

## Cyklisters sikkerhed i rundkørsler i byer

*Michael W. J. Sørensen, Via Trafik, mis@viatrafik.dk*

*Morten G. L. Jensen, Via Trafik, mlj@viatrafik.dk*

*Winnie Hansen, Vejdirektoratet, win@vd.dk*

*Thomas Skallebæk Buch, Vejdirektoratet, tsbu@vd.dk*

---

### Abstrakt

Rundkørsler regnes generelt som et godt trafiksikkerhedstiltag. Ifølge den norske trafiksikkerhedshåndbog, reducerer rundkørsler i byer f.eks. antal ulykker (alle skadesgrader) med 30 % i forhold til andre krydstyper. Men hvilken effekt har de for de cyklende i byerne? Dette er i en årrække blevet diskuteret i fagmiljøet, og nogle kommuner vælger f.eks. at anlægge byrundkørsler, mens andre fjerner dem.

### Formål og metode

For at blive klogere på dette spørgsmål igangsatte Vejregelgruppen for Trafiksikkerhed i 2020 med bistand fra Via Trafik et arbejde, hvis formål har været at klarlægge om og hvordan byrundkørsler skal etableres af hensyn til de cyklendes sikkerhed, men også deres tryghed og fremkommelighed. Dette arbejde har omfattet fire projekter, som Via Trafik har gennemført for Vejdirektoratet i 2020-2022. Hovedresultaterne af disse undersøgelser er sammenfattet i nærværende artikel. Arbejdet har bestået af tre overordnede dele:

1. Et omfattende **litteraturstudie** af danske og udenlandske erfaringer, studier og anbefalinger om især sikkerhed, men også tryghed og fremkommelighed for cyklister i rundkørsler.
2. En **kategoribaseret ulykkesanalyse** af sammenhængen mellem ulykker, udformning af rundkørsler samt bil- og cykeltrafik i 564 byrundkørsler fordelt på især mini- og 1-sporede rundkørsler, men også få 2-sporede rundkørsler. Som noget unikt indgår der både bil- og cykeltrafik for alle vejgrene i rundkørslerne.
3. En **før-efter ulykkesevaluering** af 149 kryds, som er blevet ombygget til eller fra forskellige varianter af byrundkørsler. Der er korrigeret for generel ulykkesudvikling og regressionseffekt i analyserne, og der er foretaget homogenitet- og signifikanstest.

### Fuldstændig separation eller integration

Den bedste sikkerhedsmæssige løsning for cyklister fås ved 100 % separation fra biltrafikken via en separat, tilbagetrukket cykelstiløsning udenfor rundkørslen med vigepligt for cyklisterne, eller næstbedst ved 100 % integration med biltrafikken før og i rundkørslen, dvs. ved ikke at have cykelfaciliteter i rundkørslen. Risikoen for cykel- og knallertulykker (C/K-ulykkesrisiko) i 1-sporede rundkørsler er f.eks. cirka 1/3 og 1/2 i hhv. rundkørsler med tilbagetrukket cykelsti og rundkørsler uden cykelfaciliteter i forhold til den gennemsnitlige ulykkesrisiko i byrundkørsler. Dårligst sikkerhed for cyklister fås især, hvis der er cykelbane i rundkørslen, men også i nogen grad, hvis der er cykelsti. C/K-ulykkesrisikoen er cirka den samme i rundkørsler med cykelsti som i byrundkørsler generelt, mens den er 20-30 % højere i rundkørsler med cykelbane. Ulykkesrisikoen er allerhøjest, både ved cykelbane og cykelsti, hvis disse er farvet, idet ulykkesrisikoen her er cirka 10 % og 40 % højere end ufarvet cykelinfrastruktur.

## Cykelfaciliteternes paradoks

Mens størst grad af separation og integration giver bedst sikkerhed, giver det nogle udfordringer ift. tryghed og fremkommelighed. Størst utryghed blandt cyklister findes således typisk i rundkørsler uden cykelfaciliteter, idet cyklisterne her skal dele kørebaneareal med biltrafikken. Dette kan især opleves som utrygt, hvis der er høj hastighed, meget tung trafik, smalle kørespor og cykelinfrastruktur på strækningerne lige før rundkørslen. Størst tryghed i rundkørsler opnås derimod med størst separation, dvs. tilbagetrukket cykelsti udenfor rundkørslen efterfulgt af cykelsti i rundkørslen. Dette skyldes, at cyklisterne her får deres eget, dedikerede areal, som er fysisk adskilt fra kørebane. I tillæg øger farvet belægning generelt cyklisternes tryghed i krydsningspunkterne.

På den anden side fås dårligst fremkommelighed for cyklister ved løsning med tilbagetrukket cykelsti udenfor rundkørslen, hvor cyklisterne typisk får både en omvej og tillagt vigepligt. Ved evt. dobbeltrettet cykelsti kan venstresvingende cyklister dog få en genvej. Cykelsti og -bane giver bedst fremkommelighed, da de cyklende her normalt cykler den korteste vej samtidig med, at biltrafikken, som skal ind i og ud af rundkørslen, har vigepligt for de cirkulerende cyklister. Ingen cykelfacilitet giver også den korteste vej gennem rundkørslen, men her har de cyklende ikke et eget areal og risikerer derfor, at biltrafikken generer de cyklende i cirkulationsarealet.

## Valg og udformning af rundkørsel

Det er tidligere fundet, at minirundkørsler er en dårligere sikkerhedsmæssig løsning for cyklister end 1-sporede rundkørsler. Dette kan ikke bekræftes her, hvor det er fundet, at C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende *bil* i gennemsnit er den samme for de to typer. Minirundkørsler har faktisk en lavere gennemsnitlig C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende *cykel* end 1-sporede rundkørsler, men dette forklares delvist med mindre biltrafik. Minirundkørsler kan således være en fornuftig løsning, hvor der er lidt biltrafik.

Endelig er der lavet analyser af en række detailudformningers betydning. For en række parametre som tilstedeværelsen af fodgængerfelter og hastighedsdæmpende foranstaltninger samt antallet og vinklingen af vejgrene viser undersøgelsen, at der kan være en indbyrdes afhængighed, hvilket gør det svært at tolke de enkelte elementers betydning. Det tyder dog på, at hastighedsdæmpende foranstaltninger, ingen eller få fodgængerfelter samt få og vinkelrette vejgrene giver den laveste C/K-ulykkesrisiko. Det kan i praksis være en udfordring at sikre få og vinkelrette vejgrene, da rundkørsler ofte netop etableres, fordi der er mange og "skæve" vejgrene. Samtidig har fodgængerfelter en vigtig funktion i forhold til de gående. For andre parametre som udformning af helleanlæg, højde, diameter og sigt gennem midterø, bredde af cirkulationsarealet samt bredde, belægning og afgrænsning af overkørselsarealet er det mindre entydigt, hvilken af de forskellige mulige detailudformninger, som giver lavest C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende cykel. For 1-sporede rundkørsler tyder det dog på, at høj, men dog "gennemsigtig" midterø i form af f.eks. høje træer giver lavest C/K-ulykkesrisiko.

## Rundkørsel eller kryds?

Rundkørsler kan samlet set være et godt sikkerhedstiltag i byer sammenlignet med andre krydstyper. På baggrund af undersøgelserne tyder det dog på, at den bedste sikkerhed for cyklister i bykryds opnås ved at signalregulere trafikken fremfor at lave rundkørsler. Således er der en tendens til, at der sker færre C/K-ulykker i signalregulerede kryds end i rundkørsler, især i 1-sporede rundkørsler med cykelfaciliteter i cirkulationsarealet. Dette er dog ikke et facit med to streger under, da en lang række forhold har indflydelse på sikkerheden, og meget få af resultaterne er statistisk signifikante. Men det ændrer ikke ved, at uanset hvordan tallene vendes og drejes, så peger pilen i den samme retning; nemlig at rundkørsler i byer kan være en udfordring, når det gælder sikkerhed for de cyklende.

## Men hvad skal man gøre?

Resultaterne af disse undersøgelser gør det desværre ikke kun lettere at være trafikplanlægger. Skal man prioritere cykelfremme eller cykelsikkerhed, skal man prioritere generel trafiksikkerhed eller cykelsikkerhed, og hvilke hensyn til trafikafviklingen skal der tages? Valg af krydsløsning afhænger af, hvordan man svarer på disse spørgsmål, og hvad der prioriteres højest. Denne prioritering er derfor særdeles vigtig og afhænger bl.a. af de lokale forhold og mål for projektet.

## Baggrund

Af hensyn til klima, miljø, sundhed og generel mobilitet i byerne efterspørges generelt løsninger, som får flere til at vælge at cykle frem for at køre i bil. Samtidig skal løsningerne helst bidrage til at opfylde den nationale målsætning om at reducere antallet af dræbte og tilskadedkomne. I de seneste år er udviklingen imidlertid ikke gået denne vej. Cykeltrafikken er generelt faldet siden 2014, mens antallet af cykelulykker med personskade de sidste cirka 10 år har været stagnerende.

Udformning og omfang af cykelinfrastruktur spiller en afgørende rolle i forhold til både at få flere til at cykle og få reduceret antallet af cykelulykker. Her udgør krydsene i byerne en særlig udfordring, da det er her, at mange af de alvorlige cykelulykker sker, samtidig med at mange cyklister føler sig utrygge i krydsene, hvilket har betydning for, om cyklen vælges til eller fra. Rundkørsler udgør især en udfordring.

Rundkørsler regnes generelt som et godt trafiksikkerhedstiltag. Ifølge den norske trafiksikkerhedshåndbog, reducerer rundkørsler i byer f.eks. antal ulykker (alle skadesgrader) med 30 % i forhold til andre krydstyper (Elvik, 2015). Men hvilken effekt har de for de cyklende i byerne? Dette er i en årrække blevet diskuteret i fagmiljøet, og nogle kommuner vælger f.eks. at anlægge byrundkørsler, mens andre fjerner dem.

For at blive klogere på dette spørgsmål igangsatte Vejregelgruppen for Trafiksikkerhed i 2020 med bistand fra Via Trafik et arbejde, hvis formål har været at klarlægge om og hvordan byrundkørsler skal etableres af hensyn til de cyklendes sikkerhed, men også deres tryghed og fremkommelighed. Dette arbejde har omfattet fire projekter, som Via Trafik har gennemført for Vejdirektoratet i 2020-2022. Arbejdet er dokumenteret i to omfattende rapporter (Sørensen m.fl., 2020, Jensen m.fl., 2021). De vigtigste resultater er også beskrevet i en kortere sammenfatningsrapport (Sørensen m.fl., 2022). Endelig er hovedresultaterne resumeret i en kortfattet VD-pjece (Vejdirektoratet, 2022). Hovedresultaterne af disse undersøgelser er sammenfattet i nærværende artikel.

