved rundkørsler, hvor cyklister skal vige for motorkøretøjer ved krydsning af vejgrene, medfører de bedste sikkerhedseffekter for cyklister. Den separate sti kan med fordel krydse mindre end 10 m fra den ydre begrænsning i rundkørslen. Midterøens højde på midten i 1-sporede rundkørsler har en meget stor indvirkning på sikkerhedseffekter for cyklister. De høje midterøer på 2 m eller mere er meget sikrere for cyklister end lave midterøer.

Baggrunden for, at effekterne på sprituheld og uheld i mørke ved ombygning af kryds til rundkørsler er dårlige, er, at effekter på eneuheld er dårlige. Et forholdsvis gennemgående træk er, at når sikkerhedseffekter på eneuheld er meget dårlige, så er sikkerhedseffekter på flerpartsuheld ofte meget gode. Og omvendt mindre procentuelle stigninger i eneuheld er ofte sammenfaldende med mindre procentuelle fald i flerpartsuheld. Det gennemgående træk er dog ikke til stede, når man ser på bredde af til- og frafarter. Her er effekter på både eneuheld og flerpartsuheld gode, når til- og frafart er hhv. omkring 3,6 og 4,0 m bredt.

## Modeller for sikkerhedseffekter

Effekterne på uheld og personskader ved de 332 ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark er i hovedtræk ikke homogene og kan ikke generaliseres. Det skyldes, at spredningen i effekter mellem stederne er større end den tilfældige variation i uheldsforekomsten. Der eksisterer derfor systematiske variationer i sikkerhedseffekterne. De systematiske variationer er forsøgt modelleret.

Modelleringsresultater viser, at den mest betydningsfulde variabel for sikkerhedseffekter på både uheld og personskader er den højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørslen. I tabellen nedenfor er de variable, der forekommer at være de mest betydningsfulde, vist rangordnet efter signifikansniveau.

| Signifikante variabler for effekter på uheld   | Signifikante variable for effekter på personskader |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1. Højeste hastighedsbegrænsning               | 1. Højeste hastighedsbegrænsning                   |
| 2. Diameter for midterø og overkørselsareal    | 2. Forekomst af enkeltrettede cykelstier           |
| 3. Forekomst af enkeltrettede cykelstier       | 3. Midterøens diameter                             |
| 4. Længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel | 4. Længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel     |
| 5. Fordeling af uheld på typer i kryds         | 5. Andel af personskader blandt cyklister i kryds  |
| 6. Bredde af frafarter i rundkørsler           | 6. Højde af midterø på midten                      |
| 7. Forekomst af shunts i rundkørsler           | 7. Forekomst af dobbeltrettede cykelstier i kryds  |
| 8. Forekomst af svingspor i kryds              | 8. Forekomst af shunts i rundkørsel                |

*De mest betydningsfulde variable for effekter rangordnet efter signifikans.*

Af tabellen ses, at designet af kryds har beskeden betydning, da kun forekomsten af svingspor i kryds kan forringe effekten på uheld, mens forekomsten af dobbeltrettede cykelstier på veje hen til kryds kan forringe effekten på personskader. Fordelingen af de uheld og personskader, der er sket i krydset, har en del betydning. Jo højere en andel højresvingsuheld eller cyklister personskader udgør af alle uheld og personskader, desto ringere bliver effekterne.

Designet af rundkørsler ser ud til at have en langt større betydning for sikkerhedseffekterne end designet af krydsene. Der er forholdsvis mange variable, der er betydningsfulde. Forekomst af enkeltrettede cykelstier på veje hen til rundkørslen forringer effekter på uheld og personskader. Effekterne er bedst, når diameteren for midterø (og overkørselsareal) er under 40 m, og i øvrigt når den indskrevne diameter er ca. 1,3-1,5 gange større end diameteren for midterøen og overkørselsareal. Effekterne er bedst, når frafarter er 3,8-4,3 m brede og når tilfarter er 0,4 m smallere end frafarter. Effekten på personskader er bedst, når midterøen er 2 m eller højere. Forekomst af shunts forbedrer effekter på både uheld og personskader. Derudover har længdeafmærkning på veje hen til rundkørsler vist sig at have en signifikant betydning.

Udover de viste variable i tabellen ovenfor ser det ud til, at trafikmængden og vejbestyrer for ombygning (stat, amt, kommune) kan have en vis betydning for effekten på uheld, mens reguleringsform af kryds (signal, ej signal) kan have en vis betydning for effekten på personskader.

## **Designet af rundkørsler**

I det følgende gives korte beskrivelser af det design, som forekommer at være det sikreste, for minirundkørsler, 1-sporede og flersporede rundkørsler. Det er ikke muligt at sige noget specifikt om designets betydning for sikkerheden i de signalregulerede rundkørsler.

Generelt for rundkørsler kan man sige, at belysning synes at forbedre sikkerheden i mørke. Antallet af vejgrene synes ikke at have stor betydning i landzone, men er af væsentlig betydning i byzone, hvor hastighedsbegrænsningen er lav. Vinkler mellem vejgrenes midtlinjer er også væsentlig. Jo større forskellen er mellem den største og mindste vinkel i en rundkørsel, desto dårligere er sikkerheden og de sikkerhedsmæssige effekter ved ombygning af kryds til rundkørsler.

### Minirundkørsler

Cirkulationsarealet skal helst være 5-6 m bredt. Minirundkørsler uden sekundærheller forekommer sikrest, og parallelheller må frarådes. Forsætningen skal helst være under 4 m, når der ikke er sekundærheller. Tilfarts- og frafartsspor skal helst være hhv. 3,4-4,3 m og 3,5-4,7 m brede. Den indskrevne diameter skal gerne være 2-4 gange større end midterøens diameter, så midterøen skal være i størrelsesordenen 4-9 m i diameter. Cykelbaner og især farvede cykelbaner må frarådes i mini-

rundkørsler, der synes at være sikrest uden cykelfaciliteter. Disse forhold er angivet på luftfotoet af en minirundkørsel nedenfor.



*Sikre mål for til- og frafartsspor, cirkulationsspor og midterø samt sikre typer af sekundærhelle og cykelfacilitet i minirundkørsler.*

Oversigt til minirundkørslen skal helst opnås 10-15 m eller mere end 40 m før vigelinjen. Det forekommer sikrest at forvarsle minirundkørslen med én tavle i hver tilfart omkring 20-50 m før vigelinjen. Der skal helst ikke køre mere end ca. 5.000 biler pr. døgn ind i en minirundkørsel, idet uheldsfrekvensen stiger med stigende trafikmængde.

### 1-sporede rundkørsler

En samlet diameter for midterø og overkørselsareal på 20-40 m forekommer at være sikrest. Sikkerheden bliver bedre ved, at der afmærkes en kantlinje ind mod midterøen / overkørselsarealet. Cirkulationsarealets bredde skal helst være ca. 0,15-0,25 gange den samlede diameter for midterø og overkørselsareal, altså omkring 5-8 m. I byzone synes trekantsheller at være sikrest, mens parallelheller må frarådes. Tilfartsspor på 3,4-4,3 m og frafartsspor på 3,8-4,7 m synes at give den bedste sikkerhed. Det synes at være sikrest med separate stier, hvor cyklister er pålagt vigepligt for trafik på vejgrene, eller stier i tunneler (to-plan). Cykelbaner og farvede cykelfaciliteter må frarådes. Disse forhold er angivet på luftfotoet af en 1-sporet rundkørsel på næste side.



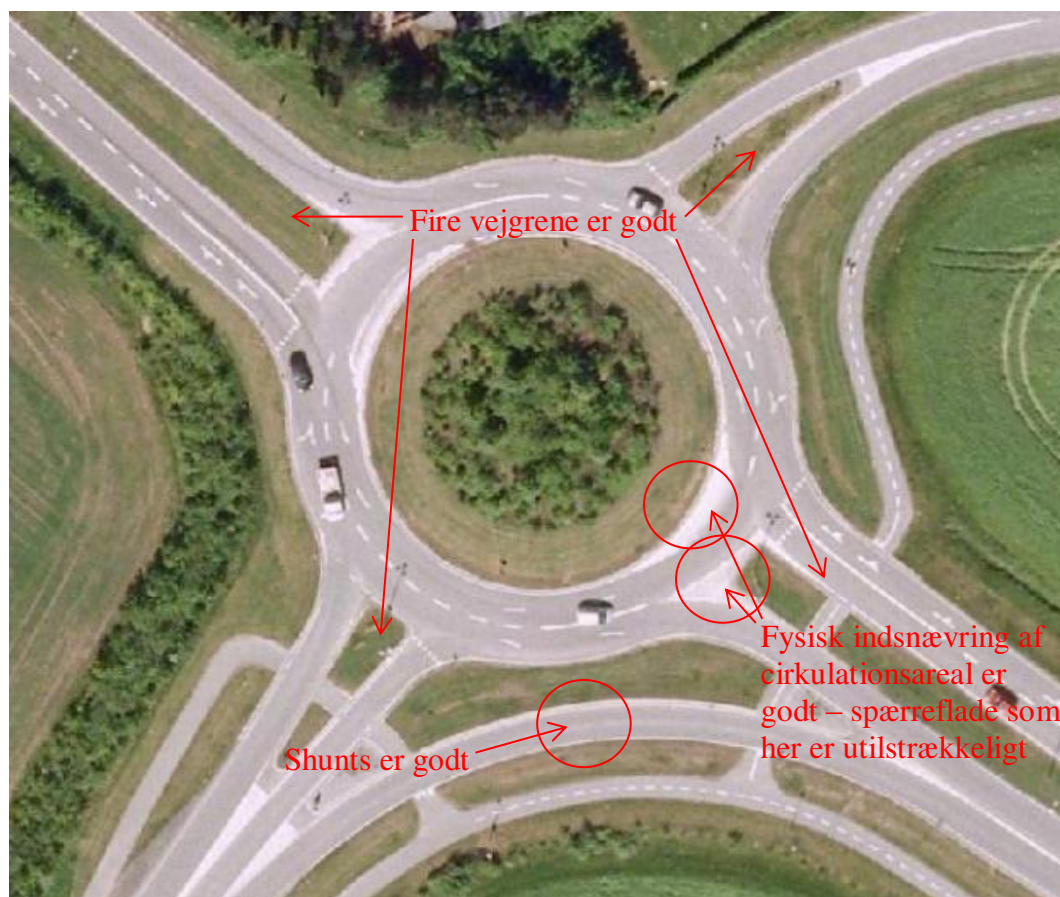
*Sikre mål for til- og frafartsspor, cirkulationsspor og midterø samt sikre typer af kantlinje, sekundærhelle og cykelfacilitet i 1-sporede rundkørsler.*

Midterøen skal helst være 2 m eller højere på midten i 1-sporede rundkørsler, så man ikke kan se trafikanten på modsatte side af midterøen. 1-sporede rundkørsler med tre vejgrene ved 40-50 km/t hastighedsbegrænsning kan ikke anbefales, mens 1-sporede rundkørsler ved højere hastighedsbegrænsninger eller med flere vejgrene giver god sikkerhed. Oversigt til 1-sporede rundkørsler i byzone skal helst opnå 10-15 m eller mere end 40 m før vigelinjen, mens oversigten i landzone helst skal opnå mere end 40 m fra vigelinjen. Det forekommer sikrest at forvarsle de 1-sporede rundkørsler med en og gerne flere tavler / afmærkninger på belægning i hver tilfart, hvor den første varslingsbør placeres mere end 100 m før vigelinjen. En varslingsbør kan også være vejvisning i form af en orienteringsdiagramtavle.

#### Flersporede rundkørsler

Fire vejgrene i flersporede rundkørsler synes at være sikkerhedsmæssigt optimalt, men tre vejgrene er noget skidt. Det er især udformning af cirkulerende spor, der

er af sikkerhedsmæssig betydning. Cirkulationsarealet skal helst være fysisk indsnævret ved sekundærhellen, når vejgrene har et tvunget frafartsspor. Shunts forbedrer sikkerheden i flersporede rundkørsler. Disse forhold er angivet på luftfotoet af en flersporet rundkørsel nedenfor.



*Sikre forhold ved flersporede rundkørsler.*



# 1. Introduktion

Trafitec har af Vejdirektoratet fået stillet til opgave at evaluere sikkerhedsmæssige effekter af rundkørsler med forskellig udformning. Opgaven er delt op i to. I del 1 blev et litteraturstudie udført, identificeret manglende viden og beskrevet metode, datagrundlag og indholdsfortegnelse for en ny evaluering. Del 2 er evalueringen af effekter af rundkørsler med forskellig udformning. I nærværende rapport findes resultaterne af litteraturstudie og evalueringen. Evalueringen er grundlæggende baseret på data fra en tidligere før-efter uheldsevaluering af 332 ombygninger af kryds til rundkørsler, som Trafitec publicerede i 2012, samt på nye data om bredde af til- og frafarter, oversigtsforhold og trafikmængder i de 332 rundkørsler.

## 1.1 Evalueringens indhold

I evalueringen opgøres sikkerhedsmæssige effekter, hvormed menes de effekter på uheld og personskader, der skyldes, at kryds bygges om til rundkørsler. I første omgang beskrives de *overordnede sikkerhedseffekter* af ombygningerne bl.a. med hensyn til effekter for opdelt på aldersgrupper, køn, partskombinationer, klokkeslæt, vejr og føre. Der opgøres også effekter på uheldsomkostninger.

Sikkerhedseffekterne varierer fra ombygning til ombygning. Dette kan skyldes en række forskellige forhold bl.a.:

- Lokalisering, hastighedsgrænse, trafikmængde og uheldssammensætning.
- Krydsets design og regulering før ombygning.
- Rundkørselens design og regulering efter ombygning.

Evalueringen søger at forklare, hvorfor sikkerhedseffekter varierer fra ombygning til ombygning. Denne forklaring gives bl.a. i rapportens sidste kapitel *modeller for sikkerhedseffekter*, hvor statistisk signifikante forhold indgår. Evalueringen har desuden fokus på en række forhold af særlig interesse:

- *Trafikmængdens betydning*, herunder betydningen af fx den samlede mængde af indkørende trafik og dennes fordeling på vejgrene på sikkerhedseffekter.
- *Rundkørselsgeometriens betydning*, herunder betydningen af fx diameter for midterø og indskreven cirkel, bredde af overkørsels- og cirkulationsarealer, bredde af til- og frafarter, vinkel og afstand mellem vejgrene, type af sekundærheller samt forsætning og forsætningsstrækning.
- *Oversigt, forvarsling og afmærkning*, herunder betydningen af midterøens højde og oversigt før rundkørslen for sikkerhedseffekter samt indflydelsen fra advarsels-, vigepligts- og orienteringsdiagramtavler samt længdeafmærkning (kant- og midtlinjer på vejgrene og ved cirkulationsareal).



- *Cykelfaciliteter i og før rundkørsler*, herunder fx betydningen af forskellige typer af cykelfaciliteter i og hen mod rundkørsler for sikkerhedseffekter, og samspillet mellem typer af cykelfaciliteter og andre forhold.
- *Eneuheld, sprituheld og mørkeuheld*, herunder fx sikkerhedseffekter for disse uheldstyper og hvordan diverse forhold påvirker netop disse uheld.

## 1.2 Definition af rundkørsler

Ifølge de gældende danske vejregler er en rundkørsel et sted, hvor et antal vejgrene er tilsluttet en ensrettet kørebane anlagt om en midterø. Endvidere gælder for ikke-signalregulerede rundkørsler, at køretøjer har ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.



**Figur 1.** Et rundkørselslignende færdselsareal, men det er ikke en rundkørsel.

Figur 1 viser et rundkørselslignende færdselsareal, men den cirkulerende kørebane rundt om midterøen er ikke ensrettet. Der er heller ikke afmærket nogen form for vigepligt og der forefindes ikke en overkørsel, der medfører ubetinget vigepligt. Juridisk set er cirkulationsarealet dobbeltrettet for alle trafikanter i figur 1, og der er højrevigepligt i krydset mellem cirkulationsareal og vejgren. Figur 1 viser derfor et sted, der *ikke* er en rundkørsel.

I international sammenhæng betegnes rundkørsler, der opfylder definitionen for rundkørsler, som moderne rundkørsler – ”modern roundabouts”. Før i tiden var rundkørsler benævnt ”traffic circles”, hvilket er udtryk for et areal som i figur 1, hvor cirkulerende trafikanter skal vige for indkørende. Der indgår ikke resultater om traffic circles i nærværende rapport.



I Danmark er ensretningen i minirundkørsler, hvor midterøen er overkørbar, afmærket med påbudstavle D12 ved vigelinjen. Ensretningen afmærkes med påbudstavle D11.3 på den ikke overkørbare midterø i andre rundkørsler.

Rundkørsler er inddelt efter fire hovedtyper:

- Minirundkørsel: En minirundkørsel har en overkørbar befæstet midterø. Der er ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- 1-sporet almindelig rundkørsel: Rundkørslen har ét cirkulationsspor. Midterøen er ikke overkørbar. Der er ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- Flersporet rundkørsel: Rundkørslen har mere end ét cirkulationsspor enten hele vejen rundt eller noget af vejen rundt. Midterøen er ikke overkørbar. Der er ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- Signalreguleret rundkørsel: Ved indkørsel til cirkulationsarealet er der stopstreg og indkørslen er signalreguleret. Midterøen er ikke overkørbar.

Veje hen til rundkørsler kaldes for vejgrene. Både ensrettede og dobbeltrettede veje til og fra rundkørslen tæller som vejgrene, når antallet herfor opgøres.



## 2. Litteraturstudie

I det følgende gives en syntese af tilgængelig litteratur om rundkørsler og trafik-sikkerhed. Syntesen beskriver dels de trafiksikkerhedsmæssige konsekvenser af at ombygge kryds til rundkørsler dels betydningen af rundkørslers design for trafik-sikkerheden.

Syntesen bygger primært på et systematisk litteraturstudie af Jensen og Madsen (2012), der er udført i projektet ”*Cyklisters sikkerhed i rundkørsler*” finansieret af Cykelpuljen. Heri er udarbejdet nye estimater for de trafiksikkerhedsmæssige konsekvenser af at ombygge kryds til rundkørsler på tværs af 18 tidligere før-efter uheldsevalueringer. Derudover er sikkerhedseffekter af cykelfaciliteter i rundkørsler estimeret på tværs af 4 tidligere studier. Estimeringen af sikkerhedseffekter er udført ved brug af meta-analyse, som er detaljeret beskrevet af Jensen og Madsen (2012). Litteraturstudiet af Jensen og Madsen indeholder tillige en opsamling af øvrig viden om rundkørselsdesignets betydning for trafiksikkerheden, dog uden at beregne nye estimater for sikkerhedseffekter.

I syntesen indgår tillige en nyere dansk før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til 332 rundkørsler, der også er del af nævnte Cykelpulje projekt (Jensen, 2012). Denne uheldsevaluering er indarbejdet i meta-analyserne, så der fås nye estimater for rundkørslers sikkerhedsmæssige betydning. Den nye danske uheldsevaluering er flere gange nævnt i syntesen. Endelig refereres yderligere to studier hhv. Campbell et al. (2012) og Martin (2005).

De nye estimater for sikkerhedseffekter er baseret på i alt 20 studier, der her er nummereret samt angivet med år for publicering og oprindelsesland:

1. Jørgensen (1991) Danmark
2. Jørgensen og Jørgensen (1992) Danmark
3. Jørgensen og Jørgensen (1994) Danmark
4. Brüde og Larsson (1996) Sverige
5. Montonen (2008) Finland
6. Minnen (1990) Holland
7. Schoon og Minnen (1993) Holland
8. Fortuijn (2005) Holland
9. Antoine (2005) Belgien
10. Brabander og Vereeck (2007) Belgien
11. Daniels et al. (2008) Belgien
12. Lalani (1975) Storbritannien
13. Green (1977) Storbritannien
14. Rodegerdts et al. (2007) USA
15. Gross et al. (2012) USA
16. Tudge (1990) Australien

17. Corben et al. (1990) Australien
18. Newstead og Corben (2001) Australien
19. Meuleners et al. (2005) Australien
20. Jensen (2012) Danmark

De nye estimater beskrives ved en sikkerhedsmæssig effekt (vægtet middeleffekt), som angives i procent, hvor -35% svarer til, at ombygningen medfører et fald på 35%, mens +10% svarer til en stigning på 10%. Effekten beskrives tillige med et 95% konfidensinterval, hvilket vil sige, at effekten med 95% sandsynlighed ligger indenfor det angivne interval. Endelig beskrives, om effekter er homogene. Hvis en effekt ikke er homogen skyldes det, at variationen i effekter mellem studier er større end den tilfældige variation.

## 2.1 Effekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler

Ud fra før-efter uheldsevalueringerne er det muligt at opgøre overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler, se tabel 1.

| Studie                 | Type af uheld/personskade | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|------------------------|---------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 1-3, 5-10, 12-20       | Alle uheld                | -42%   | -48% ; -36%           | Nej      |
| 7, 16, 20              | Dødsuheld                 | -80%   | -92% ; -49%           | Ja       |
| 1-3, 5, 7-10, 12-20    | Personskadeuheld          | -58%   | -65% ; -50%           | Nej      |
| 1-3, 7-8, 14-16, 19-20 | Materielskadeuheld        | -24%   | -33% ; -13%           | Nej      |
| 1, 3, 6-7, 20          | Alle personskader         | -62%   | -67% ; -56%           | Ja       |
| 2-3, 6-7, 20           | Dræbte                    | -87%   | -96% ; -61%           | Ja       |
| 2, 6-7, 12, 20         | Alvorlige skader          | -61%   | -69% ; -51%           | Ja       |
| 2, 6-7, 20             | Lette skader              | -60%   | -67% ; -51%           | Ja       |

**Tabel 1.** Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler.

Af tabel 1 ses, at ombygninger af kryds til rundkørsler reducerer antallet og alvorligheden af uheld. Alle effekter er statistisk signifikante og bredden af konfidensintervaller er relativt beskedne. Nogle effekter er ikke homogene, hvilket synes at skyldes, at de ombyggede kryds og rundkørsler er forskellige og er lokaliseret på forskellige steder. Eksempelvis ser en evaluering kun på ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler i landzone, mens der i en anden kun indgår ombygninger af signalregulerede kryds til rundkørsler i byer.

Sikkerhedseffekter i den nye danske før-efter uheldsevaluering (Jensen, 2012) ligger 0-15 procentpoint under de angivne effekter i tabel 1. Eksempelvis finder Jensen et fald på 27% i alle uheld og et fald i dræbte på 87%. Baggrunden for, at effekterne i Danmark er lidt lavere, kan forklares med mange cykeluheld og et risikabelt design for cyklister i mange danske rundkørsler.

Jensen (2012) viser, at de overordnede sikkerhedseffekter ikke kan generaliseres, da de ikke er homogene. Jensen dokumenterer, at variationen i sikkerhedseffekter mellem steder, der er ombygget fra kryds til rundkørsler i Danmark, i hovedtræk

skyldes, at effekten afhænger af hastighedsbegrænsninger på veje hen til krydset/ rundkørslen og sammensætningen af uheld i krydset før ombygningen. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er sikkerhedseffekten af at bygge kryds om til rundkørsler. Jo større en andel af uheldene i kryds, der er venstresvings- uheld og tværkollisioner, desto bedre er sikkerhedseffekten. Jo mindre en andel af uheldene i kryds, der er cykeluheld, desto bedre er sikkerhedseffekten.

| Studie         | Type af uheld/personskade | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|----------------|---------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 3, 7, 11, 20   | Cykeluheld                | +38%   | +18% ; +61%           | Ja       |
| 1, 3, 6, 7, 20 | Cyklisters personskader   | +20%   | -9% ; +59%            | Ja       |

**Tabel 2.** Sikkerhedseffekter for cyklister af ombygninger fra kryds til rundkørsler.

Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler er ret forskellige for de enkelte trafikantgrupper. Af tabel 2 ses, at antallet af cykeluheld og cyklisters personskader er steget som følge af ombygningerne i de få studier, hvor disse er opgjort. I det nye danske studie er stigningerne endda større, da antallet af cykel- uheld steg med 65% og cyklisters personskader steg med 40% (Jensen, 2012). Det nye danske studie viser i øvrigt en stigning i personskader blandt knallertkørere og motorcyklister på 30%, fald i personskader blandt fodgængere på 15% og fald i personskader blandt personer i person-, vare-, lastbiler og busser på 85%. Det skal dog nævnes, at for alle trafikantgrupper falder antallet af dræbte markant. Daniels et al. (2011) finder også en stigning i uheld med knallertkørere og motorcyklister ved ombygninger af kryds til rundkørsler i Belgien.

| Studie                    | Type af uheld/personskade   | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|---------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 2,3,6,7,9,12,14,15,19,20  | Alle uheld i byer           | -21%   | -35% ; -4%            | Nej      |
| 2, 3, 6, 7, 20            | Alle personskader i byer    | -54%   | -72% ; -25%           | Nej      |
| 2, 3, 6-9, 14, 15, 19, 20 | Alle uheld på landet        | -55%   | -63% ; -44%           | Nej      |
| 2, 3, 6, 7, 20            | Alle personskader på landet | -81%   | -85% ; -76%           | Ja       |

**Tabel 3.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone.

Sikkerhedseffekterne er omkring 30 procentpoint bedre ved ombygninger af kryds til rundkørsler på landet end i byområder, se tabel 3. Sikkerhedseffekter er bedre ved ombygninger af kryds til rundkørsler på landet end i byområder for hver enkelt trafikantgruppe som fx fodgængere, cyklister og bilister (Daniels et al., 2008; Jensen, 2012; Schoon og Minnen, 1993). Baggrunden herfor synes i hovedtræk at være, at sikkerhedseffekten afhænger af hastighedsbegrænsningen på vejene hen til rundkørslen, hvilket understøttes af flere studier (Brabander et al., 2005; Hydén og Várhelyi, 2000; Jensen, 2012). Jensen (2012) viser, at antallet af uheld steg med 1% ved ombygninger af kryds til rundkørsler med hastighedsbegrænsning på 30-50 km/t, mens antallet af uheld faldt med 14%, 33%, 43% og 67% ved hastighedsbegrænsninger på hhv. 60, 70, 80 og 90-130 km/t. Tilsvarende sammenhæng ses for personskader.

| Studie           | Type af uheld/personskader      | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|------------------|---------------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 7, 13, 15, 20    | Alle uheld, 3 vejgrene          | -24%   | -49% ; +13%           | Nej      |
| 3, 7, 13, 15, 20 | Alle uheld, 4 vejgrene          | -39%   | -49% ; -27%           | Nej      |
| 7, 20            | Alle uheld, 5-7 vejgrene        | -10%   | -46% ; +48%           | Ja       |
| 7, 20            | Alle personskader, 3 vejgrene   | -39%   | -56% ; -15%           | Ja       |
| 3, 7, 20         | Alle personskader, 4 vejgrene   | -68%   | -73% ; -61%           | Ja       |
| 7, 20            | Alle personskader, 5-7 vejgrene | -17%   | -63% ; +85%           | Ja       |

**Tabel 4.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter antal vejgrene i rundkørslen.

Der er sikkerhedsmæssige gevinster ved ombygninger af kryds til rundkørsler både med 3, 4 og 5-7 vejgrene, se tabel 4. Sikkerhedseffekterne er bedst ved ombygning til rundkørsler med 4 vejgrene, mens de er dårligst ved ombygning til rundkørsler med 5-7 vejgrene. En rundkørsel med 5-7 vejgrene var oftest forsatte kryds før ombygningen, altså typisk 2-3 kryds ombygget til én rundkørsel.

| Studie                 | Type af uheld/personskader   | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|------------------------|------------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 1, 7-8, 10, 13, 15, 20 | Alle uheld, signal           | -25%   | -30% ; -20%           | Ja       |
| 1, 3,7,8,10,13,14, 20  | Alle uheld, vigepligt        | -40%   | -43% ; -36%           | Ja       |
| 7, 20                  | Alle personskader, signal    | -50%   | -63% ; -31%           | Ja       |
| 3, 7, 20               | Alle personskader, vigepligt | -65%   | -71% ; -59%           | Ja       |

**Tabel 5.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter krydsets reguleringsform hhv. signal- og vigepligtsreguleret.

Ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler medfører omtrent 15 procentpoint bedre sikkerhedseffekter end ombygninger af signalregulerede kryds, se tabel 5. Der er sikkerhedsmæssige gevinster både ved ombygning af signal- og vigepligtsregulerede kryds. Jensen (2012) viser meget klart, at sikkerhedseffekten bliver stadig bedre, jo højere hastighedsbegrænsningen er, både ved ombygning af signal- og vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler.

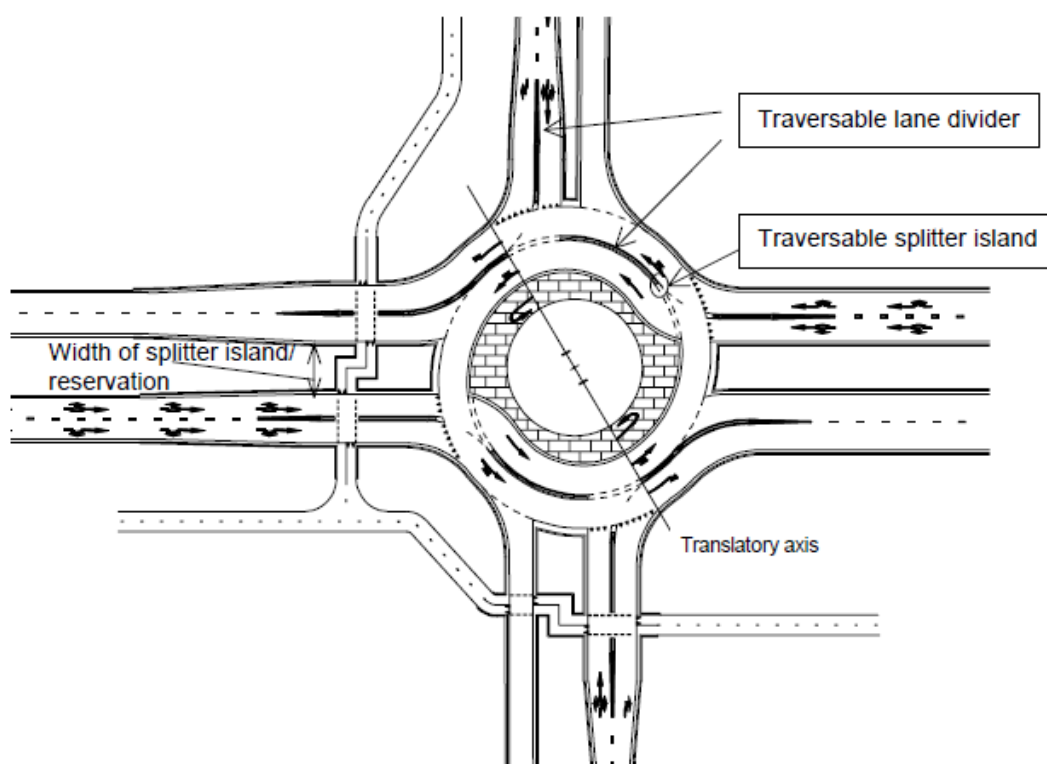
| Studie          | Type af uheld                     | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|-----------------|-----------------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 3, 8, 14-15, 20 | Alle uheld, 1-sporet rundkørsel   | -45%   | -60% ; -25%           | Nej      |
| 8, 14-15, 20    | Alle uheld, flersporet rundkørsel | -19%   | -26% ; -10%           | Ja       |

**Tabel 6.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter rundkørselens hovedtype.

Ombygninger af kryds til 1-sporede rundkørsler medfører en bedre sikkerhedseffekt end ombygninger til flersporede rundkørsler, se tabel 6. De flersporede rundkørsler har oftere været signalregulerede kryds før ombygning sammenlignet med de 1-sporede rundkørsler, og trafikmængderne er i gennemsnit betydeligt større i flersporede rundkørsler. Flere studier finder, at uheldsfrekvensen er langt større i flersporede rundkørsler end i 1-sporede både generelt og særskilt for fodgængere og cyklister (Arndt, 1998; Brude og Larsson, 1999; Montonen, 2008; Rodegerdts et al., 2010). I Danmark er sikkerhedseffekter af ombygninger til flersporede rundkørsler med 3 vejgrene meget dårlige, da antallet af uheld og personskader

stiger med hhv. 52% og 34%, mens ombygninger til flersporede rundkørsler med 4-5 vejgrene resulterede i fald på hhv. 28% og 85% (Jensen, 2012). I øvrigt ses der ingen sammenhæng mellem sikkerhedseffekten og hastighedsbegrænsningen ved ombygninger til flersporede rundkørsler.

I flersporede turborundkørsler findes der overkørbare vulster mellem cirkulations-sporene, og cirkulationsspor fører direkte ud af rundkørslens frafarter, se skitse i figur 2. Fortuijn (2005) finder, at sikkerhedseffekten af ombygning af kryds til flersporede turborundkørsler er lige så god som ombygning til 1-sporede rundkørsler, da antallet af uheld falder hhv. 49% og 46%. I Fortuijns undersøgelse indgår alene rundkørsler i landzone.



**Figur 2.** Skitse af turborundkørsel i Holland.

Brilon (2005) fandt, at uheldsfrekvensen ved ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til minirundkørsler i Tyskland faldt med 29%, mens Jensen (2012) fandt en stigning i uheldstallet på 21% ved ombygninger til minirundkørsler i Danmark. Både Brilon og Jensen finder, at effekter på personskader er bedre end effekter på uheld ved ombygninger til minirundkørsler. Det tyske studie er metodisk set langt dårligere end det danske, da det ikke tager højde for skævheder såsom generelle udviklinger i trafiksikkerheden.

Jensen (2012) fandt, at antallet af uheld og personskader faldt hhv. 18% og 74% ved ombygning af et lyskryds til en signalreguleret rundkørsel. Martin (2005) fandt, at signalregulering af 10 eksisterende rundkørsler i London medførte et fald

på 28% i antallet af uheld og faldet var på hele 80% blandt cykeluheld, mens faldet i dræbte og alvorlige skader kun var på 15%.

Der er kun fundet ét studie, der opgør sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler opdelt efter trafikmængder. Schoon og Minnen (1993) angiver effekter af at bygge kryds om til rundkørsler til et fald i uheld på 50%, 52% og 43% ved indkørende årsdøgntrafik på hhv. under 7.500, 7.500-12.500 og over 12.500, mens faldet i personskader er på hhv. 79%, 76% og 57%. Det kunne tyde på, at sikkerhedseffekterne er relativt dårligere ved høje trafikmængder. Uheldsmodeller peger i retning af, at de såkaldte p-værdier er højere i modeller for rundkørsler end i modeller for vigepligts- og signalregulerede kryds (Jensen, 2011; Jensen og Madsen, 2012). En model med en høj p-værdi betyder, at uheldstætheden stiger mere ved stigning i trafikmængderne, end en model med en lav p-værdi.

Jensen (2012) finder, at venstresvingsuheld og tværkollisioner falder med 88% i antal ved ombygninger af kryds til rundkørsler, mens eneuheld, højresvingsuheld og ”andre” uheld stiger med hhv. 200%, 228% og 31% i antal. Ændringer i antallet af personskader er nogenlunde det samme. ”Andre” uheld er fx bagende- og frontalkollisioner. Lalani (1975) og Schoon og Minnen (1993) finder også, at effekten på eneuheld og bagendekollisioner er dårligere end på de øvrige uheld. Antallet af sprituheld ser ud til at stige ved ombygninger af kryds til rundkørsler (Schoon og Minnen, 1993; Spahn og Bäumlér, 2007). En opgørelse af sprituheld baseret på dataene fra den nye danske før-efter uheldsevaluering viser, at antallet af uheld med spirituspåvirkede førere/fodgængere involveret (promille over 0,50) steg med 102% fra forventet 64,3 uheld til 130 observerede sprituheld i efterperioden, mens antallet af uheld uden spirituspåvirkede faldt med 36%.

Sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler er væsentligt dårligere i mørke end i dagslys (Jensen, 2012; Jørgensen og Jørgensen, 1994; Lalani, 1975; Schoon og Minnen, 1993; Spahn og Bäumlér, 2007). Jensen (2012) finder, at antallet af uheld i mørke er uændret som følge af ombygningerne, mens antallet af uheld i dagslys falder med 37%. Faldet i personskader er mere ens, da antallet af personskader falder med 63% og 53% i hhv. dagslys og mørke. Spahn og Bäumlér (2007) angiver, at uheldsfrekvensen i rundkørsler med belysning i landzone er 43% lavere end rundkørsler uden belysning i landzone. Jensen (2012) finder derimod, at sikkerhedseffekterne af etablering af belysning i rundkørsler må være relativt beskedne, idet antallet af uheld i mørke og tussmørke er uændret, både hvor belysning etableres og ikke etableres i forbindelse med ombygninger af kryds til rundkørsler.

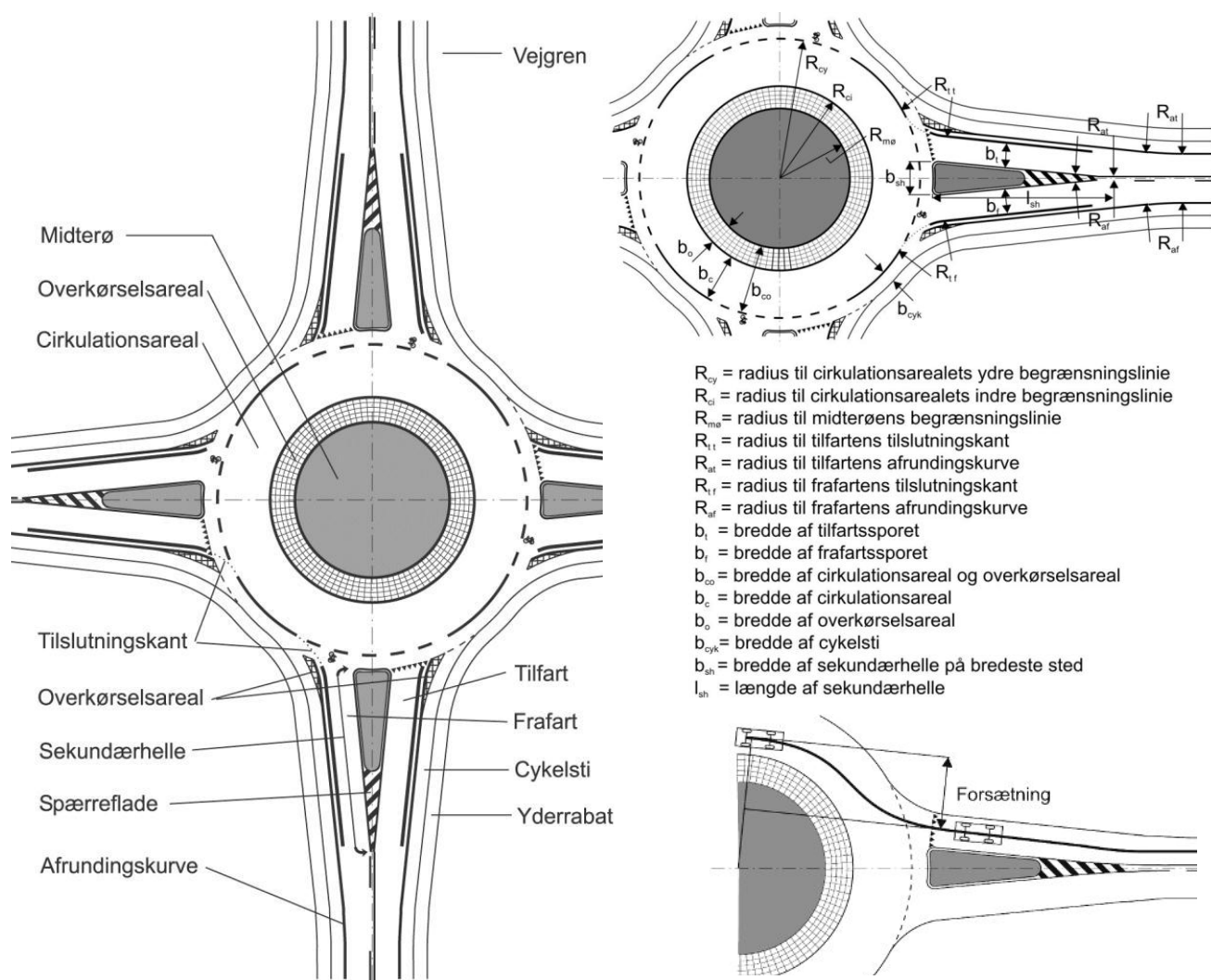
Sikkerhedseffekterne er bedre på lang sigt end på kort sigt (Brabander et al., 2005; Jensen, 2012; Minnen, 1995). Brabander et al. (2005) og Jensen (2012) finder nøjagtig samme resultat, nemlig at effekterne på kort sigt i det første og andet år efter ombygninger af kryds til rundkørsler er 12-13 procentpoint dårligere end i de efterfølgende år. Jensen (2012) viser meget klart, at forskellen i effekt på kort og lang sigt især skyldes en tilvænnings-effekt, hvor stigningen i antallet af eneuheld



er meget stor lige efter rundkørslen er anlagt, hvorefter stigningen bliver mindre og mindre som tiden går.

## 2.2 Effekter af rundkørselsdesign

Der findes mange designelementer i en rundkørsel. På tegningerne i figur 3 er nogle af designelementerne angivet ved de danske betegnelser.



**Figur 3.** Betegnelser og dimensioner for elementer i rundkørsler (Vejdirektoratet, 2012).

Det er langt fra alle elementer, der er undersøgt i studier af trafiksikkerheden i rundkørsler. I afsnittet indgår både resultater fra med-uden studier (oftest uheldsmodeller for rundkørsler) og fra før-efter uheldsevalueringer.

### 2.2.1 Midterø

Studier tyder på, at rundkørsler med små midterøer under 10 meter i diameter og rundkørsler med store midterøer over 35 meter i diameter fungerer sikkerheds-

mæssigt dårligere end rundkørsler med midterøer i almindelig størrelse mellem 10 og 35 meter i diameter (Brude og Larsson, 1999; Jørgensen, 1991; Jørgensen og Jørgensen, 1994; Jørgensen og Jørgensen, 2002; Lalani, 1975; Montonen, 2008). Rodegerdts et al. (2007) angiver, at frekvensen af uheld mellem indkørende og cirkulerende falder med stigende midterø diameter, mens frekvensen af uheld mellem udkørende og cirkulerende stiger med stigende midterø diameter.

Jensen (2012) finder, at midterøens diameter ikke forekommer at have en stor betydning for sikkerhedseffekterne ved ombygninger fra kryds til rundkørsler. Derimod finder Jensen, at midterøens højde er af stor betydning. Ombygninger af kryds til rundkørsler med midterøer med en højde på 2 meter eller mere har ført til fald i antallet af uheld og personskader på hhv. 49% og 84%, mens rundkørsler med lavere midterøer kun har resulteret i fald på hhv. 26% og 47%. Skulpturer, tæt beplantning og jordvolde er eksempler på det, der gør midterøen høj. Daniels et al. (2011) finder også, at rundkørsler med høje midterøer giver bedre effekter end rundkørsler med lave midterøer.

Spahn og Bäumlér (2007) skriver om rundkørsler på landet, at rundkørsler med en 0,3 meter høj affaset kant på midterøen har en 15% højere uheldsfrekvens end rundkørsler uden sådan en kant. Kennedy et al. (1998) viser for minirundkørsler, at midterøens udseende (afmærket, hvælvet eller med kant) er næsten uden betydning for trafiksikkerheden. Worthington (1992) fandt, at brug af reflekterende betonkantsten med chevron afmærkning på midterøens kant medførte større synlighed af midterøen både dag og nat, reducerede indkørselshastigheder og gav færre enueheld.

## 2.2.2 Cirkulations- og overkørselsarealer samt shunts

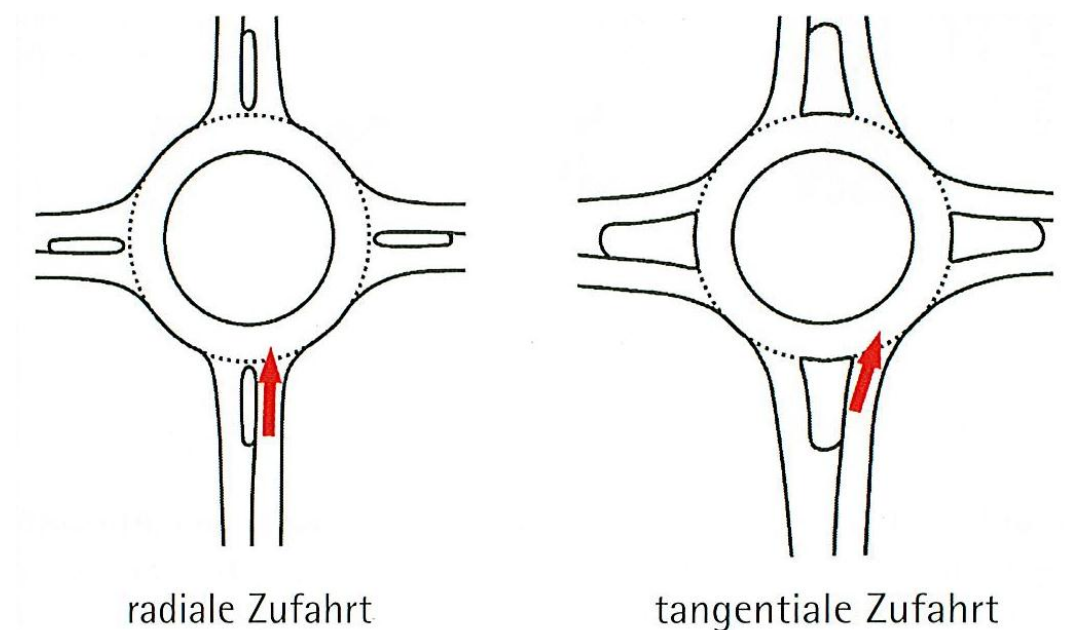
At få et langt køretøj rundt i en rundkørsel kræver plads til at manøvrere. Hvis en rundkørsel har en lille midterø, skal bredden af cirkulations- og overkørselsarealer være stor, mens bredden kan være mindre, når der er en stor midterø. Jørgensen (1991) angiver, at forholdet mellem den indskrevne cirkeldiameter (cirkulationsarealets ydre begrænsningslinje) og midterø diameteren spiller ind på sikkerheden. Jo større den indskrevne cirkel er i forhold til midterøen, desto flere uheld sker der mellem indkørende og cirkulerende parter. Harper og Dunn (2005) finder, at et bredere cirkulationsareal medfører flere uheld i rundkørsler. Rodegerdts et al. (2007) finder, at frekvensen af uheld mellem udkørende og cirkulerende stiger med stigende bredde af cirkulationsarealet og stiger med stigende diameter af den indskrevne cirkel. Jensen (2012) viser, at der opnås de bedste sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler, når cirkulationsarealet og en eventuel cykelbane tilsammen er 4-6 meter bredt ved 30-50 km/t hastighedsbegrænsning, 6-8 meter ved 60-70 km/t og over 5 meter ved højere hastighedsbegrænsninger.

Rodegerdts et al. (2007) og Harper og Dunn (2005) finder, at jo længere afstanden er mellem to vejgrene eller jo større vinklen er mellem to vejgrene, desto færre

uheld sker der. Dette peger i retning af, at sikkerheden påvirkes af samstillingen mellem antallet og placeringen af vejgrene samt den indskrevne cirkels diameter. Daniels et al. (2011) angiver ud fra modeller af sikkerhedseffekter i Belgien, at der observeres flere uheld i rundkørsler med shunts end forventet. Jensen (2012) finder, at sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler med shunts ligner de effekter, der findes for rundkørsler uden shunts, og formoder derfor at shunts har ingen eller kun beskeden effekt på sikkerheden.

### 2.2.3 Tilfartsspor, heller, oversigtsforhold, hastighed, forsætning mv.

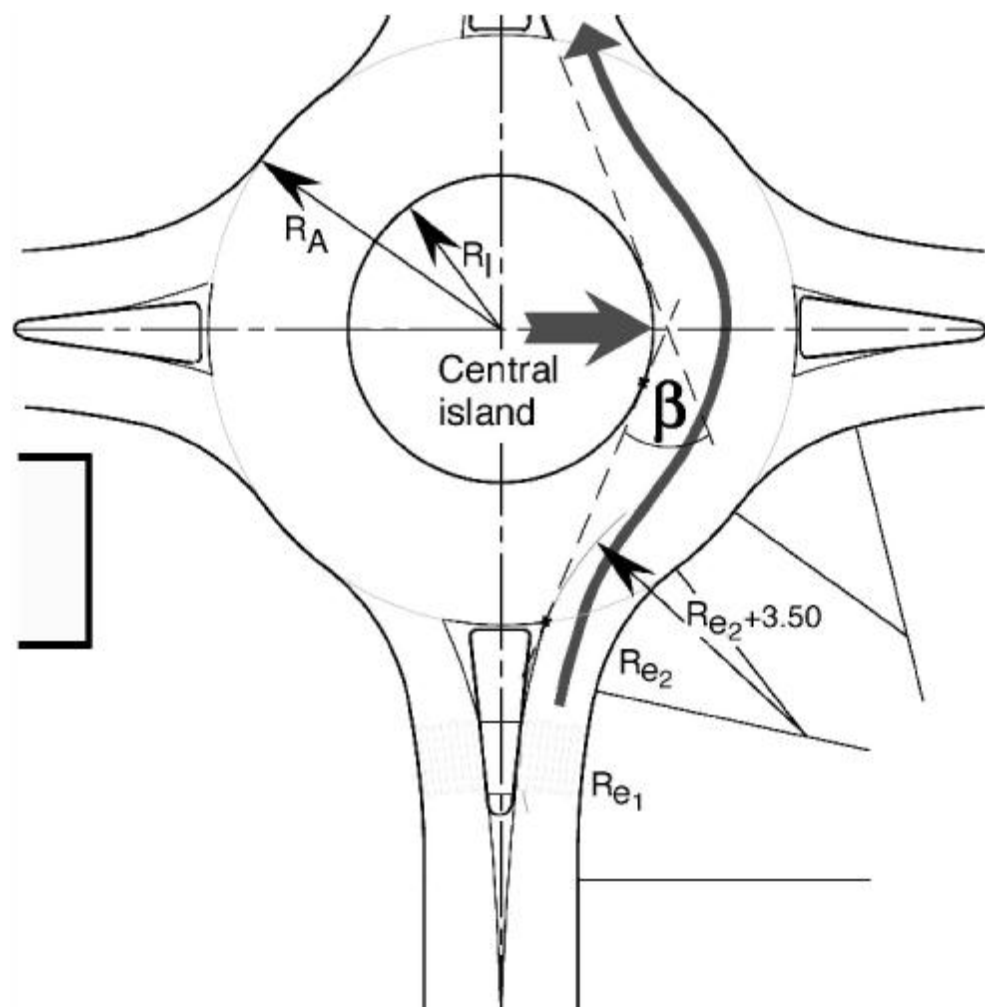
Et par studier finder, at jo bredere tilfartssporet er, desto flere uheld sker der i rundkørslen (Aagaard, 1995; Rodegerdts et al., 2007), mens Maycock og Hall (1984) finder, at brede tilfartsspor giver flere eneuheld men færre bagendekollisioner end smalle tilfartsspor. Turner et al. (2009) og Arndt (1998) finder, at flere tilfartsspor i samme vejgren er forbundet med en højere uheldsfrekvens end, når der kun er ét tilfartsspor i en vejgren.



**Figur 4.** Radiale og tangentielle tilfarter i rundkørsler (Spahn og Bäuml, 2007).

Spahn og Bäuml (2007) skriver, at radiale tilfarter i rundkørsler i landzone har en 44% højere uheldsfrekvens end tangentielle tilfarter i rundkørsler i landzone, og radiale frafarter har 70% højere uheldsfrekvens end tangentielle frafarter. Det betyder, at trekants- og trompetheller er mere sikre end parallelheller og rundkørsler uden heller i landzone. Jensen (2012) finder, at ombygninger fra kryds til rundkørsler med trekants- eller trompetheller giver bedre sikkerhedseffekter end rundkørsler uden heller eller med parallelheller. Ombygninger fra kryds til rundkørsler med parallelheller har således resulteret i en stigning i uheldstallet på 17%, mens rundkørsler hhv. uden heller, med trekantsheller og med trompetheller har resulteret i fald i uheldstallet på hhv. 4%, 32% og 40%.

Maycock og Hall (1984) finder, at gode oversigtsforhold mod venstre (altså mod cirkulerende trafik og trafik på første vejgren mod venstre) var forbundet med flere ulykker end dårlige oversigtsforhold. Kennedy et al. (1998) finder, at dette også gælder i minirundkørsler og for flere typer af ulykker. Turner et al. (2009) finder, at gode oversigtsforhold medfører flere ulykker, da forbedring af oversigtsforholdene medfører højere indkørselshastigheder. Campbell et al. (2012) skriver, at man i de nye britiske vejregler anbefaler, at den nødvendige oversigt til cirkulationsareal og første vejgren mod venstre (mod højre i Storbritannien) først tilvejebringes 15 meter før vigelinjen, og at briterne etablerer sigthindrende skærme for at opnå dette og har fundet fald på 46% i personskadeulykker i rundkørsler ved at opsætte disse skærme.



**Figur 5.** Forsætningsvinklen,  $\beta$ , i undersøgelsen af Spacek (2004).

Spacek (2004) viser, at forsætningsvinklen, se figur 5, øver indflydelse på antallet af ulykker i rundkørsler, idet antallet af ulykker falder, når forsætningsvinklen øges indtil denne når ca. 40 grader, hvorefter ulykkestallet forbliver på samme niveau.

På baggrund af studier af 536 rundkørsler angiver Brüde og Larsson (1999), at a) hastigheden i rundkørsler øges med hastighedsbegrænsningen, b) hastigheden er lavest i rundkørsler med 20-40 meter midterø diameter inklusiv overkørselsareal, mens mindre og større rundkørsler har højere hastigheder, c) overkørselsarealer påvirker ikke hastigheden, d) forsætning af tilfarter mod venstre ind mod og i forhold til midt af midterø medfører lavere hastighed, og e) hastigheden er højere i flersporede rundkørsler i forhold til 1-sporede. Hydén og Várhelyi (2000) finder, at indkørselshastigheden til rundkørsler falder, jo større forsætningen bliver, indtil den når ca. to meter, hvorefter hastigheden forbliver på omtrent samme niveau. Turner et al. (2009) finder, at cirkulationshastigheden for motorkøretøjer er den mest betydende faktor for uheldsfrekvensen i rundkørsler i byzone ud over trafikmængderne. Jo højere cirkulationshastighed desto flere uheld. Arndt (1998) finder også, at højere cirkulationshastighed fører til flere uheld, dog gælder dette for rundkørsler både i byer og på landet. Chen et al. (2011) finder, at jo højere gennemsnittet af indkørsels-, cirkulations- og udkørselshastigheden er, desto flere uheld sker der. Rodegerdts et al. (2007) finder, at jo højere indkørselshastigheden er, desto flere uheld sker der.

## 2.2.4 Gang- og cykelfaciliteter

Jensen (2012) finder, at sikkerhedseffekterne ved ombygninger af kryds til rundkørsler med fodgængerfelter er dårligere end effekterne ved rundkørsler uden fodgængerfelter. Det samme finder Daniels et al. (2011). I begge tilfælde ses på alle uheld og personskader, altså både uheld med og uden fodgængere involveret.

| Studie      | Type af sammenlignet rundkørselsdesign                               | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 1,4,6,7,20  | Cykelbane ift. ingen cykelfacilitet                                  | +35%   | -14% ; +109%          | Ja       |
| 1, 20       | Cykelsti ift. ingen facilitet                                        | -26%   | -65% ; +57%           | Ja       |
| 4, 6, 7, 20 | Separat sti med vigepligt pålagt cyklister ift. ingen cykelfacilitet | -84%   | -94% ; -59%           | Ja       |

**Tabel 7.** Sikkerhedseffekter på cyklisters personskader af cykelfaciliteter i rundkørsler.

Typen af cykelfacilitet i rundkørsler påvirker cyklisters sikkerhed, se tabel 7. Den sikreste facilitet er en separat sti nær cirkulationsarealet, hvor vigepligten er pålagt cyklister ved deres krydsning af vejgrene. Den mest usikre facilitet synes at være cykelbaner langs ydersiden af cirkulationsarealet, dog er der ikke statistisk signifikante forskelle i sikkerheden mellem ingen cykelfacilitet og hhv. cykelbane og cykelsti langs ydersiden af cirkulationsarealet. Schoon og Minnen (1993) angiver, at forskellen i cyklisters sikkerhed mellem rundkørsler med separat sti og rundkørsler med cykelbane eller ingen facilitet er meget stor, når der er over 8.000 indkørende motorkøretøjer pr. døgn, mens forskellen er beskeden ved lavere trafikmængder. Daniels et al. (2009) angiver, at ombygninger af kryds til rundkørsler, hvor cyklister cykler i tunneler under vejgrene, har givet et fald på 44% i cykeluheld, hvilket derfor forekommer at være det mest sikre design for cyklister i den belgiske undersøgelse.

Jensen (2012) finder, at farvede cykelbaner og blå cykelfelter i rundkørsler synes at have medført dårligere sikkerhedseffekter for cyklister og andre trafikanter set ift. cykelbaner uden farve og cykelstier uden blå cykelfelter.

### 3. Datagrundlag og metode

Evalueringen er som tidligere nævnt baseret på data fra en tidligere før-efter uheldsevaluering af 332 ombygninger af kryds til rundkørsler, som Trafitec via finansiering fra Cykelpuljen publicerede i 2012. Derudover nye data om bredde af til- og frafarter, oversigtsforhold og trafikmængder indsamlet for de 332 rundkørsler.

#### 3.1 Metode

Evalueringen genbruger den metode, som den tidligere før-efter uheldsevaluering gjorde brug af. Den metode er udførligt beskrevet i rapporten ”Sikkerhedseffekter af rundkørsler – Før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til 332 rundkørsler med fokus på uheld med cyklister” af Trafitec, juni 2012.

Før-efter uheldsevalueringen er baseret på politiregistrerede uheld, der er sket i de evaluerede kryds og rundkørsler før og efter ombygningen. I en før-efter uheldsevaluering af vejtekniske ombygninger er det vigtigt at korrigere for skævheder, der påvirker opgørelsen af sikkerhedseffekter. Det er almindeligt at korrigere for skævheder ved at benytte kontrolgrupper, der består af veje og/eller kryds, der ikke er bygget om. De skævheder, der normalt korrigeres for, er:

- Langsigtede generelle udviklinger i trafiksikkerheden,
- ændringer i eksponering (trafikmængder), og
- regressionseffekt (tilfældige ophobninger i uheldsforekomsten).

I evalueringen har det ikke været muligt at tilvejebringe pålidelige tal for trafikmængder i førperioden. Trafikudviklingen har formentligt været anderledes på en del af de ombyggede steder set i forhold til trafikudviklingen i kontrolgrupper, men dette kan der altså ikke tages højde for. Selve ombygningen fra kryds til rundkørsel påvirker næppe trafikmængderne i større omfang. Derfor vil udeladelse af trafikmængder i korrektionen for skævheder næppe føre til systematiske skævheder i opgørelsen af sikkerhedseffekter. Derimod kan fx trafikomlægninger, byudvikling, mv. medføre, at trafikken udvikler sig anderledes for enkelte af de ombyggede steder set i forhold til den generelle trafikudvikling. Således kan opgørelsen af sikkerhedseffekter for få ombygninger være behæftet med større fejl.

I evalueringen korrigeres for generelle udviklinger i trafiksikkerheden og regressionseffekter. Det udføres ved at gange antallet af hhv. uheld og personskader i en periode før ombygningen (førperiode) med korrektionsfaktorer, og derved fås et forventet antal uheld og personskader for en periode efter ombygningen (efterperiode):  $U_{\text{forventet}} = U_{\text{før}} \cdot C_{\text{udv}} \cdot C_{\text{regres}}$ , hvor  $C_{\text{udv}}$  er korrektionsfaktor for generel udvikling i trafiksikkerhed og  $C_{\text{regres}}$  er korrektionsfaktor for regressions-

effekt. I evalueringen sammenlignes forventede og observerede uheld og personskader for efterperioden, og herved opgøres sikkerhedseffekter.

Korrektionsfaktorer  $C_{udv}$  og  $C_{regres}$  er beregnet på baggrund af 32 kontrolgrupper. Disse kontrolgrupper består af 448.465 uheld og 176.373 personskader, der er sket i de 61 kommuner, hvor ombygningerne er fundet sted.

En sikkerhedseffekt er opgjort til summen af observerede uheld eller personskader i efterperioden på tværs af ombyggede steder divideret med summen af forventede uheld eller personskader i efterperioden for de samme steder minus 1:

$$\text{Sikkerhedseffekt} = \frac{\text{Uheld}_{\text{observeret, efter}}}{\text{Uheld}_{\text{forventet, efter}}} - 1$$

Sikkerhedseffekter angives i procent i rapportens tabeller. En effekt angivet som ”-30%” svarer til, at ombygningerne har medført et fald i uheld på 30%, mens ”+5%” svarer til en stigning på 5%.

Flere steder i nærværende rapport er det angivet, om de fundne sikkerhedseffekter er statistisk signifikante. Det statistiske test for effektens signifikans er udførligt beskrevet i ”Sikkerhedseffekter af rundkørsler”, Trafitec, juni 2012. I nogle af nærværende rapporters resultattabeller findes kolonnen ’Signifikant?’. I kolonnen er anvendt en sprogbug ved fortolkningen af de statistiske tests, der gør det nemt at forstå resultatet af testet:

**Ja:** Testet viser, at sikkerhedseffekten er statistisk signifikant. Forskellen på observerede og forventede uheldstal anses for sikker. Sandsynligheden for, at forskellen skyldes tilfældige variationer, er under 5%.

**Tendens:** Testet viser, at sikkerhedseffekten er ganske sandsynlig. Forskellen på observerede og forventede uheldstal er lidt usikker. Sandsynligheden for, at forskellen skyldes tilfældige variationer, er mellem 5% og 10%.

**Nej:** Testet viser, at en sikkerhedseffekt ikke kan påvises. Forskellen mellem observerede og forventede uheldstal kan være et udslag af tilfældige variationer. Resultatet kan skyldes, at ombygningen ingen virkning har på uheldstallet, eller talgrundlaget er for lille til, at en besked eller større virkning kan påvises.

Flere steder i nærværende rapport er det angivet, om de fundne sikkerhedseffekter er homogene. En sikkerhedseffekt er homogen, når de fundne ændringer i uheldstallene på de ombyggede steder er tilfældige udslag af én og samme effekt. En sikkerhedseffekt er ikke homogen (heterogen), når variationen i de fundne ændringer i uheldstallene mellem de ombyggede steder er større end den tilfældige variation i uheldsforekomsten. En heterogen sikkerhedseffekt indbefatter således en systematisk variation i effekten mellem stederne, altså at nogle steder har en



bedre sikkerhedseffekt end andre steder og forskellen i disse sikkerhedseffekter er statistisk signifikante. Det statistiske test for homogenitet er udførligt beskrevet i rapporten ”Sikkerhedseffekter af rundkørsler”, Trafitec, juni 2012.

### 3.2 Datagrundlag

Datagrundlaget udgøres af en række oplysninger om de 332 ombyggede steder. Samtlige uheldsdata i årene 1985-2010 er indsamlet. I denne lange årrække er der sket 6.277 uheld og 3.388 personskader, heraf 142 dræbte, på de 332 steder. Ser man alene på den 5 årige førperiode og 1-5 årige efterperiode er der i de perioder samlet sket 2.497 uheld og 1.328 personskader, heraf 57 dræbte. Udover uheldsdata blev mange oplysninger om krydsene og rundkørsler indsamlet i forbindelse med den tidligere før-efter uheldsevaluering:

Oplysninger om kryds:

- Regulering: Vigepligtsforhold og signalregulering for hvert vejben
- Antal vejben, antal køre- og svingspor for hvert vejben og eventuel forsætning af kryds
- Antal fodgængerfelter og blå cykelfelter
- Vej- og krydsbelysning
- Forekomst af gang- og cykelfaciliteter for hvert vejben (100 m fra kryds)

Oplysninger om rundkørsler:

- Type af rundkørsel: Mini-, 1-sporet, flersporet eller signalreguleret
- Antal tilfarter, frafarter og vejgrene samt antal kørespor for hver til- og frafart samt eventuelle shunts
- Zone: Byzone eller landzone
- Midterø: Diameter, højde og udseende
- Bredde af overkørselareal, cirkulationsareal og cykelbane i rundkørsel
- Indskreven cirkeldiameter og afstande i luftlinje mellem hosliggende vejgrene midtlinjer ved ydre begrænsningslinje
- Antal fodgængerfelter samt type af cykelfacilitet i rundkørsel
- Afstand mellem cykelsti/separat sti og cirkulationsareal ved vejgrenes midtlinjer (længde af tilbagetrækning)
- Vigepligtsforhold for cykelsti
- Type af sekundærhelle for hver vejgren
- Forsætning og forsætningsstrækning for hver vejgren
- Afmærkning i rundkørsel
- Vej- og krydsbelysning
- Forekomst af gang- og cykelfaciliteter for hver vejgren (100 m fra rundkørsel)
- Hastighedsbegrænsning for hver vejgren (100 m fra rundkørsel)
- Forvarsling og vejvisning (20-500 m fra rundkørsel)

De mange oplysninger om kryds og rundkørsler er baseret på bl.a. luftfotos fra 1995, 1999, 2002, 2004, 2006 og 2008 samt Google Streetview fotos fra 2009.

I forbindelse med nærværende evaluering er der indsamlet yderligere oplysninger om bredde af tilfarts- og frafartsspor, oversigt før rundkørsel og trafikmængder i rundkørsler. De nye oplysninger er primært baseret på luftfotos fra 2010, Google Streetview fotos fra 2009-2012 samt den landsdækkende trafikmodel fra DTU Transport. Der indgår desuden trafikdata fra Albertslund, Københavns, Brøndby, Helsingør, Odense, Esbjerg og Viborg kommuner.

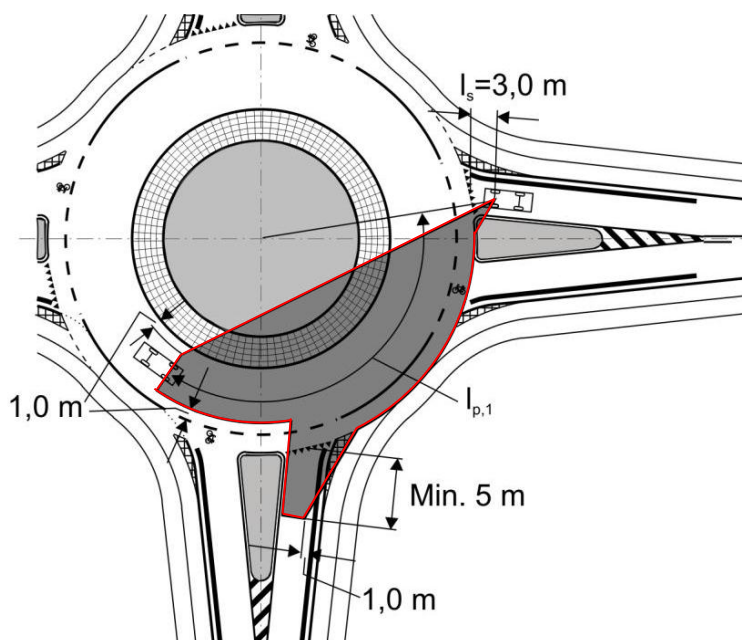
Ved gennemgangen af de 332 rundkørsler er der fundet en del fejl og unøjagtigheder i de tidligere indsamlede data. Fejlene er hovedsageligt fundet, da luftfotos fra 2010 er mere præcise end luftfotos fra tidligere år samt at langt flere veje har Google Streetview fotos i dag end førhen. Af væsentlige fejl og unøjagtigheder kan nævnes:

- 10 rundkørsler, der var registreret som 1-sporede, har vist sig at være mini-rundkørsler. For disse har der ikke været Google Streetview fotos i 2010, og en stenbelægning i midterøens kant har været forvekslet med en kantsten.
- I nogle få andre tilfælde har hvide affasede brede kantsten været forvekslet med kantlinjer, hvorfor få cykelstier er forvekslet med cykelbaner.
- Højde af midterøer samt forvarsling og vejvisning, hvor der førhen ikke var Google Streetview fotos, er nu blevet registreret.
- Nogle få trekantsheller har været forvekslet med trompetheller. Forsætning og forsætningsstrækning var fejlregistreret for en del trompetheller.

Bredde af til- og frafarter i rundkørsler er målt ca. 5-10 m fra cirkulationsarealets ydre begrænsningslinje, se evt. figur 3 i kapitel 2. Baggrunden for at måle det sted er, at afrundingen af hjørnet (tilslutningskanter) mellem cirkulationsareal og ydre kant for til- og frafart normalt ophører i dette område. Herefter sker en tilpasning af bredde af til- og frafart til kørebanebredden på vejgrene længere fra rundkørslen. Bredde af til- og frafart er målt mellem afmærkede kantlinjer/midlinjer, hvis de findes, ellers mellem belægningskanter/kantsten. Bredder er målt til nærmeste 10 cm.

Oversigt før rundkørsel er opgjort på en særlig måde. I figur 6 på næste side er et udfyldt areal omgivet af en rød streg. Dette areal skal en trafikant ved indkørsel til rundkørsel have oversigt til. Længden  $l_{p,1}$  kan erfares i vejreglerne. For hver vejgrene er det opgjort, hvor mange meter før vigelinjen, at der opnås oversigt til det udfyldte areal (og så oversigten til arealet haves derfra og hele vejen hen til vigelinjen).

Oversigten før rundkørslen (til det udfyldte areal) er målt til nærmeste 5 m, altså 0, 5, 10, 15 ... 100 m. Når oversigten før rundkørslen opnås mere end 100 m før vigelinjen, er oversigten før rundkørslen blot opgjort til 100 m.



**Figur 6.** Oversigtskrav ved vigelinje i rundkørsel (Vejdirektoratet, 2012).

For 236 af de 332 rundkørsler har det været muligt at opgøre trafikmængder for alle vejgrene. Trafikmængden er i første omgang opgjørt som hverdagsdøgntrafik for år 2009, da disse er tallene, der haves fra den landsdækkende trafikmodel. Det er ikke forsøgt at indekser disse tal til åbningsåret eller efterperioden for rundkørslen. For nogle få vejgrene, hvor der ikke foreligger tal, er trafikmængden vurderet. Disse vejgrene er alle mindre veje, der bærer beskeden trafik. Vurderingen er her baseret på antallet af ejendomme og arealanvendelsen (bolig, erhverv, industri, mv.). De vurderede trafiktal er på 500 eller færre biler pr. hverdagsdøgn. Tal for hverdagsdøgntrafik er efterfølgende omregnet til årsdøgntrafik, altså biler pr. døgn for et gennemsnitligt døgn over året 2009. Dette er udført ved at benytte Vejdirektoratets rapport 315 "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling – Vejledning", hvor omregningsfaktorer kan udregnes. Det er for hver rundkørsel vurderet, om trafikken kan karakteriseres som bolig-arbejde (omregningsfaktor 0,86), lokal (0,90), regional (0,96), fjern (1,02), moderat ferie (1,07), udpræget ferie (1,18) eller sommerland (1,69). Den gennemsnitlige omregningsfaktor for de 236 rundkørsler er fundet til 0,93.



## 4. Overordnede sikkerhedseffekter

Jensen (2012) beskrev overordnede sikkerhedseffekter af de 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler, der indgår i nærværende evaluering. Han beskrev i afsnit 4.1, 4.2 og 4.3 i rapporten ”Sikkerhedseffekter af rundkørsler” de helt overordnede sikkerhedseffekter samt effekterne opdelt på trafikantgrupper, by- og landzone, hastighedsbegrænsning, kort- og langtidseffekter samt uheldssituationer. Disse effekter er fortsat de samme, da kvalitetssikringen ikke har fundet fejl i oplysninger om uheld, hastighedsbegrænsning samt by- og landzone. I tabel 8 er de helt overordnede sikkerhedseffekter af de 332 ombygninger gengivet.

| Type af uheld og personskade  | Før   | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|-------------------------------|-------|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| Personskadeuheld              | 738   | 371       | 195   | -47%   | Ja           | Nej      |
| Materielskadeuheld            | 820   | 515       | 366   | -29%   | Ja           | Nej      |
| Ekstrauehld                   | 171   | 165       | 207   | +25%   | Ja           | Ja       |
| Alle uheld                    | 1.729 | 1.051     | 768   | -27%   | Ja           | Nej      |
| Alle uheld ekskl. ekstrauehld | 1.558 | 886       | 561   | -37%   | Ja           | Nej      |
| Dræbte                        | 54    | 23        | 3     | -87%   | Ja           | Ja       |
| Alvorlige skader              | 435   | 211       | 88    | -58%   | Ja           | Nej      |
| Lette skader                  | 622   | 304       | 126   | -59%   | Ja           | Nej      |
| Alle personskader             | 1.111 | 538       | 217   | -60%   | Ja           | Nej      |

**Tabel 8.** Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler.  
Note: N = 332 steder.

Af tabel 8 ses, at ombygningerne af kryds til rundkørsler i Danmark har medført et fald i antallet af uheld og personskader på hhv. 27% og 60%. Ombygningerne forebygger således uheld og medfører, at de bliver mindre alvorlige.

Jensen (2012) viste bl.a., at antallet af personskader blandt cyklister steg med 40% og blandt knallertkørere og motorcyklister med 30%. Blandt fodgængere og bilister faldt antallet af personskader på hhv. 15% og 85%. Antallet af uheld og personskader faldt hhv. 44% og 68% i landzone som følge af ombygningerne af kryds til rundkørsler, hvilket er noget mere end i byzone, hvor faldene var hhv. 6% og 25%. Baggrunden herfor er sikkerhedseffektens tætte sammenhæng med hastighedsbegrænsningen, hvor effekten bliver stadig bedre jo højere hastighedsbegrænsningen er. Sikkerhedseffekterne er 12-13 procentpoint bedre på lang sigt (3-9 år efter ombygning) end på kort sigt (1-2 år efter ombygning). Ombygninger af kryds til rundkørsler forebygger uheld med venstresvingende køretøjer og tværkollisioner, men øger til gengæld antallet af eneuheld, højresvinguheld og andre uheld såsom bagende- og frontalkollisioner.

Effekterne i tabel 8 er i hovedtræk ikke homogene og kan ikke generaliseres, da spredningen i effekter på uheld og personskader mellem stederne er større end den tilfældige variation i uheldsforekomsten kan medføre. Der eksisterer således en

systematisk variation i sikkerhedseffekten. Den systematiske variation er forsøgt modelleret i kapitel 10.

I nærværende kapitel er de overordnede sikkerhedseffekter opdelt efter forhold, der ikke er beskrevet tidligere. Disse forhold er; alder og køn på skadede personer, selebrug, partskombination, føre, lysforhold, sigt, vejr, ugedag og klokkeslæt. Der er derudover beskrevet effekter på uheldsomkostninger.

#### 4.1 Alder, køn og selebrug

Effekterne er ret forskellige for de viste aldersgrupper i tabel 9. Ombygninger til rundkørsler har medført de bedste effekter for børn (0-14 år) og ældre (65-94 år), og de dårligste effekter for unge (15-24 år). Når skaderne opdeles på trafikant- og aldersgrupper ses, at børn og ældre på cykel har opnået særligt gode sikkerhedseffekter set i forhold til andre cyklister, midaldrende (45-64 år) har opnået særligt dårlige sikkerhedseffekter på knallert og motorcykel, mens unge har opnået særligt dårlige effekter i bil set i forhold til andre i bil. Den gode effekt blandt børn skyldes den gode effekt, når de cykler, hvor børn har oplevet et fald i personskader på cykel på 48%. Den dårlige effekt blandt unge skyldes en kombination af mange uheld på knallert og motorcykel, hvor effekten er generelt er dårlig, og en dårlig effekt blandt unge i bil (fald på 71%) i forhold til andre bil (fald på 88%).

| Skadedes alder og køn | Før | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|-----------------------|-----|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| 0-14 år               | 84  | 41        | 9     | -78%   | Ja           | Ja       |
| 15-24 år              | 266 | 131       | 76    | -42%   | Ja           | Nej      |
| 25-44 år              | 349 | 168       | 60    | -64%   | Ja           | Nej      |
| 45-64 år              | 252 | 121       | 53    | -56%   | Ja           | Nej      |
| 65-94 år              | 158 | 76        | 19    | -75%   | Ja           | Nej      |
| Mand                  | 599 | 293       | 121   | -59%   | Ja           | Nej      |
| Kvinde                | 506 | 242       | 96    | -60%   | Ja           | Nej      |

**Tabel 9.** Sikkerhedseffekter på personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter den skadedes alder og køn. Note: N = 332 steder.

Effekterne er nogenlunde ens for mænd og kvinder til fods og i bil. Effekterne er bedre for mænd end kvinder på cykel, knallert og motorcykel. Men grundet de forholdsvis få uheld med kvinder på knallert og motorcykel er den overordnede effekt for mænd og kvinder nogenlunde ens, som det ses af tabel 9.

Det kan være, at forskelle i sikkerhedseffekt mellem aldersgrupper og køn delvist skyldes forskellige udviklinger i eksponering, idet der ikke er korigeret herfor.

Antallet af personskader i bil blandt personer med sele er faldet 88%, mens det for personer uden sele kun er faldet 77%. Dette skal ses i lyset af, at selebrugen generelt har været stigende, og der ikke er korigeret for dette. Baggrunden for den lavere effekt blandt personer i bil uden sele kan være knyttet til en lavere effekt

blandt unge i bil samt en dårligere effekt i mørke i forhold til dagslys og dårligere effekt på sprituheld set i forhold til uheld uden alkoholpåvirkede førere.

## 4.2 Partskombination

Antallet af cykeluheld stiger med 65% ved ombygning af kryds til rundkørsler. Det sker især som følge af flere kollisioner med personbiler, se tabel 10. Der sker også flere eneuheld på cykel og uheld mellem tohjulede, men disse uheld sker der forholdsvis få af. Antallet af cykeluheld med varebiler, lastbiler og busser stiger ikke ret meget ved ombygning af kryds til rundkørsler.

| En part i uheldet | Anden part i uheldet |           |             |               |               |               |               |               |
|-------------------|----------------------|-----------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                   | Ingen                | Fodgænger | Cykel       | Knallert/mc   | Personbil     | Varebil       | Tungt køretøj | Total         |
| Fodgænger         | -                    | -         | -           | -100%         | -32%          | -100%         | -100%         | -39%          |
| Cykel             | +44%                 | -         | +339%       | +176%         | <b>+69%</b>   | +5%           | +19%          | <b>”+65%”</b> |
| Knallert/mc       | <b>+328%</b>         | -100%     | +176%       | -100%         | <b>”+36%”</b> | -38%          | -15%          | <b>”+46%”</b> |
| Personbil         | <b>”+246%”</b>       | -32%      | <b>+69%</b> | <b>”+36%”</b> | <b>-72%</b>   | <b>”-84%”</b> | <b>”-68%”</b> | <b>”-33%”</b> |
| Varebil           | +71%                 | -100%     | +5%         | -38%          | <b>”-84%”</b> | <b>-87%</b>   | <b>-100%</b>  | <b>-68%</b>   |
| Tungt køretøj     | +83%                 | -100%     | +19%        | -15%          | <b>”-68%”</b> | <b>-100%</b>  | -34%          | <b>”-47%”</b> |

**Tabel 10.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på partskombinationer. Note: N = 332 steder, effekter i grå baggrund er signifikante og effekter i anførselstegn er ikke homogene.

Antallet af uheld med knallerter og motorcykler stiger med 46% især på grund af flere eneuheld og kollisioner med personbiler. Kollisioner mellem knallert/mc og varebil/lastbil/bus falder derimod. Antallet af uheld med person-, vare- og tunge biler falder med hhv. 33%, 68% og 47%. Disse fald skyldes primært, at antallet af uheld med flere biler involveret falder kraftigt, og det er faldet i disse uheld, der fører til de gunstige sikkerhedsmæssige effekter af ombygninger af kryds til rundkørsler. Derimod stiger antallet af eneuheld blandt bilister især i personbil.

## 4.3 Uheldstidspunkt og -vej

Ombygninger af kryds til rundkørsler har en dårligere sikkerhedseffekt på uheld på mandage, lørdage og søndage set i forhold til ugens andre dage, se tabel 11 på næste side. Baggrunden for den dårlige effekt i weekenden er især, at ombygningerne øger antallet af sprituheld, og i mindre udstrækning at kun få varebiler, lastbiler og busser er involveret i uheld i weekenden. Der er ikke nogen umiddelbar forklaring på den lidt dårligere effekt på mandage – måske er køreevnerne blot lidt dårligere om mandagen end på andre dage fx på grund af træthed. Effekterne på personskader opdelt efter ugedag varierer mellem fald på 48-64% med fredage og søndage, hvor effekterne er dårligst.