## Formål

Det overordnede formål med projekterne har været at undersøge, hvilken krydsregulering og detailudformning i byer, der er den sikreste, og som giver den lavest risiko for cykel- og knallertulykker (C/K-ulykker). Formålet kan opdeles i to delformål:

- **Rundkørsel:** At undersøge hvilken betydning den fysiske udformning og regulering af rundkørsler, herunder cykelfaciliteter, samt bil- og cykeltrafikken har for sikkerheden for cyklister.
- **Kryds eller rundkørsel:** At undersøge den sikkerhedsmæssige effekt for cyklister af ombygning af rundkørsler til/fra tre- og firbenede kryds med/uden signalregulering.

Målet har også været, at fundene kan tjene som udgangspunkt for at kunne komme med anbefalinger, der kan inkluderes i vejreglerne, og som giver vejreglernes brugere bedre rådgivning om og hvordan man kan etablere rundkørsler i byområder, som er sikre for cyklisterne.

Arbejdet har bestået af tre overordnede dele:

1. Et omfattende **litteraturstudie** af danske og udenlandske erfaringer, studier og anbefalinger om især sikkerhed, men også tryghed og fremkommelighed for cyklister i rundkørsler.
2. En **kategoribaseret ulykkesanalyse** af sammenhængen mellem ulykker, udformning af rundkørsler samt bil- og cykeltrafik i 564 byrundkørsler fordelt på især mini- og 1-sporede rundkørsler, men også få 2-sporede rundkørsler. Som noget unikt indgår der både bil- og cykeltrafik for alle vejgrene i rundkørslerne.
3. En **før-efter ulykkesevaluering** af 149 kryds, som er blevet ombygget til eller fra forskellige varianter af byrundkørsler. Der er korrigeret for generel ulykkesudvikling og regressionseffekt i analyserne, og der er foretaget homogenitet- og signifikanstest.

## Forkortelser

I artiklen benyttes en række forkortelser. Disse er forklaret i det følgende.

- **Mini u. c.fac.:** Minirundkørsel uden cykelfacilitet i cirkulationsarealet
- **Mini m. c.fac.:** Minirundkørsel med (evt. farvet) cykelfacilitet i cirkulationsareal
- **1-spor u. c.fac.:** 1-sporet rundkørsel uden cykelfacilitet i cirkulationsarealet
- **1-spor m. c.fac.:** 1-sporet rundkørsel med (evt. farvet) cykelfacilitet i cirkulationsareal
- **1-spor m. sep. sti:** 1-sporet rundkørsel med separat cykelfacilitet uden for rundkørslen
- **Forv. R:** Forventet antal ulykker efter korrektion for regressionseffekt
- **Forv. UR:** Forventet antal ulykker uden korrektion for regressionseffekt
- **Effekt R:** Sikkerhedseffekt efter korrektion for regressionseffekt
- **Effekt UR:** Sikkerhedseffekt uden korrektion for regressionseffekt
- **H?:** Effekthomogenitet (kun for Effekt R)?
- **S?:** Signifikant sikkerhedseffekt (kun for Effekt R)?
- **Alle ulykker:** Person- og materielskadeulykker samt ekstraueheld
- **P-ulykker:** Personskadeulykker
- **P/M-ulykker:** Person- og materielskadeulykker
- **E-ueheld:** Ekstraueheld
- **C/K-ulykker:** Ulykker med cyklister og knallerter. Hvis andet ikke er angivet, omfatter dette udelukkende Person- og materielskadeulykker (P/M-ulykker) med cyklister og knallerter.
- **():** Usikre resultater baseret på færre end fem lokaliteter eller fem ulykker.

## Detaljeret metodebeskrivelse

### Litteraturstudie

Der er foretaget en systematisk og omfattende litteratursøgning og -gennemgang af danske og udenlandske erfaringer, studier og anbefalinger om især sikkerhed, men også tryghed og fremkommelighed for cyklister i henholdsvis signalregulerede kryds og rundkørsler i byer.

Litteratursøgningen har omfattet 1) en fast del og 2) en variabel del. Den faste del har bestået af et systematisk søg på nogle på forhånd bestemte hovedgrupper af kilder og steder og for nogle på forhånd bestemte søgeord som cykel, rundkørsel og sikkerhed og på forskellige sprog som dansk, norsk, svensk, engelsk, tysk og hollandsk. Vi har foretaget litteratursøgningen i udvalgte videnskabelige tidsskrifter og på diverse søgemaskiner som ScienceDirect og Google Scholar. Samtidig har vi foretaget en åben internetsøgning på [www.google.com](http://www.google.com). De fleste kilder er fundet i fuldtekst på Internettet. Den variable del af litteratursøgningen har bestået af at gennemgå den litteratur, som er fundet i den faste del for yderligere relevante kildehenvisninger eller forfatternavne.

Litteraturgennemgangen har ikke været begrænset til et specifikt antal lande, men omfattet alle de artikler og rapporter vi har fået fat på. Gennemgangen har som beskrevet primært omfattet kilder på nordisk, engelsk, tysk og hollandsk. Det betyder, at gennemgangen primært har fokuseret på lande som Danmark, Norge, Sverige, Storbritannien, USA, Australien, Tyskland og Holland. Vi har fokuseret på de bedste studier fra de seneste cirka 20 år. Fokus for gennemgangen har været effekter på sikkerhed for cyklister, men eventuelle andre effekter på f.eks. tryghed og fremkommelighed er også inkluderet, hvis det er beskrevet i de fundne kilder.

Det er ønskeligt at sammenfatte resultaterne (effekterne) via en såkaldt meta-analyse. Med en meta-analyse menes en talmæssig sammenstilling af de gennemførte evalueringsstudier, hvor resultaterne vægtes i forhold til undersøgelsens størrelse. Gennemgangen har imidlertid vist, at det er metodemæssigt vanskeligt at foretage sådanne meta-analyser for signalregulerede kryds og rundkørsler, og det er derfor foretaget en mere kvalitativ sammenfatning af fundene.

### Udformning af rundkørsler

Undersøgelsen er lavet som en kategoribaseret risikoberegning, hvor sammenhængen mellem ulykker og vejudformning ved forskellig trafikmængde er analyseret. Ulykker er således den afhængige variabel, mens data om udformning og trafik udgør de uafhængige variable. Der beregnes C/K-ulykkesrisiko, hvor

udformning er inddelt i forskellige kategorier, og trafik er inddelt i forskellige intervaller. Der er ikke lavet en traditionel ulykkesmodel, hvor der laves et matematisk udtryk (model) for sammenhængen mellem udformning, trafik og ulykker. Baseret på de indhentede data er der dog grundlag for at udvikle sådanne ulykkesmodeller i et senere projekt. Idet dette ikke er en før-efter analyse, skal der ikke kontrolleres for generel ulykkesudvikling, lokale trafikændringer og regression.

### Rundkørsler i evalueringen

Der er foretaget en screening af det statslige vejnet i byområder og af det kommunale vejnet i større byer i 80 udvalgte kommuner for at finde potentielle rundkørsler i byområder. Der er identificeret byrundkørsler i 73 af kommunerne. Screeningen er baseret på eget lokalkendskab til vejnettet, og er gjort ved at "køre" vejnettet igennem via luftfotos og streetview. Rundkørsler er som følge af deres udformning lette at finde på denne måde. Der er i alt blevet identificeret 519 byrundkørsler. Nogle af rundkørslerne er blevet ombygget i analyseperioden, og disse er derfor inkluderet i analysen som flere unikke analyseenheder. Vi har derfor i alt 564 analyserundkørsler. 47 af rundkørslerne findes på det statslige vejnet. Der er medtaget flest byrundkørsler fra Køge, Odense, Aarhus, Esbjerg, Aalborg og Roskilde.

### Vejudformningsdata i evalueringen

Data om krydsudformning og -regulering er fundet via nuværende og historiske luftfotos og streetview. Dette har vist sig at være en effektiv og pålidelig metode til at indsamle relevant data om udformning og regulering. Her har det samtidigt været muligt at vurdere, hvornår rundkørslen er bygget/ombygget og dermed hvor lang ulykkesperiode, der maksimalt kan bruges. Der er både indsamlet data om cirkulationsarealet og tilfarterne. Det er selve rundkørslen, som er analyseenheden, og ikke vejgrene. Vejgrene kan godt have forskellige udformninger, og her angives således kun en samlet "værdi" for dette, som f.eks. hvor mange vejgrene, der har cykelfaciliteter eller det samlede antal helleanlæg.

Tabel 1 angiver fordelingen af de 564 analyserundkørsler på udvalgte udformninger. Over 80 % af rundkørslerne er 1-sporede rundkørsler, mens 16 % er minirundkørsler. Den mest hyppige udformning af cykelfaciliteter i rundkørslerne er ufarvet cykelbane (36 %), efterfulgt af ufarvet cykelsti (15 %) og ingen faciliteter (14 %). I 49 % er der cykelbane med eller uden farve, og i 25 % er der cykelsti i rundkørslen med eller uden farve. Tilbagetrukket cykelsti findes i 10 % af rundkørslerne. De fleste rundkørsler har primært cykelsti i tilfarten (54 %), mens 27 % ikke har cykelfaciliteter i tilfarterne. 7 % har cykelbane i tilfarten.

Tabel 1. De 564 analyse-rundkørsler fordelt på udformning.

Cykelfaciliteter i rundkørslen	Antal	Cykelfaciliteter i tilfarterne	Antal	Type	Antal
Ingen cykelfaciliteter	79	Ingen cykelfaciliteter	151	Mini	92
Cykelbane, ufarvet	203	Cykelbane, ufarvet	42	1-sporet	459
Hel/delvis farvet cykelbane	76	Cykelsti, ufarvet	305	2-sporet	13
Cykelsti, ufarvet	83	Tilbagetrukket cykelsti	58	I alt	564
Hel/delvis farvet cykelsti	57	Niveaufri krydsning	8		
Tilbagetrukket cykelsti	58	I alt	564		
Niveaufri krydsning	8				
I alt	564				

### Ulykker i evalueringen

Alle ulykker er medtaget i evalueringen, dvs. både cyklist-, knallert- og fodgængerulykker og ulykker med motorkøretøjer. Fokus i analyserne er dog ulykker med cyklister og knallerter (C/K-ulykker). Det er udelukkende person- og materielskadeulykker (P/M-ulykker), som indgår i risikoberegningerne. Ulykkerne er hentet via kort, hvormed ulykker stedfæstet i både selve rundkørslen og på til- og frafarterne er inkluderet. Samtidig er det ud fra ulykkesituation og beskrivelse vurderet, om ulykker tæt på rundkørslen (op til 50 m) har noget med rundkørslen at gøre. Der er indhentet ulykker for en ulykkesperiode på op til 10 år, og minimum tre år.