Ombygninger af kryds til rundkørsler har en dårlig sikkerhedseffekt om natten, mens effekten er gunstig midt på dagen. En del af denne forskel kan evt. forklares ved, at sprituheld især sker om aftenen og natten. Antallet af uheld stiger dog fort-

sat kl. 0:00-2:59 og 3:00-5:59 med hhv. 70% og 84%, når sprituheld er frasorteret. Disse stigninger på 70% og 84% kan evt. forklares ved, at det er mørkt og førerne er trætte samt mange ulykker sker i mørke. Effekterne på personskader er også markant dårligere om natten og morgenen kl. 0:00-8:59 (særligt kl. 3:00-5:59) end på andre tidspunkter af døgnet.

| Tidspunkt for ulykke | Før | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|----------------------|-----|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| Mandag               | 258 | 158       | 125   | -21%   | Ja           | Ja       |
| Tirsdag              | 272 | 166       | 104   | -37%   | Ja           | Ja       |
| Onsdag               | 270 | 164       | 110   | -33%   | Ja           | Ja       |
| Torsdag              | 292 | 179       | 113   | -37%   | Ja           | Ja       |
| Fredag               | 272 | 163       | 110   | -32%   | Ja           | Ja       |
| Lørdag               | 203 | 121       | 111   | -8%    | Nej          | Ja       |
| Søndag               | 162 | 101       | 95    | -6%    | Nej          | Ja       |
| Kl. 0:00-2:59        | 44  | 27        | 49    | +80%   | Ja           | Ja       |
| Kl. 3:00-5:59        | 40  | 23        | 48    | +111%  | Ja           | Ja       |
| Kl. 6:00-8:59        | 204 | 119       | 119   | -0%    | Nej          | Ja       |
| Kl. 9:00-11:59       | 284 | 172       | 85    | -51%   | Ja           | Nej      |
| Kl. 12:00-14:59      | 377 | 225       | 122   | -46%   | Ja           | Nej      |
| Kl. 15:00-17:59      | 503 | 311       | 179   | -42%   | Ja           | Nej      |
| Kl. 18:00-20:59      | 184 | 117       | 95    | -19%   | Tendens      | Ja       |
| Kl. 21:00-23:59      | 89  | 54        | 71    | +31%   | Tendens      | Ja       |

**Tabel 11.** Sikkerhedseffekter på ulykke af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på ugedag og klokkeslæt. Note: N = 332 steder.

| Føre, lysforhold, sigt, vejr | Før   | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|------------------------------|-------|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| Tørt føre                    | 1.050 | 635       | 457   | -28%   | Ja           | Nej      |
| Vådt føre                    | 616   | 375       | 254   | -32%   | Ja           | Nej      |
| Glat føre                    | 56    | 35        | 41    | +17%   | Nej          | Ja       |
| Dagslys                      | 1.283 | 778       | 489   | -37%   | Ja           | Nej      |
| Tusmørke                     | 72    | 43        | 43    | -0%    | Nej          | Ja       |
| Mørke                        | 367   | 225       | 227   | +1%    | Nej          | Ja       |
| Sigtbart                     | 1.621 | 980       | 703   | -28%   | Ja           | Nej      |
| Nedsat sigt                  | 90    | 57        | 46    | -20%   | Nej          | Ja       |
| Tørt vejr                    | 1.402 | 850       | 589   | -31%   | Ja           | Nej      |
| Regnvejr                     | 258   | 157       | 125   | -20%   | Ja           | Ja       |
| Snevejr                      | 19    | 12        | 14    | +14%   | Nej          | Ja       |
| Tåge                         | 34    | 21        | 22    | +5%    | Nej          | Ja       |

**Tabel 12.** Sikkerhedseffekter på ulykke af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på føre, lysforhold, sigt og vejr. Note: N = 332 steder.

Sikkerhedseffekten af ombygninger fra kryds til rundkørsler er ikke så god i glat føre, i tusmørke og mørke samt i snevejr og tåge. Effekten er også lidt dårligere i nedsat sigt end ved god sigt og i regnvejr end i tørt vejr, se tabel 12. Dette kunne alt sammen tyde på, at sikkerhedseffekten af ombygningerne bliver stadig bedre, jo bedre kørselsforholdene er. Forskellen i effekter på personskader er oftest langt



mindre end forskellen i effekter på uheld, hvilket indikerer, at kørselsforholdene især påvirker effekterne på uheld kun med materielle skader. Eksempelvis falder antallet af personskader i dagslys med 63% som følge af ombygningerne, mens effekten i mørke er et fald på 54%.

#### 4.4 Uheldsomkostninger

I det følgende er det forsøgt at opgøre, hvordan de 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler har påvirket uheldsomkostningerne. Opgørelserne er opdelt efter hastighedsbegrænsning, da netop hastighedsbegrænsningen har vist sig at have stor indflydelse på størrelsen af effekter på uheld og personskader. Der er anvendt de officielle priser for år 2010 i relation til politirapporterede uheld (ej ekstrauehld):

- Dræbt: 17.726.781 kr.
- Alvorlig skade: 3.037.046 kr.
- Let skade: 457.471 kr.
- Materielle omkostninger pr. rapporteret uheld: 664.543 kr.

| Hastighedsbegrænsning | Uheld |       |        | Dræbte |       |        | Alvorlige skader |       |        | Lette skader |       |        |
|-----------------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|------------------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                       | Forv. | Efter | Effekt | Forv.  | Efter | Effekt | Forv.            | Efter | Effekt | Forv.        | Efter | Effekt |
| 40-50 km/t            | 247   | 251   | +1%    | 3      | 1     | -66%   | 50               | 44    | -12%   | 64           | 71    | +11%   |
| 60 km/t               | 108   | 83    | -23%   | 3      | 1     | -64%   | 25               | 18    | -27%   | 41           | 12    | -71%   |
| 70 km/t               | 42    | 26    | -37%   | 1      | 0     | -100%  | 10               | 3     | -69%   | 14           | 6     | -57%   |
| 80 km/t               | 464   | 193   | -58%   | 16     | 1     | -94%   | 122              | 21    | -83%   | 170          | 35    | -79%   |
| 90-130 km/t           | 26    | 8     | -69%   | -      | -     | -      | 5                | 2     | -62%   | 16           | 2     | -87%   |
| I alt                 | 886   | 561   | -37%   | 23     | 3     | -87%   | 211              | 88    | -58%   | 304          | 126   | -59%   |

**Tabel 13.** Sikkerhedseffekter på rapporterede uheld, dræbte, alvorlige og lette skader af ombygninger af kryds til rundkørsler opdelt efter højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel. Note: N = 332 steder, forv. = forventet.

| Hastighedsbegrænsning | Uheldsomkostning (2010-priser) |                |        |                      |                 |
|-----------------------|--------------------------------|----------------|--------|----------------------|-----------------|
|                       | Forventet                      | Efter          | Effekt | Effekt i kr. (efter) | Effekt i kr./år |
| 40-50 km/t            | 398,1 mio. kr.                 | 350,6 mio. kr. | -12%   | -47,5 mio. kr.       | -9,7 mio. kr.   |
| 60 km/t               | 213,9 mio. kr.                 | 133,0 mio. kr. | -38%   | -80,9 mio. kr.       | -16,4 mio. kr.  |
| 70 km/t               | 80,7 mio. kr.                  | 29,1 mio. kr.  | -64%   | -51,6 mio. kr.       | -10,4 mio. kr.  |
| 80 km/t               | 1.043,4 mio. kr.               | 225,8 mio. kr. | -78%   | -817,6 mio. kr.      | -167,3 mio. kr. |
| 90-130 km/t           | 40,2 mio. kr.                  | 12,3 mio. kr.  | -69%   | -27,9 mio. kr.       | -5,6 mio. kr.   |
| I alt                 | 1.776,4 mio. kr.               | 750,9 mio. kr. | -58%   | -1.025,5 mio. kr.    | -209,4 mio. kr. |

**Tabel 14.** Effekter på uheldsomkostninger af ombygninger af kryds til rundkørsler opdelt efter højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel. Note: N = 332 steder.

I tabel 13 er effekter på rapporterede uheld, dræbte, alvorlige og lette skader opgjort efter hastighedsbegrænsning. Tallene i tabel 13 er efterfølgende omregnet til effekter på uheldsomkostninger, der er vist i tabel 14. Af tabel 14 ses, at effekten på uheldsomkostninger bliver bedre, jo højere hastighedsbegrænsningen er. De

332 ombygninger af kryds til rundkørsler har i efterperioden medført en reduktion i uheldsomkostninger på 1,025 mia. kr. svarende til 209 mio. kr. om året.

Disse reduktioner i uheldsomkostninger bør ses i sammenhæng med anlægs- og driftsudgifter ved ombygninger. I tabel 15 er opgjort antallet af ombygninger. Desværre kendes ikke de konkrete udgifter forbundet med ombygningerne. Derfor kan der ikke udføres en egentlig cost-effectiveness eller cost-benefit-analyse.

| Hastighedsbegrænsning | Type af rundkørsel |          |            |        |      | Lyskryds i førperiode |
|-----------------------|--------------------|----------|------------|--------|------|-----------------------|
|                       | Mini               | 1-sporet | Flersporet | Signal | Alle |                       |
| 40-50 km/t            | 59                 | 99       | 3          | 0      | 161  | 13                    |
| 60 km/t               | 0                  | 36       | 0          | 0      | 36   | 8                     |
| 70 km/t               | 0                  | 7        | 2          | 0      | 9    | 3                     |
| 80 km/t               | 1                  | 107      | 11         | 1      | 120  | 19                    |
| 90-130 km/t           | 0                  | 6        | 0          | 0      | 6    | 0                     |
| I alt                 | 60                 | 255      | 16         | 1      | 332  | 43                    |

**Tabel 15.** Antal ombygninger af kryds til rundkørsler opdelt efter rundkørselstype og højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel. Note: N=332 steder.

Det er almindeligt, at ombygninger af kryds til minirundkørsler koster 150.000 – 400.000 kr. i dagens Danmark, mens 1-sporede rundkørsler almindeligvis koster 1,5-5 mio. kr. i udgift til ombygning. Ombygninger af kryds til flersporede og signalregulerede rundkørsler koster typisk 5-12 mio. kr. Ved ombygning af lyskryds til rundkørsel falder driftsomkostninger ofte med 20.000-50.000 kr. om året. Ved ombygning af vigepligtsreguleret kryds til rundkørsel inklusiv nyanlæg af krydsbelysning (typisk i det åbne land) vil driftsomkostninger oftest stige.

Ud fra ovenstående oplysninger og den normale tilgang til samfundsøkonomiske vurderinger med brug af kalkulationsrente, skatteforvridningstab, nettoafgiftsfaktor mv. har ombygningerne ved 40-50 km/t set under ét ikke været en god investering, mens ombygninger ved højere hastighedsbegrænsninger har været en solid samfundsøkonomisk gevinst.

## 5. Trafikmængdens betydning

I kapitlet forsøges at undersøge, hvilken betydning trafikmængden i rundkørsler kan have for sikkerhedseffekten af ombygninger fra kryds til rundkørsler.

### 5.1 Rundkørsler med trafiktal

Årsdøgntrafikken (ÅDT) er opgjort for 236 af de 332 rundkørsler i år 2009. Kun motorkøretøjer indgår i tal for ÅDT. Det er ikke forsøgt at indekser trafikken hen til rundkørselens åbningsår eller efterperiode. Det kan dog nævnes, at antallet af kørte km i motorkøretøjer er steget med 22% fra 1995 til 2009, hvilket svarer til en årlig vækst på 1,4%. I tabel 16 er vist tal for ÅDT for undersøgelsens fire typer af rundkørsler.

| Type af rundkørsel         | Antal rundkørsler med trafiktal | Indkørende ÅDT i 2009 (biler pr. døgn) |         |            |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|---------|------------|
|                            |                                 | Mindste                                | Største | Gennemsnit |
| Minirundkørsel             | 33                              | 380                                    | 8.557   | 3.996      |
| 1-sporet rundkørsel        | 187                             | 781                                    | 23.868  | 7.714      |
| Flersporet rundkørsel      | 15                              | 7.177                                  | 23.472  | 15.875     |
| Signalreguleret rundkørsel | 1                               | 31.906                                 | 31.906  | 31.906     |
| Total                      | 236                             | 380                                    | 31.906  | 7.815      |

**Tabel 16.** Årsdøgntrafik i rundkørsler i undersøgelsen.

| Type af rundkørsel         | Rundkørsler |                     | Uheld før + efter |                     |
|----------------------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|                            | Antal i alt | Andel med trafiktal | Antal i alt       | Andel med trafiktal |
| Minirundkørsel             | 60          | 55%                 | 258               | 71%                 |
| 1-sporet rundkørsel        | 255         | 73%                 | 1.916             | 87%                 |
| Flersporet rundkørsel      | 16          | 94%                 | 241               | 97%                 |
| Signalreguleret rundkørsel | 1           | 100%                | 82                | 100%                |
| Total                      | 332         | 71%                 | 2.497             | 87%                 |

**Tabel 17.** Antal af rundkørsler og uheld i undersøgelsen og andel heraf hvor der foreligger trafiktal for rundkørslen.

Af tabel 16 ses, at trafiktallene varierer meget for mini- og 1-sporede rundkørsler, mens variationen er noget mindre for flersporede rundkørsler. Af tabel 17 ses, at der foreligger trafiktal for 71% af rundkørslerne og 87% af de indtrufne uheld. Trafikmængden er i gennemsnit størst i den signalregulerede rundkørsel, næststørst i flersporede rundkørsler, næstmindst i 1-sporede rundkørsler og mindst i minirundkørsler.

Trafikken er tillige opdelt på hovedvej og sidevej(e) i rundkørslen. Med hovedvej menes de to vejgrene med mest trafik, mens sidevej(e) udgøres af alle andre veje. I tabel 18 på næste side er den indkørende trafik opgjort på hoved- og sideveje.

| Hovedvej - indkørende<br>ÅDT i 2009 | Sidevej(e) – indkørende ÅDT i 2009 |         |             |             |             |              |       |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------|
|                                     | 13-499                             | 500-999 | 1.000-1.499 | 1.500-1.999 | 2.000-3.499 | 3.500-14.374 | I alt |
| 190-2.499                           | 20                                 | 9       | 7           | 0           | 0           | 0            | 36    |
| 2.500-4.999                         | 24                                 | 10      | 17          | 9           | 12          | 0            | 72    |
| 5.000-7.499                         | 9                                  | 10      | 8           | 13          | 12          | 7            | 59    |
| 7.500-9.999                         | 6                                  | 4       | 4           | 2           | 12          | 9            | 37    |
| 10.000-14.999                       | 0                                  | 3       | 1           | 5           | 4           | 14           | 27    |
| 15.000-20.308                       | 1                                  | 0       | 0           | 0           | 1           | 3            | 5     |
| I alt                               | 60                                 | 36      | 37          | 29          | 41          | 33           | 236   |

**Tabel 18.** Antal rundkørsler opdelt efter årsdøgnstrafik i rundkørsler på hovedvej og sidevej(e).

Mængden af trafik på hovedvejen er som regel betydeligt større end på sidevej(e). I gennemsnit er der 6.009 biler pr. døgn på hovedvejen og 1.807 på sidevej(e). Hovedvejen bærer således godt tre fjerdedele af trafikken.

## 5.2 Sikkerhedseffekt og samlet indkørende trafikmængde

I afsnittet er set nærmere på relationer mellem sikkerhedseffekter og den samlede mængde indkørende trafik. I tabel 19 er sikkerhedseffekter opdelt efter mængde af indkørende trafik.

| Indkørende ÅDT i 2009<br>(biler pr. døgn) | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-------------------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                           | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| 380-2.499                                 | 45        | 33    | -27%   | 25           | 13    | -47%   |
| 2.500-4.999                               | 116       | 87    | -25%   | 67           | 26    | -61%   |
| 5.000-7.499                               | 209       | 133   | -36%   | 141          | 47    | -67%   |
| 7.500-9.999                               | 127       | 87    | -31%   | 66           | 25    | -62%   |
| 10.000-12.499                             | 170       | 85    | -50%   | 63           | 22    | -65%   |
| 12.500-14.999                             | 79        | 72    | -9%    | 36           | 15    | -58%   |
| 15.000-19.999                             | 108       | 89    | -17%   | 47           | 20    | -57%   |
| 20.000-31.906                             | 77        | 61    | -21%   | 32           | 6     | -81%   |
| 380-31.906 total                          | 931       | 647   | -31%   | 476          | 174   | -63%   |
| Ukendt                                    | 120       | 121   | +1%    | 63           | 43    | -31%   |

**Tabel 19.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter indkørende mængde af biltrafik (ÅDT).

Af tabel 19 ses, at sikkerhedseffekten på uheld er noget lav, hvor den indkørende trafikmængde er over 12.500 biler pr. døgn. Derimod synes effekten på personskader ikke at afhænge af trafikmængden, idet effekterne her er meget ens for de syv intervaller af trafikmængde. Tabel 19 er ikke delt op på fx type af rundkørsel eller by og land. Af tabel 19 ses, at ombygninger af kryds til rundkørsler med ukendt trafikmængde ikke har givet gode sikkerhedseffekter, men det synes hovedsageligt at være fordi, at næsten alle rundkørsler med ukendt trafikmængde er beliggende i byzone.

De meget trafikerede rundkørsler har oftest været signalregulerede kryds, før de blev bygget om. Af 43 lyskryds, der blev ombygget til rundkørsler, er der trafiktal for 37, og her er den indkørende trafikmængde 11.429 biler pr. døgn i gennemsnit mod kun 7.405 biler pr. døgn for ombyggede vigepligtsregulerede kryds.

| Zone | Type af rundkørsel | Indkørende ÅDT i 2009 (biler pr. døgn) | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------|--------------------|----------------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|      |                    |                                        | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By   | Mini               | 380-4.999                              | 36        | 34    | -4%    | 18           | 16    | -9%    |
|      |                    | 5.000-8.557                            | 18        | 32    | +73%   | 11           | 13    | +22%   |
|      | 1-sporet           | 781-4.999                              | 57        | 44    | -22%   | 18           | 12    | -34%   |
|      |                    | 5.000-9.999                            | 90        | 84    | -7%    | 42           | 31    | -26%   |
|      |                    | 10.000-11.279                          | 36        | 20    | -44%   | 15           | 7     | -53%   |
|      | Flersporet         | 8.968-12.722                           | 7         | 1     | -86%   | 4            | 0     | -100%  |
| Land | 1-sporet           | 1.934-4.999                            | 50        | 20    | -60%   | 42           | 4     | -91%   |
|      |                    | 5.000-9.999                            | 185       | 78    | -58%   | 129          | 23    | -82%   |
|      |                    | 10.000-14.999                          | 114       | 78    | -32%   | 50           | 14    | -72%   |
|      |                    | 15.000-20.692                          | 30        | 20    | -33%   | 18           | 2     | -89%   |
|      | Flersporet         | 7.177-14.999                           | 16        | 12    | -26%   | 5            | 0     | -100%  |
|      |                    | 15.000-23.472                          | 24        | 23    | -5%    | 10           | 3     | -69%   |

**Tabel 20.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler opdelt efter indkørende mængde af biltrafik og type af rundkørsel. N= 198 steder.

| Zone | Type af rundkørsel | Indkørende HDT i 2009 (biler pr. døgn) | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------|--------------------|----------------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|      |                    |                                        | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By   | Mini               | 2.026-4.399                            | 5         | 10    | +95%   | 1            | 2     | +35%   |
|      | 1-sporet           | 3.269-9.999                            | 9         | 8     | -12%   | 8            | 3     | -64%   |
|      |                    | 10.000-14.999                          | 32        | 31    | -4%    | 8            | 11    | +45%   |
|      |                    | 15.000-18.609                          | 18        | 18    | -1%    | 4            | 7     | +56%   |
|      | Flersporet         | 16.835-18.414                          | 24        | 21    | -11%   | 14           | 4     | -71%   |
|      | Signal             | 31.906                                 | 32        | 26    | -18%   | 11           | 3     | -74%   |
| Land | 1-sporet           | 1.092-9.999                            | 40        | 29    | -27%   | 25           | 7     | -72%   |
|      |                    | 10.000-14.999                          | 50        | 16    | -68%   | 21           | 5     | -77%   |
|      |                    | 15.000-23.868                          | 36        | 20    | -44%   | 15           | 2     | -87%   |
|      | Flersporet         | 16.543-19.080                          | 21        | 22    | 3%     | 6            | 5     | -21%   |

**Tabel 21.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra signalregulerede kryds til rundkørsler opdelt efter indkørende mængde af biltrafik og type af rundkørsel. N= 37 steder.

I tabel 20, hvor kun ombygninger fra vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler indgår, fås det billede, at effekten på uheld er bedre ved lave trafikmængder end ved høje. Det kommer til udtryk ved ombygninger fra kryds til minirundkørsler samt 1-sporede og flersporede rundkørsler i det åbne land. Baggrunden herfor er noget dårligere effekter på eneuheld og bagendekollisioner ved høje trafikmængder end ved lave. Effekten på personskader ser ikke umiddelbart ud til at hænge

sammen med trafikmængden. Det kan evt. skyldes, at uheldsalvorligheden afhænger af trafikmængden på en anden måde i kryds set i forhold til i rundkørsler.

I tabel 21, hvor kun ombygninger fra signalregulerede kryds til rundkørsler indgår, er antallet af uheld og personskader relativt få. Det ser ikke umiddelbart ud til, at effekterne på uheld og personskader ikke afhænger af mængden af trafik.

Sammenholdes tabel 20 og 21 ses, at effekter på både uheld og personskader i hovedtræk er bedre ved ombygninger af vigepligtsregulerede kryds end signalregulerede kryds til de fire typer af rundkørsler og ved sammenlignelige kategorier af trafikmængder. Dog ser det ud til, at effekter på uheld ved ombygninger af signalregulerede kryds til 1-sporede rundkørsler med mere end 10.000 biler pr. døgn er bedre end tilsvarende effekter ved ombygninger af vigepligtsregulerede kryds.

### 5.3 Sikkerhedseffekt og indkørende trafik fra hoved- og sideveje

Det er forsøgt på mange måder at fordele og opdele trafikken på hoved- og sideveje. Det ser ud til, at for ombygninger fra signalregulerede kryds til rundkørsler påvirker fordelingen af trafik på hoved- og sideveje ikke sikkerhedseffekten hverken ved høje eller lave trafikmængder og hverken i byer eller på landet. Derimod ser det ud til, at sikkerhedseffekter af ombygninger fra vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler i byer er bedre ved en nogenlunde ligelig fordeling af trafik mellem side- og hovedveje end ved en mere ulig fordeling, se tabel 22, men kun med mindre end 10.000 indkørende biler pr. døgn. Dette gør sig også gældende for effekter på personskader samt både for ombygninger til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler. Ved trafikmængder over 10.000 indkørende biler pr. døgn synes dette ikke at gælde. Tabel 22 viser også, at der i landzone ikke synes at være stærke sammenhænge mellem trafikfordelingen og sikkerhedseffekten af ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler.

| Zone | Andel af indkørende fra hovedvej | Under 10.000 indkørende ÅDT |       |        | Over 10.000 indkørende ÅDT |       |        |
|------|----------------------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------------------|-------|--------|
|      |                                  | Forventet                   | Efter | Effekt | Forventet                  | Efter | Effekt |
| By   | 50-59%                           | 13                          | 1     | -92%   | -                          | -     | -      |
|      | 60-69%                           | 31                          | 19    | -39%   | 2                          | 1     | -56%   |
|      | 70-79%                           | 71                          | 72    | +1%    | 20                         | 12    | -40%   |
|      | 80-89%                           | 50                          | 55    | +10%   | 11                         | 6     | -45%   |
|      | 90-99%                           | 40                          | 48    | +19%   | 4                          | 1     | -76%   |
| Land | 50-59%                           | 30                          | 15    | -50%   | 21                         | 10    | -52%   |
|      | 60-69%                           | 27                          | 15    | -44%   | 8                          | 11    | +31%   |
|      | 70-79%                           | 63                          | 30    | -53%   | 96                         | 74    | -23%   |
|      | 80-89%                           | 68                          | 22    | -67%   | 45                         | 19    | -57%   |
|      | 90-99%                           | 49                          | 16    | -67%   | 13                         | 19    | +47%   |

**Tabel 22.** Sikkerhedseffekter på uheld ombygninger fra vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler opdelt efter indkørende mængde af biltrafik, by og land samt andel af indkørende fra hovedvej. N= 198 steder.

## 6. Rundkørselsgeometriens betydning

I kapitlet undersøges, hvilken betydning geometriske elementer i rundkørsler kan have for sikkerhedseffekten af at bygge kryds om til rundkørsler.

### 6.1 Type af rundkørsel

Rundkørslerne er opdelt i fire typer; **minirundkørsel**, **1-sporet rundkørsel**, **flersporet rundkørsel** og **signalreguleret rundkørsel**. I tabel 23 er sikkerhedseffekter opdelt efter rundkørselstype.

| Type     | Antal vejgrene | Højeste hastighedsbegrænsning | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|----------|----------------|-------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|          |                |                               | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Mini     | 3              | 40-50 km/t                    | 24        | 31    | +27%   | 12           | 10    | -20%   |
|          | 4              | 40-50 km/t                    | 63        | 77    | +23%   | 29           | 29    | -1%    |
|          | I alt          |                               | 87        | 108   | +24%   | 42           | 39    | -6%    |
| 1-sporet | 3              | 40-50 km/t                    | 37        | 54    | +44%   | 14           | 22    | +56%   |
|          |                | 60-70 km/t                    | 46        | 30    | -35%   | 19           | 11    | -41%   |
|          |                | 80-130 km/t                   | 73        | 28    | -61%   | 42           | 6     | -86%   |
|          |                | I alt                         | 156       | 112   | -28%   | 75           | 39    | -48%   |
|          | 4-7            | 40-50 km/t                    | 163       | 135   | -17%   | 57           | 54    | -5%    |
|          |                | 60-70 km/t                    | 115       | 100   | -13%   | 65           | 25    | -62%   |
|          |                | 80-130 km/t                   | 403       | 205   | -49%   | 250          | 44    | -82%   |
|          |                | I alt                         | 682       | 440   | -35%   | 372          | 123   | -67%   |
|          | I alt          |                               | 838       | 552   | -34%   | 447          | 162   | -64%   |
|          | Flersporet     | 40-50 km/t                    | 2         | 3     | +29%   | 0            | 1     | ++     |
|          |                | 60-70 km/t                    | 4         | 2     | -49%   | 3            | 0     | -100%  |
|          |                | 80-130 km/t                   | 11        | 21    | +93%   | 3            | 7     | +137%  |
|          |                | I alt                         | 17        | 26    | +52%   | 6            | 8     | +34%   |
|          | 4-5            | 40-50 km/t                    | 7         | 1     | -86%   | 4            | 0     | -100%  |
|          |                | 60-70 km/t                    | 12        | 12    | +3%    | 6            | 4     | -35%   |
|          |                | 80-130 km/t                   | 59        | 43    | -27%   | 22           | 1     | -95%   |
|          |                | I alt                         | 78        | 56    | -28%   | 33           | 5     | -85%   |
|          | I alt          |                               | 95        | 82    | -13%   | 39           | 13    | -66%   |
| Signal   | 4              | 80-130 km/t                   | 32        | 26    | -18%   | 11           | 3     | -74%   |

**Tabel 23.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af rundkørsel, antal vejgrene og højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel.

Af tabel 23 ses, at effekterne af ombygninger af kryds til minirundkørsler ikke er så gode, hvilket også kan siges om 1-sporede rundkørsler med tre vejgrene ved 40-50 km/t. Andre 1-sporede rundkørsler har medført gunstige sikkerhedseffekter. Effekterne af flersporede rundkørsler med tre vejgrene er ikke gode, men med fire vejgrene er effekter meget gunstige ligesom med effekter af den signalregulerede

rundkørsel. Det fremgår tydeligt, at effekterne ved ombygning til 1-sporede rundkørsler bliver bedre jo højere hastighedsbegrænsningen er.

## 6.2 Midterø og overkørselsareal

Blandt rundkørslerne findes tre med ovale midterøer, mens de andre har runde midterøer. De ovale midterøer findes alle i 1-sporede rundkørsler. Midterøens diameter varierer mellem 2 og 58 meter. Inkluderes overkørselsarealet ved siden af midterøen varierer diameteren mellem 3,5 og 60 meter. I tabel 24 er rundkørsler opdelt efter den samlede diameter af midterø og overkørselsareal.

| Zone  | Midterø og overkørselsareal samlede diameter | Type af rundkørsel |          |            |        |       |
|-------|----------------------------------------------|--------------------|----------|------------|--------|-------|
|       |                                              | Mini               | 1-sporet | Flersporet | Signal | I alt |
| By    | 3,5-9,9 m                                    | 42                 | 6        | 0          | 0      | 48    |
|       | 10,0-19,9 m                                  | 18                 | 65       | 0          | 0      | 83    |
|       | 20,0-29,9 m                                  | 0                  | 47       | 0          | 0      | 47    |
|       | 30,0-39,9 m                                  | 0                  | 13       | 0          | 0      | 13    |
|       | 40,0-60,0 m                                  | 0                  | 2        | 5          | 1      | 8     |
| Land  | 3,5-9,9 m                                    | 0                  | 0        | 0          | 0      | 0     |
|       | 10,0-19,9 m                                  | 0                  | 9        | 0          | 0      | 9     |
|       | 20,0-29,9 m                                  | 0                  | 23       | 0          | 0      | 23    |
|       | 30,0-39,9 m                                  | 0                  | 81       | 2          | 0      | 83    |
|       | 40,0-60,0 m                                  | 0                  | 9        | 9          | 0      | 18    |
| I alt |                                              | 60                 | 255      | 16         | 1      | 332   |

**Tabel 24.** Midterø og overkørselsareal samlede diameter (maximale diameter ved ovale rundkørsler) opdelt på by og land samt type af rundkørsel.

Af tabel 24 ses, at den samlede diameter af midterø og overkørselsareal typisk er omkring 15 m i byzone og 35 m i landzone. For flersporede og signalregulerede rundkørsler er diameteren 31-60 m, mens diameteren er 3,5-12,5 m for minirundkørsler og 6-54 m for 1-sporede rundkørsler.

I tabel 25 på næste side ser det ud til, at rundkørsler med en samlet diameter for midterø og overkørselsareal på 20 m eller mere resulterer i de bedste sikkerhedseffekter i byzone, og en diameter på 30-40 m giver de bedste effekter i landzone. Når man udelader overkørselsarealet (og derved minirundkørsler) opnås de bedste sikkerhedseffekter fortsat ved diemetre på 20 m eller mere i byzone, mens effekter i landzone forekommer bedst ved diemetre mellem 20 og 40 m.

Afsnit 7.1 viser, at midterøens højde på midten er væsentlig for sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler. Man kunne forestille sig, at høje midterøer har en større diameter end lave midterøer og det influerer på de fundne effekter. I tabel 26 på næste side er effekter af ombygninger til 1-sporede rundkørsler opdelt på midterøens diameter og højde på midten. Af tabellen ses, at effekten på uheld er bedre ved ombygninger til rundkørsler med høje midterøer set i forhold til lave midterøer ved alle midterø diemetre i byzone og ved midterø



diametre på 20-40 m i landzone. Dette gør sig også gældende, når man ser på effekterne på personskader.

| Zone, type af rundkørsel og den samlede diameter |            |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|--------------------------------------------------|------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                  |            |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                               | Mini       | 3,5-9,9 m   | 66        | 81    | +24%   | 32           | 28    | -13%   |
|                                                  |            | 10,0-12,5 m | 21        | 27    | +26%   | 9            | 11    | +18%   |
|                                                  | 1-sporet   | 6,0-9,9 m   | 6         | 2     | -69%   | 3            | 1     | -63%   |
|                                                  |            | 10,0-19,9 m | 106       | 116   | +9%    | 32           | 42    | +32%   |
|                                                  |            | 20,0-29,9 m | 154       | 118   | -24%   | 67           | 48    | -28%   |
|                                                  |            | 30,0-39,9 m | 41        | 36    | -12%   | 23           | 11    | -51%   |
|                                                  |            | 40,0-54,0 m | 5         | 7     | +34%   | 4            | 0     | -100%  |
|                                                  | Flersporet | 40,0-60,0 m | 33        | 25    | -24%   | 18           | 5     | -72%   |
|                                                  | Signal     | 44,0 m      | 32        | 26    | -18%   | 11           | 3     | -74%   |
| Land                                             | 1-sporet   | 10,0-19,9 m | 31        | 23    | -26%   | 24           | 5     | -79%   |
|                                                  |            | 20,0-29,9 m | 76        | 39    | -49%   | 38           | 10    | -73%   |
|                                                  |            | 30,0-39,9 m | 383       | 179   | -53%   | 248          | 38    | -85%   |
|                                                  |            | 40,0-54,0 m | 35        | 32    | -8%    | 10           | 7     | -27%   |
|                                                  | Flersporet | 31,0-39,9 m | 10        | 6     | -39%   | 4            | 0     | -100%  |
|                                                  |            | 40,0-60,0 m | 52        | 51    | -2%    | 17           | 8     | -53%   |

**Tabel 25.** Sikkerhedseffekter på hhv. uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone, type af rundkørsel samt den samlede diameter af midterø og overkørselsareal (maksimale diameter ved ovale rundkørsler).

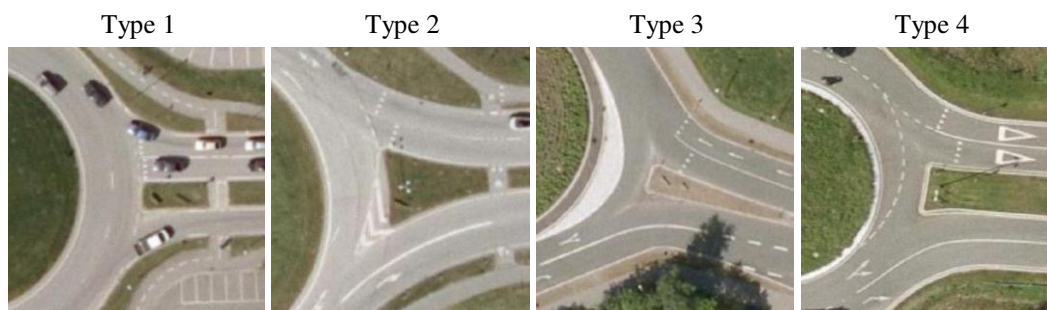
| Zone, midterø diameter |             | 1-sporet rundkørsel, 0,5-1,4 m høj |       |        | 1-sporet rundkørsel, 2,0-10 m høj |       |        |
|------------------------|-------------|------------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|-------|--------|
|                        |             | Forventet                          | Efter | Effekt | Forventet                         | Efter | Effekt |
| By                     | 3,0-9,9 m   | 32                                 | 39    | +23%   | 5                                 | 1     | -80%   |
|                        | 10,0-19,9 m | 96                                 | 85    | -11%   | 31                                | 23    | -26%   |
|                        | 20,0-29,9 m | 35                                 | 31    | -12%   | 29                                | 22    | -25%   |
|                        | 30,0-40,0 m | 14                                 | 14    | +3%    | 7                                 | 2     | -70%   |
| Land                   | 12,0-19,9 m | 29                                 | 14    | -51%   | 7                                 | 5     | -31%   |
|                        | 20,0-29,9 m | 69                                 | 46    | -33%   | 127                               | 51    | -60%   |
|                        | 30,0-39,9 m | 55                                 | 35    | -36%   | 117                               | 59    | -50%   |
|                        | 40,0-51,0 m | 4                                  | 3     | -19%   | 5                                 | 8     | +58%   |

**Tabel 26.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler opdelt efter midterøens diameter (maksimale diameter ved ovale rundkørsler) og højde på midten samt by- og landzone.

### 6.3 Cirkulationsareal og cykelbane

Cirkulationsarealets bredde varierer mellem 2,5 og 12,5 m i de 332 rundkørsler. I 12 rundkørsler varierer cirkulationsarealets bredde på vejen rundt. Ni af de 12 rundkørsler er flersporede rundkørsler, som ikke har to cirkulationsspor hele vejen rundt, og cirkulationsarealets bredde varierer her op til 4 m på vejen rundt. De tre

resterende rundkørsler er en minirundkørsel og to 1-sporede rundkørsler, men bredden i disse tre rundkørsler varierer kun op til 1,5 m på vejen rundt.



**Figur 7.** Fire typer af flersporede rundkørsler: 1) Fra venstre rundkørsel med **to spor hele vejen rundt**, 2) uden varierende overkørselsareal ved midterø men med indsnævring af cirkulationsareal med **spærreflade** (betragtes ikke som reduktion af cirkulationsareal), 3) cirkulationsareal indsnævret med **bredt overkørselsareal** ved midterø og 4) cirkulationsareal indsnævret med **sekundærhelle tæt på midterø**.

| Flersporede rundkørsler          | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|----------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                  | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Type 1, to spor hele vejen rundt | 13        | 12    | -9%    | 7            | 4     | -40%   |
| Type 2, spærreflade              | 30        | 33    | +9%    | 13           | 7     | -47%   |
| Type 3, bredt overkørselsareal   | 47        | 35    | -26%   | 16           | 2     | -87%   |
| Type 4, sekundærhelle tæt på     | 4         | 2     | -49%   | 3            | 0     | -100%  |

**Tabel 27.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til flersporede rundkørsler opdelt efter type.

Der findes to rundkørsler af type 1, fem af type 2, otte af type 3 og én af type 4. Type 2-4 har tvungne frafartsspor, se figur 7. Af tabel 27 ses, at der er forskelle i sikkerhedseffekter mellem de fire typer af flersporede rundkørsler. De rundkørsler, hvor cirkulationsarealet er fysisk indsnævret nogle steder – type 3 og 4 – synes at have bedre effekter end de to andre typer. Det ser således ud til, at det ikke er tilstrækkeligt at designe rundkørslen med tvungne frafartsspor alene med afmærkning i form af spærreflader (type 2).

I tabel 28 på næste side er effekter på uheld og personskader opdelt efter den maksimale bredde af cirkulationsarealet. Ved ombygninger til minirundkørsler ses, at effekterne er bedst, hvor cirkulationsarealet er 5-6 m bredt. I 1-sporede rundkørsler på landet synes effekterne at være bedst, når cirkulationsarealet er 6 m eller bredere, mens det er vanskeligt at angive, hvilken bredde der er bedst for 1-sporede rundkørsler i byzone.

I tabel 29 også på næste side er sikkerhedseffekter opgjort ud fra den samlede bredde af cirkulationsareal og cykelbane. Det forekommer, at den samlede bredde ikke har relation til effekter på uheld og personskader i minirundkørsler. Effekter i 1-sporede rundkørsler synes at være bedst, når den samlede bredde er under 7 m i byzone og er mellem 6 og 7 m i landzone.

| Zone, type af rundkørsel og bredde af cirkulationsareal |                     | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|---------------------------------------------------------|---------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                         |                     | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                                      | Mini, 2,5-4,9 m     | 46        | 64    | +38%   | 24           | 28    | +17%   |
|                                                         | Mini, 5,0-5,9 m     | 28        | 27    | -5%    | 12           | 5     | -60%   |
|                                                         | Mini, 6,0-6,9 m     | 9         | 13    | +52%   | 5            | 5     | +7%    |
|                                                         | Mini, 7,0-10,4 m    | 4         | 4     | +13%   | 1            | 1     | +31%   |
|                                                         | 1-sporet, 4,0-4,9 m | 65        | 37    | -43%   | 20           | 12    | -39%   |
|                                                         | 1-sporet, 5,0-5,9 m | 132       | 134   | +1%    | 45           | 50    | +12%   |
|                                                         | 1-sporet, 6,0-6,9 m | 100       | 102   | +2%    | 52           | 37    | -28%   |
|                                                         | 1-sporet, 7,0-9,8 m | 16        | 6     | -63%   | 11           | 3     | -74%   |
| Land                                                    | 1-sporet, 4,0-4,9 m | 18        | 14    | -22%   | 9            | 3     | -66%   |
|                                                         | 1-sporet, 5,0-5,9 m | 105       | 67    | -36%   | 46           | 10    | -78%   |
|                                                         | 1-sporet, 6,0-6,9 m | 357       | 166   | -53%   | 238          | 44    | -81%   |
|                                                         | 1-sporet, 7,0-9,8 m | 46        | 26    | -43%   | 27           | 3     | -89%   |

**Tabel 28.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt den maksimale bredde af cirkulationsarealet.

| Zone, type af rundkørsel og bredde af cirkulationsareal og cykelbane |                      | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                                      |                      | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                                                   | Mini, 2,5-4,9 m      | 21        | 26    | +26%   | 12           | 9     | -23%   |
|                                                                      | Mini, 5,0-5,9 m      | 40        | 43    | +8%    | 15           | 19    | +30%   |
|                                                                      | Mini, 6,0-6,9 m      | 15        | 25    | +66%   | 11           | 6     | -46%   |
|                                                                      | Mini, 7,0-11,9 m     | 11        | 14    | +23%   | 4            | 5     | +21%   |
|                                                                      | 1-sporet, 4,0-4,9 m  | 29        | 11    | -62%   | 8            | 5     | -39%   |
|                                                                      | 1-sporet, 5,0-5,9 m  | 55        | 51    | -8%    | 13           | 12    | -8%    |
|                                                                      | 1-sporet, 6,0-6,9 m  | 100       | 81    | -19%   | 52           | 27    | -48%   |
|                                                                      | 1-sporet, 7,0-7,9 m  | 59        | 59    | -0%    | 23           | 22    | -4%    |
|                                                                      | 1-sporet, 8,0-10,0 m | 70        | 77    | +9%    | 32           | 36    | +13%   |
| Land                                                                 | 1-sporet, 4,0-4,9 m  | 18        | 13    | -27%   | 9            | 3     | -66%   |
|                                                                      | 1-sporet, 5,0-5,9 m  | 57        | 35    | -38%   | 25           | 4     | -84%   |
|                                                                      | 1-sporet, 6,0-6,9 m  | 261       | 120   | -54%   | 175          | 26    | -85%   |
|                                                                      | 1-sporet, 7,0-7,9 m  | 77        | 48    | -37%   | 39           | 12    | -69%   |
|                                                                      | 1-sporet, 8,0-10,0 m | 112       | 57    | -49%   | 71           | 15    | -79%   |

**Tabel 29.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt den maksimale samlede bredde af cirkulationsareal og cykelbane.

Tabel 29 er forsøgt opdelt på, om der er en cykelbane i rundkørslen, men uheldstallene er ofte små. Samlet set kan det dog anføres, at effekterne er bedst ved en bredde af cirkulationsareal på 5-6 m i minirundkørsler uden cykelbaner, og en samlet bredde på 6-7 m i minirundkørsler med cykelbaner. Bredde af cirkulationsareal og evt. cykelbane synes ikke at være væsentlig for sikkerhedseffekterne ved ombygning af kryds til 1-sporede rundkørsler i byzone. Effekterne forekommer bedst med et cirkulationsareal på 6-8 m i 1-sporede rundkørsler uden cykelbaner

på landet og en samlet bredde af cirkulationsareal og cykelbane på over 8 m i 1-sporede rundkørsler med cykelbaner på landet.

#### 6.4 Sekundærheller, bredde af til- og frafartsspor

Oplysninger om sekundærheller er ændret, idet der i nogle få tilfælde primært er forvekslet mellem trekants- og trompetheller. I tabel 30 er sikkerhedseffekter opdelt på helletype, se figur 8.



**Figur 8.** Fire typer af sekundærheller fra venstre ingen helle, parallelhelle, trekantshelle og trompethelle.

| Type af sekundærhelle | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-----------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                       | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Ingen                 | 41        | 39    | -4%    | 16           | 13    | -21%   |
| Parallel              | 121       | 146   | +21%   | 55           | 40    | -27%   |
| Trekant               | 452       | 303   | -33%   | 249          | 79    | -68%   |
| Trompet               | 103       | 56    | -46%   | 58           | 11    | -81%   |
| Blandet               | 334       | 224   | -33%   | 161          | 74    | -54%   |

**Tabel 30.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af sekundærhelle.

Af tabel 30 ses, at effekterne af ombygninger til rundkørsler med trekants- og trompetheller har resulteret i bedre sikkerhedseffekter end ombygninger til rundkørsler uden sekundærheller eller med parallelheller. Det viser sig dog, at brugen af de enkelte typer af heller afhænger af type af rundkørsel og placering i by- og landzone. På næste side er effekterne derfor opdelt på rundkørselstype og zone i tabel 31.

Af tabel 31 ses, at ombygninger af kryds til minirundkørsler med parallelheller har givet meget store stigninger i antallet af uheld og personskader, mens minirundkørsler uden heller faktisk har resulteret i fald i både uheld og personskader. Minirundkørsler synes at være sikrest uden sekundærheller. Parallelheller i 1-sporede rundkørsler i byzone har også medført flere uheld og personskader, mens uheldstallene er faldet med trekantsheller i sådanne rundkørsler. Umiddelbart synes 1-sporede rundkørsler i byzone at være sikrest med trekantsheller. For de fler-sporede og signalregulerede rundkørsler samt 1-sporede rundkørsler i landzone er

det ikke umiddelbart muligt at sige, om en type af sekundærhelle er mere sikker end en anden.

| Zone, type af rundkørsel og sekundærhelle |            |          | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-------------------------------------------|------------|----------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                           |            |          | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                        | Mini       | Ingen    | 32        | 23    | -27%   | 12           | 10    | -17%   |
|                                           |            | Parallel | 7         | 23    | +215%  | 5            | 12    | +157%  |
|                                           |            | Trekant  | 26        | 36    | +39%   | 12           | 10    | -19%   |
|                                           |            | Blandet  | 22        | 26    | +18%   | 13           | 7     | -45%   |
|                                           | 1-sporet   | Ingen    | 9         | 16    | +75%   | 4            | 3     | -32%   |
|                                           |            | Parallel | 36        | 56    | +55%   | 16           | 21    | +31%   |
|                                           |            | Trekant  | 123       | 97    | -21%   | 56           | 36    | -36%   |
|                                           |            | Trompet  | 9         | 12    | +38%   | 6            | 3     | -47%   |
|                                           |            | Blandet  | 136       | 98    | -28%   | 46           | 39    | -15%   |
|                                           | Flersporet | Parallel | 16        | 12    | -24%   | 8            | 1     | -87%   |
|                                           |            | Trekant  | 5         | 1     | -82%   | 4            | 0     | -100%  |
|                                           |            | Blandet  | 12        | 12    | +3%    | 6            | 4     | -35%   |
|                                           | Signal     | Parallel | 32        | 26    | -18%   | 11           | 3     | -74%   |
| Land                                      | 1-sporet   | Parallel | 11        | 4     | -64%   | 6            | 1     | -84%   |
|                                           |            | Trekant  | 281       | 151   | -46%   | 173          | 28    | -84%   |
|                                           |            | Trompet  | 93        | 44    | -53%   | 52           | 8     | -84%   |
|                                           |            | Blandet  | 140       | 74    | -47%   | 88           | 23    | -74%   |
|                                           | Flersporet | Parallel | 19        | 25    | +33%   | 8            | 2     | -76%   |
|                                           |            | Trekant  | 17        | 18    | +7%    | 3            | 5     | +60%   |
|                                           |            | Trompet  | 2         | 0     | -100%  | 0            | 0     | -100%  |
|                                           |            | Blandet  | 25        | 14    | -44%   | 9            | 1     | -89%   |

**Tabel 31.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone, type af rundkørsel og sekundærhelle.

| Zone, gennemsnitlig bredde af tilfartsspor |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|--------------------------------------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                            |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                         | 2,70-3,19 m | 103       | 112   | +9%    | 42           | 44    | +5%    |
|                                            | 3,20-3,39 m | 101       | 116   | +15%   | 39           | 46    | +17%   |
|                                            | 3,40-3,59 m | 87        | 74    | -15%   | 35           | 23    | -35%   |
|                                            | 3,60-3,79 m | 42        | 30    | -29%   | 16           | 8     | -51%   |
|                                            | 3,80-4,29 m | 58        | 47    | -18%   | 27           | 18    | -34%   |
|                                            | 4,30-5,17 m | 9         | 8     | -10%   | 9            | 2     | -79%   |
| Land                                       | 2,70-3,19 m | 91        | 49    | -46%   | 48           | 7     | -85%   |
|                                            | 3,20-3,39 m | 86        | 53    | -38%   | 63           | 12    | -81%   |
|                                            | 3,40-3,59 m | 109       | 47    | -57%   | 58           | 13    | -78%   |
|                                            | 3,60-3,79 m | 136       | 62    | -55%   | 88           | 13    | -85%   |
|                                            | 3,80-4,29 m | 91        | 48    | -47%   | 58           | 12    | -79%   |
|                                            | 4,30-5,17 m | 12        | 14    | +16%   | 4            | 3     | -31%   |

**Tabel 32.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt gennemsnitlig bredde af tilfartsspor.

I gennemsnit er et tilfartsspor 3,5 m bredt i mini- og 1-sporede rundkørsler, mens et frafartsspor er 3,9 m bredt. I tabel 32 er sikkerhedseffekter opdelt efter tilfartsspors gennemsnitlige bredde i rundkørslen. Ombygninger til rundkørsler med 3,40-3,79 m brede tilfartsspor har givet ganske gode sikkerhedseffekter i byer og på landet. Smalle tilfartsspor under 3,40 m i bredden har resulteret i flere uheld og personskader i byzone, mens smallere tilfartsspor på landet har givet knap så gode effekter på uheld end de 3,40-3,79 m brede tilfartsspor. Brede tilfartsspor, der er bredere end 3,79 m, har givet knap så gode effekter på uheld og personskader i det åbne land som de 3,40-3,79 m brede tilfartsspor. Brede tilfartsspor i byzone ser derimod ud til at fungere lige så godt sikkerhedsmæssigt som de 3,40-3,79 m brede tilfartsspor. Disse relationer mellem bredden af tilfartsspor og sikkerhedseffekt ser ud til at gælde både med og uden sekundærhelle.

| Zone, gennemsnitlig bredde af frafartsspor |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|--------------------------------------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                            |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                         | 2,75-3,49 m | 94        | 102   | +9%    | 31           | 38    | +21%   |
|                                            | 3,50-3,79 m | 96        | 108   | +13%   | 39           | 43    | +11%   |
|                                            | 3,80-3,99 m | 102       | 82    | -19%   | 43           | 30    | -30%   |
|                                            | 4,00-4,29 m | 57        | 52    | -8%    | 32           | 21    | -34%   |
|                                            | 4,30-4,69 m | 41        | 36    | -13%   | 15           | 7     | -52%   |
|                                            | 4,70-5,95 m | 11        | 7     | -37%   | 10           | 2     | -79%   |
| Land                                       | 2,75-3,49 m | 14        | 9     | -38%   | 8            | 0     | -100%  |
|                                            | 3,50-3,79 m | 74        | 51    | -31%   | 54           | 8     | -85%   |
|                                            | 3,80-3,99 m | 98        | 46    | -53%   | 53           | 9     | -83%   |
|                                            | 4,00-4,29 m | 162       | 80    | -51%   | 95           | 22    | -77%   |
|                                            | 4,30-4,69 m | 143       | 54    | -62%   | 96           | 17    | -82%   |
|                                            | 4,70-5,95 m | 33        | 33    | -1%    | 13           | 4     | -69%   |

**Tabel 33.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt gennemsnitlig bredde af frafartsspor.

I tabel 33 er sikkerhedseffekter opdelt efter frafartsspors gennemsnitlige bredde i rundkørslen. Ombygninger til rundkørsler i byzone med frafartsspor, der er 3,80 m eller bredere, har givet bedre sikkerhedseffekter end smallere frafartsspor. På landet synes frafartsspor på 3,80-4,69 m at have resulteret i bedre effekter på uheld end frafartsspor der enten er smallere eller bredere end det angivne interval. Det ser nogenlunde også ud til at gælde, når rundkørsler deles op hhv. med og uden sekundærheller, dog virker frafartsspor med en bredde på 3,50-3,79 m også til at give gode sikkerhedseffekter i rundkørsler uden sekundærheller i byzone.

## 6.5 Vinkel og afstand mellem vejgrene

Antallet af vejgrene i de 332 rundkørsler varierer mellem 2 og 7, dog er der ikke sket uheld de to steder med kun to vejgrene hverken før eller efter. Betydningen af antallet af vejgrene for sikkerhedseffekter indgik delvist i afsnit 6.1. I nærværende afsnit analyseres, hvad vinklen og afstanden mellem vejgrene betyder for effek-

terne. Afstanden mellem vejgrene er opgjort på to forskellige måder. Dels er afstanden i luftlinje målt mellem hosliggende vejgrenes midtlinjer, hvor disse krydser den ydre begrænsningslinje (yderkanten af cirkulationsarealet). Ved hjælp af trigonometriske formler er det beregnet, hvad buelængden er mellem vejgrenes midtlinjer på den ydre begrænsningslinje, hvilket er muligt, da diameteren for den indskrevne cirkel også er målt. Trigonometriske formler er også anvendt til at beregne vinkler i grader mellem vejgrenes midtlinjer.

For vinklerne er det undersøgt, om der er relationer mellem sikkerhedseffekter og hhv. mindste, største samt største minus mindste vinkel. Dette er udført for alle rundkørsler og rundkørsler med hhv. 3 og 4 vejgrene. Disse undersøgelser peger i samme retning nemlig, at sikkerhedseffekten bliver bedre, jo mindre forskellen er mellem største og mindste vinkel.

| Antal vejgrene, zone og forskel mellem største og mindste vinkel |      |               | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------------------------------------------------------------------|------|---------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                                  |      |               | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| 3                                                                | By   | 0-59 grader   | 44        | 49    | +10%   | 20           | 19    | -4%    |
|                                                                  |      | 60-119 grader | 39        | 59    | +51%   | 15           | 21    | +37%   |
|                                                                  | Land | 0-59 grader   | 13        | 5     | -60%   | 4            | 1     | -76%   |
|                                                                  |      | 60-119 grader | 102       | 56    | -45%   | 54           | 16    | -70%   |
| 4                                                                | By   | 0-29 grader   | 188       | 153   | -19%   | 87           | 48    | -45%   |
|                                                                  |      | 30-103 grader | 161       | 147   | -9%    | 64           | 51    | -20%   |
|                                                                  | Land | 0-29 grader   | 288       | 163   | -43%   | 182          | 29    | -84%   |
|                                                                  |      | 30-103 grader | 185       | 106   | -43%   | 100          | 22    | -78%   |

**Tabel 34.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter antal vejgrene, by- og landzone samt forskel mellem største og mindste vinkel mellem hosliggende vejgrenes midtlinjer.

Af tabel 34 ses, at effekter på uheld og personskader er bedre ved små differencer mellem største og mindste vinkel mellem vejgrenes midtlinjer end ved store differencer. Man kan sige, at det er bedst, at den mindste vinkel er så stor som mulig, og at den største vinkel er så lille som mulig.

Afstanden i luftlinje og buelængden mellem vejgrene afhænger dels af den indskrevne cirkeldiameter og dels af vinklen mellem vejgrene. Afstanden i luftlinje anbefales i de danske vejregler at være mindst 20 m i 1-sporede rundkørsler og mindst 25 m i flersporede rundkørsler i det åbne land. Forskellen mellem luftlinje afstanden og buelængden bliver relativt større, jo mindre den indskrevne cirkeldiameter er.

For afstanden i luftlinje er det undersøgt, om der er relationer mellem sikkerhedseffekter og hhv. mindste, største og gennemsnitlig afstand. Dette er udført for alle rundkørsler og rundkørsler med hhv. 3 og 4 vejgrene.

| Type af rundkørsel, zone og gennemsnitlig afstand mellem vejgernes midtlinjer |            |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                                               |            |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Mini                                                                          | By         | 7,8-14,9 m  | 74        | 93    | +26%   | 35           | 33    | -6%    |
|                                                                               |            | 15,0-19,3 m | 13        | 15    | +13%   | 6            | 6     | -7%    |
| 1-sporet                                                                      | By         | 12,0-19,9 m | 83        | 87    | +4%    | 25           | 32    | +30%   |
|                                                                               |            | 20,0-24,9 m | 142       | 107   | -25%   | 50           | 38    | -24%   |
|                                                                               |            | 25,0-29,9 m | 59        | 53    | -11%   | 31           | 26    | -17%   |
|                                                                               |            | 30,0-48,5 m | 28        | 32    | +14%   | 21           | 6     | -72%   |
|                                                                               | Land       | 18,9-24,9 m | 38        | 28    | -26%   | 27           | 5     | -81%   |
|                                                                               |            | 25,0-29,9 m | 54        | 29    | -46%   | 29           | 9     | -69%   |
|                                                                               |            | 30,0-34,9 m | 310       | 152   | -51%   | 197          | 30    | -85%   |
|                                                                               |            | 35,0-39,9 m | 107       | 49    | -54%   | 61           | 13    | -79%   |
| Flersporet                                                                    | By og land | 40,0-47,7 m | 17        | 15    | -11%   | 5            | 3     | -43%   |
|                                                                               |            | 33,3-39,9 m | 57        | 42    | -26%   | 22           | 5     | -77%   |
|                                                                               |            | 40,0-61,2 m | 38        | 40    | +5%    | 17           | 8     | -52%   |

**Tabel 35.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af rundkørsel, by- og landzone samt gennemsnitlig luftlinje afstand mellem vejgernes midtlinjer.

Af tabel 35 ses, at for minirundkørsler er der ingen større sammenhæng mellem den gennemsnitlige afstand mellem vejgrene og sikkerhedseffekter. For 1-sporede rundkørsler i byzone ser det ud til, at rundkørsler med en gennemsnitlig afstand mellem vejgrene på over 20 m medfører de bedste effekter. I det åbne land ser det ud til, at effekterne for 1-sporede rundkørsler synes bedst ved gennemsnitlige afstande på 25-40 m, hvilket især gælder for rundkørsler med fire vejgrene. I flersporede rundkørsler ser effekter ud til at være bedst, når den gennemsnitlige afstand er under 40 m.

Det skal påpeges, at minirundkørsler, hvor den mindste afstand mellem vejgrene er under 10 m, ikke giver gode effekter, mens minirundkørsler, hvor den største afstand mellem vejgrene er over 20 m, giver gode effekter. For 1-sporede og flersporede rundkørsler ses ikke, at meget små afstande eller meget store afstande giver væsentligt værre eller bedre effekter.

Buelængdens betydning er også undersøgt, og resultaterne giver anledning til de samme bemærkninger, som udledt af tabel 35.

## 6.6 Indskreven cirkeldiameter, forsætning og geometriske relationer

Minirundkørslerne har alle en indskreven cirkeldiameter under 24 m, mens de flersporede og signalregulerede rundkørsler har indskreven cirkeldiameter over 48 m. For disse tre typer af rundkørsler ses ikke sammenhænge mellem indskreven cirkeldiameter og sikkerhedseffekter. For 1-sporede rundkørsler synes der at være en vis sammenhæng. I tabel 36 på næste side er vist effekter på uheld og personskader opdelt efter indskreven cirkeldiameter. I byzone ser det ud til, at effekterne er bedre ved en diameter over 35 m end under 35 m. I landzone ser effekter ud til



at være lidt bedre ved en indskreven cirkeldiameter på 45-50 m end ved mindre eller større rundkørsler.

| Zone, indskreven cirkeldiameter |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|---------------------------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                 |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                              | 12,0-24,9 m | 48        | 50    | +5%    | 16           | 12    | -24%   |
|                                 | 25,0-34,9 m | 162       | 148   | -9%    | 61           | 64    | +5%    |
|                                 | 35,0-44,9 m | 74        | 53    | -29%   | 29           | 20    | -31%   |
|                                 | 45,0-49,9 m | 23        | 20    | -14%   | 19           | 5     | -73%   |
|                                 | 50,0-76,0 m | 6         | 8     | +38%   | 4            | 1     | -72%   |
| Land                            | 25,0-34,9 m | 46        | 30    | -35%   | 29           | 7     | -76%   |
|                                 | 35,0-44,9 m | 120       | 63    | -48%   | 66           | 17    | -74%   |
|                                 | 45,0-49,9 m | 292       | 133   | -54%   | 197          | 26    | -87%   |
|                                 | 50,0-76,0 m | 66        | 47    | -29%   | 28           | 10    | -64%   |

**Tabel 36.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler opdelt på by- og landzone og indskreven cirkeldiameter.

Den indskrevne cirkel udgøres af midterø, overkørsels- og cirkulationsareal. I rundkørsler med en lille midterø diameter er cirkulationssporet ofte bredt for, at lange køretøjer kan manøvrere i rundkørslen. Selv med et smalt cirkulationsspor kan lange køretøjer manøvrere, når midterøen er stor.

| Type, zone og forholdet indskreven cirkel / midterø+overkørselsareal |            |           | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                                      |            |           | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Mini                                                                 | By         | 1,70-1,99 | 24        | 37    | +53%   | 10           | 19    | +85%   |
|                                                                      |            | 2,00-4,00 | 63        | 71    | +13%   | 31           | 20    | -36%   |
| 1-sporet                                                             | By         | 1,24-1,29 | 13        | 9     | -28%   | 6            | 1     | -84%   |
|                                                                      |            | 1,30-1,39 | 57        | 33    | -42%   | 19           | 12    | -38%   |
|                                                                      |            | 1,40-1,49 | 72        | 61    | -16%   | 34           | 26    | -23%   |
|                                                                      |            | 1,50-1,69 | 110       | 118   | +7%    | 48           | 41    | -15%   |
|                                                                      |            | 1,70-3,00 | 61        | 58    | -5%    | 20           | 22    | +10%   |
|                                                                      | Land       | 1,21-1,29 | 41        | 40    | -3%    | 13           | 8     | -39%   |
|                                                                      |            | 1,30-1,39 | 321       | 143   | -55%   | 207          | 30    | -85%   |
|                                                                      |            | 1,40-1,49 | 113       | 60    | -47%   | 71           | 15    | -79%   |
|                                                                      |            | 1,50-1,69 | 28        | 18    | -37%   | 15           | 5     | -68%   |
|                                                                      |            | 1,70-2,25 | 21        | 12    | -44%   | 13           | 2     | -84%   |
| Flersporet                                                           | By og land | 1,15-1,29 | 51        | 42    | -18%   | 16           | 7     | -55%   |
|                                                                      |            | 1,30-1,39 | 26        | 26    | -1%    | 13           | 2     | -85%   |
|                                                                      |            | 1,40-1,58 | 17        | 14    | -18%   | 10           | 4     | -58%   |

**Tabel 37.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af rundkørsel, by- og landzone samt forholdet mellem indskreven cirkeldiameter og diameter for midterø + overkørselsareal.

For minirundkørsler ser det ud til, at sikkerhedseffekterne er bedre, når den indskrevne cirkeldiameter er mere end dobbelt så stor som diameteren for midterø og overkørselsareal. Ved 1-sporede rundkørsler er det anderledes. Her opnås de bed-

ste effekter, når den indskrevne cirkeldiameter er 1,3-1,4 gange større end diameteren for midterø og overkørselsareal, både i by- og landzone. I flersporede rundkørsler synes der ikke at være en sammenhæng mellem sikkerhedseffekter og forholdet mellem indskreven cirkeldiameter og diameteren for midterø og overkørselsareal.

Betragtes 1-sporede rundkørsler med diametre for midterø og overkørselsareal på hhv. 20-25, 26-30, 31-35 og 36-40 m fås, at det fortsat er rundkørsler med et forhold mellem indskreven cirkeldiameter og diameteren midterø og overkørselsareal på ca. 1,3-1,4, der medfører de bedste sikkerhedseffekter både i by- og landzone. Det viser, at cirkulationsarealet med fordel kan være 5-6 m bredt i rundkørsler med en samlet diameter for midterø og overkørselsareal på 30 m.

Der er også opstillet lignende tabeller som tabel 37, hvor der er set på forholdet mellem indskreven cirkeldiameter og midterø diameter, altså hvor overkørselsarealet ikke indgår. Det giver nogenlunde de samme resultater. Der er også set på at lade eventuelle cykelbaner indgå i den indskrevne cirkel. Igen fås resultater i samme retning.

Forsætningen fra en tilfart og forbi midterøen måles lidt forskelligt for de enkelte typer af sekundærheller. Forsætningen kan også være forskellig for rundkørselens tilfarter. I det følgende ses på om forsætning, forsætningsstrækning og en beregnet cirkulationshastighed har betydning for sikkerhedseffekter. Cirkulationshastighed er beregnet på samme måde, som angivet af Jensen (2012) side 83.

| Zone, forsætning |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------------------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                  |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By               | -0,2-3,9 m  | 124       | 149   | +20%   | 60           | 60    | -1%    |
|                  | 4,0-7,9 m   | 128       | 122   | -4%    | 41           | 39    | -4%    |
|                  | 8,0-9,9 m   | 75        | 48    | -36%   | 30           | 20    | -33%   |
|                  | 10,0-11,9 m | 77        | 72    | -6%    | 31           | 18    | -42%   |
|                  | 12,0-14,9 m | 59        | 46    | -22%   | 35           | 12    | -66%   |
|                  | 15,0-22,0 m | 3         | 1     | -62%   | 1            | 0     | -100%  |
| Land             | -0,2-3,9 m  | 8         | 6     | -23%   | 2            | 2     | -10%   |
|                  | 4,0-7,9 m   | 59        | 35    | -41%   | 41           | 7     | -83%   |
|                  | 8,0-9,9 m   | 90        | 44    | -51%   | 53           | 16    | -70%   |
|                  | 10,0-11,9 m | 166       | 68    | -59%   | 94           | 10    | -89%   |
|                  | 12,0-14,9 m | 138       | 79    | -43%   | 85           | 15    | -82%   |
|                  | 15,0-22,0 m | 125       | 98    | -22%   | 66           | 18    | -73%   |

**Tabel 38.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forsætning.

Af tabel 38 ses, at sikkerhedseffekterne i byzone i hovedtræk bliver stadig bedre, jo større forsætningen er. I landzone er effekterne gode, når forsætningen er 4 m eller mere, og effekterne synes bedst ved forsætninger på 10-12 m. Det er dog

ganske forskelligt, hvordan effekternes relation til forsætning er for de enkelte typer af sekundærheller, se tabel 39.

| Type af sekundærhelle, zone og forsætning |      |             | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-------------------------------------------|------|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                           |      |             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Ingen                                     | By   | -0,2-3,9 m  | 26        | 17    | -34%   | 12           | 9     | -27%   |
|                                           |      | 4,0-7,9 m   | 11        | 14    | +31%   | 2            | 3     | +62%   |
|                                           |      | 8,0-9,9 m   | 4         | 8     | +86%   | 2            | 1     | -55%   |
| Parallel                                  | By   | -0,2-3,9 m  | 22        | 41    | +89%   | 13           | 22    | +73%   |
|                                           |      | 4,0-7,9 m   | 15        | 27    | +85%   | 5            | 8     | +56%   |
|                                           |      | 8,0-11,9 m  | 7         | 11    | +55%   | 3            | 3     | +5%    |
|                                           | Land | 4,0-7,9 m   | 7         | 3     | -55%   | 5            | 1     | -81%   |
|                                           |      | 10,0-14,9 m | 5         | 1     | -78%   | 1            | 0     | -100%  |
| Trekant                                   | By   | -0,2-3,9 m  | 40        | 50    | +26%   | 18           | 15    | -18%   |
|                                           |      | 4,0-7,9 m   | 47        | 36    | -23%   | 17           | 15    | -14%   |
|                                           |      | 8,0-9,9 m   | 34        | 18    | -48%   | 18           | 7     | -60%   |
|                                           |      | 10,0-11,9 m | 21        | 25    | +19%   | 7            | 7     | +4%    |
|                                           |      | 12,0-14,9 m | 8         | 4     | -48%   | 8            | 2     | -76%   |
|                                           | Land | -0,2-3,9 m  | 8         | 6     | -23%   | 2            | 2     | -10%   |
|                                           |      | 4,0-7,9 m   | 40        | 25    | -37%   | 31           | 4     | -87%   |
|                                           |      | 8,0-9,9 m   | 54        | 15    | -72%   | 33           | 7     | -79%   |
|                                           |      | 10,0-11,9 m | 104       | 50    | -52%   | 63           | 8     | -87%   |
|                                           |      | 12,0-14,9 m | 50        | 23    | -54%   | 32           | 1     | -97%   |
|                                           |      | 15,0-22,0 m | 25        | 32    | +28%   | 11           | 6     | -44%   |
| Trompet                                   | By   | Under 15 m  | 6         | 11    | +82%   | 4            | 3     | -30%   |
|                                           |      | Over 15 m   | 3         | 1     | -62%   | 1            | 0     | -100%  |
|                                           | Land | Under 15 m  | 40        | 23    | -42%   | 24           | 3     | -87%   |
|                                           |      | Over 15 m   | 53        | 21    | -61%   | 28           | 5     | -82%   |

**Tabel 39.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til mini- og 1-sporede rundkørsler opdelt efter type af sekundærhelle, by- og landzone samt forsætning.

Af tabel 39 ses, at effekterne på uheld bliver bedre, jo mindre forsætningen er, når der ikke forefindes sekundærheller i rundkørslen. Effekterne på uheld og personskader bliver derimod bedre, jo større forsætningen er, når der er parallelheller i rundkørslen. Effekterne synes bedst ved forsætninger på 8-15 m i rundkørsler med trekantsheller. Endelig er effekterne eventuelt bedre, når forsætningen er mere end 15 m i rundkørsler med trompetheller.

Sikkerhedseffekter er også opgjort i relation til forsætningsstrækningens længde. De relationer, der er fundet mellem effekter og forsætning i tabel 38, er også fundet mellem forsætningsstrækningens længde og effekter. Jo længere forsætningsstrækningen er, desto bedre er effekterne i byzone. Effekterne forekommer bedst, når forsætningsstrækningen er 20-35 m i landzone. Effekternes relation til forsætningsstrækningen er på samme måde forskellig for de enkelte typer af sekundærheller, som det ses i tabel 39.

| Zone og cirkulationshastighed |                | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|-------------------------------|----------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                               |                | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                            | 17,2-29,9 km/t | 178       | 165   | -7%    | 68           | 51    | -25%   |
|                               | 30,0-34,9 km/t | 128       | 129   | +1%    | 50           | 54    | +8%    |
|                               | 35,0-39,9 km/t | 91        | 85    | -7%    | 47           | 29    | -39%   |
|                               | 40,0-50,0 km/t | 68        | 59    | -13%   | 33           | 15    | -55%   |
| Land                          | 17,2-29,9 km/t | 18        | 12    | -35%   | 8            | 3     | -62%   |
|                               | 30,0-34,9 km/t | 194       | 114   | -41%   | 119          | 23    | -81%   |
|                               | 35,0-39,9 km/t | 222       | 118   | -47%   | 119          | 20    | -83%   |
|                               | 40,0-50,0 km/t | 152       | 86    | -43%   | 94           | 22    | -77%   |

**Tabel 40.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone og beregnet cirkulationshastighed.

| Type af sekundærhelle, zone og beregnet cirkulationshastighed |      |                | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|---------------------------------------------------------------|------|----------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                                               |      |                | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Ingen                                                         | By   | 17,2-29,9 km/t | 37        | 32    | -14%   | 14           | 10    | -31%   |
|                                                               |      | 30,0-39,9 km/t | 4         | 7     | +95%   | 2            | 3     | +48%   |
| Parallel                                                      | By   | 17,2-29,9 km/t | 17        | 27    | +61%   | 5            | 10    | +112%  |
|                                                               |      | 30,0-34,9 km/t | 16        | 39    | +137%  | 13           | 15    | +14%   |
|                                                               |      | 35,0-39,9 km/t | 10        | 13    | +29%   | 3            | 8     | +193%  |
|                                                               | Land | 30,0-34,9 km/t | 6         | 1     | -82%   | 3            | 0     | -100%  |
|                                                               |      | 35,0-39,9 km/t | 6         | 3     | -46%   | 4            | 1     | -72%   |
| Trekant                                                       | By   | 17,2-29,9 km/t | 59        | 47    | -21%   | 23           | 12    | -47%   |
|                                                               |      | 30,0-34,9 km/t | 49        | 48    | -2%    | 19           | 21    | +11%   |
|                                                               |      | 35,0-39,9 km/t | 30        | 27    | -9%    | 20           | 9     | -55%   |
|                                                               |      | 40,0-50,0 km/t | 12        | 11    | -5%    | 6            | 4     | -38%   |
|                                                               | Land | 17,2-29,9 km/t | 4         | 4     | +1%    | 3            | 1     | -69%   |
|                                                               |      | 30,0-34,9 km/t | 125       | 68    | -46%   | 76           | 12    | -84%   |
|                                                               |      | 35,0-39,9 km/t | 115       | 58    | -50%   | 73           | 13    | -82%   |
|                                                               |      | 40,0-50,0 km/t | 37        | 21    | -43%   | 22           | 2     | -91%   |
| Trompet                                                       | By   | 40,0-50,0 km/t | 9         | 12    | +38%   | 6            | 3     | -47%   |
|                                                               | Land | 35,0-39,9 km/t | 22        | 8     | -64%   | 9            | 1     | -89%   |
|                                                               |      | 40,0-50,0 km/t | 71        | 36    | -49%   | 43           | 7     | -84%   |

**Tabel 41.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til mini- og 1-sporede rundkørsler opdelt efter type af sekundærhelle, by- og landzone samt beregnet cirkulationshastighed.

I tabel 40 og 41 er sikkerhedseffekter på uheld og personskader opdelt efter den beregnede cirkulationshastighed. I hovedtræk forekommer der ikke at være stærke relationer mellem effekter og cirkulationshastighed. Der er kun svage antydninger af, at særligt lave cirkulationshastigheder under 30 km/t i landzone kan resultere i relativt dårligere effekter end højere hastigheder. Der er også svage antydninger af, at effekter bliver bedre, jo mindre den beregnede cirkulationshastighed er i rundkørsler uden sekundærheller eller med trompetheller.

Det bør nævnes, at den anvendte metode til beregning af cirkulationshastighed, som angivet i tabel 40 og 41, ikke er empirisk baseret. Derfor er der i det følgende set på nye metoder til beregning af hastighed baseret på målte hastigheder i rundkørsler. Der er fundet en italiensk metode (Bassani og Sacchi, 2011) og en amerikansk (Chen et al., 2013). Den italienske metode er baseret på en regression af målte hastigheder i cirkulationsarealet i 34 rundkørsler. De får følgende model for de italienske rundkørsler:

$$V_{85} = 0,4433 \times D_{INT} + 0,8367 \times W_{CR} + 3,2272 \times W_{ENL},$$

hvor  $V_{85}$  er 85-percentilen for cirkulationshastigheden i km/t,  $D_{INT}$  er diameter for midterø (+ overkørselsareal) i m,  $W_{CR}$  er bredde af cirkulationsareal i m og  $W_{ENL}$  er bredde af tilfart i m. I vor studie af ombygning af kryds til 332 rundkørsler beregnes  $V_{85}$  til at være mellem 14,5 og 61,3 km/t.

Den amerikanske metode er baseret på en regression af målte hastigheder i 173 rundkørsler: A) i tilfart mindst 60 m fra vigelinjen, B) ved indkørsel (ved ydre begrænsningslinje), C) ved cirkulation (i cirkulationsareal ud for vejgrens midterlinje), samt D) ved udkørsel (ved ydre begrænsningslinje). De får følgende model for de amerikanske rundkørsler:

$$AAS = 9,926994 + 0,034074 \times D_{AV} + 0,142936 \times W_{AV},$$

Hvor AAS er gennemsnittet af de fire hastigheder for tilfart, indkørsel, cirkulation og udkørsel i mph,  $D_{AV}$  er gennemsnittet af diameteren for indskreven cirkel og midterø (+ overkørselsareal) – altså diameteren for midten af cirkulationsarealet og  $W_{AV}$  er gennemsnittet af bredde af tilfart, frafart og cirkulationsareal. I vor studie omregnes AAS til km/t og fås til at være mellem 19,9 og 33,5 km/t.

| Zone og cirkulationshastigheden $V_{85}$ |                | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------------------------------------------|----------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                          |                | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                                       | 14,5-19,9 km/t | 90        | 104   | +15%   | 45           | 38    | -15%   |
|                                          | 20,0-24,9 km/t | 164       | 162   | -1%    | 57           | 61    | +7%    |
|                                          | 25,0-29,9 km/t | 102       | 86    | -16%   | 38           | 32    | -15%   |
|                                          | 30,0-34,9 km/t | 32        | 25    | -22%   | 19           | 9     | -53%   |
|                                          | 35,0-39,9 km/t | 11        | 10    | -9%    | 11           | 1     | -91%   |
|                                          | 40,0-61,3 km/t | 65        | 51    | -21%   | 29           | 8     | -73%   |
| Land                                     | 20,0-24,9 km/t | 30        | 19    | -37%   | 18           | 4     | -77%   |
|                                          | 25,0-29,9 km/t | 98        | 59    | -40%   | 57           | 15    | -74%   |
|                                          | 30,0-34,9 km/t | 357       | 156   | -56%   | 233          | 32    | -86%   |
|                                          | 35,0-39,9 km/t | 49        | 43    | -13%   | 13           | 7     | -46%   |
|                                          | 40,0-61,3 km/t | 52        | 53    | +2%    | 19           | 10    | -47%   |

**Tabel 42.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone og den beregnede cirkulationshastighed  $V_{85}$  efter italiensk model.

| Zone og hastigheden<br>AAS |                | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|----------------------------|----------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                            |                | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| By                         | 19,9-21,9 km/t | 98        | 113   | +16%   | 46           | 40    | -13%   |
|                            | 22,0-23,9 km/t | 165       | 163   | -1%    | 59           | 62    | +5%    |
|                            | 24,0-25,9 km/t | 104       | 80    | -23%   | 41           | 32    | -22%   |
|                            | 26,0-27,9 km/t | 28        | 24    | -15%   | 20           | 7     | -65%   |
|                            | 28,0-33,5 km/t | 70        | 58    | -17%   | 33           | 8     | -76%   |
| Land                       | 22,0-23,9 km/t | 32        | 22    | -30%   | 22           | 5     | -78%   |
|                            | 24,0-25,9 km/t | 71        | 31    | -56%   | 36           | 8     | -78%   |
|                            | 26,0-27,9 km/t | 414       | 205   | -50%   | 259          | 41    | -84%   |
|                            | 28,0-33,5 km/t | 70        | 72    | +3%    | 22           | 14    | -37%   |

**Tabel 43.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone og den beregnede hastighed AAS efter amerikansk model.

I tabel 42 og 43 er sikkerhedseffekter på uheld og personskader opgjort på baggrund af samtlige 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler. Tabel 42 og 43 er desuden opdelt efter by- og landzone samt hhv. hastigheden  $V_{85}$  og AAS. Det ses, at effekterne er bedst ved høje beregnede hastigheder i byzone hhv.  $V_{85}$  over 30 km/t og AAS over 25 km/t. I landzone er effekterne derimod bedst ved lave beregnede hastigheder hhv.  $V_{85}$  under 35 km/t og AAS under 28 km/t.

Der er desuden lavet tabeller lignende tabel 42 og 43, men for hver af de fire typer af rundkørsler. Disse tabeller peger i de samme retninger, nemlig gode effekter ved høje beregnede hastigheder i byzone og gode effekter ved lave beregnede hastigheder i landzone. Opdeler man ikke på by- og landzone fås, at effekterne er klart bedst ved en  $V_{85}$  på 30,0-34,9 km/t og en AAS på 26-27,9 km/t. Det er helt i tråd med tidligere resultater i nærværende kapitel, at effekterne er bedst, når den beregnede hastighed er lidt over middel. Det blev også fundet ved studier af bredde af tilfarts- og frafartsspor samt diameter på midterø og indskreven cirkel.

## 7. Oversigt, forvarsling og afmærkning

I dette kapitel ses nærmere på betydningen af overblikforholdene, forvarsling, vejvisning og anden afmærkning i og ved rundkørsler. Data om midterøens højde er ændret for nogle få rundkørsler set i forhold til den tidligere evaluering, som følge af nye fotos i Google Streetview.

### 7.1 Midterøens højde og udseende

Midterøens højde påvirker mulighederne for at se trafikken, der cirkulerer i rundkørslen eller er på vej ind i rundkørslen. Midterøens højde og udseende påvirker samtidig mulighederne for at erkende rundkørslen.

Der findes ingen sammenhæng mellem midterøens højde og hastighedsbegrænsningen på vejene hen til rundkørsler, når rundkørslerne opdeles efter hovedtype; minirundkørsel, 1-sporet, flersporet og signalreguleret rundkørsel. Det er derfor ikke væsentligt at opdele materialet efter hastighedsbegrænsning.

Midterøens højde er skønnet primært på baggrund af fotos i Google Streetview. Højden er koteforskellen mellem cirkulationsareal og ”ting” hhv. 0-3 meter fra kanten af midterøen og på midterøens midte, som en trafikant kan ”gemme” sig bag. En sådan ”ting” skal være ganske bred og kan ikke kun bestå af fx en flagstang, mast, træstamme o. lign. Der skal noget mere fyldigt til såsom en jordvold, tæt beplantning, skulptur o. lign.

| Type af rundkørsel | Midterøens højde på midten | N  | Før | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|--------------------|----------------------------|----|-----|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| 1-sporet           | 0-0,4 meter                | 31 | 130 | 82        | 55    | -33%   | Ja           | Nej      |
|                    | 0,5-0,9 meter              | 52 | 282 | 185       | 149   | -20%   | Ja           | Ja       |
|                    | 1,0-1,4 meter              | 44 | 245 | 147       | 118   | -20%   | Tendens      | Ja       |
|                    | 1,5-1,9 meter              | 25 | 167 | 95        | 59    | -38%   | Ja           | Nej      |
|                    | 2,0-2,4 meter              | 30 | 208 | 130       | 67    | -48%   | Ja           | Nej      |
|                    | 2,5-10,0 meter             | 49 | 332 | 199       | 104   | -48%   | Ja           | Nej      |
| Flersporet         | 0,5-0,9 meter              | 5  | 31  | 19        | 16    | -15%   | Nej          | Ja       |
|                    | 1,0-1,4 meter              | 4  | 34  | 21        | 17    | -20%   | Nej          | Ja       |
|                    | 1,5-1,9 meter              | 3  | 40  | 23        | 21    | -7%    | Nej          | Nej      |
|                    | 2,0-2,4 meter              | 2  | 14  | 8         | 7     | -15%   | Nej          | Ja       |
|                    | 2,5-10,0 meter             | 2  | 40  | 24        | 21    | -11%   | Nej          | Ja       |

**Tabel 44.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til hhv. 1-sporede og flersporede rundkørsler opdelt efter midterøens højde på midten. Note: N = antal steder med uheld.

I tabel 44 er sikkerhedseffekter på uheld opdelt efter midterøens højde på midten. Det ses, at sikkerhedseffekten ved ombygninger til 1-sporede rundkørsler med midterøer, som er 2 m eller højere på midten, er et fald i uheld på 48%, mens ef-

fekten kun er et fald på 20% ved en midterø højde på 0,5-1,4 m. Tabel 44 tyder således på, at det er sikrest ikke at kunne se trafikanter på den modsatte side af den 1-sporede rundkørsel, altså ved en midterø højde over 1,5-2,0 m.

Højden af midterøen ser derimod ikke ud til at påvirke sikkerheden i flersporede rundkørsler, idet sikkerhedseffekten ikke varierer væsentligt i forhold til højden, se tabel 44.

| Overordnet uheldssituation       | Midterøens højde på midten |       |        |            |       |        |
|----------------------------------|----------------------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                  | 0,5-1,4 m                  |       |        | 2,0-10,0 m |       |        |
|                                  | Forventet                  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| Eneuheld                         | 35                         | 98    | +180%  | 24         | 100   | +323%  |
| Højresvingsuheld                 | 29                         | 100   | +248%  | 20         | 28    | +38%   |
| Venstresvingsuheld/tværkollision | 236                        | 36    | -85%   | 261        | 5     | -98%   |
| Andre uheld                      | 32                         | 33    | +4%    | 24         | 38    | +57%   |

**Tabel 45.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler med midterø højde på hhv. 0,5-1,4 og 2,0-10,0 m opdelt efter uheldssituation. Note: Overordnet uheldssituation er defineret af Jensen (2012) side 49.