Der indgår i alt 4.946 ulykkesår i analysen, svarende til i gennemsnit 8,8 år for hver af de 564 analyserundkørsler. Der er i alt registreret 2.204 ulykker svarende til i gennemsnit 3,9 ulykker pr. analyserundkørsel og 0,44 ulykker pr. år pr. rundkørsel.

Tabel 2 viser fordelingen af ulykkerne på alvorlighed og involverede parter. De 2.204 ulykker er fordelt på 428 personskadeulykker (19 %), 1.339 materielskadeulykker (61 %) og 437 ekstraheld (20 %). Det er de 1.767 P/M-ulykker, som indgår i risikoberegningerne. Blandt P/M-ulykkerne er det 1.147, som er C/K-ulykker (65 %). Disse er fordelt på 321 personskadeulykker (28 %) og 826 materielskadeulykker (72 %). Vi kan se, at andelen af personskadeulykker er noget højere blandt C/K-ulykker end blandt bilulykker.

**Tabel 2. Politiregistrerede trafikulykker i de 564 analyserundkørsler i ulykkesperioden 2000-2019, som i alt omfatter 4.946 ulykkesår. Kategorien "Alle ulykker" omfatter personskade- og materielskadeulykker (P/M-ulykker) samt ekstraheld, mens "P/M-ulykker" omfatter personskade- og materielskadeulykker. Parentes angiver lodret procent.**

Ulykkestype	Alle ulykker	P/M-ulykker	Personskadeulykker	Materielskadeulykker	Ekstraheld
Cykel	1.081 (49,0 %)	977 (55,3 %)	281 (65,7 %)	696 (52,0 %)	104 (23,8 %)
Knallert	185 (8,4 %)	170 (9,6 %)	40 (9,3 %)	130 (9,7 %)	15 (3,4 %)
Cykel og knallert	1.266 (57,4 %)	1.147 (64,9 %)	321 (75,0 %)	826 (61,7 %)	119 (27,2 %)
Fodgænger	122 (5,5 %)	112 (6,3 %)	51 (11,9 %)	61 (4,6 %)	10 (2,3 %)
Bil og andre	816 (37,0 %)	508 (28,7 %)	56 (13,1 %)	452 (33,8 %)	308 (70,5 %)
Alle	2.204 (100 %)	1.767 (100 %)	428 (100 %)	1.339 (100 %)	437 (100 %)

På den ene side viser ulykkestallene, at rundkørsler udgør en særlig sikkerhedsmæssig udfordring for cyklister, idet andelen af C/K-ulykker er høj. Blandt personskadeulykkerne er andelen således 75 %. På den anden side viser tallene, at det i absolutte tal sker relativt få C/K-ulykker i rundkørsler. I de 564 rundkørsler er der i løbet af i alt 4.946 år kun registreret 321 personskadeulykker med cykel og knallert svarende til 0,06 ulykker pr. år pr. rundkørsel. Både den høje andel og det lave absolutte tal er vigtigt at huske på i de videre analyser.

### Trafikdata i evalueringen

Trafikdata, dvs. tal for både bil- og cykeltrafikken og i både tilfarts-, frafarts- og cirkulationssporet er afgørende for at kunne lave en meningsfuld undersøgelse. Der er ikke foretaget egne trafiktællinger i dette projekt, men derimod er der indhentet trafiktal fra eksisterende kryds- og snittællinger, tilgængelige i f.eks. trafikdatasystemet MASTRA.

Det er ikke for alle rundkørsler, der foreligger trafiktællinger. Dette gælder i særlig grad for cykeltrafikken. Her har den aktuelle kommune fået mulighed for at give en fagvurdering af størrelsen af cykel- og/eller biltrafikken. For de vejgrene, hvor der hverken foreligger eksisterende trafiktællinger eller fagvurderinger fra de aktuelle kommuner, har Via Trafik selv foretaget en vurdering. Da trafikken i analysen inddeles i intervaller eller summeres, er der ikke behov for et præcist tal for trafikken.

Vurderingen af biltrafik i tilfarer uden tællinger er baseret på lokalkendskab samt trafiktællinger i lokalområdet, dvs. i de andre tilfarer i rundkørslen samt på naboveje. Derudover er turrater for biltrafik benyttet. Ofte er det en vejgren ind til et mindre lukket område med boliger, butikker og/eller erhverv, som der mangler tælling for, og her giver brugen af turrater et godt bud på størrelsen af trafik.

Vurderingen af cykeltrafik er vanskeligere. For det første findes der ikke på samme måde turrater, og for det andet er der ofte færre cykeltællinger i andre tilfarer og på naboveje. For at vurdere cykeltrafikken benyttes derfor også a) kendetegn ved området (er der en skole, station osv.), b) kendetegn ved vej- og stinettet (hvilke ruter forventes de cyklende at benytte), c) cykelfaciliteter i rundkørslen (er der tilrettelagt for cykling), d) cykeltrafik i sammenlignelige rundkørsler og områder samt e) sammenligning med biltrafikken (hvor stor forventes det, at andelen af cykeltrafik er i forhold til biltrafikken).

De 564 rundkørsler har i alt 2.218 tilfarer, dvs. at der i gennemsnit er 3,9 vejgrene i hver rundkørsel. Idet der både skal bruges bil- og cykeltrafiktal, er der behov for 4.436 trafiktal i denne undersøgelse. For biltrafikken er der fundet tælledata for næsten 80 % af tilfarterne, se tabel 3. Kommunerne har vurderet biltrafikken for 6 %, og Via Trafik har vurderet det for de resterende 14 %. For cykeltrafik foreligger der eksisterende tællinger i mindre end en tredjedel af tilfarterne. Her har kommunerne vurderet størrelse i ligeledes en tredjedel af tilfarterne, og Via Trafik har foretaget vurdering for den sidste tredjedel.

Tabel 3. Fordeling af tællinger og faglige vurderinger af trafikalt for hhv. bil- og cykeltrafik.

	Biltrafik		Cykeltrafik		I alt	
	Antal	Andel	Antal	Andel	Antal	Andel
Tælling	1.747	79 %	611	28 %	2.358	53 %
Kommune vurdering	133	6 %	770	35 %	903	20 %
Via Trafik vurdering	338	15 %	837	38 %	1.175	26 %
I alt	2.218	100 %	2.218	100 %	4.436	100 %

### Sikkerhedseffekt

På baggrund af de indhentede data er sammenhængen mellem ulykker og forskellige udformningsparametre ved forskellig bil- og cykeltrafikmængde analyseret. Vejudformning og trafik er inddelt i forskellige kategorier/ intervaller, som analyseres hver for sig. Selve inddelingen er en del af analysen. Her er det forsøgt med forskellige inddelinger for både at få tilstrækkelig store kategorier, og kategorier som har signifikant betydning.

### Kryds eller rundkørsel

Denne del af undersøgelsen om den sikkerhedsmæssige effekt af ombygning af kryds til eller fra rundkørsel er lavet som en før-efter ulykkesevaluering med kontrolgruppe, og dermed korrektion for generel ulykkesudvikling og evt. regressionseffekt.

### Kryds i evalueringen

I analysen af sikkerhed for cyklister i byrundkørsler blev der fundet 519 rundkørsler. Disse har dannet grundlag for identificeringen af analyserundkørsler til denne undersøgelse, dvs. ombygninger til/fra rundkørsler med forskellig udformning. Til denne undersøgelse er der identificeret 149 analyse-rundkørsler, som fordeler sig på 56 kommuner. Rundkørselsløsningerne er inddelt i fem grupper:

1. Minirundkørsel uden cykelfacilitet i rundkørselens cirkulationsareal
2. Minirundkørsel med (evt. farvet) cykelfacilitet i rundkørselens cirkulationsareal
3. 1-sporet rundkørsel uden cykelfacilitet i rundkørselens cirkulationsareal
4. 1-sporet rundkørsel med (evt. farvet) cykelfacilitet i rundkørselens cirkulationsareal
5. 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet uden for rundkørslen.

Desuden er der foretaget en "grov" gruppering af øvrige analyselokaliteter i hhv. vigepligts- og signalregulerede kryds. Denne gruppering betyder, at der for signalregulerede kryds ikke er taget højde for, om der er separatregulerede svingbevægelser, afkortet eller fremført cykelsti mv. i signalkrydset. Dette har stor betydning for sikkerheden, men er ikke muligt at tage højde for her, da det vil give for mange og for små grupper.

### Ulykker i evalueringen

Sikkerhedsvurderingen er som i den anden undersøgelse baseret på politiregistrerede ulykker. Der er indhentet både personskadeulykker, materielskadeulykker og ekstraueheld. Hvor det er fundet relevant, er der foretaget en opdeling af sikkerhedseffekterne på de tre ulykkestyper eller kombinationer heraf. Der er indhentet ulykker for 2000-2019.

Når lokaliteterne inddeles i mindre grupper, bliver nogle grupper hurtigt meget små. Resultaterne for sådanne små grupper er usikre og skal tages med forbehold. I tabellerne er resultaterne for sådanne små grupper medtaget for at få en systematisk og fuldstændig gennemgang. Usikre resultater baseret på færre end fem lokaliteter eller fem ulykker i førperioden er markeret med parentes.

### Sikkerhedseffekt og korrektion

Ved estimering af sikkerhedseffekten er der korrigeret for evt. usikkerheder, der kan påvirke sikkerhedsberegningerne via kontrolgrupper samt korrektionsfaktorer for:

$C_{ulykker}$ : Ulykkesudvikling (for person- og materielskadeulykker)

$C_{regres}$ : Regressionseffekt (tilfældig ophobning af ulykker)

Af ressourcemæssige årsager er der ikke kontrolleret for lokale ændringer i trafikmængderne på lokaliteterne. Korrektionen for generel ulykkesudvikling og regressionseffekt er lavet ved at gange antallet

af ulykker i førperioden med korrektionsfaktorerne, hvormed der fås et forventet antal ulykker i efterperioden:

$$Uheld_{forventet} = Uheld_{før} * C_{ulykker} * C_{regres}$$

Det enkelte tiltags sikkerhedseffekt er efterfølgende opgjort ved:

$$Sikkerhedseffekt = \frac{\sum Uheld_{efter}}{\sum Uheld_{forventet}} - 1$$

Sikkerhedseffekterne angives som procentvis ændring. F.eks. vil en effekt på "-10 %" betyde, at ombygningen har medført et fald i antallet af cykel- og knallertulykker på 10 %, mens en effekt på "+10 %" vil betyde en stigning på 10 %.

Ulykkesfaktoren,  $C_{ulykker}$ , beskriver den del af ændringen i ulykkesforekomsten før og efter ombygning, der kan henføres til generelle ændringer i trafiksikkerheden. Da der i evalueringen indgår ulykker for samlet 20 år (2000-2019), er det valgt at korrigerer for generel udvikling i trafiksikkerheden over tid. Således er der korrigeret for den del af forskellen i ulykkesantallet før-efter, der kan henføres til generelle forbedringer af trafiksikkerheden, som f.eks. bedre køreuddannelse, sikrere køretøjer, kampagnevirksomhed, fald i antallet af spiritusulykker, ændring i cykelhjembrug og flere elcykler.

Som kontrolgrupper er det valgt at benytte den generelle udvikling i politiregistrerede krydsulykker i byzone i en 5-årig periode før og efter ombygning. Opgørelsen omfatter også ulykker på statsveje. Der er benyttet både personskadeulykker, materielskadeulykker og ekstrauheld for perioden 2000-2019, og kontrolgrupperne er inddelt i seks undergrupper, som er: 1) Frederiksberg og Københavns Kommune, 2) Hovedstadens omegnskommuner, 3) Aarhus, Odense og Aalborg, 4) Øvrige Jylland, 5) Øvrige Fyn og øerne og 6) Øvrige Sjælland og Lolland-Falster.

Hvis det f.eks. er et kryds i Aarhus, der er ombygget i 2010, som er evalueret, er korrektionen foretaget ved at sammenligne med udviklingen i krydsulykker fra fem år før og efter, hhv. 2005-2009 til 2011-2015 i gruppen med Aarhus, Odense og Aalborg.

Regressionsfaktoren,  $C_{regres}$ , beskriver den del af ændringen, som skyldes tilfældig ulykkesophobning. Der er korrigeret for dette ved brug af gennemsnitsmetodik-metoden (Vejdirektoratet, 2015), hvor det forventede antal ulykker efter ombygning findes ved at korrigerer førperioden ift. antal registrerede ulykker før ombygning. Der er dog også foretaget beregninger uden regressionseffekt. Det skyldes, at ombygning til eller fra en rundkørsel ikke nødvendigvis skyldes, at der er et ulykkesproblem, men også kan skyldes et ønske om at forbedre f.eks. fremkommeligheden. Hvorfor en lokalitet er ombygget, er ikke undersøgt i denne undersøgelse. I flere af resultattabellerne er sikkerhedseffekterne opgjort med og uden korrektion for regressionseffekt. De to værdier udgør således yderpunkterne, som den reelle sikkerhedseffekt af ombygningerne kan forventes at ligge indenfor.

### Homogenitet- og signifikanstest

For at kontrollere, om effekterne med rimelighed kan siges at være ensartede eller varierende mellem lokaliteterne, er der foretaget en homogenitetstest. Desuden er der foretaget beregninger for det statistiske signifikansniveau for hvert effektestimater, der siger noget om, hvor pålideligt estimatet er.

Ud af de 149 lokaliteter, der indgår i evalueringen, er der en række såkaldte "nul-lokaliteter". Dvs. at antallet af ulykker er nul både før og efter ombygning. Steder, hvor der hverken er sket ulykker før eller efter ombygning indgår ikke i homogenitetstesten. Foruden nul-lokaliteter er der også mange såkaldte "partielle nul-lokaliteter", hvor antallet af ulykker er nul enten før eller efter ombygning. Endelig er der på flere lokaliteter kun sket ganske få ulykker. Både nul-lokaliteter, partielle nul-lokaliteter og generelt lokaliteter med få ulykker er svære at håndtere i en statistisk behandling, da flere statistiske test har svært ved at håndtere nul-værdier og/eller små værdier (f.eks. værdier mindre end fem).



I denne før-efter ulykkesevaluering er der taget udgangspunkt i en metode beskrevet af Jørgensen (1981), som kan bruges til at estimere effekter af en række ombygninger på tværs af flere lokaliteter. Metoden undersøger den stedspecifikke effekt af en ombygning, og om der kan påvises at være samme tendenser (effekthomogenitet) på tværs af lokaliteterne for derved at finde frem til ét samlet middeleffekttestimat. Signifikanstesten er en  $\chi^2$ -test (chi<sup>2</sup>-test), der udmåler sandsynligheden for, at resultaterne er tilfældige. Der er imidlertid nogle ulemper forbundet med denne metode. Bl.a. vil effektestimaterne typisk være enten meget pessimistiske eller meget optimistiske. Det skyldes, at det samlede effekttestimat udregnes på baggrund af det samlede antal ulykker og ikke som en vægtet summering af de stedspecifikke effekter.

Til fortolkning af signifikanstesten er der anvendt signifikansniveauer på 5 % og 10 %, udtrykt ved den såkaldte p-værdi. For at ændringen fra én krydstype til en anden kan antages at have haft en signifikant sikkerhedseffekt på ulykkesniveauet, er der anvendt et signifikansniveau på 5 % ( $p < 0,05$ ). Et signifikansniveau mindre end 5 % er udtryk for, at effekttestimatet er sikkert (signifikant). Et signifikansniveau på mellem 5 og 10 % er udtryk for, at effekttestimatet er forholdsvis sikkert, mens et signifikansniveau større end 10 % er udtryk for, at datamængden er for lille, eller at tiltagene ikke kan påvises at have en effekt. For at der kan antages at være effekthomogenitet, er der ligeledes anvendt et 5 % signifikansniveau. Hvis p-værdien ligger indenfor 95 % (dvs.  $p \geq 0,05$ ) kan effekthomogenitet ikke afvises.

Homogenitets- og signifikanstestene er kun lavet for de beregninger, hvor der er taget højde for regressionseffekt, og altså ikke for beregningerne uden korrektion for regressionseffekt. Dvs. at når der i tabellerne er angivet, om effekten er homogen og/eller signifikant, så henvises der til effektberegningerne, hvor der er taget højde for regressionseffekten.

## Eksisterende anbefalinger og studier

### Udformning af rundkørsler

#### Danske anbefalinger

Vejdirektoratet (2014, 2017a, 2017b, 2018, 2019) beskriver, hvordan rundkørsler bør udformes. En rundkørsel bør udformes så snæver, at det sikres, at bilisterne ikke kører for hurtigt ind i og ud ad rundkørslen og dermed overser cyklister, de har vigepligt for. I rundkørsler, hvor der færdes cyklister, anbefales det desuden, at der kun anlægges én tilfartsbane og én frafartsbane i hver af vejgrene. Af trafikikkerhedsmæssige årsager anbefales det, at cyklisternes passage af rundkørsler foregår på et separat stisystem udenfor rundkørslen, og at stiernes krydsning af vejgrene tilbagetrækkes. Tilbagetrækningen bør være 10-15 m, og cykeltrafikken bør pålægges vigepligt over for både ind- og udkørende biltrafik i den pågældende vejgren. Der kan evt. suppleres med fartdæmpere eller bomme, hvis det vurderes nødvendigt. Hvis tilbagetrækningen bliver for stor, kan der i visse tilfælde være risiko for, at cyklister benytter kørebanen i stedet for cykelstien gennem rundkørslen. Det er derfor vigtigt at sikre, at tilbagetrækningen bliver opfattet som en naturlig del af cykelstien.

Hvis det arealmæssigt ikke er muligt at etablere denne løsning, eller hvis der ønskes en bedre fremkommelighed for cyklisterne, anbefales det, at cykelstien føres ind gennem rundkørslen, hvor den placeres langs cirkulationsarealet. Der kan ikke anbefales løsninger med en cykelbane eller farvede cykelfaciliteter igennem en rundkørsel, da disse forringer trafikikkerheden for cyklister. En løsning med fartdæmpning for biler i tilfarterne kan afhjælpe kollisioner mellem indkørende biler og cyklister, hvis der færdes cyklister inde i rundkørslen.

Cykelstien bør i dette tilfælde normalt lægges tæt ved cirkulationsarealet. Langs tilfarts- og frafarter bør cykelstier føres helt frem til cirkulationsarealet, så det undgås, at cyklister trænges af ind- og udkørende køretøjer.

Hvor pladsforholdene tillader det, bør der anlægges sekundærheller i alle vejgrene. Sekundærhellerne anvendes til at tydeliggøre tilstedeværelsen af rundkørslen og til at sikre lette trafikanters passage, samt som støttepunkt, hvor stitrafikanten er pålagt vigepligt.

I 2-sporede rundkørsler med 2-sporede til- og/eller frafarter anbefales det, at cyklisterne afvikles ude af niveau. Hvis ikke dette er muligt, er stor tilbagetrækning af stien og krydsningspunkterne at foretrække.

### Danske og udenlandske studier

Udformning af rundkørsler er blevet undersøgt i flere danske og udenlandske studie (Schoon & Minnen, 1993; Hydén & Várhelyi, 2000; Jørgensen & Jørgensen, 2002; Harper & Dunn, 2005; Dijkstra, 2005; Rodegerdts m.fl., 2007; Hels & Møller, 2007; Turner m.fl., 2009; Daniels m.fl., 2008, 2009, 2010, 2011; Arnold m.fl., 2013; Jensen, 2013a, 2013b; Elvik, 2015; Høye m.fl., 2015 og Høye, 2017).

Erfaringer med ombygning af kryds til rundkørsler i byzone er meget forskellige. Ifølge tidligere danske erfaringer tyder det på, at ombygning til minirundkørsler medfører en negativ sikkerhedseffekt, hvorimod ombygning til en 1-sporet rundkørsel giver den bedste sikkerhedseffekt.

Cykelbaner i rundkørsler giver væsentligt forringet trafiksikkerhed for cyklisterne. Her bør der i stedet være cykelsti i eller endnu bedre udenfor rundkørslen eller blandet trafik i rundkørslen. Erfaringerne med cykelstier er dog blandede. Der bør være særlig fokus på vigepligtsforholdene, da flere studier peger på, at den bedste sikkerhedseffekt opnås, hvis cyklisterne skal vige for bilerne. Dette giver omvendt en forringet fremkommelighed for cykeltrafikken.