Af tabel 45 ses, at det hovedsageligt er forskelle i effekten på højresvingsuheld, venstresvingsuheld og tværkollisioner, der medfører den særligt gunstige effekt ved en højde på 2 m eller mere på midterøens midte. Tabel 45 kunne tyde på, at høje midterøer resulterer i en sikrere trafikafvikling mellem cirkulerende trafik og trafikanter på vej ind og ud af rundkørslen. Derimod giver høje midterøer anledning til flere eneuheld og andre uheld. Dog er effekter på personskader bedre med høje midterøer for eneuheld og andre uheld end med lave midterøer.

| Uheld med følgende trafikarter involveret | Midterøens højde på midten |       |        |            |       |        |
|-------------------------------------------|----------------------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                           | 0,5-1,4 m                  |       |        | 2,0-10,0 m |       |        |
|                                           | Forventet                  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| Fodgænger                                 | 10                         | 4     | -61%   | 1          | 1     | +21%   |
| Cykel                                     | 36                         | 89    | +146%  | 20         | 11    | -44%   |
| Knallert, motorcykel                      | 34                         | 37    | +7%    | 19         | 28    | +47%   |
| Personbil, varebil, lastbil, bus          | 316                        | 242   | -23%   | 324        | 154   | -53%   |

**Tabel 46.** Sikkerhedseffekter på uheld med diverse involverede trafikarter af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler med midterø højde på hhv. 0,5-1,4 og 2,0-10,0 m.

Af tabel 46 ses, at de høje midterøer er en markant sikkerhedsmæssig fordel for cyklister og bilister set i forhold til de noget lavere midterøer. Tabel 46 kunne pege i retning af, at trafikanterne orienterer sig anderledes i rundkørsler med høje midterøer, så de oftere ser potentielle modparter. De flere knallert-mc-uheld ved høje midterøer skyldes flere eneuheld og bagendekollisioner.

Tabel 47 på næste side viser sikkerhedseffekter opdelt på midterøens udseende og om de er høje og lave. Af tabel 47 ses, at forskellen i sikkerhedseffekt mellem



høje og lave midterøer ikke er så stor, når det er buske og/eller træer, der findes på midterøen. Derimod er forskellen stor, når der blot er græs på midterøen eller denne er udsmykket. En udsmykket midterø kan foruden skulpturer o. lign. være forsynet med græs, buske og træer. Baggrunden for den mere beskedne forskel i sikkerhedseffekt på høje og lave midterøer med buske og/eller træer kan eventuelt være, at beplantningens transparens ikke er vurderet korrekt eller er varierende fx mellem sommer og vinter.

| Midterøens udseende  | Midterøens højde på midten |       |        |            |       |        |
|----------------------|----------------------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                      | 0,5-1,4 m                  |       |        | 2,0-10,0 m |       |        |
|                      | Forventet                  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| Buske og/eller træer | 212                        | 173   | -19%   | 200        | 126   | -37%   |
| Græs                 | 104                        | 79    | -24%   | 100        | 36    | -64%   |
| Udsmykket, kunst     | 15                         | 15    | -2%    | 29         | 9     | -69%   |

**Tabel 47.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler med midterø højde på hhv. 0,5-1,4 og 2,0-10,0 m opdelt efter midterøens udseende.

Jensen (2012) dokumenterede, at sikkerhedseffekten af ombygninger af kryds til rundkørsler er bedre på lang sigt end på kort sigt, primært som følge af færre ulykker på lang sigt. Man kan fx forestille sig, at den bedre langsigtede effekt forekommer, fordi trafikanterne vænner sig til rundkørslen, rundkørselens design ændres og midterøens beplantning vokser.

Samtlige rundkørsler er blevet opdelt i midterøer med voksende beplantning som buske og træer, og midterøer med stabil højde fx med en overflade af sten, asfalt, græs, skulpturer, o. lign. I tabel 48 indgår samtlige 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler.

| Midterøens højde på midten og stabilitet i højde (beplantning) | Sikkerhedseffekt |       |         |         |                   |                   |
|----------------------------------------------------------------|------------------|-------|---------|---------|-------------------|-------------------|
|                                                                | 1. år            | 2. år | 3-5. år | 6-9. år | Kort sigt 1-2. år | Lang sigt 3-9. år |
| Stabil højde                                                   | -14%             | -25%  | -30%    | -33%    | -20%              | -32%              |
| ... heraf 0-1,4 m høj                                          | +4%              | -14%  | -16%    | -28%    | -5%               | -21%              |
| ... heraf 1,5-10 m høj                                         | -42%             | -42%  | -50%    | -40%    | -42%              | -45%              |
| Voksende højde                                                 | -14%             | -32%  | -32%    | -32%    | -23%              | -32%              |
| ... heraf 0-1,4 m høj                                          | +1%              | -17%  | -25%    | -28%    | -8%               | -26%              |
| ... heraf 1,5-10 m høj                                         | -27%             | -45%  | -37%    | -36%    | -36%              | -37%              |
| Total                                                          | -14%             | -29%  | -31%    | -33%    | -22%              | -32%              |

**Tabel 48.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på år efter ombygningsperiode (kort- og langtids effekter) samt midterøens højde på midten og stabiliteten i denne højde.

Af tabel 48 ses, at sikkerhedseffekten er bedre på lang sigt end på kort sigt. Dette gælder særligt for rundkørsler med en midterø højde under 1,5 m, både for rundkørsler med midterø med en stabil hhv. en voksende højde. For rundkørsler med

højere midterøer er de kort- og langsigtende effekter næsten ens, både for rundkørsler med midterø med en stabil hhv. en voksende højde. Dette peger klart på, at det tager lang tid for trafikanterne at vænne sig rundkørsler med lave midterøer, mens trafikanterne vænner sig meget hurtigt til rundkørsler med høje midterøer. Sikkerhedseffekten af rundkørsler med høje midterøer er langt bedre end rundkørsler med lave midterøer på kort sigt, men kun noget bedre på lang sigt.

| Midterøens højde på midten og type af uheld (hhv. eneuheld og flerpartsuheld) | Sikkerhedseffekt |       |         |         |                      |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|---------|---------|----------------------|----------------------|
|                                                                               | 1. år            | 2. år | 3-5. år | 6-9. år | Kort sigt<br>1-2. år | Lang sigt<br>3-9. år |
| 0-1,4 m høj                                                                   | +3%              | -16%  | -21%    | -28%    | -6%                  | -24%                 |
| ... heraf eneuheld                                                            | +247%            | +211% | +126%   | +36%    | +229%                | +82%                 |
| ... heraf flerpartsuheld                                                      | -28%             | -44%  | -39%    | -36%    | -36%                 | -37%                 |
| 1,5-10 m høj                                                                  | -32%             | -44%  | -42%    | -37%    | -38%                 | -39%                 |
| ... heraf eneuheld                                                            | +308%            | +247% | +214%   | +231%   | +278%                | +223%                |
| ... heraf flerpartsuheld                                                      | -62%             | -69%  | -65%    | -64%    | -66%                 | -64%                 |
| Total                                                                         | -14%             | -29%  | -31%    | -33%    | -22%                 | -32%                 |

**Tabel 49.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på år efter ombygningsperiode (kort- og langtidseffekter) samt midterøens højde på midten og type af uheld (eneuheld og flerpartsuheld).

I tabel 49 er sikkerhedseffekter opdelt efter højde af midterø på midten og type af uheld. Det ses, at effekten på uheld er bedre for høje midterøer end lave især på kort sigt. Tillige ses, at baggrunden for den bedre langsigtede effekt set i forhold til den kortsigtede effekt for rundkørsler med lave midterøer er, at effekten på eneuheld er langt bedre på lang sigt end på kort sigt. Effekter på flerpartsuheld ved både lave og høje midterøer samt eneuheld ved høje midterøer udvikler sig ikke væsentligt over tid.

| Type af rundkørsel | Midterøens højde 0-3 m fra kant | N   | Før | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|--------------------|---------------------------------|-----|-----|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| 1-sporet           | 0-0,4 meter                     | 156 | 897 | 552       | 350   | -37%   | Ja           | Nej      |
|                    | 0,5-0,9 meter                   | 50  | 312 | 192       | 127   | -34%   | Ja           | Nej      |
|                    | 1,0-1,4 meter                   | 13  | 74  | 43        | 45    | +5%    | Nej          | Ja       |
|                    | 1,5-2,5 meter                   | 12  | 81  | 50        | 30    | -41%   | Ja           | Nej      |
| Flersporet         | 0-0,4 meter                     | 11  | 96  | 58        | 42    | -27%   | Tendens      | Ja       |
|                    | 0,5-0,9 meter                   | 3   | 35  | 20        | 16    | -21%   | Nej          | Ja       |
|                    | 1,0-1,4 meter                   | 2   | 28  | 17        | 24    | +44%   | Nej          | Ja       |

**Tabel 50.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til hhv. 1-sporede og flersporede rundkørsler opdelt efter midterøens højde 0-3 m fra kanten af midterøen. Note: N = antal steder med uheld.

Tabel 50 kunne svagt tyde på, at sikkerheden ikke er så god, hvis midterøen er 1,0-1,4 m høj i kanten af midterøen. Dette ser ud til at gøre sig gældende uanset midterøens udseende (græs, buske, træer, sten, osv.).

Samlet set viser tallene, at midterøens højde har en stor betydning for sikkerhedseffekterne. De sikreste rundkørsler fås, når midterøen er over 2 m høj på midten og lavere end 1 m eller højere end 1,5 m i området 0-3 m fra midterøens kant.

## 7.2 Oversigt før rundkørsel

Oversigten til cirkulationsareal og tilfart til venstre for egen tilfart på vej hen mod rundkørslen er opmålt, som angivet i kapitel 3. Denne oversigt før rundkørslen er målt for hver tilfart. Da uheldene ikke er opdelt på vejben/vejgrene, er det nødvendigt at relatere sikkerhedseffekten til et gennemsnit af denne oversigt for alle vejgrene i rundkørslen eller en andel af vejgrene med en given oversigt.

| Gennemsnitlig oversigt<br>før rundkørsel | Byzone    |       |        | Landzone  |       |        |
|------------------------------------------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|
|                                          | Forventet | Efter | Effekt | Forventet | Efter | Effekt |
| 5,0-15,0 m                               | 57        | 45    | -21%   | 5         | 4     | -18%   |
| 15,1-30,0 m                              | 108       | 138   | +28%   | 24        | 10    | -58%   |
| 30,1-50,0 m                              | 144       | 140   | -3%    | 123       | 75    | -39%   |
| 50,1-75,0 m                              | 89        | 67    | -25%   | 180       | 99    | -45%   |
| 75,1-100,0 m                             | 67        | 48    | -29%   | 255       | 142   | -44%   |

**Tabel 51.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen.

På grund af beplantning og bygninger er oversigten før rundkørslen oftest kortere i byområder end på landet. Hastighedsbegrænsning og trafiksammensætningen er også vidt forskellig i byer i forhold til på landet. Derfor er analysen i dette afsnit opdelt på by og land. I tabel 51 er sikkerhedseffekten for samtlige ombygninger af kryds til rundkørsler opdelt på by- og landzone samt opdelt efter den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen. Tabellen tyder på, at en gennemsnitlig oversigt før rundkørslen på 15-50 m i byzone er mindre sikker end kortere eller længere længder, mens oversigt før rundkørslen i landzone umiddelbart ikke forekommer at være væsentligt for sikkerhedseffekten. En analyse viser dog, at oversigten før rundkørslen er af vidt forskellig betydning for de forskellige typer af rundkørsler.

| Gennemsnitlig oversigt<br>før rundkørsel | Minirundkørsler |       |        | Flersporede rundkørsler |       |        |
|------------------------------------------|-----------------|-------|--------|-------------------------|-------|--------|
|                                          | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet               | Efter | Effekt |
| 5,0-15,0 m                               | 25              | 26    | +4%    | -                       | -     | -      |
| 15,1-30,0 m                              | 26              | 39    | +50%   | 2                       | 0     | -100%  |
| 30,1-50,0 m                              | 23              | 31    | +36%   | 10                      | 7     | -31%   |
| 50,1-75,0 m                              | 13              | 12    | -8%    | 60                      | 46    | -23%   |
| 75,1-100,0 m                             | -               | -     | -      | 23                      | 29    | +25%   |

**Tabel 52.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler i byzone samt flersporede rundkørsler i by- og landzone opdelt efter den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen.

| Gennemsnitlig oversigt<br>før rundkørsel |              | 1-sporet rundkørsel, 0-1,4 m høj |       |        | 1-sporet rundkørsel, 1,5-10 m høj |       |        |
|------------------------------------------|--------------|----------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|-------|--------|
|                                          |              | Forventet                        | Efter | Effekt | Forventet                         | Efter | Effekt |
| Byzone                                   | 5,0-15,0 m   | 32                               | 19    | -40%   | -                                 | -     | -      |
|                                          | 15,1-30,0 m  | 48                               | 62    | +28%   | 32                                | 37    | +16%   |
|                                          | 30,1-50,0 m  | 96                               | 91    | -5%    | 25                                | 18    | -28%   |
|                                          | 50,1-75,0 m  | 19                               | 17    | -9%    | 28                                | 16    | -44%   |
|                                          | 75,1-100,0 m | 27                               | 17    | -37%   | 6                                 | 2     | -67%   |
| Landzone                                 | 5,0-15,0 m   | 5                                | 4     | -18%   | -                                 | -     | -      |
|                                          | 15,1-30,0 m  | 8                                | 7     | -13%   | 16                                | 3     | -81%   |
|                                          | 30,1-50,0 m  | 49                               | 35    | -28%   | 64                                | 33    | -49%   |
|                                          | 50,1-75,0 m  | 49                               | 22    | -55%   | 101                               | 53    | -47%   |
|                                          | 75,1-100,0 m | 82                               | 48    | -41%   | 152                               | 68    | -55%   |

**Tabel 53.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler opdelt efter midterøens højde på midten, by- og landzone samt den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen.

Oversigten før rundkørslen synes at have en kompleks betydning for sikkerhedseffekten, se tabel 52 og 53. I flersporede rundkørsler ser det ud til, at sikkerhedseffekten bliver bedre desto kortere fra vigelinjen, at oversigten til rundkørslen opnås. Effekterne for flersporede rundkørsler ligner fuldstændigt hinanden i hhv. by- og landzone, når disse opdeles efter oversigt før rundkørslen.

Sikkerhedseffekten er decideret dårlig ved ombygninger til hhv. minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byzone, når oversigten i gennemsnit opnås 15-30 m før rundkørslen, og er heller ikke god når den i gennemsnit opnås 30-50 m før rundkørslen. For minirundkørsler og lave 1-sporede rundkørsler i byzone er sikkerhedseffekten bedre, når længden er under 15 m eller over 50 m. For høje 1-sporede rundkørsler i byzone er sikkerhedseffekten bedst, når oversigten opnås mere end 50 m før rundkørslen.

I landzone skal oversigten helst opnås mere end 50 m før 1-sporede rundkørsler, når midterøen er lav på midten. Derimod kan der ikke dokumenteres en betydning af oversigten før 1-sporede rundkørsler med høje midterøer. Det ser ud til, at højden af midterøen ikke betyder meget for sikkerhedseffekten ved 1-sporede rundkørsler i åbent land, når oversigten opnås mere end 50 m før rundkørslen.

Den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen kan være sammensat på forskellig vis af hhv. lige lange længder eller korte og lange længder til vigelinjen. For at finde ud af, om det er varierende oversigt eller selve længden før minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byzone, der er af betydning for sikkerhedseffekten, inddeles nu disse rundkørsler nu på en ny måde, se tabel 54 på næste side.

Af tabel 54 ses, at den dårligste sikkerhedseffekt ved ombygninger til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byer fås, når oversigten opnås 20-50 m før rundkørslen i samtlige tilfarter. Her stiger antallet af uheld med 48%. Sikkerhedseffekten er bedre, når oversigten opnås mindre end 0-15 m eller 55-100 m før

rundkørslen i en eller flere tilfarter. Tabel 54 peger i retning af, at det faktisk er selve længden mellem vigelinjen og til der hvor oversigten til rundkørslen opnås, som er betydende for sikkerhedseffekten. Tabellen tyder samtidig på, at en vis variation i oversigten mellem tilfarterne ikke forringer sikkerhedseffekten.

| Gennemsnitlig oversigt før rundkørsel | Oversigt før rundkørsel fra de enkelte tilfarter | Forventet | Efter | Effekt |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|-------|--------|
| 5,0-15,0 m                            | Alle på 0, 5, 10 eller 15 m                      | 30        | 27    | -9%    |
|                                       | En eller flere på 20, 25 ... 50 m                | 27        | 18    | -33%   |
| 15,1-50,0 m                           | En eller flere på 0, 5, 10 eller 15 m            | 83        | 92    | +10%   |
|                                       | Alle på 20, 25 ... 50 m                          | 30        | 45    | +48%   |
|                                       | En eller flere på 55, 60 ... 100 m               | 36        | 39    | +9%    |
|                                       | En eller flere på 0 – 15 m og 55 – 100 m         | 100       | 102   | +1%    |
| 50,1-100,0 m                          | En eller flere på 0, 5, 10 eller 15 m            | 15        | 13    | -10%   |
|                                       | En eller flere på 20, 25 ... 50 m                | 62        | 39    | -37%   |
|                                       | Alle 55, 60 ... 100 m                            | 17        | 12    | -30%   |

**Tabel 54.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byzone opdelt efter den gennemsnitlige oversigt før rundkørslen og oversigten før rundkørslen fra de enkelte tilfarter.

Det skal yderligere bemærkes, at sikkerhedseffekten ved ombygninger til rundkørsler, hvor oversigten først opnås ved vigelinjen eller efter vigelinjen i en eller flere tilfarter, ikke er god, idet antallet af uheld er steget fra forventet 8 til 15 (+77%). Rundkørsler, hvor den mindste længde for oversigt før rundkørsel er 5 m før vigelinjen er antallet af uheld også steget fra forventet 51 til 56 (+9%). Det er således vigtigt, at oversigten før rundkørslen opnås et vist stykke fra vigelinjen. Der er udført en række endnu mere detaljerede studier. Alt i alt tyder studierne af oversigt før rundkørsel på, at for minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byzone er der en god sikkerhedseffekt, når oversigt opnås ca. 10-15 m fra vigelinjen eller mere end 40 m fra vigelinjen. Derimod forekommer det at være forbundet med en dårlig sikkerhedseffekt, hvis oversigt opnås ca. under 5 m eller mellem 20-35 m fra vigelinjen. Det er særligt uheld med personbiler, knallerter og motorcykler, der medfører den dårlige sikkerhedseffekt, når oversigt opnås 20-35 m fra vigelinjen.

### 7.3 Forvarsling og vejvisning



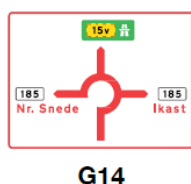
Der er registreret fire former for forvarsling og vejvisning nær rundkørsler. Kun forvarsling og vejvisning 20-500 m fra vige-/stoplinjen ud ad de enkelte vejgrene er registreret. Advarselstavlen A16, vigepligtstavlen B11, vejvisningstavler G14 (G18) og B11 i vejbelægning er registreret med afstanden til vige-/stoplinje for vejgrene med brug af luftfotos og Google Streetview. Tavlerne A16 og B11 har ofte en undertavle med angivelse af afstand til rundkørsel. Det skal nævnes, at der ved en del rundkørsler er opstillet andre advarselstavler, der oftest advarer om krydsende fodgængere og cyklister samt jernbaneoverskæring, men disse er ikke registreret systematisk og derfor indgår de ikke i analysen.



Forekomsten og typen af forvarsling og vejvisning er forskellig i by- og landzone. Analysen er derfor delt på by og land. I første omgang ses på, om forekomsten af de registrerede former for afmærkning samlet set har betydning. Blandt de fler-sporede og signalregulerede rundkørsler findes der kun én uden afmærkning på alle tilfarter, og de er derfor udeladt i den første analyse.

| Forekomst af forvarsling og vejvisning på vejgrene |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                                    |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                             | På ingen vejgrene     | 15              | 21    | +42%   | 22                    | 38    | +70%   |
|                                                    | På 25-49% af vejgrene | 6               | 5     | -11%   | 35                    | 42    | +18%   |
|                                                    | På 50-75% af vejgrene | 8               | 12    | +53%   | 48                    | 42    | -13%   |
|                                                    | På alle vejgrene      | 44              | 56    | +27%   | 194                   | 150   | -23%   |
| Landzone                                           | På 50-75% af vejgrene | -               | -     | -      | 51                    | 32    | -37%   |
|                                                    | På alle vejgrene      | -               | -     | -      | 474                   | 241   | -49%   |

**Tabel 55.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forekomst af forvarsling og vejvisning på vejgrene.



Af tabel 55 ses, at forekomsten af forvarsling og vejvisning ikke ser ud til at have en betydning for sikkerhedseffekten i minirundkørsler, men synes at have en stor betydning på effekten i 1-sporede rundkørsler, både i by- og landzone. Det kan være, at afstanden fra vigelinjen til forvarslingen og vejvisningen har indflydelse, idet denne afstand er 61 m i gennemsnit ved minirundkørsler, og 107 og 204 m i gennemsnit ved 1-sporede rundkørsler i hhv. by- og landzone. Vi ser dog først på, om det en eller flere af de fire forskellige typer af afmærkning, der synes at øve indflydelse på sikkerhedseffekten i 1-sporede rundkørsler.

| Forekomst af advarselstavle A16 på vejgrene |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                             |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                      | På ingen vejgrene     | 34              | 34    | +1%    | 163                   | 132   | -19%   |
|                                             | På 20-49% af vejgrene | 4               | 7     | +57%   | 61                    | 66    | +9%    |
|                                             | På 50-75% af vejgrene | 4               | 7     | +92%   | 35                    | 28    | -20%   |
|                                             | På alle vejgrene      | 31              | 46    | +50%   | 41                    | 46    | +11%   |
| Landzone                                    | På ingen vejgrene     | -               | -     | -      | 415                   | 227   | -45%   |
|                                             | På 20-49% af vejgrene | -               | -     | -      | 68                    | 29    | -58%   |
|                                             | På 50-75% af vejgrene | -               | -     | -      | 29                    | 10    | -65%   |
|                                             | På alle vejgrene      | -               | -     | -      | 12                    | 7     | -43%   |

**Tabel 56.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forekomst af advarselstavlen A16 på vejgrene.

I tabel 56 er forsøgt at opgøre, om advarselstavlen A16 kan have en betydning for den sikkerhedsmæssige effekt. I byzone ser det ud til, at rundkørsler uden A16 på vejgrene fungerer sikkerhedsmæssigt bedre end rundkørsler med en eller flere A16'er på vejgrene, mens det er omvendt i landzone. Alternativt kan man sige, at A16 tavler ikke synes at øve større indflydelse på sikkerhedseffekten.

| Forekomst af vigepligtstavle B11 på vejgrene |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                              |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                       | På ingen vejgrene     | 60              | 68    | +13%   | 181                   | 202   | +12%   |
|                                              | På 25-49% af vejgrene | 7               | 21    | +213%  | 25                    | 11    | -57%   |
|                                              | På 50-83% af vejgrene | 2               | 4     | +141%  | 46                    | 37    | -19%   |
|                                              | På alle vejgrene      | 4               | 1     | -73%   | 48                    | 22    | -54%   |
| Landzone                                     | På ingen vejgrene     | -               | -     | -      | 114                   | 63    | -45%   |
|                                              | På 25-49% af vejgrene | -               | -     | -      | 86                    | 28    | -67%   |
|                                              | På 50-83% af vejgrene | -               | -     | -      | 137                   | 83    | -40%   |
|                                              | På alle vejgrene      | -               | -     | -      | 188                   | 99    | -47%   |

**Tabel 57.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forekomst af vigepligtstavlen B11 på vejgrene.

Tabel 57 ovenfor og tabel 58 nedenfor kunne pege i retning af, at B11 og G14 tavler forbedrer sikkerheden i 1-sporede rundkørsler i byzone, men ikke er af stor betydning i landzone. Det er vanskeligt at vurdere noget om B11 og G14 tavlernes betydning for sikkerhedseffekten i minirundkørsler.

| Forekomst af vejvisningstavle G14 på vejgrene |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                               |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                        | På ingen vejgrene     | 66              | 86    | +30%   | 114                   | 150   | +31%   |
|                                               | På 25-49% af vejgrene | 2               | 3     | +81%   | 29                    | 14    | -53%   |
|                                               | På 50-80% af vejgrene | 1               | 3     | +209%  | 77                    | 48    | -38%   |
|                                               | På alle vejgrene      | 3               | 2     | -42%   | 80                    | 60    | -25%   |
| Landzone                                      | På ingen vejgrene     | -               | -     | -      | 14                    | 8     | -45%   |
|                                               | På 25-49% af vejgrene | -               | -     | -      | 2                     | 1     | -43%   |
|                                               | På 50-80% af vejgrene | -               | -     | -      | 130                   | 61    | -53%   |
|                                               | På alle vejgrene      | -               | -     | -      | 379                   | 203   | -46%   |

**Tabel 58.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forekomst af vigepligtstavlen G14 på vejgrene.

| Forekomst af B11 i belægning på vejgrene |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                          |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                   | På ingen vejgrene     | 44              | 50    | +15%   | 287                   | 261   | -9%    |
|                                          | På 25-49% af vejgrene | 4               | 2     | -44%   | 6                     | 9     | +40%   |
|                                          | På 50-75% af vejgrene | 12              | 30    | +148%  | 5                     | 1     | -81%   |
|                                          | På alle vejgrene      | 15              | 14    | -4%    | 1                     | 1     | -12%   |
| Landzone                                 | På ingen vejgrene     | -               | -     | -      | 421                   | 218   | -48%   |
|                                          | På 25-49% af vejgrene | -               | -     | -      | 24                    | 13    | -46%   |
|                                          | På 50-75% af vejgrene | -               | -     | -      | 46                    | 31    | -32%   |
|                                          | På alle vejgrene      | -               | -     | -      | 34                    | 11    | -68%   |

**Tabel 59.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og forekomst af vigepligtstavlen G14 på vejgrene.

Tabel 59 på forrige side tyder på, at B11 i belægningen ikke har større betydning for sikkerhedseffekten af ombygninger af kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler.

Det er ikke muligt at vurdere noget om tavlerne A16, B11 og G14 samt B11 i belægningen for flersporede og signalregulerede rundkørsler.

Samlet set tyder tabel 55-59 på, at forvarsling og vejvisning ikke påvirker sikkerhedseffekten af ombygninger af kryds til minirundkørsler. Derimod forekommer det, at forvarsling og vejvisning – primært B11 og G14 tavler – forbedrer sikkerheden i 1-sporede rundkørsler. I det følgende er det forsøgt vurderet, om antallet af afmærkninger pr. tilfart og afstanden mellem vigelinjen og afmærkning længst fra vigelinjen påvirker sikkerhedseffekten. Disse opgørelser er også kun vist for minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler, da opgørelser om dette fra flersporede og signalregulerede rundkørsler ikke fører til nogen konklusioner.

| Gennemsnitligt antal forvarslinger og vejvisninger pr. tilfart |                       | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                                                |                       | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                                         | 0 pr. tilfart         | 15              | 21    | +42%   | 22                    | 38    | +70%   |
|                                                                | 0,25-0,75 pr. tilfart | 10              | 9     | -9%    | 67                    | 73    | +10%   |
|                                                                | 1 pr. tilfart         | 26              | 20    | -24%   | 107                   | 99    | -7%    |
|                                                                | 1,25-2 pr. tilfart    | 16              | 27    | +65%   | 101                   | 62    | -39%   |
|                                                                | 2,3-7 pr. tilfart     | 5               | 17    | +236%  | 3                     | 0     | -100%  |
| Landzone                                                       | 0,25-0,75 pr. tilfart | -               | -     | -      | 10                    | 8     | -24%   |
|                                                                | 1 pr. tilfart         | -               | -     | -      | 103                   | 56    | -45%   |
|                                                                | 1,25-2 pr. tilfart    | -               | -     | -      | 324                   | 171   | -47%   |
|                                                                | 2,3-7 pr. tilfart     | -               | -     | -      | 88                    | 38    | -57%   |

**Tabel 60.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og det gennemsnitlige antal forvarslinger og vejvisninger pr. tilfart til rundkørslen.

Af tabel 60 ses, at sikkerhedseffekten bliver stadig bedre jo flere afmærkninger der forefindes på tilfarter hen mod 1-sporede rundkørsler. For minirundkørsler ser sikkerhedseffekten ud til at være optimal med 1 afmærkning pr. tilfart.

Tabel 61 på næste side tyder på, at forvarsling og vejvisning til minirundkørsler helst skal være placeret ikke mere end 20-50 m fra vigelinjen. For 1-sporede rundkørsler i byer ser det ud til, at sikkerhedseffekten bliver stadig bedre jo længere væk, den første forvarsling/vejvisning er placeret fra rundkørslen. På landet synes der ikke at være sammenhæng mellem sikkerhedseffekt og afstanden vige-linje til afmærkning. En opgørelse for flersporede rundkørsler antyder svagt, at sikkerhedseffekten er bedst ved en afstand vige-linje til første afmærkning på omtrent 150-200 m både i by- og landzone.



| Afstand vigelinje-afmærkning<br>(gennemsnit tilfarer med afm.) |           | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                                                |           | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| By                                                             | 20-50 m   | 22              | 13    | -41%   | 16                    | 25    | +57%   |
|                                                                | 51-100 m  | 35              | 58    | +63%   | 93                    | 86    | -8%    |
|                                                                | 101-150 m | 0               | 2     | ++     | 114                   | 93    | -19%   |
|                                                                | 151-200 m | -               | -     | -      | 28                    | 19    | -31%   |
|                                                                | 201-250 m | -               | -     | -      | 27                    | 11    | -59%   |
| Land                                                           | 20-50 m   | -               | -     | -      | 1                     | 0     | -100%  |
|                                                                | 51-100 m  | -               | -     | -      | 6                     | 3     | -53%   |
|                                                                | 101-150 m | -               | -     | -      | 61                    | 23    | -62%   |
|                                                                | 151-200 m | -               | -     | -      | 140                   | 79    | -44%   |
|                                                                | 201-250 m | -               | -     | -      | 257                   | 144   | -44%   |
|                                                                | 251-340 m | -               | -     | -      | 59                    | 20    | -66%   |

**Tabel 61.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone og den gennemsnitlige afstand mellem vigelinje og fjerneste forvarsling/vejvisning for tilfarer til rundkørslen med sådan afmærkning.

| Uheldssituation                  | 0-49% vejgrene afmærket |       |        | 50-100% vejgrene afmærket |       |        |
|----------------------------------|-------------------------|-------|--------|---------------------------|-------|--------|
|                                  | Forventet               | Efter | Effekt | Forventet                 | Efter | Effekt |
| Eneuheld                         | 7                       | 25    | +240%  | 26                        | 59    | +127%  |
| Højresvingsuheld                 | 8                       | 30    | +265%  | 22                        | 89    | +306%  |
| Venstresvingsuheld/tværkollision | 37                      | 14    | -62%   | 170                       | 23    | -86%   |
| Andre uheld                      | 6                       | 11    | +95%   | 24                        | 21    | -14%   |

**Tabel 62.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler i byzone opdelt efter andel af vejgrene med forvarsling/vejvisning samt uheldssituation.

I tabel 62 er sikkerhedseffekter opdelt efter uheldssituation. Det ses, at forvarsling og vejvisning umiddelbart ser ud til forebygge de fleste typer af uheld på nær højresvingsuheld.

Samlet set tyder afsnittet på, at forvarsling og vejvisning til minirundkørsler er bedst, når der er én afmærkning pr. tilfart placeret 20-50 m fra vigelinjen. For de 1-sporede rundkørsler er det bedst med mere end én afmærkning pr. tilfart, og den første afmærkning skal helst være placeret mere end 150 m fra vigelinjen. Blandt flersporede rundkørsler har dem med én afmærkning pr. tilfart placeret 150-200 m fra vigelinjen haft de bedste sikkerhedseffekter.

## 7.4 Kant- og midtlinjer

For rundkørslerne er det registreret, om der er en kantlinje ud mod rundkørslens ydre begrænsningslinje og om der forefindes en linje ind mod midterøen. For hver vejgrene til rundkørslen er det registreret, om der er kant- og midtlinjer ca. 100 m fra rundkørslen. Forekomsten af disse linjer er forskellig i by- og landzone og afhænger også af bl.a. trafikmængden. Derfor undersøges betydningen af disse

linjer for sikkerhedseffekten ved at opdele på by og land samt type af rundkørsel. Variationen i forekomsten af disse linjer er dog meget beskeden for flersporede og signalregulerede rundkørsler, og derfor indgår kun minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i analyserne af disse linjer.

| Forekomst af <b>kant</b> linje ved ydre begrænsning og linje ved <b>midterø</b> |                 | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                                                                 |                 | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                                                          | Ingen           | 24              | 39    | +63%   | 37                    | 35    | -6%    |
|                                                                                 | Kant            | 10              | 16    | +55%   | 127                   | 125   | -2%    |
|                                                                                 | Midterø         | 17              | 12    | -29%   | 8                     | 7     | -15%   |
|                                                                                 | Kant og midterø | 36              | 41    | +14%   | 141                   | 112   | -20%   |
| Landzone                                                                        | Ingen           | -               | -     | -      | 21                    | 12    | -42%   |
|                                                                                 | Kant            | -               | -     | -      | 131                   | 69    | -47%   |
|                                                                                 | Midterø         | -               | -     | -      | 7                     | 1     | -86%   |
|                                                                                 | Kant og midterø | -               | -     | -      | 367                   | 191   | -48%   |

**Tabel 63.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt forekomst af kantlinje ved ydre begrænsning og linje ved midterø.

Det ser ud til, at afmærkning af kantlinje ved ydre begrænsning og linje ved midterø medfører en forbedring af sikkerhedseffekten både i minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler i byer og på landet, se tabel 63. Begge typer af linjer ser ud til at påvirke sikkerhedseffekten gunstigt. Disse linjer kan være punkterede og/eller fuldt optrukne. Linjerne kan også være profilerede. Bredde og design af linjerne er ikke registreret.

| Forekomst af <b>kant</b> - og <b>midt</b> linje på veje hen til rundkørsel |              | Minirundkørsler |       |        | 1-sporede rundkørsler |       |        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|                                                                            |              | Forventet       | Efter | Effekt | Forventet             | Efter | Effekt |
| Byzone                                                                     | Ingen        | 32              | 19    | -40%   | 5                     | 4     | -17%   |
|                                                                            | Midt         | 9               | 19    | +104%  | 23                    | 41    | +75%   |
|                                                                            | Kant og midt | -               | -     | -      | 34                    | 15    | -56%   |
|                                                                            | Blandet      | 46              | 70    | +53%   | 251                   | 219   | -13%   |
| Landzone                                                                   | Kant og midt | -               | -     | -      | 293                   | 154   | -47%   |
|                                                                            | Blandet      | -               | -     | -      | 232                   | 119   | -49%   |

**Tabel 64.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler opdelt efter by- og landzone samt forekomst af kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsel ca. 100 m før vigelinjer i rundkørsel.

Af tabel 64 ses, at ombygninger til mini- og 1-sporede rundkørsler i byzone, hvor veje hen til rundkørslen har midtlinjer (men ingen kantlinjer), har resulteret i ret dårlige sikkerhedseffekter. Det ser ud til, at etablering af minirundkørsler giver de bedste sikkerhedseffekter, hvor der ikke forefindes længdeafmærkning på vejene hen til minirundkørslen. For 1-sporede rundkørsler er de bedste sikkerhedseffekter, hvor der er både kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsler i byzone, men ellers er det uklart, hvilken længdeafmærkning der giver i de bedste sikkerhedseffekter for 1-sporede rundkørsler.

## 8. Cykelfaciliteter i og før rundkørsler

I dette kapitel ses nærmere på betydningen af cykelfaciliteter i og ved rundkørsler. Data om cykelfaciliteter er ændret for nogle få rundkørsler set i forhold til den tidligere evaluering, som følge af nye fotos i Google Streetview. Det er affasede hvide kantsten, der i få tilfælde er blevet forvekslet med en kantlinje.

### 8.1 Cykelfaciliteter i rundkørsler

Forekomsten af cykelfaciliteter i rundkørslerne er registreret. Disse er opdelt på fem typer; ingen, cykelbane, cykelsti, separat sti og to-plan (sti i tunnel). Det er registreret, om cykelbane eller -sti er farvet rød eller blå, samt om cykelstien er enkelt- eller dobbeltrettet. Bredde af cykelbaner er også registreret. Endelig er det registreret om vigepligt er pålagt bilister eller cyklister, samt hvor langt stien er trukket tilbage i forhold til cirkulationsarealet ved krydsning af vejgrene.

| Type af cykelfacilitet, vigepligt ved ind- og udkørsel af rundkørsel | Cykeluheld |       |        | Uheld uden cyklister |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
|                                                                      | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet            | Efter | Effekt |
| Ingen facilitet, bil viger                                           | 14         | 20    | +45%   | 144                  | 82    | -43%   |
| Cykelbane, bil viger                                                 | 35         | 75    | +113%  | 273                  | 167   | -39%   |
| Farvet cykelbane, bil viger                                          | 11         | 38    | +246%  | 61                   | 51    | -17%   |
| Cykelsti, bil viger                                                  | 15         | 18    | +18%   | 129                  | 63    | -51%   |
| Cykelsti med blå cykelfelter, bil viger                              | 5          | 10    | +82%   | 24                   | 23    | -2%    |
| Separat sti, cykel viger                                             | 15         | 3     | -81%   | 259                  | 170   | -34%   |
| To-plan                                                              | -          | -     | -      | 33                   | 22    | -34%   |
| Total                                                                | 96         | 164   | +71%   | 924                  | 578   | -37%   |

**Tabel 65.** Sikkerhedseffekter på uheld med og uden cyklister involveret af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på type af cykelfacilitet i rundkørsel. Note: Signalreguleret rundkørsel er udeladt.

I tabel 65 er sikkerhedseffekter på cykeluheld og uheld uden cyklister opgjort for forskellige typer af cykelfaciliteter i rundkørsler. Det ses, at cykelbaner og særligt farvede cykelbaner har medført kraftige stigninger i antallet af cykeluheld. For de farvede cykelbaner og cykelstier med blå cykelfelter gælder, at effekten på både uheld med og uden cyklister ikke er god relativt set, se tabel 65. Dette peger på, at cykelbaner og farvede cykelfaciliteter i rundkørsler ikke er til gavn for sikkerheden. Separate stier ved rundkørsler, hvor cyklister skal vige, har medført en særdeles god effekt på cykeluheld og en normal effekt på uheld uden cyklister. Cykelstier uden blå cykelfelter, hvor bilister skal vige, har medført en beskeden stigning i cykeluheld og et stort fald i uheld uden cyklister. Ombygninger til rundkørsler uden cykelfaciliteter har medført en stigning i cykeluheld på 45% og et fald i uheld uden cyklister på 43%.

Samlet set for alle uheld er forskelle i sikkerhedseffekter mellem hhv. ingen facilitet (fald på 35%), cykelsti hvor bil viger (fald på 44%), separat sti hvor cykel viger (fald på 37%) og to-plan (fald på 34%) beskedne. Derimod er effekten på alle uheld relativt dårlig for cykelbane (fald på 21%), farvet cykelbane (stigning på 23%) samt cykelsti med blå cykelfelter (stigning på 14%). Udbredelsen af de enkelte typer af cykelfaciliteter er forskellig i by- og landzone. Derfor er effekter på hhv. cykeluheld og alle uheld opdelt på by og land i tabel 66.

| Type af cykelfacilitet, vigepligt ved ind- og udkørsel af rundkørsel |                                    | Cykeluheld |       |        | Alle uheld |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                                                      |                                    | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| By                                                                   | Ingen facilitet, bil viger         | 13         | 20    | +57%   | 77         | 68    | -12%   |
|                                                                      | Cykelbane, bil viger               | 30         | 65    | +115%  | 167        | 159   | -5%    |
|                                                                      | Farvet cykelbane, bil viger        | 11         | 37    | +237%  | 59         | 83    | +41%   |
|                                                                      | Cykelsti, bil viger                | 10         | 12    | +22%   | 45         | 29    | -35%   |
|                                                                      | Cykelsti med blå felter, bil viger | 5          | 10    | +97%   | 23         | 31    | +33%   |
|                                                                      | Separat sti, cykel viger           | 5          | 1     | -80%   | 57         | 38    | -33%   |
|                                                                      | To-plan                            | -          | -     | -      | 5          | 4     | -19%   |
| Land                                                                 | Ingen facilitet, bil viger         | 1          | 0     | -100%  | 80         | 34    | -58%   |
|                                                                      | Cykelbane, bil viger               | 5          | 10    | +104%  | 141        | 83    | -41%   |
|                                                                      | Farvet cykelbane, bil viger        | 0          | 1     | ++     | 14         | 6     | -56%   |
|                                                                      | Cykelsti, bil viger                | 5          | 6     | +10%   | 100        | 52    | -48%   |
|                                                                      | Cykelsti med blå felter, bil viger | 0          | 0     | -100%  | 6          | 2     | -65%   |
|                                                                      | Separat sti, cykel viger           | 10         | 2     | -81%   | 218        | 135   | -38%   |
|                                                                      | To-plan                            | -          | -     | -      | 28         | 18    | -37%   |

**Tabel 66.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld og alle uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på by- og landzone samt type af cykelfacilitet i rundkørsel. Note: Signalreguleret rundkørsel er udeladt.

Af tabel 66 kan erfares, at effekterne på cykeluheld er nogenlunde ens i by- og landzone for de enkelte typer af cykelfaciliteter, når man alene sammenligner de typer, hvor der er sket mere end ét uheld i landzone. Der er ikke større forskelle i sikkerhedseffekter på alle uheld i landzone for de enkelte typer af cykelfaciliteter. Derimod er effekterne meget dårlige for rundkørsler med farvede cykelfaciliteter i byzone, mens de er ganske gode i byzone, hvor der er cykelstier uden farve. Tabel 66 kunne tyde på, at farvede cykelfaciliteter i landzone ikke er et problem, men antallet af uheld her er relativt få.