Hvis cykel- og biltrafik blandes i cirkulationsarealet, kan det øge trafikanternes opmærksomhed på hinanden, hvilket giver en positiv sikkerhedseffekt. Det er dog på bekostning af cyklisternes tryghed. De mest sikre cykelfaciliteter tyder på at være separate cykelstier, hvor cykeltrafikken afvikles udenfor rundkørslen. Dette kan gøres enten ude af niveau, eller hvor cyklisterne krydser rundkørselens vejgrene væk fra rundkørslen.

Rundkørsler med vinkelret tilslutning af vejgrene er mest trafiksikre. Vinkelrette tilslutninger kan virke hastighedsdæmpende på bilerne, hvilket kan give bilisterne mere tid til at orientere sig. Yderligere tyder det på, at jo færre vejgrene der er tilsluttet en rundkørsel, desto mere sikker er rundkørslen. Sikkerheden kan yderligere forbedres, hvis der i hver vejgren kun er et enkelt smalt tilfartsspor.

En høj midterø i rundkørslen med en diameter under 30-40 m synes at have en positiv sikkerhedseffekt. En høj midterø øger erkendelsen af rundkørslen. Samtidig betyder det, at trafikanterne ikke kan se gennem rundkørslen og den begrænsede oversigt kan virke fartdæmpende. En lille diameter på midterøen giver også skarpere kurver, som virker fartdæmpende.

Tosporede rundkørsler giver forringet trafiksikkerhed for cyklister. Her anbefales det typisk, at cykeltrafikken afvikles uden for rundkørslen.

## Kryds eller rundkørsel

### Danske anbefalinger

Vejdirektoratet (2018) beskriver, hvornår det anbefales at etablere rundkørsel eller ombygge et kryds til rundkørsel. F.eks. nævnes det, at en rundkørsel kan etableres i stedet for et almindeligt kryds, hvis:

1. Hastigheden på en eller flere af de indgående veje ønskes reduceret.
2. Der ønskes en mere glidende trafikafvikling og dermed et lavere støjniveau.
3. Der er store svingende trafikstrømme.
4. Der sker mange ulykker, som må formodes at kunne bekæmpes ved anlæg af rundkørsel.

Hvis der er stor forskel på trafikmængderne fra de forskellige vejgrene, kan et vigepligts- eller signalreguleret kryds være at foretrække. Rundkørsler kan reducere antallet af personskadeulykker væsentligt. Ulykkesreduktionen er markant for bilulykker, men forringer ofte trafiksikkerheden for cyklister. Ombygning af kryds til rundkørsel i byområder bør derfor begrænses til kryds med ingen eller få cyklister, medmindre cyklister og biltrafik separeres ved etablering af separat cykelsti udenfor rundkørslen.

## Danske og udenlandske studier

Der er gennemført flere studier af effekter ved at ombygge vigepligts- eller signalregulerede kryds til rundkørsler eller omvendt som f.eks. Daniels m.fl. (2008), Jensen & Madsen (2012), Jensen (2013a, 2013b), Elvik (2015) og Høye (2017). Det er veldokumenteret, at rundkørsler generelt er et godt trafikikkerhedstiltag, der kan reducere antal ulykker med 30 % i runde tal i forhold til andre krydstyper. Effekten på personskader er endnu større end effekten på ulykker alene. Samtidig kan de under nogle forudsætninger have gavnlig effekt på trafikafviklingen.

Derimod viser de fleste studier en stigning i cykelulykker og personskader blandt cyklister ved ombygning af kryds til rundkørsel. I Danmark er fundet stigninger på op til 65 % og 40 % for hhv. ulykker og personskader. I udlandet, særligt i Holland, virker de negative effekter dog mindre udtalte end i Danmark. Her ligger stigningen nærmere omkring 40 % hhv. 20 % eller måske endnu lavere. Dette synes primært at kunne hænge sammen med, at cykelfaciliteter i rundkørsler er anderledes i Danmark end i udlandet.

## Udformning af rundkørsler

### Overordnet ulykkesrisiko

Det samlede antal ulykker, ulykker pr. år og ulykker pr. mio. indkørende cykler og biler for alle 564 analyserundkørsler og hver af de tre grupper af rundkørsler; mini, 1-sporede og 2-sporede, er sammenfattet i tabel 4. Generelt er der registeret 0,36 ulykker, heraf 0,23 cykel- og knallertulykker (C/K-ulykker) pr. år pr. rundkørsel. Der er 0,09 C/K-ulykker pr. mio. indkørende biler og 1,65 C/K-ulykker pr. mio. indkørende cykler. 1-sporede rundkørsler har, som følge af, at de udgør hele 81 % af datamaterialet, tilsvarende ulykkesrisiko.

Både mini- og 2-sporede rundkørsler har også 0,09-0,10 C/K-ulykker pr. mio. indkørende biler, men pr. mio. indkørende cykler er der stor forskel. Her har minirundkørsler en relativ lav risiko på 1,2, mens 2-sporede rundkørsler har en meget høj værdi (3,9), som er 2-3 gange højere end for de andre typer. Samtidig ser det umiddelbart ud til, at minirundkørsler kan være en god sikkerhedsmæssige løsning for cyklister. Noget af forskellen kan dog hænge sammen med forskellig trafikmængde og forskellige detailudformning som f.eks. omfang af cykelfaciliteter.

**Tabel 4. Antal ulykker af forskellige alvorlighed og type i alt, pr. år og pr. indkørende biler/cykler for 92 minirundkørsler (816 ulykkesår), 459 1-sporede rundkørsler (4.010 ulykkesår) og 13 2-sporede rundkørsler (120 ulykkesår).**

Rundkørsels-type	Antal	Alle ulykker (inkl. E)	Ulykker pr. år (inkl. E)	P/M-ulykker	P/M-ulykker pr. år	P/M-ulykker pr. mio. biler	C/K-ulykker (P/M)	C/K-ulykker (P/M) pr. år	C/K-ulykker (P/M) pr. mio. biler	C/K-ulykker (P/M) pr. mio. cykler
Mini	92	229	0,28	194	0,24	0,14	124	0,15	0,09	1,20
1-sporet	459	1759	0,44	1424	0,36	0,14	938	0,23	0,09	1,65
2-sporet	13	216	1,8	149	1,24	0,20	75	0,63	0,10	3,91
Gns. / i alt	564	2.204	0,45	1767	0,36	0,14	1137	0,23	0,09	1,65

I de håndbøger og studier, som er gennemgået i forbindelse med litteraturundersøgelsen, er der bred enighed om, at cyklister i 2-sporede rundkørsler er en trafikfarlig løsning, og at cykeltrafikken bør være adskilt fra biltrafikken i sådanne rundkørsler. Resultaterne af nærværende ulykkesanalyse underbygger således konklusionerne og anbefalingerne fundet ved litteraturgennemgangen, og derfor vil der i det videre ikke blive fokuseret yderligere på de 2-sporede rundkørsler.

Mens vi finder lav C/K-ulykkesrisiko i minirundkørsler har Jensen (2013a) fundet, at sikkerheden er dårligere i minirundkørsler end i 1-sporede rundkørsler. Forskellen kan hænge sammen med, at der er tale om forskellige undersøgelsesdesign. Jensen (2013a) har undersøgt effekten i antal ulykker ved ombygning fra kryds til rundkørsel, mens vi har undersøgt risikoen for C/K-ulykker pr. indkørende cykler. Forskellen er generelt også, at Jensen (2013a) har undersøgt rundkørsler både i og udenfor by, mens vi udelukkende undersøger byrundkørsler. Som følge af de forskellige metodetilgange, kan de to studier godt være rigtige samtidig, men de svarer på forskellige spørgsmål. Nærværende studie giver svar på, hvordan man opnår

den laveste ulykkesrisiko set fra cyklistens synspunkt, når der er en rundkørsel, mens Jensen (2013a) svarer på spørgsmålet om, hvilken ændring man får i det samlede antal ulykker, når man ombygger et kryds til forskellige varianter af rundkørsler i byen og på landet.

## Betydning af bil- og cykeltrafik

I tabel 5 er C/K-ulykkesrisikoen ved forskellige trafikmængde sammenlignet for mini- og 1-sporede rundkørsler. Her ses det, at minirundkørsler har markant lavere ulykkesrisiko (0,96) når der både er lav bil- og cykeltrafikmængde end 1-sporede rundkørsler (1,62). Risikoen pr. mio. indkørende biler er også mindre (0,03 vs. 0,07). Minirundkørsler bør således umiddelbart foretrækkes ud fra et sikkerhedssynspunkt, når der er lidt trafik. Billedet er modsat, når der både er meget bil- og cykeltrafik. Her ses det, at 1-sporede rundkørsler har markant lavere risiko (1,59) end minirundkørsler (2,09). Risikoen er cirka den samme, når der regnes pr. mio. indkørende biler (0,12-0,13). Her er 1-sporede rundkørsler således at foretrække. Denne type vil også være at foretrække ud fra et trafikafviklingsperspektiv.

Når der er lidt biltrafik og meget cykeltrafik, har de to typer tilnærmelsesvis samme lave ulykkesrisiko (0,48 og 0,56). Her kan begge typer således være aktuelle. Minirundkørsler har dog en procentmæssigt noget højere ulykkesrisiko pr. mio. indkørende biler end 1-sporede rundkørsler (0,14 vs. 0,08). Når der er meget biltrafik og lidt cykeltrafik fås generelt den højeste ulykkesrisiko, og en sådan trafiksamensætning er generelt trafikikkerhedsmæssig problematisk set fra cyklisternes perspektiv. Det ser ud til, at det her er minirundkørslerne, som generelt har lavest C/K-ulykkesrisiko.

**Tabel 5. Antal C/K-ulykker i alt, pr. år og pr. indkørende bil/cykel for minirundkørsler (mini) og 1-sporede rundkørsler (1-spor) fordelt på forskellig døgntrafik.**

Indkørende trafik	Lokaliteter (mini)	Ulykker (mini)	Ulykker pr. år (mini)	Ulykker pr. mio. biler (mini)	Ulykker pr. mio. cykler (mini)	Lokaliteter (1-spor)	Ulykker (1-spor)	Ulykker pr. år (1-spor)	Ulykker pr. mio. biler (1-spor)	Ulykker pr. mio. cykler (1-spor)
< 5.000 biler < 250 cykler	43	14	0,04	0,03	<b>0,96</b>	122	74	0,07	0,07	<b>1,62</b>
> 5.000 biler > 250 cykler	16	24	0,17	0,14	<b>0,48</b>	41	40	0,11	0,08	<b>0,56</b>
< 5.000 biler < 250 cykler	12	17	0,16	0,06	<b>2,69</b>	130	202	0,17	0,05	<b>3,34</b>
> 5.000 biler > 250 cykler	21	69	0,39	0,13	<b>2,09</b>	166	622	0,46	0,12	<b>1,59</b>
<b>Gns. / i alt</b>	<b>92</b>	<b>124</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>1,20</b>	<b>459</b>	<b>938</b>	<b>0,23</b>	<b>0,09</b>	<b>1,65</b>

Det er en generelt anerkendt og veldokumenteret sammenhæng, at mere biltrafik giver flere C/K-ulykker, og at mere cykeltrafik reducerer ulykkesrisikoen for den enkelte cyklist. På lokaliteter, hvor bilister og cyklister skal interagere, som i rundkørsler, er det således trafikikkerhedsmæssigt fordelagtigt for cyklister og knallertkørere, at der er få biler og mange cyklister, mens det modsat er udfordrende, når der er mange bilister og få cyklister. I mange af de gennemgåede cykelhåndbøger fra forskellige lande er det således angivet, at der skal være en lav biltrafikmængde, hvis bil- og cykeltrafikken skal blandes i rundkørslen. Flere lande har ikke konkretiseret, hvad der menes med lav, mens andre lande har angivet maksimale trafikmængder på 5.000-15.000 køretøjer (ÅDT).

## Betydning af cykelfaciliteter

### Cykelbane og -sti i rundkørslen

For både mini- og 1-sporede rundkørsler er C/K-ulykkesrisikoen højest, når der er cykelbane i rundkørslen, efterfulgt af cykelsti, se tabel 6. Underopdeles cykelfaciliteterne i farvet og ikke farvet cykelbane og -sti ses samme mønster for mini- og 1-sporede rundkørsler, nemlig at farve øger ulykkesrisikoen yderligere. Størst risiko findes således, når der er farvet cykelbane og -sti.

Udover at der ses det samme mønster, ses der også risikostørrelser og -stigninger ved cykelbane og -sti med/uden farve af samme størrelsesorden ved mini- og 1-sporede rundkørsler. Det betyder, at der ud fra et trafikikkerhedsmæssigt synspunkt ikke umiddelbart er noget at hente ved at ombygge f.eks. en minirundkørsel med farvet cykelbane eller -sti til en 1-sporet rundkørsel med farvet cykelbane eller -sti eller omvendt.

Cykelbane og -sti, og især farvet cykelbane og -sti er således en dårlig løsning i forhold til cyklisterne sikkerhed, og det gælder både for mini- og 1-sporede rundkørsler. Disse resultater stemmer overens med resultater fra flere tidligere studier, og slår endnu tydeligere fast, at cykelbane og også cykelsti, men i lidt mindre grad, og især farvet cykelbane og -sti gør det farligere for cyklisterne at cykle i rundkørslen. Modsat finder både nærværende og tidligere studier, at bedst cykelsikkerhed fås ved blandet trafik og tilbagetrukket, separat cykelsti uden for rundkørslen. Tidligere studier har dog samtidig fundet, at disse løsninger generelt giver forringet hhv. tryghed og fremkommelighed.

**Tabel 6. Antal C/K-ulykker i alt, pr. år og pr. indkørende bil/cykel fordelt på cykelfaciliteter i minirundkørsler (mini) og 1-sporede rundkørsler (1-spor). Parentes angiver estimater, som er baseret på få lokaliteter, og som derfor er usikre.**

Cykelfaciliteter	Lokaliteter (mini)	Ulykker (mini)	Ulykker pr. år (mini)	Ulykker pr. mio. biler (mini)	Ulykker pr. mio. cykler (mini)	Lokaliteter (1-spor)	Ulykker (1-spor)	Ulykker pr. år (1-spor)	Ulykker pr. mio. biler (1-spor)	Ulykker pr. mio. cykler (1-spor)
Ingen	40	45	0,12	0,10	<b>0,74</b>	37	29	0,09	0,06	<b>0,86</b>
Cykelbane	45	70	0,18	0,09	<b>1,84</b>	232	513	0,25	0,10	<b>2,07</b>
Cykelsti	5	8	(0,24)	(0,08)	<b>(1,73)</b>	130	377	0,35	0,11	<b>1,60</b>
Separat cykelsti	2	1	(0,05)	(0,06)	<b>(1,74)</b>	53	19	0,04	0,01	<b>0,45</b>
Cykelbane uden farve	24	19	0,10	0,06	<b>1,42</b>	179	365	0,23	0,10	<b>2,02</b>
Cykelbane med farve	21	51	0,26	0,10	<b>2,07</b>	53	148	0,32	0,11	<b>2,20</b>
Cykelsti uden farve	3	0	(0,00)	(0,00)	<b>(0,00)</b>	76	121	0,19	0,07	<b>1,26</b>
Cykelsti med farve	2	8	(0,67)	(0,14)	<b>(3,18)</b>	54	256	0,58	0,16	<b>1,83</b>
I alt / Gns.	<b>92</b>	<b>124</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>1,20</b>	<b>459</b>	<b>938</b>	<b>0,23</b>	<b>0,09</b>	<b>1,65</b>

### Bredde af cykelfaciliteter

For både mini- og 1-sporede rundkørsler gælder det, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem bredde af cykelbane og -sti i rundkørslen og risikoen for C/K-ulykker pr. mio. indkørende cykler. Med hensyn til risikoen for C/K-ulykker pr. mio. indkørende biler viser analyserne imidlertid, at øget bredde af cykelfacilitet betyder højere ulykkesrisiko i 1-sporede rundkørsler. Øges bredden fra f.eks. 1,0-1,4 m til 3,0-3,4 m øges risikoen for C/K-ulykker pr. mio. indkørende biler fra 0,08 til 0,14. Ud fra et trafikikkerhedsmæssigt synspunkt skal etablering af brede cykelfaciliteter i især 1-sporede rundkørsler således gøres med varsomhed. Modsat er breddeudvidelse noget, som sandsynligvis vil øge cyklisterne tryghed, tilfredshed og fremkommelighed.

### Cykelfaciliteter i tilfarterne

For både mini- og 1-sporede rundkørsler gælder det, at C/K-ulykkesrisikoen pr. mio. indkørende cykler er lavest, når der ikke er cykelbane eller -sti i de tilstødende vejgrene (0,70 og 1,29), se tabel 7. Samtidig ses det, at risikoen stiger, jo flere vejgrene, som har cykelfaciliteter i de tilstødende veje. Risikoen stiger således fra 0,70 til 4,15 ved minirundkørslerne og fra 1,29 til 2,26 ved de 1-sporede rundkørsler. Forklaringen på denne sammenhæng kan være, at rundkørsler med cykelfaciliteter i tilfarterne normalt er de rundkørsler, som også har cykelfaciliteter i selve rundkørslen. Det ser således umiddelbart ud til, at det ud fra et cykelsikkerhedsmæssigt synspunkt er en dårlig idé at etablere cykelfaciliteter på de tilstødende veje. Modsat er dette noget, som sandsynligvis vil øge cyklisterne tryghed, tilfredshed og fremkommelighed.

**Tabel 7. Antal C/K-ulykker i alt, pr. år og pr. indkørende biler/cykler fordelt på andel cykelfaciliteter på tilstødende veje for minirundkørsler (mini) og 1-sporede rundkørsler (1-spor). Parentes angiver estimater, som er baseret på få lokaliteter.**

Andel vejgrene med cykelfaciliteter	Lokaliteter (mini)	Ulykker (mini)	Ulykker pr. år (mini)	Ulykker pr. mio. biler (mini)	Ulykker pr. mio. cykler (mini)	Lokaliteter (1-spor)	Ulykker (1-spor)	Ulykker pr. år (1-spor)	Ulykker pr. mio. biler (1-spor)	Ulykker pr. mio. cykler (1-spor)
0 % (ingen)	50	48	0,10	0,08	<b>0,70</b>	95	105	0,12	0,08	<b>1,29</b>
25-40 % af vejene	3	4	(0,18)	(0,11)	<b>(0,99)</b>	10	32	0,40	0,14	<b>1,58</b>
50-67 % af vejene	15	16	0,11	0,05	<b>1,01</b>	95	207	0,24	0,10	<b>1,61</b>
75-80 % af vejene	3	5	(0,17)	(0,06)	<b>(1,67)</b>	71	217	0,35	0,11	<b>1,68</b>
100 % (alle veje)	14	50	0,45	0,16	<b>4,15</b>	128	358	0,34	0,11	<b>2,26</b>
I alt / Gns.	<b>90</b>	<b>123</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>1,19</b>	<b>399</b>	<b>919</b>	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>	<b>1,78</b>

## Betydning af detailudformning og -regulering

### Hastighedsdæmpende tiltag

De fleste byrundkørsler har en hastighedsgrænse på 50 km/t, og for de 1-sporede rundkørsler, som udgør den største del af rundkørslerne, ser det også ud til, at ulykkesrisikoen her er lavest. For 1-sporede rundkørsler ser det, som forventet, også ud til, at hastighedsdæmpende foranstaltninger som hævede flader i til- og frafarter, har en ulykkesreducerende effekt. For minirundkørsler har det ikke på samme måde været muligt at dokumentere en entydig sammenhæng mellem hastighedsgrænse og hastighedsdæmpende foranstaltninger og risiko for C/K-ulykker.

### Antal og vinkel af vejgrene

For 1-sporede rundkørsler findes den lavest risiko for C/K-ulykker i rundkørsler med få vejgrene, mens denne sammenhæng ikke kan dokumenteres for minirundkørsler. For alle typer rundkørsler findes det, at andel "skæve vejgrene" øger ulykkesrisikoen, og den lavest risiko findes således, når alle vejgrene er vinkelrette på hinanden, se tabel 8. Samlet set gælder det således i forhold til sikkerheden for cyklisterne om at have så få vejgrene som muligt og så mange vinkelrette vejgrene som muligt. Dette kan dog i praksis være en udfordring, da rundkørsler i nogle tilfælde netop etableres, fordi der er mange og "skæve" vejgrene.