De effekter, der er indtruffet, hvor kryds er bygget om til hhv. minirundkørsler, 1-sporede og flersporede rundkørsler, minder meget om effekterne i tabel 66. Dog er effekten noget anderledes i flersporede rundkørsler på landet med separat sti, hvor cyklister viger, idet der her er et uændret antal uheld uden cyklister. Der er kun sket uheld i minirundkørsler hhv. uden cykelfacilitet, med cykelbane og med farvet cykelbane. Der er sket uheld i flersporede rundkørsler uden cykelfacilitet, med to-plan og med separat sti, hvor cyklister skal vige. Vi kan således ikke sige noget om cykelstier i minirundkørsler og cykelbaner i flersporede rundkørsler.

Bredden af cykelbaner i rundkørsler er også målt. I tabel 67 på næste side er sikkerhedseffekter opgjort efter type og bredde af cykelbane. Tallene antyder, at effekten på cykeluheld og uheld uden cyklister er bedst, når cykelbanen er mellem 1,6 og 2,0 m bred. I gennemsnit er cykelbaner 1,8 m både med og uden farve.

| Type og bredde af cykelbane      | Cykeluheld |       |        | Alle uheld |       |        |
|----------------------------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                  | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| Cykelbane, 1,0-1,5 m bred        | 8          | 23    | +175%  | 66         | 60    | -9%    |
| Cykelbane, 1,6-2,0 m bred        | 22         | 33    | +50%   | 173        | 114   | -34%   |
| Cykelbane, 2,1-2,5 m bred        | 5          | 19    | +302%  | 69         | 68    | -2%    |
| Farvet cykelbane, 1,0-1,5 m bred | 2          | 5     | +144%  | 9          | 13    | +46%   |
| Farvet cykelbane, 1,6-2,0 m bred | 6          | 21    | +226%  | 48         | 55    | +15%   |
| Farvet cykelbane, 2,1-2,5 m bred | 2          | 12    | +380%  | 15         | 21    | +36%   |

**Tabel 67.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld og alle uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler med cykelbane opdelt efter type af cykelbane og bredde af cykelbane inklusiv kantlinje.

| Type af cykelfacilitet, vigepligt ved ind- og udkørsel af rundkørsel | Midterø 0,5-1,4 m høj |       |        | Midterø 2,0-10,0 m høj |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|------------------------|-------|--------|
|                                                                      | Forventet             | Efter | Effekt | Forventet              | Efter | Effekt |
| Ingen facilitet, bil viger                                           | 2                     | 1     | -49%   | 1                      | 1     | -2%    |
| Cykelbane, bil viger                                                 | 12                    | 52    | +332%  | 8                      | 5     | -38%   |
| Farvet cykelbane, bil viger                                          | 4                     | 15    | +257%  | -                      | -     | -      |
| Cykelsti, bil viger                                                  | 9                     | 13    | +37%   | 5                      | 2     | -59%   |
| Cykelsti med blå cykelfelter, bil viger                              | 2                     | 6     | +298%  | 0                      | 2     | ++     |
| Separat sti, cykel viger                                             | 7                     | 2     | -72%   | 6                      | 1     | -83%   |

**Tabel 68.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld af ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler opdelt efter type af cykelfacilitet og højde af midterø på midten.

I forrige kapitel blev det vist, at højden af midterøen på midten i 1-sporede rundkørsler synes at have stor indflydelse på effekten på cykeluheld. Af tabel 68 ses, at effekten på cykeluheld er væsentligt bedre med en høj midterø, hvor rundkørslen har cykelbane eller cykelsti, hvor biler skal vige for cirkulerende cyklister. For de andre typer af cykelfaciliteter kan der ikke påvises forskelle i effekten på cykeluheld for høje hhv. lave midterøer. Tabel 68 kunne pege i retning af, at bilisters orientering mod cyklister er bedre, når midterø er høj end når den er lav.

I tabel 69 på næste side er der for de 236 rundkørsler, hvor der er oplysninger om trafikmængde, opgjort den gennemsnitlige indkørende årsgennemsnitstrafik. Det ses, at trafikmængden ikke varierer meget mellem typer af cykelfaciliteter for hhv. mini-rundkørsler og 1-sporede rundkørsler. Der er mere trafik i 1-sporede rundkørsler end i minirundkørsler, og endnu mere trafik i flersporede og signalregulerede rundkørsler.

| Type af cykelfacilitet, vigepligt ved ind- og udkørsel af rundkørsel | Mini  | 1-sporet | Flersporet | Signal |
|----------------------------------------------------------------------|-------|----------|------------|--------|
| Ingen facilitet, bil viger                                           | 3.336 | 6.712    | 12.948     | -      |
| Cykelbane, bil viger                                                 | 5.069 | 7.698    | -          | -      |
| Farvet cykelbane, bil viger                                          | 4.462 | 6.436    | -          | -      |
| Cykelsti, bil viger                                                  | 3.371 | 7.845    | -          | -      |
| Cykelsti med blå felter, bil viger                                   | -     | 7.319    | -          | 31.906 |
| Separat sti, cykel viger                                             | -     | 8.349    | 16.606     | -      |
| To-plan                                                              | -     | 9.927    | -          | -      |

**Tabel 69.** Gennemsnitlig indkørende årsdøgntrafik (ÅDT) opdelt efter type af rundkørsel og cykelfacilitet i rundkørsel. Note: N = 236 rundkørsler.

| Type af cykelfacilitet og indkørende årsdøgntrafik (ÅDT) 2009 |               | Cykeluheld |       |        | Alle uheld |       |        |
|---------------------------------------------------------------|---------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                                               |               | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| Ingen                                                         | 380-4.999     | 6          | 10    | +57%   | 41         | 40    | -2%    |
|                                                               | 5.000-9.999   | 1          | 1     | +5%    | 48         | 18    | -63%   |
|                                                               | 10.000-14.999 | 1          | 1     | -31%   | 25         | 15    | -39%   |
|                                                               | 15.000-31.906 | -          | -     | -      | 11         | 3     | -73%   |
| Cykelbane                                                     | 380-4.999     | 8          | 24    | +204%  | 57         | 53    | -8%    |
|                                                               | 5.000-9.999   | 16         | 38    | +135%  | 128        | 116   | -9%    |
|                                                               | 10.000-14.999 | 4          | 11    | +207%  | 102        | 66    | -36%   |
|                                                               | 15.000-31.906 | 1          | 0     | -100%  | 15         | 11    | -27%   |
| Cykelsti                                                      | 380-4.999     | 3          | 2     | -31%   | 38         | 14    | -63%   |
|                                                               | 5.000-9.999   | 5          | 9     | +85%   | 63         | 41    | -35%   |
|                                                               | 10.000-14.999 | 6          | 7     | +14%   | 39         | 25    | -36%   |
|                                                               | 15.000-31.906 | 9          | 8     | -9%    | 58         | 53    | -8%    |
| Separat sti                                                   | 380-4.999     | 1          | 0     | -100%  | 14         | 5     | -65%   |
|                                                               | 5.000-9.999   | 7          | 2     | -73%   | 97         | 45    | -54%   |
|                                                               | 10.000-14.999 | 5          | 1     | -78%   | 72         | 47    | -35%   |
|                                                               | 15.000-31.906 | 2          | 0     | -100%  | 91         | 76    | -17%   |
| To-plan                                                       | 380-4.999     | -          | -     | -      | 10         | 8     | -22%   |
|                                                               | 10.000-14.999 | -          | -     | -      | 11         | 4     | -65%   |
|                                                               | 15.000-31.906 | -          | -     | -      | 9          | 7     | -26%   |

**Tabel 70.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld og alle uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af cykelfacilitet og indkørende årsdøgntrafik.

Af tabel 70 ses, at der ikke umiddelbart synes at være relationer mellem effekter på cykeluheld og den indkørende ÅDT, dog er uheldstallene små i mange tilfælde. Hvor der er cykelsti eller separat sti i rundkørslen, synes effekten på alle uheld at blive dårligere jo mere trafik, der er i rundkørslen. Det gør sig gældende både i by og på landet. Effekterne på alle uheld ligner således meget hinanden uanset typen af cykelfacilitet, når der er over 10.000 indkørende ÅDT, mens effekter på cykeluheld fortsat afhænger af typen af cykelfacilitet ved høje trafikmængder.

I tre rundkørsler med cykelstier, hvor bilister skal vige for cyklister, er cykelstien trukket tilbage i forhold til cirkulationsarealet. I tabel 71 på næste side er effekter

på cykeluheld og alle uheld angivet. De to rundkørsler med små tilbagetrækningslængder er beliggende i landzone og her er sikkerheden forbedret, mens sikkerheden er forværret i den sidste rundkørsel med stor tilbagetrækning, som er beliggende i byzone.

| Gennemsnitlig tilbagetrækningslængde for cykelstier, hvor bilister skal vige | Cykeluheld |       |        | Alle uheld |       |        |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                                                              | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| 1,0 m, enkeltrettet                                                          | 1          | 0     | -100%  | 7          | 1     | -86%   |
| 2,5 m, enkeltrettet med blå cykelfelter                                      | -          | -     | -      | 5          | 2     | -58%   |
| 12,3 m, dobbeltrettet med blå cykelfelter                                    | 1          | 3     | +471%  | 4          | 8     | +85%   |

**Tabel 71.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler med tilbagetrukne cykelstier, hvor bilister skal vige for cyklister.

I 59 rundkørsler med separate stier, hvor cyklister skal vige for bilister på vejgrene, er stien trukket 2,3-68,2 m tilbage. Den gennemsnitlige tilbagetrækning er ofte 9-12 m. Tilbagetrækningslængden er kun i få tilfælde meget forskellig på de enkelte vejgrene. I tabel 72 er effekter på cykeluheld og alle uheld opdelt efter tilbagetrækningslængden samt by- og landzone.

| Gennemsnitlig tilbagetrækningslængde for separate stier, hvor cyklister skal vige |             | Cykeluheld |       |        | Alle uheld |       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                                                                   |             | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet  | Efter | Effekt |
| By                                                                                | 2,5-8,9 m   | -          | -     | -      | 4          | 1     | -76%   |
|                                                                                   | 9,0-10,4 m  | 1          | 1     | -28%   | 22         | 18    | -18%   |
|                                                                                   | 10,5-11,9 m | 1          | 0     | -100%  | 7          | 8     | +11%   |
|                                                                                   | 12,0-15,9 m | 1          | 0     | -100%  | 14         | 9     | -34%   |
|                                                                                   | 16,0-42,4 m | 2          | 0     | -100%  | 10         | 2     | -80%   |
| Land                                                                              | 2,5-8,9 m   | 2          | 0     | -100%  | 42         | 13    | -69%   |
|                                                                                   | 9,0-10,4 m  | 6          | 2     | -68%   | 49         | 35    | -28%   |
|                                                                                   | 10,5-11,9 m | -          | -     | -      | 75         | 47    | -37%   |
|                                                                                   | 12,0-15,9 m | 1          | 0     | -100%  | 31         | 21    | -32%   |
|                                                                                   | 16,0-42,4 m | 1          | 0     | -100%  | 23         | 19    | -16%   |

**Tabel 72.** Sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler med tilbagetrukne separate stier, hvor cyklister skal vige for bilister, opdelt efter den gennemsnitlige tilbagetrækningslængde samt by- og landzone.

Tallene i tabel 71 er forholdsvis små. Tabellen tyder svagt på, at kort tilbagetrækningslængde under 9 m er at foretrække i landzone. I byzone peger tallene svagt på, at en kort tilbagetrækning under 9 m eller en lang tilbagetrækning over 16 m er at foretrække.

## 8.2 Cykelfaciliteter før rundkørsler

For hver rundkørsel er det opgjort, om der findes cykelstier, cykel- og kantbaner på de enkelte vejgrene ca. 100 m før rundkørslen. Ved nogle rundkørsler er disse baner eller stier etableret startende måske 20-50 m før rundkørselens vigelinje for

at opnå en overensstemmelse mellem cykelfaciliteter i og før rundkørslen. Disse korte cykelfaciliteter før rundkørslen er ikke registreret.

| Andel af vejgrene med cykelfacilitet ca. 100 m før rundkørslen |                    | Cykeluheld |       |        | Uheld uden cyklister |       |        |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
|                                                                |                    | Forventet  | Efter | Effekt | Forventet            | Efter | Effekt |
| By                                                             | Ingen              | 13         | 21    | +64%   | 61                   | 42    | -31%   |
|                                                                | 17-33% af vejgrene | 11         | 23    | +114%  | 57                   | 26    | -55%   |
|                                                                | 50% af vejgren     | 16         | 23    | +48%   | 64                   | 67    | +4%    |
|                                                                | 67-80% af vejgrene | 15         | 33    | +122%  | 119                  | 73    | -39%   |
|                                                                | Alle               | 23         | 45    | +94%   | 86                   | 85    | -1%    |
| Land                                                           | Ingen              | 3          | 2     | -36%   | 151                  | 76    | -50%   |
|                                                                | 17-33% af vejgrene | 3          | 4     | +46%   | 85                   | 38    | -56%   |
|                                                                | 50% af vejgren     | 7          | 2     | -73%   | 152                  | 86    | -43%   |
|                                                                | 67-80% af vejgrene | 3          | 1     | -70%   | 51                   | 31    | -39%   |
|                                                                | Alle               | 6          | 10    | +75%   | 126                  | 80    | -36%   |

**Tabel 73.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld og alle uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på by- og landzone samt andel af vejgrene med cykelfacilitet før rundkørsel.

Af tabel 73 ses, at der ikke umiddelbart synes at være en sammenhæng mellem forekomsten af cykelfaciliteter på vejgrene og sikkerhedseffekten på cykeluheld. Derimod synes sikkerhedseffekten på uheld uden cyklister at blive dårligere desto flere vejgrene, der er forsynet med cykelfaciliteter.

Der kan være mange mulige forklaringer på resultaterne i tabel 73. Eksempelvis kan varierende betydning af forskellige typer af cykelfaciliteter samt relationer mellem type af cykelfacilitet før og i rundkørsel medvirke til resultaterne.

En tilsvarende opgørelse for vejgrene med kant- og cykelbaner, som for vejgrene med cykelfacilitet i tabel 73, viser, at der ikke synes at være sammenhæng mellem forekomsten af kant- og cykelbaner på vejgrene og sikkerhedseffekter på hhv. cykeluheld og uheld uden cyklister. Det samme resultat fås for forekomsten af vejgrene med hhv. enkeltrettede og dobbeltrettede cykelstier. Der er kun en svag tendens til, at sikkerhedseffekten på cykeluheld er lidt bedre, hvor der forefindes dobbeltrettede cykelstier på én eller flere vejgrene.

Det er også forsøgt at opdele resultaterne på både forekomsten af cykelfaciliteter på vejgrene (som i tabel 73) og cykelfaciliteten i rundkørslen. I tabel 74 på næste side er dette gjort alene for rundkørsler med cykelbaner ved cirkulationsarealet. Tabel 74 viser, at antallet af cykeluheld stiger kraftigt uanset forekomsten af cykelfaciliteter på vejgrene, når rundkørslen er med cykelbane. For antallet af uheld uden cyklister fås et blandet indtryk af betydningen af forekomsten af cykelfaciliteter på vejgrene, om man ser på rundkørsler i by- eller landzone.



| Andel vejgrene med cykelfacilitet 100 m før rundkørslen |                     | Cykeluheld |       |        | Uheld uden cyklister |       |        | Alle uheld |       |        |
|---------------------------------------------------------|---------------------|------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|------------|-------|--------|
|                                                         |                     | Forv.      | Efter | Effekt | Forv.                | Efter | Effekt | Forv.      | Efter | Effekt |
| By                                                      | 0-25% af vejgrene   | 9          | 20    | +118%  | 47                   | 24    | -49%   | 56         | 44    | -22%   |
|                                                         | 26-74% af vejgrene  | 14         | 30    | +116%  | 73                   | 57    | -22%   | 87         | 87    | -0%    |
|                                                         | 75-100% af vejgrene | 18         | 52    | +185%  | 64                   | 59    | -8%    | 83         | 114   | +34%   |
| Land                                                    | 0-25% af vejgrene   | 3          | 4     | +50%   | 74                   | 46    | -38%   | 77         | 50    | -35%   |
|                                                         | 26-74% af vejgrene  | 1          | 1     | +9%    | 40                   | 23    | -42%   | 41         | 24    | -41%   |
|                                                         | 75-100% af vejgrene | 1          | 6     | +355%  | 36                   | 9     | -75%   | 37         | 15    | -59%   |

**Tabel 74.** Sikkerhedseffekter på cykeluheld, uheld uden cyklister og alle uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler med cykelbaner opdelt på by- og landzone samt andel af vejgrene med cykelfacilitet før rundkørsel.

Tabel 74 er også opstillet for andre typer af cykelfaciliteter i rundkørslen. Samlet set kunne tallene tyde på, at andelen af vejgrene med cykelfacilitet ikke betyder noget væsentligt for sikkerhedseffekten på cykeluheld, men det er cykelfaciliteten i rundkørslen (og midterøens højde som vist tidligere), der er betydningsfuld. Der synes heller ikke at være nogen systematisk sammenhæng mellem andelen af vejgrene med cykelfacilitet og sikkerhedseffekten for uheld uden cyklister, når der ses på andre typer af cykelfaciliteter i rundkørslen. Man kunne dog forestille sig, at cykelfaciliteter på vejgrene vil påvirke oversigten før rundkørslen, men det ser altså ikke ud til at slå igennem i uheldstallene.

Derfor konkluderes, at cykelfaciliteter på vejgrene før rundkørsler ikke kan dokumenteres at påvirke sikkerhedseffekten af ombygninger af kryds til rundkørsler.

Det er dog værd at bemærke, at Jensen (2012) fandt, at effekterne på cykeluheld og alle uheld er gode, hvor kryds (førsituationen) med dobbeltrettede stier på vej hen mod krydset er bygget om til rundkørsler. Dette gør sig gældende både i by- og landzone. Det kan skyldes, at kryds med dobbeltrettede stier på vejben er mere usikre end kryds uden dobbeltrettede stier på vejben.



## 9. Eneuheld, sprituheld og mørkeuheld

I det følgende kapitel ses nærmere på sikkerhedseffekter for eneuheld, sprituheld og mørkeuheld, og hvordan diverse forhold påvirker netop disse uheld. I eneuheld indgår kun ét køretøj og ingen fodgængere. Et sprituheld er et uheld, hvor en eller flere førere (af køretøjer) og/eller fodgængere har en alkoholpromille på over 0,50. Et køretøj kan være cykel, knallert, motorcykel, bil o. lign. Mørkeuheld er her defineret som uheld, der sker i mørke eller tusmørke.

### 9.1 Sikkerhedseffekter og overlap

I tabel 75 er der opgjort effekter på uheld og personskader ved ombygning af kryds til rundkørsler. Det ses meget tydeligt, at effekter på eneuheld er dårligere end effekter på flerpartsuheld, både hvad angår uheld og personskader i de uheld. Effekter på sprituheld er også væsentligt dårligere end effekterne på uheld uden spirituspåvirkede førere/fodgængere. Effekter på mørkeuheld er noget dårligere end effekter på uheld i dagslys.

| Type af uheld, lysforhold og sprit | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------------------------------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                    | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Eneuheld                           | 101       | 303   | +200%  | 16           | 60    | +266%  |
| Flerpartsuheld                     | 950       | 465   | -51%   | 522          | 157   | -70%   |
| Ej sprituheld                      | 987       | 638   | -35%   | 494          | 179   | -64%   |
| Sprituheld                         | 64        | 130   | +102%  | 45           | 38    | -15%   |
| Uheld i dagslys                    | 778       | 489   | -37%   | 401          | 150   | -63%   |
| Mørkeuheld                         | 268       | 270   | +1%    | 135          | 64    | -53%   |

**Tabel 75.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter hhv. type af uheld, spirituspåvirkning og lysforhold.

| Type af uheld, sprit og lysforhold |            |            | Uheld     |       |        | Personskader |       |        |
|------------------------------------|------------|------------|-----------|-------|--------|--------------|-------|--------|
|                                    |            |            | Forventet | Efter | Effekt | Forventet    | Efter | Effekt |
| Eneuheld                           | Ej sprit   | Dagslys    | 41        | 98    | +141%  | 2            | 18    | +740%  |
|                                    |            | Mørkeuheld | 35        | 103   | +191%  | 5            | 17    | +252%  |
|                                    | Sprituheld | Dagslys    | 5         | 29    | +478%  | 2            | 6     | +175%  |
|                                    |            | Mørkeuheld | 18        | 69    | +291%  | 7            | 19    | +162%  |
| Flerpartsuheld                     | Ej sprit   | Dagslys    | 706       | 344   | -51%   | 385          | 116   | -70%   |
|                                    |            | Mørkeuheld | 199       | 84    | -58%   | 101          | 25    | -75%   |
|                                    | Sprituheld | Dagslys    | 26        | 18    | -31%   | 13           | 10    | -21%   |
|                                    |            | Mørkeuheld | 16        | 14    | -10%   | 23           | 3     | -87%   |

**Tabel 76.** Sikkerhedseffekter på uheld og personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af uheld, spritpåvirkning og lysforhold.

Ganske mange eneuheld i rundkørsler sker i mørke og/eller er sprituheld. Derfor er der et betydeligt overlap mellem eneuheld, sprituheld og mørkeuheld, se tabel

76. Antallet af ulykker stiger ved ombygning af kryds til rundkørsler, uanset om der spiritus påvirkede førere/fodgængere involveret, og uanset om ulykken sker i dagslys eller mørke.

Blandt forventede ulykker er 54% sket i mørke (74% af de forventede personskader i ulykker er sket i mørke), mens 58% af de observerede ulykker i efterperioden sker i mørke (60% af de observerede personskaderne er sket i mørke). Blandt flerpartsulykkerne er kun 23% af de forventede og 21% af de observerede sket i mørke (24% og 18% af personskaderne). Man kan derfor konkludere, at effekterne på mørkeulykker er dårligere end effekterne på ulykker i dagslys, fordi en langt større andel af ulykkerne end flerpartsulykkerne sker i mørke og effekter på ulykker er langt dårligere end effekter på flerpartsulykker. Nogenlunde samme konklusion kan udlægges om spritulykker. Nemlig at effekterne på spritulykker er dårligere end effekterne på ulykker uden spirituspåvirkede førere/fodgængere, fordi en langt større andel af ulykkerne end flerpartsulykkerne er spritulykker.

De dårlige effekter på ulykker er således årsagen til relativt dårlige effekter på hhv. spritulykker og mørkeulykker. Forhold ved fx rundkørslers design, der påvirker effekterne på ulykker, vil derfor med størst sandsynlighed også påvirke effekter på spritulykker og mørkeulykker. Derfor analyseres kun, hvordan sikkerhedseffekter på hhv. ulykker og flerpartsulykker varierer som følge af en række forhold.

## 9.2 Sikkerhedseffekter på ulykker og flerpartsulykker

Sikkerhedseffekter på ulykker og flerpartsulykker er blevet opgjort i relation til en lang række forhold såsom hastighedsbegrænsning, type af rundkørsel, diameter af midterø, type af sekundærhælle, bredde af tilfarts- og frafartsspor, osv. Disse opgørelser er udført for alle ombygninger og ombygninger fra kryds til 1-sporede rundkørsler. Et forholdsvis gennemgående træk er, at når sikkerhedseffekter på ulykker er meget dårlige (høje procentuelle stigninger), så er sikkerhedseffekter på flerpartsulykker ofte meget gode (høje procentuelle fald). Og omvendt mindre procentuelle stigninger i ulykker er ofte sammenfaldende med mindre procentuelle fald i flerpartsulykker. I det følgende vises de mest interessante af opgørelserne.

| Hastighedsbegrænsning | Ulykker   |       |        | Flerpartsulykker |       |        |
|-----------------------|-----------|-------|--------|------------------|-------|--------|
|                       | Forventet | Efter | Effekt | Forventet        | Efter | Effekt |
| 40-50 km/t            | 36        | 75    | +111%  | 261              | 225   | -14%   |
| 60 km/t               | 10        | 45    | +362%  | 116              | 64    | -45%   |
| 70 km/t               | 2         | 13    | +431%  | 49               | 22    | -55%   |
| 80 km/t               | 52        | 167   | +220%  | 499              | 148   | -70%   |
| 90-130 km/t           | 1         | 3     | +156%  | 26               | 6     | -77%   |

**Tabel 77.** Sikkerhedseffekter på ulykker og flerpartsulykker af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørslen.

Af tabel 77 ses, at effekten på flerpartsuheld bliver stadig bedre, jo højere hastighedsbegrænsningen er. Effekten på enuehald er derimod bedst hhv. lave og høje hastighedsbegrænsninger og dårligst ved 70 km/t.

| Indkørende ÅDT i 2009<br>(motorkøretøjer pr. døgn) | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|----------------------------------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                                                    | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 380-4.999                                          | 17        | 38    | 124%   | 144            | 82    | -43%   |
| 5.000-9.999                                        | 31        | 94    | 203%   | 305            | 126   | -59%   |
| 10.000-14.999                                      | 26        | 76    | 198%   | 224            | 81    | -64%   |
| 15.000-31.906                                      | 16        | 62    | 299%   | 169            | 88    | -48%   |

**Tabel 78.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter trafikmængde (indkørende ÅDT).

Effekter på enuehald forekommer at blive dårligere jo mere trafik, der kører ind i rundkørslen, mens effekter på flerpartsuheld er dårligst ved lave og høje trafikmængder, se tabel 78.

| Type af rundkørsel         | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|----------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                            | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| Minirundkørsel             | 9         | 18    | +110%  | 78             | 90    | +15%   |
| 1-sporet rundkørsel        | 80        | 245   | +206%  | 758            | 307   | -59%   |
| Flersporet rundkørsel      | 9         | 34    | +272%  | 86             | 48    | -44%   |
| Signalreguleret rundkørsel | 3         | 6     | +74%   | 28             | 20    | -29%   |

**Tabel 79.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter type af rundkørsel.

Effekter på flerpartsuheld er bedst ved ombygninger til 1-sporede og flersporede rundkørsler, men her er effekter på enuehald samtidig dårligst, se tabel 79.

| Samlet diameter for midterø og overkørselsareal | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|-------------------------------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                                                 | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 3,5-9,9 m                                       | 5         | 10    | +115%  | 67             | 73    | +8%    |
| 10,0-19,9 m                                     | 20        | 48    | +139%  | 139            | 118   | -15%   |
| 20,0-29,9 m                                     | 26        | 54    | +107%  | 204            | 103   | -50%   |
| 30,0-39,9 m                                     | 33        | 131   | +295%  | 401            | 90    | -78%   |
| 40,0-60,0 m                                     | 17        | 60    | +248%  | 139            | 81    | -42%   |

**Tabel 80.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter samlet diameter for midterø og overkørselsareal.

Effekter på flerpartsuheld bliver bedre, desto større den samlede diameter er for midterø og overkørselsareal, dog ikke for de allerstørste rundkørsler, se tabel 80. Omvendt synes effekter på enuehald at blive stadig dårligere jo større diameter. De samme relationer er sig gældende, når man ser på indskreven cirkeldiameter – jo større diameter jo bedre effekt på flerpartsuheld og dårligere effekt på enuehald, igen dog ikke for de allerstørste rundkørsler. De samme relationer er sig tillige gældende, når man ser på afstanden mellem vejgrene – jo større afstand jo bedre

effekt på flerpartsuheld og dårligere effekt på enuehald, og igen ikke for de allerstørste rundkørsler.

| Forsætning  | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|-------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| -0,2-3,9 m  | 16        | 26    | +63%   | 116            | 129   | +12%   |
| 4,0-7,9 m   | 20        | 57    | +184%  | 167            | 100   | -40%   |
| 8,0-9,9 m   | 16        | 40    | +150%  | 149            | 52    | -65%   |
| 10,0-11,9 m | 20        | 58    | +193%  | 223            | 82    | -63%   |
| 12,0-14,9 m | 15        | 68    | +351%  | 182            | 57    | -69%   |
| 15,0-22,0 m | 14        | 54    | +276%  | 114            | 45    | -60%   |

**Tabel 81.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter gennemsnitlig forsætning for rundkørslen.

Effekter på enuehald synes at blive stadig dårligere, jo større forsætningen er, se tabel 81. Effekter på flerpartsuheld bliver stadig bedre indtil forsætningen når 8 m, hvorefter effekten er på samme gode niveau med stigende forsætning.

| Bredde af tilfarter | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|---------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                     | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 2,70-3,19 m         | 19        | 53    | +180%  | 175            | 108   | -38%   |
| 3,20-3,39 m         | 17        | 72    | +330%  | 170            | 97    | -43%   |
| 3,40-3,59 m         | 26        | 48    | +81%   | 170            | 73    | -57%   |
| 3,60-3,79 m         | 18        | 31    | +72%   | 160            | 61    | -62%   |
| 3,80-4,29 m         | 9         | 51    | +478%  | 145            | 50    | -65%   |
| 4,30-9,70 m         | 12        | 48    | +294%  | 130            | 76    | -42%   |

**Tabel 82.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter gennemsnitlig bredde af tilfarter i rundkørsel.

| Bredde af frafarter | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|---------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                     | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 2,75-3,49 m         | 12        | 24    | +102%  | 96             | 87    | -10%   |
| 3,50-3,79 m         | 16        | 66    | +322%  | 154            | 93    | -40%   |
| 3,80-3,99 m         | 32        | 44    | +37%   | 168            | 84    | -50%   |
| 4,00-4,29 m         | 19        | 73    | +287%  | 225            | 77    | -66%   |
| 4,30-4,69 m         | 9         | 42    | +369%  | 177            | 48    | -73%   |
| 4,70-8,10 m         | 14        | 54    | +294%  | 130            | 76    | -42%   |

**Tabel 83.** Sikkerhedseffekter på enuehald og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt på gennemsnitlig bredde af frafarter i rundkørsel.

Effekter på flerpartsuheld bliver stadig bedre, jo bredere til- og frafarter er, dog bliver effekterne igen dårligere, når bredden bliver mere end ca. 4,5 m. Ser man derimod på effekterne på enuehald, så er effekterne bedst med 3,40-3,79 m brede tilfarter og 3,80-3,99 m brede frafarter.

| Midterøens højde på midten | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|----------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                            | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 0,0-0,4 m                  | 20        | 45    | +128%  | 149            | 118   | -21%   |
| 0,5-0,9 m                  | 22        | 51    | +128%  | 182            | 114   | -37%   |
| 1,0-1,4 m                  | 17        | 65    | +273%  | 151            | 70    | -54%   |
| 1,5-1,9 m                  | 12        | 30    | +159%  | 107            | 50    | -53%   |
| 2,0-2,4 m                  | 9         | 42    | +369%  | 129            | 32    | -75%   |
| 2,5-10,0 m                 | 21        | 70    | +232%  | 233            | 81    | -65%   |

**Tabel 84.** Sikkerhedseffekter på eneuheld og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter midterøens højde på midten.

| Oversigt før rundkørsel | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|-------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                         | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 5,0-15,0 m              | 11        | 12    | +13%   | 51             | 37    | -27%   |
| 15,1-30,0 m             | 14        | 41    | +194%  | 118            | 107   | -9%    |
| 30,1-50,0 m             | 25        | 86    | +245%  | 242            | 129   | -47%   |
| 50,1-75,0 m             | 22        | 67    | +206%  | 247            | 99    | -60%   |
| 75,1-100,0 m            | 30        | 97    | +226%  | 292            | 93    | -68%   |

**Tabel 85.** Sikkerhedseffekter på eneuheld og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter gennemsnitlig afstand mellem vigelinje og hvor oversigt til rundkørslen opnås.

| Antal forvarslinger / visninger pr. tilfart | Eneuheld  |       |        | Flerpartsuheld |       |        |
|---------------------------------------------|-----------|-------|--------|----------------|-------|--------|
|                                             | Forventet | Efter | Effekt | Forventet      | Efter | Effekt |
| 0                                           | 4         | 16    | +303%  | 33             | 43    | +30%   |
| 0,25-0,75                                   | 13        | 28    | +112%  | 79             | 63    | -20%   |
| 1                                           | 32        | 97    | +203%  | 293            | 150   | -49%   |
| 1,25-2                                      | 41        | 131   | +220%  | 413            | 145   | -65%   |
| 2,3-7                                       | 8         | 27    | +222%  | 106            | 47    | -56%   |

**Tabel 86.** Sikkerhedseffekter på eneuheld og flerpartsuheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter antal forvarslinger / vejvisninger pr. tilfart 20-500 m før vigelinje ved rundkørsel.

Man skulle tro, at jo højere midterøen er og jo bedre oversigt før rundkørslen samt jo flere forvarslinger / vejvisninger før rundkørslen, desto nemmere ville det være at erkende rundkørslen og tilpasse farten til rundkørslen – og derfor ville der ske færre eneuheld. Sådan er det ikke. Jo højere midterøen er, desto dårligere er effekten på eneuheld, og hverken oversigt eller forvarslinger før rundkørslen synes at påvirke effekten på eneuheld i større omfang, se tabel 84-86. Derimod viser disse tre tabeller tydeligt, at midterøens højde, oversigt før rundkørslen og forvarslinger og vejvisninger påvirker effekterne på flerpartsuheld. Jo højere midterø, jo længere oversigt og jo flere forvarslinger, desto bedre effekter på flerpartsuheld.





## 10. Modeller for sikkerhedseffekter

I de fleste tilfælde er modeller blot en brugbar tilnærmelse, altså et værktøj med væsentlige begrænsninger. Virkeligheden er ofte så kompliceret, at man ikke kan opstille en sand model. I vort tilfælde er fx sammenhænge mellem sikkerhedseffekter og midterøens højde på midten ganske kompliceret med lokale minima og maksima samt kun indvirkning på nogle ombygninger. Derfor kan formuleringen, estimeringen og fortolkningen af en models parametre være problematisk.

### 10.1 Indledning

I før-efter uheldsevalueringen er anvendt en metode, hvor antallet af forventede uheld og personskader kan være nul. Det besværliggør opstilling af modeller for sikkerhedseffekter, da effekten af én ombygning så kan være en uendelig stor (procentuel) stigning, hvis fx der er nul forventede uheld og ét observeret uheld i efterperioden. I vort tilfælde er antallet af nulværdier stort, se tabel 87.

| Antal uheld/personskader før og efter      | Antal ombyggede steder |              |
|--------------------------------------------|------------------------|--------------|
|                                            | Uheld                  | Personskader |
| Nul før og nul efter                       | 36                     | 82           |
| Nul før og ét eller flere efter            | 15                     | 17           |
| Ét eller flere før og nul efter            | 67                     | 131          |
| Ét eller flere før og ét eller flere efter | 214                    | 102          |
| I alt                                      | 332                    | 332          |

**Tabel 87.** Antal ombyggede steder med nul uheld eller personskader i førperiode, efterperiode eller begge perioder.

Ud af 332 ombyggede steder er der sket uheld 296 steder og personskader 250 steder i før- og/eller efterperiode. Der er kun 214 og 102 steder, hvor der er sket hhv. uheld og personskader i både før- og efterperiode.

For at håndtere nulværdierne anvendes logistisk regression (binomialfordeling), hvor sikkerhedseffekten omdefinieres til effekten,  $\pi$ :

$$\pi_{uheld} = \frac{Uheld_{\text{observeret, efter}}}{Uheld_{\text{forventet, efter}} + Uheld_{\text{observeret, efter}}}$$

Med denne definition kan  $\pi$  kun variere mellem 0 og 1, når steder uden uheld eller personskader i både før- og efterperiode fjernes. Når  $\pi$  er 0,5, så er antallet af forventede og observerede uheld det samme, og sikkerhedseffekten er derved 0%. Når  $\pi$  er 0,2, så er sikkerhedseffekten -75%, mens en  $\pi$  på 0,8 giver en sikkerhedseffekt på +300%.

Regressionsanalyser udføres ved, at  $\pi$  betragtes som værende binomialfordelt, hvor antallet af ”hændelser” er observerede uheld i efterperioden og ”forsøg” er forventede plus observerede uheld i efterperioden. ”Ikke-hændelser” er således antallet af forventede uheld. Regressionsanalyser udføres med statistik softwaren SAS 9.2 og LOGISTIC proceduren heri.

I første omgang udføres simple modeller, hvor sammenhænge mellem  $\pi_{\text{uheld}}$  og hastighedsbegrænsningen på veje hen til rundkørslen estimeres. Baggrunden for først at se på hastighedsbegrænsning er, at denne variabel umiddelbart forekommer at have størst indvirkning på sikkerhedseffekterne. En LOGISTIC procedure returnerer en nyttefunktion,  $\text{logit}(\pi)$ . I tabel 88 er vist nyttefunktioner for de tre måder hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørslen er opgjort hhv. laveste (lavhast), højeste (højhast) og gennemsnitlig hastighedsbegrænsning (gnshast).

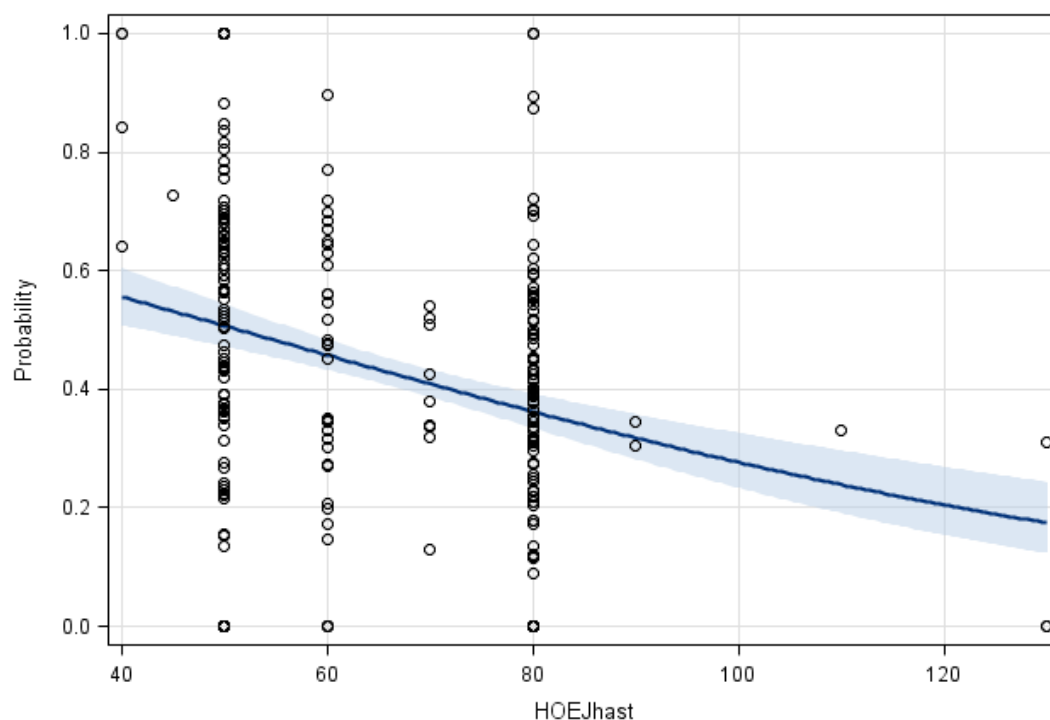
| $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$ | AIC    | Standardafvigelse |          | Wald $\chi^2$ |          | Signifikanstest $\chi^2$ |          |
|--------------------------------------|--------|-------------------|----------|---------------|----------|--------------------------|----------|
|                                      |        | konstant          | variabel | konstant      | variabel | konstant                 | variabel |
| 0,2721-0,0101×lavhast                | 2473,7 | 0,2117            | 0,00357  | 1,6511        | 8,0238   | 0,1988                   | 0,0046   |
| 1,0142-0,0197×højhast                | 2444,0 | 0,2236            | 0,00327  | 20,5711       | 36,5647  | <0,0001                  | <0,0001  |
| 0,9605-0,0201×gnshast                | 2451,7 | 0,2380            | 0,00369  | 16,2832       | 29,6113  | <0,0001                  | <0,0001  |

**Tabel 88.** Nyttefunktioner og statistiske resultater baseret på maximum likelihood af simple modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$  og hastighedsbegrænsning.