**Tabel 8. Antal C/K-ulykker i alt, pr. år og pr. indkørende biler/cykler fordelt på antal vejgrene og andel "gode" vejgrene for minirundkørsler (mini) og 1-sporede rundkørsler (1-spor). Parentes angiver estimer, som er baseret på få lokaliteter.**

Antal vejgrene og andel "gode" vejgrene	Lokaliteter (mini)	Ulykker (mini)	Ulykker pr. år (mini)	Ulykker pr. mio. biler (mini)	Ulykker pr. mio. cykler (mini)	Lokaliteter (1-spor)	Ulykker (1-spor)	Ulykker pr. år (1-spor)	Ulykker pr. mio. biler (1-spor)	Ulykker pr. mio. cykler (1-spor)
3 vejgrene	30	30	0,12	0,06	<b>1,27</b>	89	121	0,16	0,07	<b>1,24</b>
4 vejgrene	61	94	0,17	0,11	<b>1,17</b>	325	648	0,22	0,08	<b>1,72</b>
5 vejgrene	1	0	(0,00)	(0,00)	<b>(0,00)</b>	33	105	0,37	0,12	<b>1,91</b>
6 vejgrene	0	-	-	-	-	12	64	0,79	0,25	<b>1,65</b>
100 % "gode" vejgrene	75	108	0,16	0,09	<b>1,16</b>	335	587	0,20	0,08	<b>1,55</b>
75-99 % "gode" vejgrene	9	6	0,10	0,09	<b>1,14</b>	75	205	0,33	0,11	<b>1,70</b>
50-74 % "gode" vejgrene	8	10	0,14	0,07	<b>1,96</b>	49	146	0,34	0,12	<b>2,13</b>
Gns. / i alt	<b>92</b>	<b>124</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	<b>1,20</b>	<b>459</b>	<b>938</b>	<b>0,23</b>	<b>0,09</b>	<b>1,65</b>

### Overkørselsareal

I minirundkørsler giver en radius af den overkørbare midterø på under 4 m den laveste C/K-ulykkesrisiko (0,4-0,9 C/K-ulykker pr. mio. cykler), mens større radius giver en C/K-ulykkesrisiko på 1,2-1,4. For 1-sporede rundkørsler giver et bredt overkørselsareal (4-6 m) den laveste C/K-ulykkesrisiko (1,0 C/K-ulykker pr. mio. cykler), mens et smallere areal giver en C/K-ulykkesrisiko på 1,5-2,2.

Det er ikke helt entydigt, hvilken udformning (asfalt eller brosten/chaussésten-belagt) og afgrænsning (kantsten, afmærkning eller ingen) som giver den laveste C/K-ulykkesrisiko, men undersøgelsen indikerer, at det er asfaltbelagt overkørselsareal med kantstensafgrænsning. Dette gælder især for 1-sporede rundkørsler. C/K-ulykkesrisikoen er her 0,7 og 1,3 for hhv. mini- og 1-sporede rundkørsler.

### Bredde af cirkulationsareal

Analyser af bredden af cirkulationsareal og C/K-ulykkesrisiko viser ingen entydig sammenhæng, når alle rundkørsler analyseres samlet. Det ser dog ud til, at den mest sikre bredde for mini- og 1-sporet rundkørsler er hhv. 4,0-5,5 m, og 8,5-10,0 m for 1-sporet rundkørsler, hvis der er meget biltrafik.

### Diameter og højde af midterø

Minirundkørsler har pr. definition ingen midterø, og både diameter og højde af midterø er derfor nul meter for alle minirundkørslerne samtidig med, at der er frit syn gennem rundkørslerne. For 1-sporede rundkørsler er der ikke fundet nogen entydig sammenhæng mellem diameter af midterø og C/K-ulykkesrisiko. For midterøens højde ser det på den ene side ud til, at risikoen for C/K-ulykker pr. indkørende bil falder, jo højere midterøen er. På den anden side ser frit gennemsyn gennem rundkørslen ud til at reducere C/K-ulykkesrisikoen pr. indkørende cykel. Umiddelbart kunne det indikere, at midterøen bør være høj, men "gennemsigtig", f.eks. i form af opstammet beplantning.

## Helleanlæg

For minirundkørsler findes den laveste C/K-ulykkesrisiko, når der ikke er helle (ingen heller og spærreflade). For 1-sporede rundkørsler er der derimod ikke betydelige forskelle på ulykkesrisikoen for forskellige anlæg.

## Dobbeltrettet cykelsti

Tilslutning af en dobbeltrettet cykelsti i tillæg til vej-tilfarterne ser ud til at øge risikoen for C/K-ulykker pr. indkørende cykel i minirundkørsler. For 1-sporede rundkørsler er ulykkesrisikoen derimod samlet set den samme for rundkørsler med og uden en tilsluttet dobbeltrettet cykelsti. Skal der anlægges en rundkørsel med tilsluttet en dobbeltrettet cykelsti, er det dermed værd at overveje en 1-sporet rundkørsel fremfor en minirundkørsel.

## Fodgængerfelter

For alle rundkørselstyper er det fundet, at fodgængerfelter på tværs af tilfarterne generelt øger risikoen for C/K-ulykker pr. indkørende cykel. Antallet af fodgængerfelter bør således af hensyn til de cyklendes sikkerhed begrænses. Modsat er dette tiltag et tiltag, som kan have vigtig betydning for de gående, i særlig grad for børn, ældre og funktionshæmmede.

## Sammenligning med litteraturen

Tidligere anbefalinger og ulykkesstudier om detailudformningen af rundkørsler har primært omhandlet antal og udformning af vejgrene samt diameter og højde af midterø.

Tidligere studier har, som i denne, fundet, at færrest antal vejgrene samt vinkelrette vejgrene giver bedst trafikikkerhed for cyklisterne. De vinkelrette tilslutninger kan virke hastighedsdæmpende på bilerne, og giver i udgangspunktet også gode oversigtsforhold.

Angående udformning af midterøen har tidligere studier fundet, at diameteren bør være under 30-40 m for ikke at få en for stor og dynamisk rundkørsel. I nærværende undersøgelse har vi ikke kunnet dokumentere tilsvarende sammenhæng i forhold til C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende cykel, men i forhold til C/K-ulykkesrisikoen pr. indkørende bil ser vi, at den stiger markant, når diameteren bliver større end 40 m.

Angående højde af midterøen har tidligere studier fundet, at den bedste sikkerhed opnås, når midterøen er høj, da en høj midterø gør, at trafikanterne ikke kan se gennem rundkørslen, hvilket kan virke hastighedsdæmpende. I nærværende undersøgelse er det også fundet, at en høj midterø giver lavest C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende bil. Vi har dog også fundet lavest risiko, når der er frit syn gennem rundkørslen, hvilket ikke umiddelbart stemmer overens med høje midterøer, som normalt vil spærre for oversigten. Dette kan dog hænge sammen med, at de høje midterøer er "gennemsigtige" i form af beplantning og lignende, som man kan se igennem. Det betyder, at forklaringen om, at de høje midterøer giver bedre sikkerhed, fordi de giver dårligere oversigt, ikke helt holder stik her. Derimod kan forklaringen være, at høje midterøer gør rundkørsler lettere at erkende for trafikanterne.

## Kryds eller rundkørsel

### Overordnet sikkerhedseffekt

#### Sikkerhedseffekt på P/M-ulykker

De overordnede sikkerhedseffekter af i alt 149 ombygninger til/fra rundkørsler med forskellig udformning er opsummeret i tabel 9. Tabellen viser sikkerhedseffekten på alle P/M-ulykker (alle trafikantgrupper), samt hvor mange ulykker før og efter estimerne er baseret på. Bemærk, at de 149 ombygninger inkluderer 40 ombygninger, hvor ikke kun krydstypen, men også antallet af vejgrene/vejtilslutninger er ændret. De resterende 109 "rene" ombygninger behandles efterfølgende.

Som det fremgår af tabellen, er der i alt 196,4 og 174,8 P/M-ulykker i hhv. før- og efterperioden (når der er korrigeret for forskellige længder af før- og efterperiode). Flere af sikkerhedseffekterne er homogene, og kan derfor generaliseres. To sikkerhedseffekter er fundet til at være statistisk signifikante, men ikke homogene, hvorfor de ikke kan generaliseres.

**Tabel 9. Sikkerhedseffekt på P/M-ulykker (alle trafikantgrupper) ved 149 ombygninger af kryds til/fra rundkørsler.**

Udform. før	Udform. efter	Antal	Før	Forv. R	Forv. UR	Efter	Effekt R	Effekt UR	H?	S?
Vigepligtskryds	Mini u. c.fac.	19	22,0	11,2	17,7	11,0	-2 %	-38 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	Mini m. c.fac.	17	15,8	9,3	14,2	11,2	+20 %	-21 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	1-spor u. c.fac.	9	5,2	3,4	5,0	3,6	+6 %	-28 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	1-spor m. c.fac.	59	68,4	46,2	60,0	69,0	+49 %	+15 %	Nej	Ja
Vigepligtskryds	1-spor m. sep. sti	18	31,0	19,8	28,5	13,0	-34 %	-54 %	Ja	Nej
Signalkryds	Mini u. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(2,0)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	Mini m. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,6)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	1-spor m. c.fac.	18	40,0	26,6	36,4	60,6	+128 %	+66 %	Nej	Ja
1-sporet m. c.fac.	Signalkryds	7	14,0	9,5	14,5	10,0	+5 %	-31 %	Ja	Nej

Resultaterne viser generelt set, at ombygning fra vigepligtskryds til rundkørsler med forskellige udformninger har øget antallet af ulykker, hvis der korrigeres for regressionseffekt. Hvis der derimod ikke korrigeres for regressionseffekt, er sikkerhedseffekterne positive (mindre end nul). For ombygning til 1-sporede rundkørsler med separat cykelsti, hvor cyklister skal vige for biler, er sikkerhedseffekten mere entydigt positiv (34-54 % færre ulykker).

For ombygning fra signalkryds til 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet er der sket en signifikant stigning i antallet af P/M-ulykker på 128 %, når der tages hensyn til regressionseffekt. Effekten er dog ikke homogen. Omvendt er der tilnærmelsesvis ingen forskel på antallet af P/M-ulykker før-efter ombygning fra 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet til signalkryds. Tages der ikke hensyn til regressionseffekt ses, at der er sket flere ulykker (+66 %) efter ombygning fra signalkryds til 1-sporede rundkørsler og færre ulykker (-31 %) efter ombygning til signalkryds.

Zoomes der ind på personskaueulykkerne ses et fald på 62-64 % ved ombygning fra vigepligtskryds til minirundkørsler, uanset om rundkørslerne er med eller uden cykelfaciliteter. For ombygning til 1-sporede rundkørsler er der sket en stigning på 76-83 %. Hvis cykelfaciliteterne ligger uden for rundkørslerne, er antallet af personskaueulykker faldet med 37 %. For ombygning fra signalkryds til 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet er der sket en signifikant stigning i antallet af personskaueulykker på 117 %. Omvendt er der sket et fald på 19 % efter ombygning til signalkryds. Ved alle disse estimater er der korrigeret for regressionseffekt. Estimaterne er baseret på få ulykkestal og skal derfor tages med forbehold.