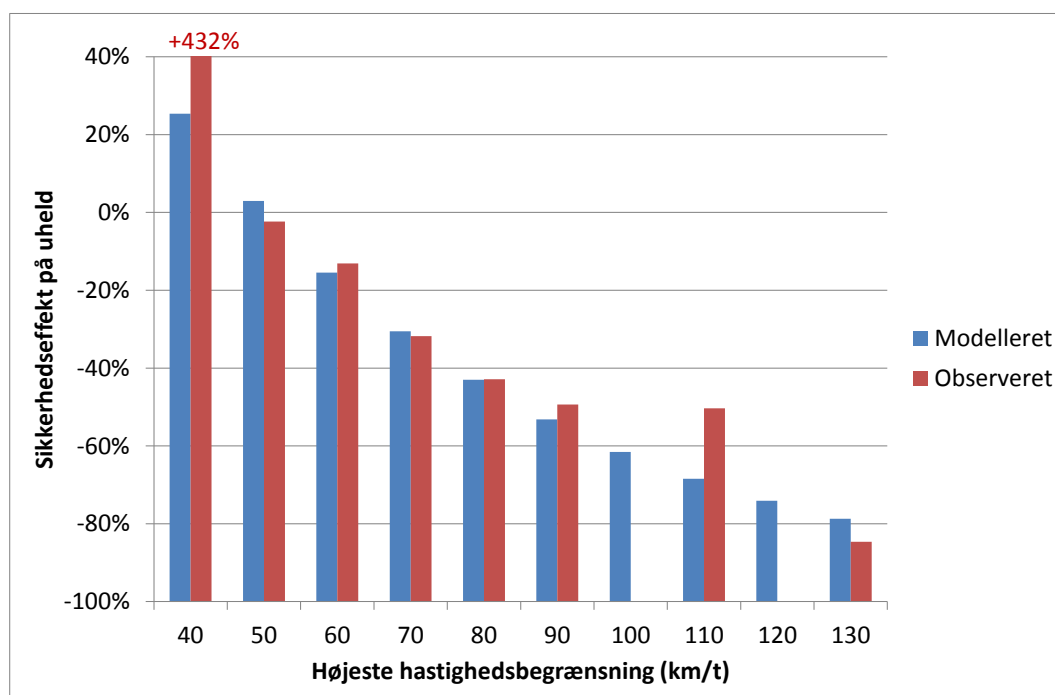
$\text{logit}(\pi)$  oversættes til  $\pi$  ved følgende omregning:  $\pi = 1 / (1 + e^{-\text{logit}(\pi)})$

Den af de tre nyttefunktioner, der korrelerer kraftigst med  $\pi_{\text{uheld}}$  og resulterer i de mindste konfidensintervaller, er den med den højeste hastighedsbegrænsning. Der anvendes maximum likelihood estimering med Fisher scoring algoritme. Når man skal sammenligne modeller med et lige eller forskelligt antal uafhængige variable, så kan bl.a. Akaike's Information Criterion (AIC) bruges til at vurdere, om tilføjelsen af flere variable forbedrer modellen. AIC indgår i en samlet vurdering med opgørelser for sammenhængen (Wald  $\chi^2$ , signifikanstest  $\chi^2$ ), standardafvigelsen (95% konfidensinterval er  $\pm 1,96 \times$  standardafvigelse) og opgørelser af samvariation mellem uafhængige variable (kovarians). AIC, standardafvigelse/estimat og signifikanstest skal helst returnere så små tal som muligt (signifikanstest skal helst være under 0,05), mens Wald skal være så stor som mulig. I vort tilfælde er det bedst, at kun højeste hastighedsbegrænsning indgår i en model.

I figur 9 er vist sammenhængen mellem  $\pi_{\text{uheld}}$  og højeste hastighedsbegrænsning inklusiv et 95% konfidensinterval. Det ses, at konfidensintervallet er beskedent, trods stor spredning i observationer. En finurlighed er, at når  $\text{logit}(\pi)$  er nul, så er  $\pi = 0,5$  og derved er sikkerhedseffekten 0%. Man kan derved hurtigt finde ud af, hvor lav den højeste hastighedsbegrænsning skal være for, at sikkerhedseffekten er nul. Når højeste hastighedsbegrænsning er  $1,0142 / 0,0197 = 51,5$  km/t, så er sikkerhedseffekten nul – ifølge den simple, lineære model med nyttefunktionen:  $\text{logit}(\pi) = 1,0142 - 0,0197 \times \text{højhast}$ .



**Figur 9.** Sammenhæng (blå linje) mellem  $\pi$  (probability – y-aksen) og højeste hastighedsbegrænsning (HOEJhast – x-aksen) på veje hen til rundkørslen. Det blåfarvede areal angiver et 95% konfidensinterval. Sorte ringe er observationer.



**Figur 10.** Sammenhæng mellem sikkerhedseffekt på uheld og højeste hastighedsbegrænsning baseret på nyttefunktionen  $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) = 1,0142 - 0,0197 \times \text{højhast}$ . Note: Den observerede sikkerhedseffekt ved 40 km/t er +432%, og der er ikke observeret sikkerhedseffekter ved 100 og 120 km/t.

$\pi$  kan oversættes til sikkerhedseffekten ved brug af følgende udtryk:

$$\text{Sikkerhedseffekt} = (\pi / (1 - \pi)) - 1.$$

I figur 10 er vist modellerede og observerede sikkerhedseffekter på uheld i forhold til højeste hastighedsbegrænsning, hvor de modellerede værdier er beregnet ud fra nyttefunktionen:  $\text{logit}(\pi) = 1,0142 - 0,0197 \times \text{højhast}$ . Figuren viser, at modellerede sikkerhedseffekter ligger tæt på de observerede.

Det er undersøgt, om sammenhængen mellem  $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}})$  og højeste hastighedsbegrænsning er simpel, lineær (proportional), som angivet tidligere, eller der er tale om en anden sammenhæng fx logaritmefunktion, polynomium eller potensfunktion. Det er også forsøgt at omdanne højeste hastighedsbegrænsning fra en kontinuer variabel til en kategori (behandles som ordinal, nominal eller interval) variabel, så der opstår kategorier af hastighedsbegrænsning. Alt i alt er en model med  $\ln(\text{højhast})$ , altså den naturlige logaritme til højhast, en lille smule bedre at lade indgå i modellen for  $\pi_{\text{uheld}}$  i stedet for højhast, se tabel 89.

| $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$         | AIC    | Standardafvigelse |          | Wald $\chi^2$ |          | Signifikanstest $\chi^2$ |          |
|----------------------------------------------|--------|-------------------|----------|---------------|----------|--------------------------|----------|
|                                              |        | konstant          | variabel | konstant      | variabel | konstant                 | variabel |
| $1,0142 - 0,0197 \times \text{højhast}$      | 2444,0 | 0,2236            | 0,00327  | 20,5711       | 36,5647  | <0,0001                  | <0,0001  |
| $5,1370 - 1,3029 \times \ln(\text{højhast})$ | 2444,0 | 0,8952            | 0,2139   | 32,9304       | 37,1019  | <0,0001                  | <0,0001  |

**Tabel 89.** Nyttefunktioner og statistiske resultater baseret på maximum likelihood af modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$  og højeste hastighedsbegrænsning.

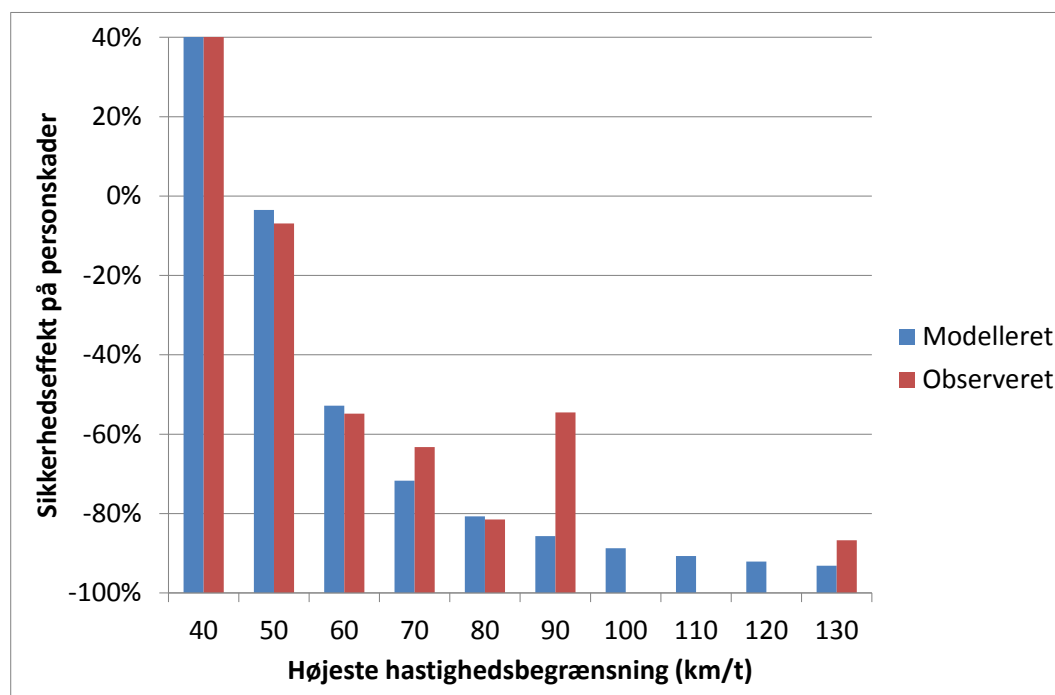
Sammenhængen mellem  $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}})$  og hastighedsbegrænsning forventes at være en form for polynomium eller potensfunktion, og ikke simpel lineær eller logaritmisk funktion som  $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}})$ . Af de tre måder at udtrykke hastighedsbegrænsning er det dog fortsat den højeste hastighedsbegrænsning, som er stærkest korreleret med  $\pi_{\text{uheld}}$ , se tabel 90. Hvis man sammenligner tabel 88 og 90 ses, at hastighedsbegrænsning er stærkere korreleret med sikkerhedseffekten på personskader end på uheld.

| $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}}) =$ | AIC   | Standardafvigelse |          | Wald $\chi^2$ |          | Signifikanstest $\chi^2$ |          |
|--------------------------------------------|-------|-------------------|----------|---------------|----------|--------------------------|----------|
|                                            |       | konstant          | variabel | konstant      | variabel | konstant                 | variabel |
| $0,7409 - 0,0289 \times \text{lavhast}$    | 888,2 | 0,3699            | 0,00646  | 4,0113        | 20,0504  | 0,0452                   | <0,0001  |
| $2,4826 - 0,0514 \times \text{højhast}$    | 828,1 | 0,3955            | 0,00606  | 39,4077       | 71,8692  | <0,0001                  | <0,0001  |
| $2,4189 - 0,0534 \times \text{gnsghast}$   | 841,5 | 0,4217            | 0,00683  | 32,9068       | 60,9442  | <0,0001                  | <0,0001  |
| $-4,3278 + 214,6 / \text{højhast}$         | 823,1 | 0,4049            | 24,0989  | 114,251       | 79,2846  | <0,0001                  | <0,0001  |
| $-2,6623 + 6582,5 / \text{højhast}^2$      | 822,2 | 0,2237            | 736,3    | 141,656       | 79,9197  | <0,0001                  | <0,0001  |
| $-2,1217 + 261040 / \text{højhast}^3$      | 822,3 | 0,1693            | 29467,3  | 157,093       | 78,4756  | <0,0001                  | <0,0001  |

**Tabel 90.** Nyttefunktioner og statistiske resultater baseret på maximum likelihood af modeller med  $\pi_{\text{personskade}}$  og hastighedsbegrænsning.

Af tabel 90 ses, at den inverse af højhast korrelerer kraftigere med  $\pi_{\text{personskade}}$  end højhast. Umiddelbart forekommer  $1/\text{højhast}^2$  at være den af variablene, der har

den stærkeste sammenhæng med  $\pi_{\text{personskade}}$ . I figur 11 er modellerede og observerede sikkerhedseffekter på personskader angivet.



**Figur 11.** Sammenhæng mellem sikkerhedseffekt på personskader og den højeste hastighedsbegrænsning baseret på  $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}}) = -4,3278 + 214,6/højhast$ .

Note: Den modellerede og observerede sikkerhedseffekt ved 40 km/t er hhv. +182% og 679%, den observerede sikkerhedseffekt ved 110 km/t er -100%, mens der er ikke observeret sikkerhedseffekter ved 100 og 120 km/t.

Almindeligvis vil en forskel i AIC på 0-3 medføre, at man bør overveje ganske nøje, hvilken af de to modeller, som anses for at være bedst. Ved større forskelle i AIC end 8 bør man altid pege på den model med lavest AIC. Ved forskelle på 4-7 bør vældig gode argumenter fremføres, hvis modellen med højest AIC vælges. Umiddelbart synes modellerne med  $\ln(\text{højhast})$  for  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $1/\text{højhast}^2$  for  $\pi_{\text{personskade}}$  at være de bedste, men modeller med hhv. højhast og  $1/\text{højhast}$  er lige så anvendelige og nok nemmere at forstå.

Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit tests viser, at modeller for  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$  med højeste hastighedsbegrænsning passer godt, hvilket vil sige, at der hverken er væsentlig over- eller underspredning. Det er derfor unødvendigt at reskalere data.

For at få overblik over alle de variable, der er forsøgt at modellere i forhold til sikkerhedseffekten for hhv. uheld og personskader, er der i følgende oplistet de enkelte variable og hvordan disse forventes at være relateret til  $\text{logit}(\pi)$ . Dette overblik gives i tre delafsnit; krydsdesign, rundkørselsdesign og lokalisering.

### 10.1.1 Variable for krydsdesign

| Variabel for krydsdesign                 | Afprøvet værdiskala | Forventet relation til $\pi$ |
|------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Regulering                               | Kategori            | Dummy (vige, signal)         |
| Antal kryds                              | Kontinuer, kategori | Dummy (ét, flere)            |
| Max. antal vejben pr. kryds              | Kontinuer, kategori | Class (3, 4, 5)              |
| Antal fodgængerfelter                    | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal blå cykelfelter                    | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal veje med fortov                    | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal veje med cykel- eller kantbane     | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal veje med enkeltrettet cykelsti     | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal veje med dobbeltrettet cykelsti    | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Antal veje med cykelfacilitet            | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Max. antal ligeud kørespor pr. tilfart   | Kategori            | Dummy (ét, flere)            |
| Forekomst af højresvingsspor             | Kategori            | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Forekomst af venstresvingsspor           | Kategori            | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Forekomst af højre- og venstresvingsspor | Kategori            | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Forekomst af svingsspor                  | Kategori            | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Forekomst af belysning i kryds           | Kategori            | Dummy (ja til stede, nej)    |
| Belysning anlagt ved ombygning           | Kategori            | Dummy (ja, nej)              |

**Tabel 91.** Variable om krydsdesign, der er afprøvet, som forklarende uafhængig variable i forhold til hhv.  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ .

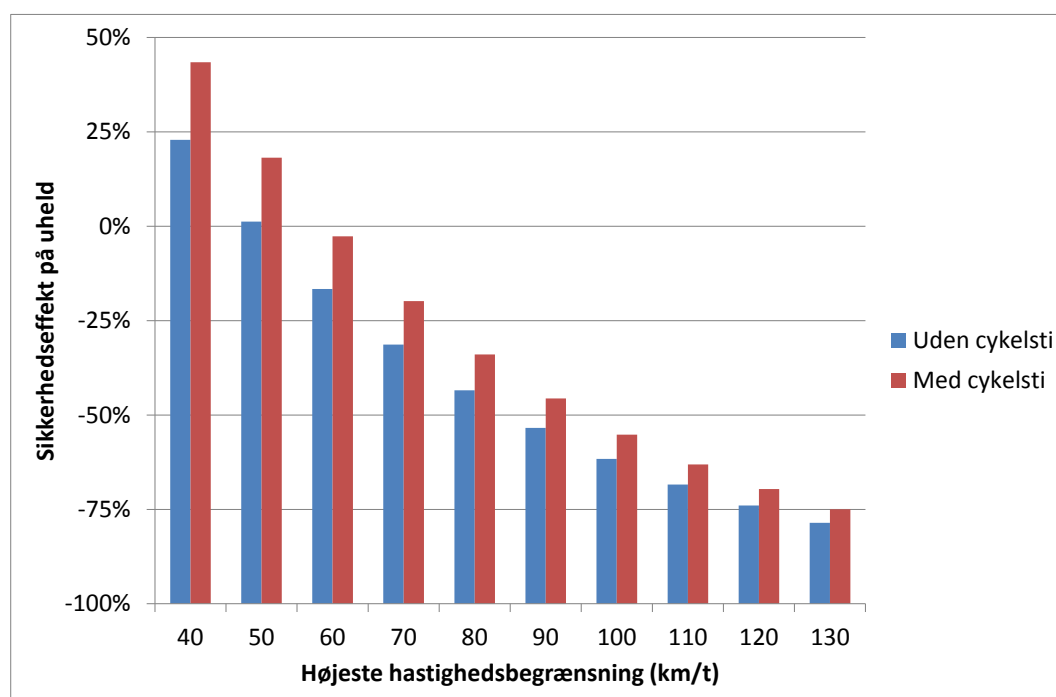
I tabel 91 er listet variable om krydsdesign, der har indgået i regressionsanalyser for sikkerhedseffekter. Den første variabel i tabel 91 ”regulering” er oprindeligt inddelt i fire kategorier; højrevigepligt, ubetinget vigepligt, stoptavler og signal. Den oprindelige inddeling er afprøvet hhv. som en fuld kategorisk variabel (class variable) og dels som en serie af dummy variable. Det forventes, at dummy variablen, for om krydset er signalreguleret, vil være af størst betydning. Antal kryds kan være 1, 2 eller 3, men her forventes, at sikkerhedseffekter for steder med 2 og 3 kryds er rimeligt ens. Effekter forventes derimod at være forskellige, om der er 2, 3, 4 eller 5 vejben i krydset, og denne forskellighed forventes at opføre sig kategorisk. Dog er der slet ikke sket uheld, hvor der er kun 2 vejben. For øvrige variable forventes dummy variable for tilstedeværelse at have potentielle sammenhænge med sikkerhedseffekter. Vedrørende belysning var 125 ud af de 332 steder uden belysning i førsituationen, mens kun tre rundkørsler var uden belysning. Variablen for forekomst af belysning i kryds er derfor næsten identisk med variablen for, om belysning er anlagt i forbindelse med ombygningen.

Der er foretaget regressionsanalyser af variablene i tabel 91 i forhold til hhv.  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ . Dette er udført med ”stepwise selection”, hvor den mest signifikante variabel indtræder i modellen efterfulgt af den næstmest signifikante variabel, osv. Der er først benyttet en grænse for signifikans på 10% både for ind- og udtræden af modellen, derefter en grænse på 5%. Slutteligt er højhast og 1/højhast tilføjet som variable for modeller af hhv.  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ .

| Niveau, $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$                 | AIC    | Standardafvigelse                 | Signifikanstest $\chi^2$            |
|--------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                                                              |        | konstant, variabel 1, 2, ...      | konstant, variabel 1, 2, ...        |
| 10%<br>-0,6763-0,1572×dumblå+0,1311×fortov+<br>0,1388×dumenk | 2450,8 | 0,1057, 0,0870, 0,0281,<br>0,0506 | <0,0001, 0,0709, <0,0001,<br>0,0061 |
| 5%<br>-0,5301+0,1212×fortov+0,1174×dumenk                    | 2452,1 | 0,0675, 0,0275, 0,0492            | <0,0001, <0,0001, 0,0171            |
| 5%<br>0,9821-0,0194×højhast+0,1548×dumenk                    | 2435,6 | 0,2253, 0,00329, 0,0482           | <0,0001, <0,0001, 0,0013            |

**Tabel 92.** Nyttfunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$  krydsvariable og højeste hastighedsbegrænsning. Note: dumblå = 1 med et eller flere blå cykelfelter i kryds ellers 0, fortov = antal veje hen til kryds med fortov, dumenk = 1 med en eller flere veje med enkeltrettet cykelsti hen til kryds ellers 0, højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel.

Af tabel 92 ses, at modellen med krydsvariable på 10% niveau har tre variable, hhv. forekomst af blå cykelfelter og enkeltrettede cykelstier samt antal veje med fortov. Det er sandsynligvis ikke designet af krydsene, men derimod det, som designet korrelerer med fx mængde af fodgængere og cyklister samt hastighedsbegrænsning, der øver indflydelse på sikkerhedseffekten på uheld. Modellen indikerer, at sikkerhedseffekten på uheld er dårligere i kryds med veje med fortov og enkeltrettede cykelstier samt bedre i kryds med blå cykelfelter. I modellen på 5% niveau udgår variabelen for blå cykelfelter, da den ikke er signifikant. I modellen med højeste hastighedsbegrænsning udgår variabelen for fortov, da den er stærkt korreleret med hastighedsbegrænsningen.



**Figur 12.** Modellerede sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger af kryds til rundkørsler baseret på  $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) = 0,9821-0,0194 \times \text{højhast} + 0,1548 \times \text{dumenk}$ . Note: Uden cykelsti = uden forekomst af enkeltrettet cykelsti på veje hen til kryds.

Modellen for  $\pi_{\text{uheld}}$  med højeste hastighedsbegrænsning og dummy for forekomst af enkeltrettede cykelstier er klart den bedste af modellerne i tabel 92. For at give en bedre indsigt i denne model er de modellerede sikkerhedseffekter angivet i figur 12. Af figuren ses, at sikkerhedseffekter på uheld er bedre, hvor der ikke fandtes enkeltrettede cykelstier på veje hen til kryds. Forskellen i sikkerhedseffekt bliver dog mindre, jo højere hastighedsbegrænsningen er. Det er værd at bemærke, at hverken antallet af vejben eller type af regulering optræder som signifikante variable i tabel 92.

| Niveau, $\logit(\pi_{\text{personskade}}) =$                                                                     | AIC   | Standardafvigelse                                                 | Signifikanstest $\chi^2$                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                  |       | konstant, variabel 1, 2, ...                                      | konstant, variabel 1, 2, ...                                          |
| 10%<br>-5,3639-0,5473×kryds+4,3554×3ben+<br>3,5887×4ben-0,4008×blå+0,4303×fortov-<br>0,7380×dumdob+0,2059×signal | 819,4 | 198,1, 0,2576, 198,1,<br>198,1, 0,1270, 0,0525,<br>0,2735, 0,1077 | 0,9784, 0,0337, 0,9825,<br>0,9855, 0,0016, <0,0001,<br>0,0070, 0,0560 |
| 5%<br>-6,1212+4,2756×3ben+3,6713×4ben-<br>0,3028×blå+0,4087×fortov-0,7882×dumdob                                 | 822,8 | 198,1, 198,1, 198,1,<br>0,1199, 0,0500, 0,2738                    | 0,9753, 0,9828, 0,9852,<br>0,0116, <0,0001, 0,0040                    |
| 5%<br>-5,1912+228,7×1/højhast+0,2850×signal-<br>0,8499×dumdob                                                    | 804,8 | 0,4960, 25,1104, 0,1001,<br>0,2708                                | <0,0001, <0,0001, 0,0044,<br>0,0017                                   |

**Tabel 93.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{personskade}}$ , krydsvariable og højeste hastighedsbegrænsning. Note: kryds = antal kryds pr. ombygning, 3ben = 1 hvis T-kryds ellers 0, 4ben = 1 hvis firevejskryds ellers 0, blå = antal blå cykelfelter i kryds, fortov = antal veje hen til kryds med fortov, dumdob = 1 hvis dobbeltrettet cykelsti på veje hen til kryds ellers 0, højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel, signal = 1 hvis signalreguleret kryds ellers 0.

I tabel 93 er vist de tre modeller for sikkerhedseffekter på personskader med krydsvariable. Uden variabelen for højeste hastighedsbegrænsning i modellen er flere krydsvariable signifikante. Dummy-variable for forekomst af fortov og blå cykelfelter er sammen med variable for belysning sorteret fra, da de forekommer at være spuriøse, idet de samvarierer voldsomt (korrelation over 0,6) med andre mere signifikante variable. Modellen for  $\pi_{\text{personskade}}$  med den inverse af højeste hastighedsbegrænsning samt dummy for forekomst af signalregulering og dobbeltrettet cykelsti er klart den bedste af modellerne i tabel 93. I den model har forekomsten af dobbeltrettede cykelstier omtrent tre gange større betydning for sikkerhedseffekten på personskader end om krydset er vigepligts- eller signalreguleret. Effekten på personskader er bedre, hvor kryds med dobbeltrettede cykelstier bygges om til rundkørsler i forhold til kryds uden dobbeltrettede cykelstier. Effekten på personskader er bedre, når vigepligtsregulerede kryds bygges om til rundkørsler end når lyskryds bygges om.

### 10.1.2 Variable for rundkørselsdesign

I tabel 94 på næste side er listet variable om rundkørselsdesign, der har indgået i regressionsanalyser for sikkerhedseffekter.



| Variabel for rundkørselsdesign                          | Afprøvet værdiskala | Forventet relation til $\pi$                                                             |
|---------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type af rundkørsel                                      | Kategori            | Class (mini, 1-spor, flerspor, signal)                                                   |
| Antal vejgrene                                          | Kategori            | Class (3, 4, 5-7)                                                                        |
| Antal tilfarter                                         | Kategori            | Class (3, 4, 5-7)                                                                        |
| Antal frafarter                                         | Kategori            | Class (3, 4, 5-7)                                                                        |
| Antal shunts                                            | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Max. midterø diameter                                   | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Midterø højde på midten                                 | Kontinuer, kategori | Dummy (lav <1,5 m, høj $\geq 1,5$ m)                                                     |
| Midterø udseende                                        | Kategori            | Class (græs, plante, kunst, belægning)                                                   |
| Max. bredde af overkørselsareal                         | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                            |
| Max. midterø+overkørselsareal diameter                  | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Max. bredde af cirkulationsareal                        | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Max. indskreven cirkeldiameter                          | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Indskreven cirkeldiameter/midterø+overk. diameter       | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Gennemsnitlig luftlinjeafstand mellem vejgrene          | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                            |
| Mindste luftlinjeafstand mellem vejgrene                | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                            |
| Forskellen største – mindste vinkel mellem vejgrene     | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                            |
| Max. bredde af cirkulationsareal og cykelbane           | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Antal fodgængerfelter                                   | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Cykelfacilitet                                          | Kategori            | Class (ingen, cykelbane, farvet cykelbane, cykelsti, blå cykelsti, separat sti, to-plan) |
| Type af sekundærhelle                                   | Kategori            | Class (ingen, parallel, trekant, trompet, blandet)                                       |
| Gennemsnitlig forsætning                                | Kontinuer           | Simpel lineær                                                                            |
| Gennemsnitlig forsætningsstrækning                      | Kontinuer           | Simpel lineær                                                                            |
| Beregnet cirkulationshastighed, hollandsk model         | Kontinuer           | Polynomium el. lign.                                                                     |
| 85%-fraktil hastighed, italiensk model                  | Kontinuer           | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Gennemsnitlig hastighed, amerikansk model               | Kontinuer           | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Antal veje med fortov                                   | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Antal veje med cykel-/kantbene                          | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Antal veje med enkeltrettet cykelsti                    | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Antal veje med dobbeltrettet cykelsti                   | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Antal veje med cykelfacilitet                           | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Antal veje med midterrabat                              | Kontinuer, kategori | Dummy (ja til stede, nej)                                                                |
| Afmærkning af cirkulationsareal                         | Kategori            | Class (ingen, kant, midt, kant+midt)                                                     |
| Længdeafmærkning af veje                                | Kategori            | Class (ingen, midt, kant+midt, blandet)                                                  |
| Gennemsnitlig bredde af tilfarter                       | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Gennemsnitlig bredde af frafarter                       | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Gennemsnitlig oversigt før rundkørsel                   | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                     |
| Gennemsnitligt antal forvarsling/vejvisning pr. tilfart | Kategori            | Class (ukendt, 0, 0,1-0,9, 1, 1,1-7)                                                     |
| Gennemsnitlig afstand fra forvarsling til vigelinje     | Kategori            | Class (ukendt, ej, 20-50, 51-100, 101-150, 150-340)                                      |

**Tabel 94.** Variable om rundkørselsdesign, der er afprøvet, som forklarende uafhængig variable i forhold til hhv.  $\pi_{uheld}$  og  $\pi_{personskade}$ .

Listen af variable for rundkørselsdesign i tabel 94 er meget lang, men der er faktisk afprøvet endnu flere variable, da analyserne i de tidligere kapitler har vist, at en del variable sandsynligvis udviser interaktion (synergieffekt). Et eksempel herpå er type af rundkørsel og midterøens højde på midten, hvor midterøens højde kun synes at påvirke sikkerhedseffekter for 1-sporede rundkørsler. Her er type af rundkørsel så udvidet med hhv. lave og høje 1-sporede rundkørsler. Blandt fler-sporede rundkørsler viste det sig, at variationen i cirkulationsarealets bredde var væsentlig for sikkerhedseffekter, se afsnit 6.3. Derfor er det forsøgt at udvide type af rundkørsel yderligere med hhv. 2-sporede (type 1-2 i figur 7 i afsnit 6.3) og 1,5 sporede (type 3-4). En række variable synes også at have en synergieffekt med variablene hastighedsbegrænsning eller by-/landzone fx cykelfacilitet, type af sekundærhelle, oversigt før rundkørsel og antal forvarslinger/vejvisninger pr. tilfart. Der findes også andre synergieffekter fx mellem antal vejgrene og afstand/vinkel mellem vejgrene. Disse potentielle interaktioner er forsøgt afdækket.

Der foretaget regressionsanalyser af variablene for rundkørselsdesign i tabel 94. Dette er igen udført med ”stepwise selection”. Der er først benyttet en grænse for signifikans på 10% derefter 5%. Først er modeller uden synergieffekter opstillet derefter med synergieffekter. Slutteligt er højhast og 1/højhast tilføjet for modeller af hhv.  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ . Ingen synergieffekter er signifikante. Der er vist tre modeller for  $\pi_{\text{uheld}}$  i tabel 95.

| Med/uden højhast, signifikansniveau, $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$ |                                                                                                                                                                                      | AIC    | Standardafvigelse<br>konstant, variabel 1, 2, ...                                                | Signifikanstest $\chi^2$<br>konstant, variabel 1, 2, ...                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Med<br>10%                                                                | 0,7291-0,0143×højhast-0,1749×shunts+<br>0,00535×midtuntyve+ 0,2867×midtøfyrre+<br>0,1487×enkelt-0,0955×bvejafm-0,4583×<br>ivejafm-0,0723×kmvejafm-0,1781×almfrac+<br>0,1251×bredfrac | 2406,6 | 0,3159, 0,00457, 0,0728,<br>0,1235, 0,1057, 0,0409,<br>0,1030, 0,2070, 0,1287,<br>0,0764, 0,1194 | 0,0210, 0,0017, 0,0162,<br>0,0203, 0,9596, 0,0003,<br>0,3539, 0,0269, 0,5742,<br>0,0198, 0,2947  |
| Uden<br>5%                                                                | 0,1114-0,1654×shunts+0,0520×midtuntyve+<br>0,2672×midtøfyrre+0,1608×enkelt-0,00582×<br>oversigt-0,1974×almfrac+0,1290×bredfrac-<br>0,1225×bvejafm-0,4538×ivejafm-0,1320×<br>kmvejafm | 2410,4 | 0,1645, 0,0733, 0,1027,<br>0,1233, 0,0406, 0,00232,<br>0,0768, 0,1209, 0,1031,<br>0,2083, 0,1248 | 0,4982, 0,0241, 0,6127,<br>0,0302, <0,0001, 0,0122,<br>0,0101, 0,2858, 0,2346,<br>0,0293, 0,2902 |
| Med<br>5%                                                                 | 0,7333-0,0152×højhast-0,1672×shunts+<br>0,00619×midtuntyve+ 0,3493×midtøfyrre+<br>0,1617×enkelt-0,0956×bvejafm-0,4449×<br>ivejafm-0,0635×kmvejafm                                    | 2408,4 | 0,3079, 0,00447, 0,0720,<br>0,1075, 0,1000, 0,0404,<br>0,1028, 0,2067, 0,1284                    | 0,0172, 0,0007, 0,0203,<br>0,0012, 0,9507, <0,0001,<br>0,3522, 0,0313, 0,6207                    |

**Tabel 95.** Nyttfunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$ , rundkørselsvariable og højeste hastighedsbegrænsning. Note: shunts = antal shunts, midtuntyve = 1 hvis diameter for midterø+overkørselareal er under 20 m ellers 0, midtøfyrre = 1 hvis diameter for midterø+overkørselsareal er 40 m eller mere ellers 0, enkelt = antal veje hen til rundkørsel med enkeltrettet cykelsti, oversigt = gennemsnitlig oversigt før rundkørsel, almfrac = 1 hvis frafarter er 3,80-4,69 m bred ellers 0, bredfrac = 1 hvis frafarter er 4,7 m bred eller bredere ellers 0, bvejafm = 1 hvis blandet længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, ivejafm = 1 hvis ingen længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, kmvejafm = 1 hvis kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsel ellers 0, højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel.

Den variabel for rundkørselsdesign, der er stærkest korreleret med sikkerhedseffekten på uheld, er den samlede diameter for midterø og overkørselsareal. Denne har vist sig bedst at beskrive ved tre kategorier hhv. under 20 m, 20-40 m og 40 m eller mere. Sikrest er kategorien 20-40 m. Andre signifikante variable for rundkørselsdesign er antallet af veje med enkeltrettede cykelstier, længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel, antallet af shunts, bredde af frafarter og oversigt før rundkørsel. Effekten bliver stadig dårligere jo flere veje hen til rundkørslen, der har enkeltrettede cykelstier. Ingen længdeafmærkning er bedst. Jo flere shunts desto bedre effekt på uheld. 3,8-4,3 m brede frafarter giver den bedste effekt på uheld. Jo længere fra rundkørslen, at oversigt til rundkørsel opnås, desto bedre effekt på uheld. Afstanden mellem vejgrene er sorteret fra, da den forekommer at være spuriøs, da den samvarierer voldsomt (korrelation over 0,6) med andre mere signifikante variable.

| Med/uden højhast, signifikansniveau, $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}}) =$                                                                                                 | AIC   | Standardafvigelse                                                                      | Signifikanstest $\chi^2$                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 |       | konstant, variabel 1, 2, ...                                                           | konstant, variabel 1, 2, ...                                                             |
| Uden 10%<br>-1,5288 -0,3209×shunts-0,3306×midtotom - 0,4315×almidivm-0,0424×bredidivm+0,4070×fortov+0,2261×enkelt+0,2406×dumrabat-0,4317×bvejafm-0,6084×ivejafm+0,2251×kmvejafm | 796,9 | 0,2450, 0,1616, 0,1172, 0,1491, 0,1706, 0,0731, 0,0763, 0,1031, 0,1860, 0,3933, 0,2461 | <0,0001, 0,0470, 0,0048, 0,0038, 0,8037, <0,0001, 0,0030, 0,0196, 0,0203, 0,1219, 0,3604 |
| Uden 5%<br>-1,6208-0,3577×midtotom-0,4315×almidivm-0,0881×bredidivm+0,3897×fortov+0,2154×enkelt-0,4029×bvejafm-0,6457×ivejafm+0,1670× kmvejafm                                  | 801,0 | 0,2430, 0,1113, 0,1448, 0,1658, 0,0713, 0,0687, 0,1846, 0,3933, 0,2449                 | <0,0001, 0,0013, 0,0029, 0,5953, <0,0001, 0,0017, 0,0291, 0,1007, 0,4951                 |
| Med 5%<br>-3,9129+190,0/højhast-0,4178×shunts-0,2010× lillemidt+0,7553×stormidt-0,2312×midtotom+0,3007×enkelt-0,3942×bvejafm-0,5116×ivejafm+0,1327× kmvejafm                    | 788,9 | 0,6220, 36,8014, 0,1733, 0,1955, 0,2484, 0,1172, 0,0725, 0,1847, 0,3851, 0,2384        | <0,0001,<0,0001, 0,0159, 0,3038, 0,0024, 0,0485, <0,0001, 0,0329, 0,1840, 0,5777         |

**Tabel 96.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{personskade}}$ , rundkørselsvariable og højeste hastighedsbegrænsning. Note: shunts = antal shunts, almidivm = 1 hvis indskreven cirkel-diameter divideret med diameter for midterø+overkørselsareal er 1,3-1,5 ellers 0, bredidivm = 1 hvis indskreven cirkeldiameter divideret med diameter for midterø+ overkørselsareal er 1,5 eller mere ellers 0, fortov = antal veje hen til rundkørsel med fortov, enkelt = antal veje hen til rundkørsel med enkeltrettet cykelsti, dumrabat = 1 hvis midterrabat på vej hen til rundkørsel ellers 0, bvejafm = 1 hvis blandet længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, iverjafm = 1 hvis ingen længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, kmvejafm = 1 hvis kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsel ellers 0, midtotom = 1 hvis midterø højde på midten er 2 m eller mere ellers 0, højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel, lillemidt = 1 hvis midterø diameter under 20 m ellers 0, stormidt = 1 hvis midterø diameter 40 m eller mere ellers 0.

Den detaljerede type af rundkørsel er sorteret fra, idet den forekommer at være spuriøs, da den samvarierer voldsomt med andre mere signifikante variable. De variable for rundkørselsdesign, der er stærkest korreleret med sikkerhedseffekten på personskader, er midterøens diameter og antallet af veje med enkeltrettede cykelstier hen til rundkørslen. Derudover er længdeafmærkning på veje hen til rundkørslen, antallet af shunts og højden af midterøen væsentlige variable.

Sammenholdes tabel 95 med tabel 92 og tabel 96 med tabel 93 ses, at AIC er mindre i modeller med variable for rundkørselsdesign end modeller med variable for krydsdesign. Det betyder, at rundkørselsdesignet er af større betydning for sikkerhedseffekter på uheld og personskader end krydsdesignet. Dog er der brugt langt flere variable for rundkørselsdesign end for krydsdesign.

### 10.1.3 Variable for lokalisering

I tabel 97 er listet variable om lokalisering, der har indgået i regressionsanalyser for sikkerhedseffekter.

| Variabel for lokalisering                | Afprøvet værdiskala | Forventet relation til $\pi$                                                        |
|------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Vejcenter                                | Kategori            | Class (Nordjylland, Midtvestjylland, Østjylland, Syddanmark, Sjælland, Hovedstaden) |
| Udførende vejbestyrer                    | Kategori            | Class (stat, amt, kommune)                                                          |
| Nuværende vejbestyrer                    | Kategori            | Dummy (stat, kommune)                                                               |
| År for ombygning (sidste år, hvis flere) | Kontinuer           | Simpel lineær                                                                       |
| Zone                                     | Kategori            | Dummy (by, land)                                                                    |
| Laveste hastighedsbegrænsning            | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                |
| Højeste hastighedsbegrænsning            | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                |
| Gennemsnitlig hastighedsbegrænsning      | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                |
| Total indkørende årssøgntrafik (ÅDT)     | Kontinuer, kategori | Polynomium el. lign.                                                                |
| Trafikfordeling på hoved- og sideveje    | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel eneuheld af alle uheld før         | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel højresvingsuheld før               | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel venstresvings-/tværkollisioner før | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel andre uheld før                    | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel fodgængeruheld af alle uheld før   | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel cykeluheld før                     | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel knallert-/mcuheld før              | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel biluheld før                       | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |
| Andel to-hjuleruheld før                 | Kontinuer, kategori | Simpel lineær                                                                       |

**Tabel 97.** Variable om lokalisering, der er afprøvet, som forklarende uafhængig variable i forhold til hhv.  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ .

Til listen af variable for lokalisering i tabel 97 skal nævnes, at oplysninger om trafik kun forefindes for 224 steder med uheld og 196 steder med personskader, mens oplysninger om uheld i førperioden eksisterer for 281 steder og om personskader i førperioden eksisterer for 233 steder. Antallet af steder med oplysninger om trafik og uheld/personskader i førperioden er hhv. 218 og 186. Der er derfor flere ”missing values”, når lokaliseringsvariable skal modelleres i forhold til  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$ . Det håndteres ved at opstille modeller hhv. med og uden trafikdata samt med og uden uheld/personskader i førperioden. For at simplificere modeludviklingen opstilles kun modeller med signifikante uafhængige variable på et 5% signifikansniveau. I modeller for  $\pi_{\text{uheld}}$  og  $\pi_{\text{personskade}}$  indgår højhast og 1/højhast af de potentielle variable for hastighedsbegrænsning. Det er ikke relevant at sam-

menligne AIC på tværs af modeller, da antallet af steder er forskelligt afhængig af om oplysninger om trafik og uheld i førperioden indgår.

| Med/uden trafikdata, med/uden uheldsoplysninger fra førperiode, $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$ |                                                                              | N   | Standardafvigelse                                    | Signifikanstest $\chi^2$                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                                                                      |                                                                              |     | konstant, variabel 1, 2, ...                         | konstant, variabel 1, 2, ...                   |
| Uden/uden                                                                                            | 1,0142-0,0197×højhast                                                        | 296 | 0,2236, 0,00327                                      | <0,0001, <0,0001                               |
| Med/uden                                                                                             | 0,5678-0,0176×højhast-0,2063×amt+0,2426×kommune+0,000031×ÅDTind              | 224 | 0,3050, 0,00445, 0,0730, 0,1023, 0,000008407         | 0,0627, <0,0001, 0,0047, 0,0178, 0,0002        |
| Uden/med                                                                                             | -0,0706-0,162×højhast+1,8002×højre+0,7186×venstretvær+1,5207×andre           | 281 | 0,4024, 0,00339, 0,5030, 0,3661, 0,5167              | 0,8608, <0,0001, 0,0003, 0,0496, 0,0033        |
| Med/med                                                                                              | 0,2903-0,0151×højhast-0,1768×amt+0,2278×kommune+0,000031×ÅDTind+1,0625×højre | 218 | 0,3212, 0,00458, 0,0737, 0,1033, 0,000008491, 0,4022 | 0,3661, 0,0010, 0,0164, 0,0274, 0,0003, 0,0082 |

**Tabel 98.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$  og lokaliseringsvariable.

Note: N = antal steder (observationer), højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel, amt = 1 hvis amt anlagde rundkørsel ellers 0, kommune = 1 hvis kommune anlagde rundkørsel ellers 0, ÅDTind = total indkørende årsdøgntrafik 2009, højre = andel af uheld i førperiode som er højresvinguheld, venstretvær = andel af uheld i førperiode som er venstresving- eller tværkollisioner, andre = andel af uheld i førperiode som er bagende- eller frontalkollisioner.

Af tabel 98 ses, at højeste hastighedsbegrænsning indgår i alle modeller og er særdeles signifikant. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er sikkerhedseffekten på uheld. Den total indkørende trafikmængde er også væsentlig, idet højere trafikmængder giver dårligere sikkerhedseffekt på uheld. Amters ombygninger gav bedre sikkerhedseffekter på uheld end statens og endnu bedre effekter end kommuners ombygninger. Hvorvidt det skyldes, at amter var bedre til at foretage disse ombygninger eller havde mere egnede lokaliteter for disse ombygninger, er uvist. Endelig har sammensætningen af uheld på uheldstyper i førperioden en vis betydning, da især en stor andel højresvinguheld giver dårlige sikkerhedseffekter på uheld. Det er ikke muligt at sige, hvilken model i tabel 98, der er bedst.

| Med/uden trafikdata, med/uden personskadeoplysninger fra førperiode, $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}}) =$ |                                       | N   | Standardafvigelse            | Signifikanstest $\chi^2$     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|------------------------------|------------------------------|
|                                                                                                                 |                                       |     | konstant, variabel 1, 2, ... | konstant, variabel 1, 2, ... |
| Uden/uden                                                                                                       | -4,3278+214,6/højhast                 | 250 | 0,4049, 24,0989              | <0,0001, <0,0001             |
| Med/uden                                                                                                        | -4,2479+209,3/højhast                 | 196 | 0,4306, 26,3279              | <0,0001, <0,0001             |
| Uden/med                                                                                                        | -3,8480+163,0/højhast+1,3826×cykel    | 233 | 0,4435, 28,0823, 0,3674      | <0,0001, <0,0001, 0,0002     |
| Med/med                                                                                                         | -3,8662+160,0/højhast+1,1751×tohjuler | 186 | 0,4785, 32,4433, 0,3975      | <0,0001, <0,0001, 0,0031     |

**Tabel 99.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{personskade}}$  og variable for lokalisering.

Note: N = antal steder (observationer), højhast = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel, cykel = andel af personskader i førperiode blandt cyklister, tohjuler = andel af personskader i førperiode blandt cyklister, knallertkørere og motorcyklister.

Af tabel 99 ses, at den inverse højeste hastighedsbegrænsning indgår i alle modeller og er særdeles signifikant. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er sikkerhedseffekten på personskader. Den eneste anden lokaliseringsvariabel, der er signifikant, er andel af alle personskader i førperioden, der er sket blandt

cyklister eller to-hjulere (cyklister, knallertkører og motorcyklister). Jo mindre en andel af personskader, der er sket blandt cyklister eller to-hjulere, desto bedre er sikkerhedseffekten. Det skal nævnes, at andelen af personskader i førperioden, der er sket i bil, er kraftigt korreleret (over 0,6) med hastighedsbegrænsningen, og er derfor sorteret fra, da den opfattes som spuriøs.

## 10.2 Modeller for sikkerhedseffekter på uheld

De indledende udviklinger af modeller for sikkerhedseffekter på uheld indeholder kun få variable, der er signifikante på et 5%-niveau. Den væsentligste variabel er højeste hastighedsbegrænsning. I modeller, hvor denne variabel indgår, er kun forekomsten af enkeltrettede cykelstier på veje hen til kryds og rundkørsler, samt diameter for midterø + overkørselsareal, antallet af shunts og længdeafmærkning på veje hen til rundkørsler også statistisk signifikante. Derudover er vejbestyrer for ombygning, total indkørende trafikmængde og sammensætning af uheld på uheldstyper signifikante afhængig af, om oplysninger om uheld i førperioden og trafik indgår.

I det følgende opstilles modeller for sikkerhedseffekter på uheld, hvor samtlige variable om kryds- og rundkørselsdesign samt lokalisering, der er signifikante på et 5%-niveau indgår, og modeller hvor oplysninger om hhv. uheld i førperioden og trafik er udeladt. Der forsøges både med højhast og  $\ln(\text{højhast})$  i modellerne. Det viser sig, at ingen af variablene for trafikdata er signifikante, og derfor er kun vist modeller hhv. med og uden uheld i førperioden.

I tabel 100 på næste side ses de endelige modeller for sikkerhedseffekter på uheld ved ombygning af kryds til rundkørsler. Afstanden mellem vejgrene er sorteret fra, da den forekommer at være spuriøs, da den samvarierer voldsomt (korrelation over 0,6) med andre mere signifikante variable. Når alle variable indgår undtagen oplysninger om uheld i førperioden og trafik, så er kun højeste hastighedsbegrænsning og fire variable om rundkørselsdesign signifikante. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er sikkerhedseffekten på uheld. En samlet diameter for midterø og overkørselsareal på under 40 m er sikrere end mindre eller større diameter. Dog skal det nævnes, at diameter under 20 er forholdsvis stærkt korreleret med hastighedsbegrænsningen, hvorfor parameterestimatet her kan være lettere misvisende. Jo flere veje der har enkeltrettede cykelstier på vej hen til rundkørslen, desto dårligere er sikkerhedseffekten på uheld. Det kan skyldes, at veje med enkeltrettede cykelstier er befærdet af flere cyklister end andre veje. Shunts medfører en bedre sikkerhedseffekt på uheld. Det ser ud til, at der er opnået bedre effekter, hvor der ikke er længdeafmærkning på veje hen til rundkørslen. Den væsentligste rundkørselsvariabel i modellen uden oplysninger om uheld i førperioden og trafik er den samlede diameter for midterø og overkørselsareal.

| Med/uden uheldsoplysninger fra førperiode, $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) =$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | N   | Standardafvigelse                                                                                               | Signifikanstest $\chi^2$                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     | konstant, variabel 1, 2, ...                                                                                    | konstant, variabel 1, 2, ...                                                                                   |
| Uden                                                                            | $3,9692 - 1,0184 \times \ln(\text{højhast}) - 0,1663 \times \text{shunts} - 0,00384 \times \text{midtuntyve} + 0,3558 \times \text{midtofyrrer} + 0,1608 \times \text{enkelt} - 0,0955 \times \text{bvejafm} - 0,4510 \times \text{ivejafm} - 0,0602 \times \text{kmvejafm}$                                                                                                                                                   | 296 | 1,2513, 0,3005, 0,0721, 0,1081, 0,1016, 0,0405, 0,1028, 0,2070, 0,1288                                          | 0,0015, 0,0007, 0,0210, 0,0010, 0,9655, <0,0001, 0,3528, 0,0294, 0,6403                                        |
| Med                                                                             | $1,1179 - 0,0117 \times \text{højhast} + 0,1333 \times \text{dumsving} - 0,1594 \times \text{shunts} - 0,2417 \times \text{almidivm} + 0,1332 \times \text{bredidivm} + 0,1282 \times \text{enkelt} - 0,1786 \times \text{bvejafm} - 0,3823 \times \text{ivejafm} - 0,1093 \times \text{kmvejafm} - 0,2338 \times \text{almfraf} + 0,2060 \times \text{bredfrf} - 1,4562 \times \text{ene} - 0,6234 \times \text{venstretvær}$ | 281 | 0,3618, 0,00469, 0,0623, 0,0720, 0,0802, 0,0963, 0,0427, 0,1070, 0,2147, 0,1328, 0,0741, 0,1098, 0,4597, 0,2803 | 0,0020, 0,0124, 0,0323, 0,0268, 0,0026, 0,1666, 0,0027, 0,0951, 0,0750, 0,4103, 0,0016, 0,0607, 0,0015, 0,0262 |

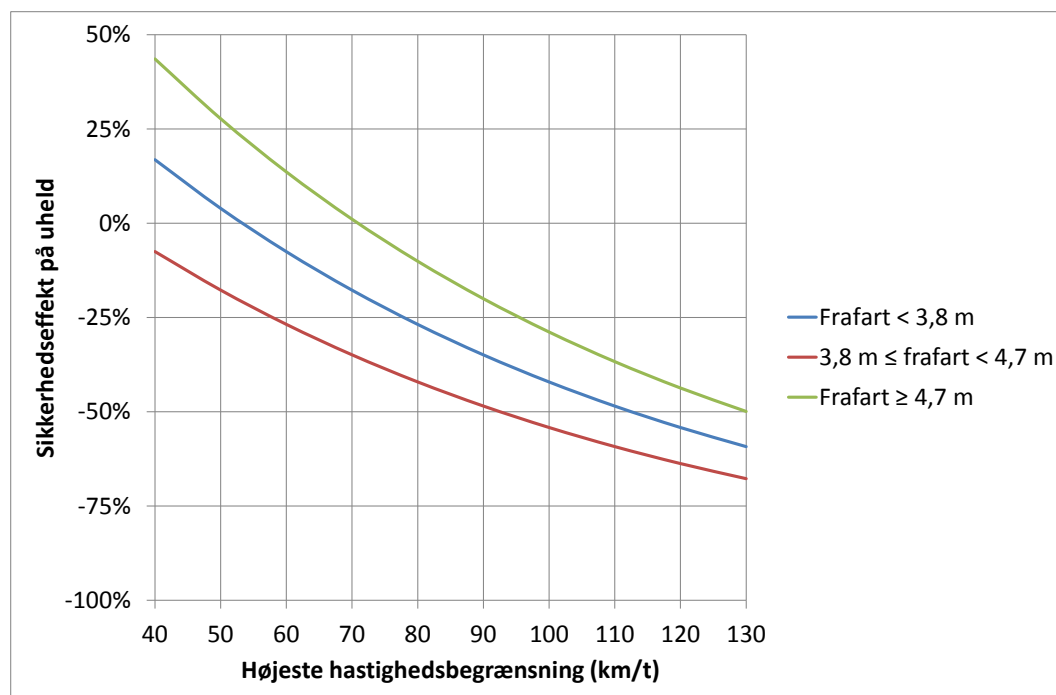
**Tabel 100.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{uheld}}$  og alle variable. Note:  $N$  = antal steder (observationer),  $\ln(\text{højhast})$  = naturlig logaritme til højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel,  $\text{shunts}$  = antal shunts,  $\text{midtuntyve}$  = 1 hvis diameter for midterø+overkørselsareal er under 20 m ellers 0,  $\text{midtofyrrer}$  = 1 hvis diameter for midterø+overkørselsareal er 40 m eller mere ellers 0,  $\text{enkelt}$  = antal veje hen til rundkørsel med enkeltrettet cykelsti,  $\text{bvejafm}$  = 1 hvis blandet længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0,  $\text{ivejafm}$  = 1 hvis ingen længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0,  $\text{kmvejafm}$  = 1 hvis kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsel ellers 0,  $\text{højhast}$  = højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel,  $\text{dumsving}$  = 1 hvis kryds med svingspor ellers 0,  $\text{almidivm}$  = 1 hvis indskreven cirkeldiameter divideret med diameter for midterø+overkørselsareal er 1,3-1,5 ellers 0,  $\text{bredidivm}$  = 1 hvis indskreven cirkeldiameter divideret med diameter for midterø+overkørselsareal er 1,5 eller mere ellers 0,  $\text{almfraf}$  = 1 hvis frafarter er 3,80-4,69 m bred ellers 0,  $\text{bredfrf}$  = 1 hvis frafarter er 4,7 m bred eller bredere ellers 0,  $\text{ene}$  = andel af uheld i førperiode som er enuehald,  $\text{venstretvæ}$  = andel af uheld i førperiode som er venstresvings- eller tværkollisioner.

I modellen for sikkerhedseffekten på uheld med uheldsoplysninger i førperioden er variable for forekomst af svingspor i kryds, enkeltrettede cykelstier og shunts i rundkørsler samt bredde af frafarter i rundkørsler, længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel, rundkørselens størrelse og opdeling i uheldstyper i førperioden signifikante foruden højeste hastighedsbegrænsning. Forekomst af svingspor i kryds medfører, at effekten på uheld bliver dårligere, hvilket vil sige, at svingspor gør kryds sikrere og derfor bliver effekten på uheld ved ombygning til rundkørsel dårligere. 3,8-4,7 m brede frafarter er sikrere end smallere eller bredere frafarter. Man skal erindre, at tilfarter typisk er 0,4 m smallere end frafarter, så man kunne også sige, at 3,4-4,3 m brede tilfarter er sikrere end andre.

Der er opnået bedre sikkerhedseffekter på uheld, hvor veje hen til rundkørsler ikke har nogen form for længdeafmærkning. Ombygninger til rundkørsler med shunts har givet bedre effekter på uheld end rundkørsler uden shunts. Rundkørsler med en indskreven diameter, der er 1,3-1,5 gange større end den samlede diameter for midterø og overkørselsareal, har medført de bedste effekter på uheld. Endelig har sammensætningen af uheld på uheldstyper i førperioden en vis betydning. Det er primært en stor andel højresvingsuheld i førperioden, der medfører dårlige sikkerhedseffekter på uheld.

Den modellerede sikkerhedseffekt på uheld er opgjort for diverse hastighedsbegrænsninger og hhv. smalle, almindelige og brede frafarter i figur 13 nedenfor.

Figuren er baseret på modellen, hvor oplysninger om uheld i førperioden indgår. Konkret er det et kryds med svingbaner, der bygges om til en rundkørsel uden shunts med blandet længdeafmærkning på vejene og med en indskreven cirkeldiameter, der er mere end 1,5 gange større end den samlede diameter af midterø og overkørselsareal. Desuden opereres med 10% enuehæld og 70% venstresvings- og tværkollisioner i førperioden.



**Figur 13.** Modellerede sikkerhedseffekter på uheld af ombygninger fra kryds til rundkørsler baseret på nyttefunktionen  $\text{logit}(\pi_{\text{uheld}}) = 0,6238 - 0,0117 \times \text{højhast} - 0,2338 \times \text{almfraf} + 0,2060 \times \text{bredfraf}$ . Note: Der ses betydningen af gennemsnitlig bredde af frafarter i rundkørsler.

Det er værd at bemærke, at antallet af vejben/vejpgrene, reguleringsform for kryds, trafikmængde, midterøens højde, type af rundkørsel og sekundærhelle, gang- og cykelfaciliteter i rundkørsler samt forvarsling/vejvisning før rundkørsler ikke er signifikante variable i modellerne. Det betyder ikke, at disse variable er uden betydning for effekter på uheld, men andre variable er af større betydning.

### 10.3 Modeller for sikkerhedseffekter på personskader

De indledende udviklinger af modeller for sikkerhedseffekter på personskader indeholder kun få variable, der er signifikante på et 5%-niveau. Den væsentligste variabel er højeste hastighedsbegrænsning. I modeller, hvor denne variabel indgår, er kun forekomsten af hhv. signalregulering i kryds, dobbeltrettede cykelstier på veje hen til kryds, enkeltrettede cykelstier på veje hen til rundkørsler, shunts i rundkørsler og længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel samt diameter for midterø og midterøens højde på midten signifikante. Derudover er andelen af alle



personskader i førperioden, der er sket blandt cyklister, knallertkørere og motorcyklister signifikant, når oplysninger om uheld i førperioden indgår.

I det følgende opstilles modeller for sikkerhedseffekter på personskader, hvor samtlige variable om kryds- og rundkørselsdesign samt lokalisering, der er signifikante på et 5%-niveau indgår, og modeller hvor oplysninger om hhv. uheld i førperioden og trafik er udeladt. Der forsøges både med  $1/højhast$  og  $1/højhast^2$  i modellerne. Det viser sig, at ingen af variablene for trafikdata er signifikante, og derfor er kun vist modeller hhv. med og uden personskader i førperioden.

| Med/uden personskadeoplysninger fra førperiode,<br>logit( $\pi_{\text{personskade}}$ ) = |                                                                                                                                                                                 | N   | Standardafvigelse                                                                             | Signifikanstest $\chi^2$                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                          |                                                                                                                                                                                 |     | konstant, variabel 1, 2, ...                                                                  | konstant, variabel 1, 2, ...                                                                      |
| Uden                                                                                     | -2,9540+5630,3/højhast <sup>2</sup> -0,7116×dumdob-0,3903×shunts-0,1789×lillemidt+0,7047×stormidt-0,2330×midttotom+0,2795×enkelt-0,4572×bvejafm-0,3532×ivejafm+0,00291×kmvejafm | 250 | 0,4299, 1122,5 0,2767,<br>0,1749, 0,1965, 0,2483,<br>0,1176, 0,0740, 0,1904<br>0,3973, 0,2430 | <0,0001, <0,0001, 0,0101,<br>0,0256, 0,3625, 0,0045,<br>0,0475, 0,0002, 0,0164,<br>0,3740, 0,9905 |
| Med                                                                                      | -3,2541+4326,7/højhast <sup>2</sup> -0,6279×dumdob-0,3261×midttotom+0,2200×enkelt-0,2858×bvejafm-0,6200×ivejafm+0,0965×kmvejafm+1,2867×cykel                                    | 233 | 0,4092, 1006,8, 0,2734,<br>0,1176, 0,0701, 0,2063,<br>0,4522, 0,2613, 0,3895                  | <0,0001, <0,0001, 0,0217,<br>0,0056, 0,0017, 0,1660,<br>0,1703, 0,7120, 0,0010                    |

**Tabel 101.** Nyttefunktioner og statistiske resultater af modeller med  $\pi_{\text{personskade}}$  og alle variable.

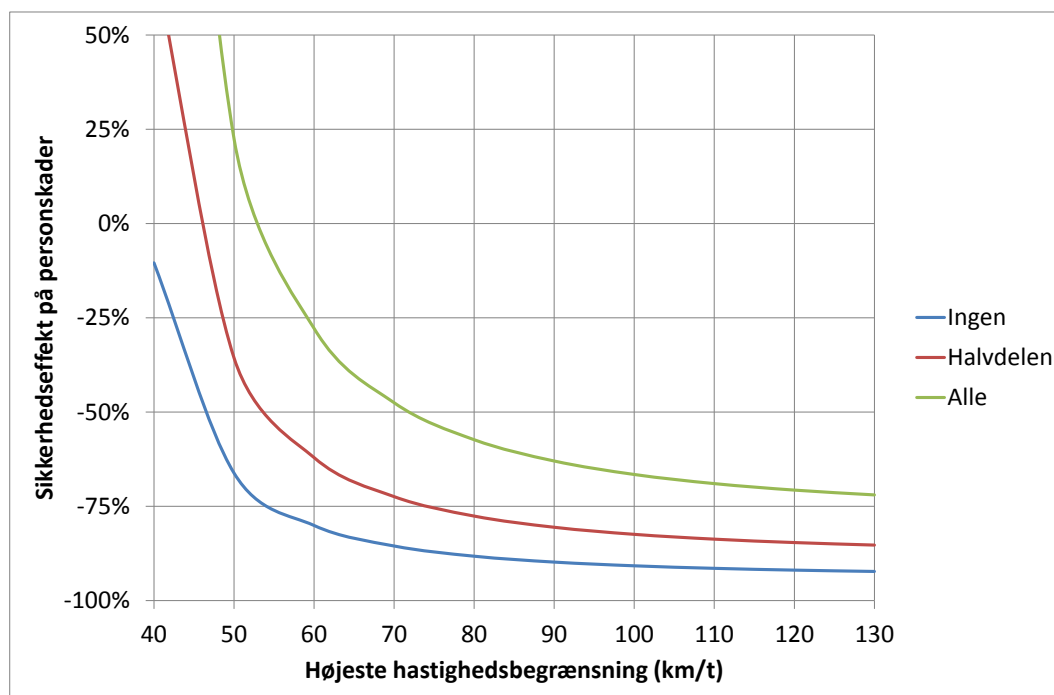
Note: N = antal steder (observationer),  $1/højhast^2$  er invers højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørsel i anden, dumdob = 1 hvis dobbeltrettet cykelsti på veje hen til kryds, shunts = antal shunts i rundkørsel, lillemidt = 1 hvis midterø diameter under 20 m ellers 0, stormidt = 1 hvis midterø diameter 40 m eller mere ellers 0, midttotom = 1 hvis midterø højde på midten er 2 m eller mere ellers 0, enkelt = antal veje hen til rundkørsel med enkeltrettet cykelsti, bvejafm = 1 hvis blandet længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, iverjafm = 1 hvis ingen længdeafmærkning på veje hen til rundkørsel ellers 0, kmvejafm = 1 hvis kant- og midtlinjer på veje hen til rundkørsel ellers 0, cykel = andel af personskader i førperiode blandt cyklister.

I tabel 101 ses endelige modeller for sikkerhedseffekter på personskader ved ombygning af kryds til rundkørsler. Når alle variable indgår undtagen oplysninger om uheld i førperioden og trafik, så er højeste hastighedsbegrænsning, en variabel for krydsdesign og fem variable om rundkørselsdesign signifikante. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er sikkerhedseffekten på personskader. Forefindes dobbeltrettet cykelsti på veje hen til kryds, så er effekten på personskader bedre end uden dobbeltrettet cykelsti. Shunts i rundkørsler medfører bedre effekter på personskader. Ombygninger til rundkørsler med midterøer med en diameter på 40 m eller mere giver dårligere effekter på personskader end mindre midterøer. Midterøer over 2 m høj på midten giver bedre effekter på personskader end lavere midterøer. Jo flere veje der har enkeltrettede cykelstier på vej hen til rundkørslen, desto dårligere er effekten på personskader. Det kan skyldes, at veje med enkeltrettede cykelstier er befærdet af flere cyklister end andre veje. Der er opnået bedre effekter på personskader, hvor veje hen til rundkørsler ikke har nogen form for længdeafmærkning.

Modellen, hvor oplysninger om personskader i førperioden indgår, er næsten den samme som modellen uden disse oplysninger. Dog er der en væsentlig forskel,

nemlig at en større andel af personskader i førperioden blandt cyklister medfører, at effekten på personskader bliver dårligere. Samtidig er variable for shunts og midterøens diameter ikke signifikante. Ellers er det fortsat, således at forekomst af dobbeltrettede cykelstier resulterer i bedre effekter, mens forekomst af enkeltrettede cykelstier giver dårligere effekter, og en høj midterø giver bedre effekter på personskader end en lav. Det skal nævnes, at afstand mellem vejgrene og dummy-variable for forekomst af enkeltrettede cykelstier og fortove er kraftigt korreleret (over 0,6) med andre mere signifikante variable, og er derfor frasorteret, da de opfattes som spuriøse.

Den modellerede sikkerhedseffekt på personskader er opgjort for diverse hastighedsbegrænsninger og hhv. hvor ingen, halvdelen og alle personskader i førperioden er sket blandt cyklister, se figur 14. Figuren er baseret på sted uden dobbeltrettede cykelstier, en rundkørsel med en midterø under 2 m i højde, med enkeltrettede cykelstier på to veje og midtlinjer på alle veje hen til rundkørsel.



**Figur 14.** Modellerede sikkerhedseffekter på personskader af ombygninger fra kryds til rundkørsler baseret på  $\text{logit}(\pi_{\text{personskade}}) = -2,8141 + 4326,7/højhast^2 + 1,2867 \times \text{cykel}$ .

Det er værd at bemærke, at antallet af vejben/vejgrene, reguleringsform for kryds, type af rundkørsel og sekundærhelle, trafikmængder, gang- og cykelfaciliteter i rundkørsler samt forvarsling/vejvisning før rundkørsler ikke er signifikante variable i modellerne. Det betyder ikke, at disse variable er uden betydning for effekter på uheld, men andre variable er af større betydning.

# 11. Konklusion

Trafitec har af Vejdirektoratet fået stillet til opgave at evaluere sikkerhedsmæssige effekter af rundkørsler med forskellig udformning. Rapporten indeholder dels et litteraturstudie af sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler og sikkerheden ved forskellige rundkørselsdesign, dels en detaljeret før-efter uhelds-evaluering af 332 ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark samt dels modeller for sikkerhedseffekter af de 332 ombygninger.

Sikkerhedseffekter beskriver forskelle i antallet af uheld, der er observeret i en periode efter kryds er bygget om til rundkørsler, og et forventet antal uheld, der ville være sket i den samme periode, hvis ombygningen ikke var udført. En effekt på ”-30%” svarer til, at ombygninger har resulteret i et fald i antallet af uheld eller personskader på 30%.

## Litteraturstudie

Ud fra i alt 18 før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opgøre de overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler, se tabellen herunder.

| Antal studier | Type af uheld/personskade | Effekt | 95% konfidensinterval | Homogen? |
|---------------|---------------------------|--------|-----------------------|----------|
| 18            | Alle uheld                | -42%   | -48% ; -36%           | Nej      |
| 3             | Dødsuheld                 | -80%   | -92% ; -49%           | Ja       |
| 17            | Personskadeuheld          | -58%   | -65% ; -50%           | Nej      |
| 10            | Materielskadeuheld        | -24%   | -33% ; -13%           | Nej      |
| 5             | Alle personskader         | -62%   | -67% ; -56%           | Ja       |
| 5             | Dræbte                    | -87%   | -96% ; -61%           | Ja       |
| 5             | Alvorlige skader          | -61%   | -69% ; -51%           | Ja       |
| 4             | Lette skader              | -60%   | -67% ; -51%           | Ja       |

*Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler fundet via meta-analyse af 18 før-efter uheldsevalueringer.*

Tabellen viser, at ombygninger af kryds til rundkørsler reducerer antallet og alvorligheden af uheld. Alle effekter er statistisk signifikante og bredder af konfidensintervaller er relativt beskeden. Nogle effekter er ikke homogene, da effekterne fundet i de enkelte studier er for forskellige. Følgende konklusioner kan uddrages på baggrund af litteraturstudiet:

- Sikkerhedseffekterne på kort sigt i det første og andet år efter ombygning fra kryds til rundkørsel er 12-13 procentpoint dårligere end i de efterfølgende år.
- Ombygninger af kryds til rundkørsler forebygger venstresvingsuheld og tværkollisioner, mens eneuheld, bagendekollisioner, højresvingsuheld og mødeuheld stiger i antal.

- Evalueringerne viser en stigning i cykeluheld på 38% og en stigning på 20% i cyklisters personskader som følge af ombygninger af kryds til rundkørsler.
- I byer ses fald på 21% og 54% i hhv. uheld og personskader, mens der på landet ses fald på 55% og 81%. Denne forskel skyldes i hovedtræk, at hastighedsbegrænsningen er højest på landet. Jo højere hastighedsbegrænsningen er, desto bedre er de sikkerhedsmæssige effekter.
- Studierne viser også, at der opnås bedre sikkerhedseffekter ved ombygning af firevejskryds til rundkørsler end ved ombygning af T-kryds. Der opnås bedre effekter ved ombygning af vigepligtsregulerede kryds end ved ombygning af signalregulerede kryds. Der opnås bedre effekter ved ombygning af kryds til 1-sporede rundkørsler end ved ombygning til flersporede rundkørsler.
- Studierne tyder på, at rundkørsler med midterø diametre på 10-35 m fungerer sikkerhedsmæssigt bedre end mindre eller større rundkørsler. Midterøens højde synes at have en stor betydning for sikkerheden, idet rundkørsler med så høje midterøer er langt sikrere end rundkørsler med lavere midterøer. Brede cirkulationsspor synes at resultere i dårligere sikkerhed end smalle. Tangentielle tilfarter synes at være sikrere end radiale, dvs. trekants- og trompetheller er mere sikre end parallelheller og tilfarter uden sekundærheller. En rimelig forsætning på omkring 2 m eller mere synes at give en bedre sikkerhed end ved mindre forsætning. Cyklisters sikkerhed synes at være dårligst med cykelbane og/eller farvede cykelfaciliteter i rundkørslen, mens en separat sti, hvor cyklister skal vige for bilister ved krydsning af vejgrene eller hvor cyklister er ført i tunnel under vejgrene, synes at give den bedste sikkerhed.

### Detaljeret før-efter uheldsevaluering

Den tidligere danske før-efter uheldsevaluering af Jensen (2012) som nærværende detaljerede før-efter uheldsevaluering bygger videre på fandt følgende overordnede sikkerhedseffekter:

| Type af uheld og personskade  | Før   | Forventet | Efter | Effekt | Signifikant? | Homogen? |
|-------------------------------|-------|-----------|-------|--------|--------------|----------|
| Personskadeuheld              | 738   | 371       | 195   | -47%   | Ja           | Nej      |
| Materielskadeuheld            | 820   | 515       | 366   | -29%   | Ja           | Nej      |
| Ekstrauheld                   | 171   | 165       | 207   | +25%   | Ja           | Ja       |
| Alle uheld                    | 1.729 | 1.051     | 768   | -27%   | Ja           | Nej      |
| Alle uheld ekskl. ekstrauheld | 1.558 | 886       | 561   | -37%   | Ja           | Nej      |
| Dræbte                        | 54    | 23        | 3     | -87%   | Ja           | Ja       |
| Alvorlige skader              | 435   | 211       | 88    | -58%   | Ja           | Nej      |
| Lette skader                  | 622   | 304       | 126   | -59%   | Ja           | Nej      |
| Alle personskader             | 1.111 | 538       | 217   | -60%   | Ja           | Nej      |

*Overordnede sikkerhedseffekter af 332 ombygninger fra kryds til rundkørsler i Danmark år 1995-2009.*

Tabellen viser, at ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark har medført et fald i uheld og personskader på hhv. 27% og 60%. Følgende konklusioner kan udledes på baggrund af den detaljerede før-efter uheldsevaluering:

- Børn under 15 år og ældre over 64 år har opnået de største procentuelle fald i antal personskader som følge af ombygningerne. Det procentuelle fald i personskader er nogenlunde ens blandt mænd og kvinder.
- De gunstige sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler skyldes især færre flerpartsuheld kun med motorkøretøjer.
- Sikkerhedseffekterne bliver stadig ringere, jo dårligere kørselsforholdene er, dvs. er dårligst i glat føre, i mørke, med nedsat sigt og i snevejr.
- De 332 ombygninger har reduceret uheldsomkostningerne med 209 mio. kr. pr. år (2010-priser). Ud fra en samfundsøkonomisk vurdering har ombygningerne ved 40-50 km/t set under ét ikke været en god investering, mens ombygninger ved højere hastighedsbegrænsninger har været en gevinst.
- Sikkerhedseffekten på uheld synes at blive dårligere, jo mere trafik der kører ind i rundkørslen. Sikkerhedseffekter på uheld og personskader synes at blive dårligere i byzone, jo større en andel af den samlede indkørende trafik som hovedvejen bærer, dog kun ved under 10.000 indkørende biler pr. døgn.
- Ombygninger til rundkørsler med en diameter for midterø og overkørselsareal på 20-40 m synes at have givet de bedste sikkerhedseffekter. 1-sporede rundkørsler med en indskreven cirkeldiameter, der er 1,3-1,5 gange større end diameteren for midterø og overkørselsareal, synes at medføre de bedste sikkerhedseffekter.
- Flersporede rundkørsler med en fysisk indsnævring af cirkulationsarealet ud for en eller flere vejgrenes midtlinjer har medført bedre sikkerhedseffekter end flersporede rundkørsler uden fysisk indsnævring.
- Ombygninger til rundkørsler med parallelheller i byzone synes at give dårligere effekter end når andre typer af sekundærheller bruges. Sikkerhedseffekterne bliver bedre, jo større forsætningen er, når der forefindes sekundærheller.
- 3,4-4,3 m brede tilfartsspor og 3,8-4,7 m brede frafartsspor i rundkørsler synes at medføre de bedste sikkerhedseffekter.
- Sikkerhedseffekter er bedst, når forskellen mellem største og mindste vinkel mellem hosliggende vejgrenes midtlinjer er beskeden. Afstanden mellem vejgrene skal helst være 20 m eller mere.

- Sikkerhedseffekter på uheld og personskader er omtrent dobbelt så gode ved 1-sporede rundkørsler med midterøer, der er over 2 m høje, end med lavere midterøer.
- I rundkørsler med ét cirkulationsspor i byer er sikkerhedseffekter dårlige, hvis trafikanterne på vej hen til rundkørslen opnår oversigt til cirkulationsarealet og vejgrene til venstre omkring 20-35 m før vigelinjen. Det giver bedre effekter at opnå denne oversigt enten omkring 10-15 m eller 40-100 m før vigelinjen.
- I 1-sporede rundkørsler opnås bedre sikkerhedseffekter, jo flere forvarslinger og vejvisninger der er pr. tilfart både i byer og på landet, mens én tavle pr. tilfart synes at give de bedste effekter i minirundkørsler. Rundkørsler med kantlinjer ved midterøen og evt. ved ydre begrænsning synes at give bedre sikkerhedseffekter end når sådanne kantlinjer ikke er afmærket.
- Cykelbaner og farvede cykelfaciliteter i rundkørsler medfører dårlige sikkerhedseffekter for cyklister, og farvede cykelfaciliteter i rundkørsler i byer resulterer samtidig i dårlige effekter for andre trafikanter. Separate stier ved rundkørsler, hvor cyklister skal vige for motorkøretøjer ved krydsning af vejgrene, medfører de bedste sikkerhedseffekter for cyklister. Midterøens højde på midten i 1-sporede rundkørsler har en meget stor indvirkning på sikkerhedseffekter for cyklister. De høje midterøer på 2 m eller mere er meget sikrere for cyklister end lave midterøer.
- Baggrunden for, at effekterne på sprituheld og uheld i mørke ved ombygning af kryds til rundkørsler er dårlige, er, at effekter på eneuheld er dårlige.

## Modeller for sikkerhedseffekter

Effekterne på uheld og personskader ved de 332 ombygninger af kryds til rundkørsler i Danmark er i hovedtræk ikke homogene og kan ikke generaliseres. Det skyldes, at spredningen i effekter mellem stederne er større end den tilfældige variation i uheldsforekomsten. Der eksisterer derfor systematiske variationer i sikkerhedseffekterne. De systematiske variationer er forsøgt modelleret.

Modelleringsresultater viser, at den mest betydningsfulde variabel for sikkerhedseffekter på både uheld og personskader er den højeste hastighedsbegrænsning på veje hen til rundkørslen.

Designet af kryds synes kun at have en beskeden betydning for effekter på uheld og personskader ved ombygninger af kryds til rundkørsler. Således har kun forekomsten af svingspor og dobbeltrettede cykelstier betydning, mens regulering af kryds kan have en lille betydning. Svingspor i kryds medfører, at effekterne er mindre, mens dobbeltrettede cykelstier på veje hen til kryds medfører, at effekterne er større. Ombygninger af vigepligtsregulerede kryds giver bedre effekter end ombygninger af lyskryds.

Designet af rundkørsler synes at have en stor betydning for effekternes størrelse. Det ser især ud til, at diameteren for midterø og overkørselareal, midterøens højde, bredden af til- og frafarter samt shunts har betydning for effekterne. De sikre løsninger med hensyn til diameter, højde og bredder er omtalt i afsnittet om den detaljerede evaluering. Shunts medfører bedre effekter på uheld og personskader. Det ser desuden ud til, at længdeafmærkningen på vejene hen til rundkørsler har betydning for de sikkerhedsmæssige effekter.

Ud over hastighedsbegrænsningen er flere lokaliseringsparametre væsentlige for effekter på uheld og personskader ved ombygninger af kryds til rundkørsler. For kryds, hvor mange af uheldene er højresvingsuheld, opnås typisk dårligere effekter end i andre kryds. For kryds med mange cyklister (indikeres af forekomst af enkeltrettede cykelstier) eller mange personskader blandt cyklister, opnås typisk dårligere effekter end ved ombygning af andre kryds.





## Referencer

Aagaard, P. E. (1995): *Metoder til valg af reguleringsform for vejkryds*. Danmarks Tekniske Højskole, Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmark.

Antoine, D. (2005): The safety of roundabouts and traffic lights in Belgium. *Transportation Research Circular*, no. E-C083, National Roundabout Conference, USA.

Arndt, O. K. (1998): *Relationship between roundabout geometry and accident rates*. Queensland Department of Main Roads, report ETD02, Australien.

Bassani, M. og E. Sacchi (2011): Experimental investigation into speed performance and consistency of urban roundabouts: and Italian case study. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Roundabouts*, Transportation Research Board, Carmel, Indiana, USA.

Brabander, B. De, Nuyts, E. og L. Vereeck (2005): Road Safety Effects of roundabouts in Flanders. *Journal of Safety Research*, vol. 36, pp. 289-296.

Brabander, B. De og L. Vereeck (2007): Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, pp. 591-599.

Brilon, W. (2005): Roundabouts: A State of the Art in Germany. *Transportation Research Circular*, no. E-C083, National Roundabout Conference, USA.

Brüde, U. og J. Larsson (1996): *The safety of cyclists at roundabouts*. VTI, rapport 810A, Sverige.

Brüde, U. og J. Larsson (1999): *Trafiksäkerhet i cirkulationsplatser för cyklister och fotgängare*. VTI, rapport 864, Sverige.

Campbell, D., Jurisich, I. og R. Dunn (2012): *Improved multi-lane roundabout designs for urban areas*. NZ Transport Agency, report 476, New Zealand.

Cedersund, H. Å. (1983): *Cirkulationsplatser*. VTI, rapport 306, Sverige.

Chen, Y., Persaud, B. og C. Lyon (2011): Effect of speed on roundabout safety performance – Implications for use of speed as a surrogate measure. *Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington DC, USA.

Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, E. og M. Bassani (2013): Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 50, pp. 196-203.

Corben, B. F., Ambrose, C. og F. C. Wai (1990): *Evaluation of accident black spot treatments*. Monash University, Accident Research Centre, report 11, Australien.

Daniels, S., Nuyts, E. og G. Wets (2008): The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40, pp. 518-526.

Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. og G. Wets (2011): Extended prediction models for crashes at roundabouts. *Safety Science*, vol. 49, pp. 198-207.

Fortuijn, L. G. H. (2005): *Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooks rotondes*. Verkeerskundige werkdagen, CROW, Holland.

Green, H. (1977): *Accidents at off-side priority roundabouts with mini or small islands*. Transport and Road Research Laboratory, report 774, Storbritannien.

Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. og R. Srinivasan (2012): Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 44, article in press.

Harper, N. J. og R. C. M. Dunn (2005): Accident prediction models at roundabouts. *Proceedings of ITE Annual Meeting*, Melbourne, Australien.

Hydén, C. og A. Várhelyi (2000): The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 32, pp. 11-23.

Jensen, S. U. (2011): *Uheldsmodeller for veje i åbent land*. Trafitec, Danmark.

Jensen, S. U. (2012): *Sikkerhedseffekter af rundkørsler*. Trafitec, Danmark.

Jensen, S. U. og P. B. Madsen (2012): *Rundkørsler, sikkerhed og cyklister*. Trafitec, Danmark.

Jørgensen, N. O. (1991): *Rundkørslers kapacitet og sikkerhed*. Danmarks Tekniske Højskole, Institut for Veje, Trafik og Byplan, rapport 61, Danmark.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (1992): Er der mere nyt om rundkørsler? *Dansk Vejtidskrift*, no. 12, pp. 29-31.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (1994): *Trafiksikkerhed i 82 danske rundkørsler*. Vejdirektoratet, rapport 4, Danmark.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (2002): *Trafiksikkerhed i rundkørsler i Danmark*. Vejdirektoratet, rapport 235, Danmark.

Kennedy, J. V., Hall, R. D. og S. R. Barnard (1998): *Accidents at urban mini-roundabouts*. Transport Research Laboratory, report 281, Storbritannien.

Lalani, N. (1975): The impact on accidents of the introduction of mini, small and large roundabouts at major/minor priority junctions. *Traffic Engineering & Control*, vol. 16, pp. 560-561.

Martin, F. (2005): *Do traffic signals at roundabouts save lives?* Transport for London, Street Management, Road Safety Unit, Storbritannien.

Maycock, G. og R. D. Hall (1984): *Accidents at 4-arm roundabouts*. Transport Research Laboratory, report LR 1120, Storbritannien.

Meuleners, L., Hendrie, D., Legge, M. og L. R. Cercarelli (2005): *An Evaluation of the Effectiveness of the Black Spot Programs in Western Australia 2000-2002*. University of Western Australia, Injury research centre, report 155, Australien.

Minnen, J. van (1990): *Ongevallen op rotondes*. SWOV, rapport R-90-47, Holland.

Montonen, S. (2008): *Kiertoliittymien turvallisuus*. Tiehallento, Finland.

Newstead, S. og B. Corben (2001): *Evaluation of the 1992-1996 Transport Accident Commission funded accident blackspot treatment program in Victoria*. Monash University, Accident Research Centre, report 182, Australien.

Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., Persaud, B., Lyon, C., Harkey, D., og D. Carter (2007): *Roundabouts in the United States*. National Cooperative Highway Research Program, report 572, USA.

Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., Moulle, M., Persaud, B., Lyon, C., Hallmark, S., Isebrands, H., Crown, R. B., Guichet, B. og A. O'Brien (2010): *Roundabouts: An Informational Guide – Second edition*. National Cooperative Highway Research Program, report 672, USA.

Schoon, C. C. og J. van Minnen (1993): *Ongevallen op rotondes II*. SWOV, rapport R-93-16, Holland.

Spacek, P. (2004): Basis of the Swiss design standard for roundabouts. *Transportation Research Record*, no. 1881, pp. 27-35.

Spahn, V. og G. Bäumlér (2007): Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern. *Straßenverkehrstechnik*, heft 7/2007, pp. 357-362.

Tudge, R. T. (1990): Accidents at roundabouts in New South Wale. *Proceedings of 15<sup>th</sup> ARBB conference*, Darwin, Australien.

Turner, S. A., Roozenburg, A. P. og A. W. Smith (2009): *Roundabout crash prediction models*. NZ Transport Agency, report 386, New Zealand.

Worthington, J. C. (1992): Roundabout design: A comparison of practice in the UK and France. *Proceedings of PTRC Annual Meeting*, London, Storbritannien.