### Sikkerhedseffekt på C/K-ulykker

De overordnede sikkerhedseffekter på C/K-ulykker ses i tabel 10. C/K-ulykkerne udgør cirka halvdelen af alle P/M-ulykkerne, og der indgår således 70,8 og 183,2 C/K-ulykker i hhv. før- og efterperioden (når der er korrigeret for forskellige længder af før- og efterperiode). Som det ses af tabellen, er flere af sikkerhedseffekterne for C/K-ulykker også homogene, og kan derfor generaliseres. Som for alle ulykker er to sikkerhedseffekter fundet til at være statistisk signifikante, men ikke homogene.

Som for alle ulykker er det generelle billede for C/K-ulykker, at der er sket flere ulykker efter ombygning fra vigepligtskryds til rundkørsler med forskellig udformning. Antallet af C/K-ulykker er således steget fra 35 % op til 166 %. Stigningen ser ud til at være størst, når der ombygges til rundkørsler med cykelfaciliteter i cirkulationsarealet. Som eneste undtagelse har ombygning til 1-sporet rundkørsel med separat cykelsti uden for rundkørslen reduceret antallet af C/K-ulykker med 38 %. Effekten er dog ikke signifikant, bl.a. på grund af få ulykker i førsituationen.

Ved ombygning fra vigepligtskryds og signalkryds til 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet er antallet af C/K-ulykker steget hhv. 166 % og 330 %. Sikkerhedseffekterne er statistisk signifikante, men ikke homogene. Ombygning fra 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet i rundkørslen til signalreguleret kryds har medført et ikke-signifikant fald på 66 % i antal C/K-ulykker.



**Tabel 10. Sikkerhedseffekt på C/K-ulykker ved i alt 149 ombygninger af kryds til/fra rundkørsler.**

Udform. før	Udform. efter	Antal	Før	Forv. R	Forv. UR	Efter	Effekt R	Effekt UR	H?	S?
Vigepligtskryds	Mini u. c.fac.	19	7,0	3,7	5,4	5,0	+35 %	-7 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	Mini m. c.fac.	17	6,0	3,4	5,5	7,8	+127 %	+42 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	1-spor u. c.fac.	9	(1,6)	(1,1)	(1,6)	(2,6)	(+135 %)	(+66 %)	(Ja)	(Nej)
Vigepligtskryds	1-spor m. c.fac.	59	27,8	20,3	24,7	53,8	+166 %	+117 %	Nej	Ja
Vigepligtskryds	1-spor m. sep. sti	18	7,0	4,8	6,2	3,0	-38 %	-52 %	Ja	Nej
Signalkryds	Mini u. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(2,0)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	Mini m. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,6)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	1-spor m. c.fac.	18	16,0	10,9	14,6	47,0	+330 %	+223 %	Nej	Ja
1-sporet m. c.fac.	Signalkryds	7	8,6	5,9	8,8	2,0	-66 %	-77 %	Ja	Nej

## Sikkerhedseffekt ved "rene" løsninger

For at kvalificere den reelle effekt af ombygning til eller fra rundkørsler med forskellig udformning, er der undersøgt såkaldte "rene" løsninger, dvs. lokaliteter hvor der er samme antal vejtilslutninger før og efter ombygning. Antallet af vejtilslutninger har stor betydning for ulykkesrisikoen, idet flere vejtilslutninger betyder flere konfliktpunkter i krydset og forventeligt mere trafik. Ved at have samme antal vejtilslutninger både før og efter, er der mindre risiko for, at sikkerhedseffekten påvirkes heraf. Ulempen er imidlertid, at et i forvejen relativ lille datamateriale reduceres yderligere.

## Sikkerhedseffekt på P/M-ulykker

Som det ses i tabel 11, så indgår der færre lokaliteter (109 ud af i alt 149) og deraf færre ulykker i denne delanalyse, når der kun er medtaget "rene" løsninger. Antal P/M-ulykker er således i alt 147,8 og 120 i hhv. før- og efterperioden. Resultaterne skal derfor stadig tolkes med forsigtighed. Også her er de fleste af sikkerhedseffekterne homogene, og kan derfor generaliseres. Én sikkerhedseffekt er fundet til at være statistisk signifikant og homogen, mens en anden er homogen og forholdsvis sikker (tendens). Også her ses det, at ombygning fra vigepligtskryds til rundkørsler med forskellige udformninger har øget antallet af ulykker. Effekterne er dog mindre (gående mod nul). For ombygning til 1-sporede rundkørsler med separat cykelsti, hvor cyklister skal vige for biler, er sikkerhedseffekten mere positiv og forholdsvis sikker med 45 % færre P/M-ulykker. For ombygning fra signalkryds til 1-sporede rundkørsler med cykelfaciliteter i rundkørslerne er der sket en signifikant stigning på 97 % i antallet af P/M-ulykker.

**Tabel 11. Sikkerhedseffekt på P/M-ulykker (alle trafikantgrupper) ved 109 "rene" løsninger.**

Udform. før	Udform. efter	Antal	Før	Forv. R	Forv. UR	Efter	Effekt R	Effekt UR	H?	S?
Vigepligtskryds	Mini u. c.fac.	17	21,0	10,4	16,5	11,0	+5 %	-33 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	Mini m. c.fac.	14	15,8	9,0	14,5	9,2	+2 %	-37 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	1-spor u. c.fac.	7	(4,2)	(2,8)	(4,1)	(2,6)	(-8 %)	(-37 %)	(Ja)	(Nej)
Vigepligtskryds	1-spor m. c.fac.	38	62,8	41,6	54,8	51,4	+24 %	-6 %	Nej	Nej
Vigepligtskryds	1-spor m. sep. sti	13	28,0	18,3	25,9	10,0	-45 %	-61 %	Ja	Tend.
Signalkryds	Mini u. c.fac.	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Signalkryds	Mini m. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,6)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	1-spor m. c.fac.	14	33,0	22,2	30,3	43,6	+97 %	+44 %	Ja	Ja
1-sporet m. c.fac.	Signalkryds	5	12,4	8,6	13,1	10,0	+16 %	-23 %	Ja	Nej

## Sikkerhedseffekt på C/K-ulykker

De "rene" løsninger er også undersøgt ift. antallet af C/K-ulykker før og efter ombygning. Tabel 12 viser sikkerhedseffekterne af de i alt 109 forskellige ombygninger. Antal C/K-ulykker er i alt 56,2 og 83,4 i hhv. før- og efterperioden.

For ombygninger fra vigepligtskryds til minirundkørsler ses for C/K-ulykkerne en større stigning (+127 %) ved ombygning til minirundkørsel med cykelfacilitet i rundkørslen end uden cykelfacilitet (+35 %). Ingen af effekterne er dog signifikante, hvorfor tallene skal tages med forbehold. Bemærk, at effekterne er de samme, som angivet i tabel 12 (alle lokaliteter). Dette skyldes, at alle de fjernede lokaliteter er nul-lokaliteter (ingen ulykker før og efter ombygning).

Tabel 12. Sikkerhedseffekt på alle C/K-ulykker ved i alt 109 "rene" løsninger.

Udform. før	Udform. efter	Antal	Før	Forv. R	Forv. UR	Efter	Effekt R	Effekt UR	H?	S?
Vigepligtskryds	Mini u. c.fac.	17	7,0	3,7	5,4	5,0	+35 %	-7 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	Mini m. c.fac.	14	6,0	3,4	5,5	7,8	+127 %	+42 %	Ja	Nej
Vigepligtskryds	1-spor u. c.fac.	7	(0,6)	(0,4)	(0,6)	(2,6)	(+498 %)	(+333 %)	(Ja)	(Nej)
Vigepligtskryds	1-spor m. c.fac.	38	25,8	18,3	22,8	39,2	+115 %	+72 %	Nej	Ja
Vigepligtskryds	1-spor m. sep. sti	13	7,0	4,8	6,2	3,0	-38 %	-52 %	Ja	Nej
Signalkryds	Mini u. c.fac.	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Signalkryds	Mini m. c.fac.	1	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,6)	-	-	-	(Nej)
Signalkryds	1-spor m. c.fac.	14	11,0	7,6	10,1	35,6	+369 %	+252 %	Nej	Ja
1-sporet m. c.fac.	Signalkryds	5	7,0	4,9	7,3	2,0	-59 %	-73 %	Ja	Nej

For ombygning fra vigepligtskryds til 1-sporet rundkørsel uden cykelfacilitet ses en procentvis meget stor stigning (+498 %) i antallet af C/K-ulykker. Der er dog sket meget få ulykker både før og efter ombygning, hvorfor resultatet kan være præget af meget stor tilfældighed. Sikkerhedseffekten er da heller ikke signifikant.

Ved ombygning til 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet i rundkørslen er der registreret en del flere ulykker, hvorfor beregningsgrundlaget er bedre. Her er der fundet en signifikant sikkerhedseffekt på +115 %. Effekten er imidlertid ikke homogen. For ombygning til 1-sporet rundkørsel med separat cykelsti uden for rundkørslen er der fundet en ikke-signifikant sikkerhedseffekt på -38 %.

Ombygning fra signalkryds til 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet i rundkørslen har medført en markant stigning i antallet af C/K-ulykker på 369 %. Effekten er statistisk signifikant, men ikke homogen. Den omvendte situation med ombygning fra 1-sporet rundkørsel med cykelfacilitet til signalkryds har medført et ikke-signifikant fald i antallet af C/K-ulykker på 59 %.

## Konklusion

Denne artikel sammenfatter hovedresultaterne fra en række undersøgelser om sikkerhed for cyklister i forskellige krydsvarianter i byen. Artiklens mål har været at besvare følgende to spørgsmål:

1. Hvilken betydning har den fysiske udformning og regulering af rundkørsler for sikkerheden for cyklister?
2. Hvad er den sikkerhedsmæssige effekt for cyklister af ombygning af rundkørsler til/fra andre krydstyper?

## Udformning af rundkørsler

Del-undersøgelsen har bestået af en kategoribaseret ulykkesanalyse af sammenhængen mellem ulykker, udformning samt bil- og cykeltrafik i 564 analyserundkørsler fordelt på især mini- og 1-sporede rundkørsler, men også nogle få 2-sporede rundkørsler. Studiet viser, at den bedste sikkerhedsmæssige løsning for de cyklende fås ved 100 % separation fra biltrafikken via en separat, tilbagetrukket cykelstiløsning uden for rundkørslen, eller næstbedst ved en 100 % integration med biltrafikken før og i rundkørslen, dvs. ved ikke at have cykelfaciliteter inde i, eller i vejgrenene op til, rundkørslen. I forhold til den gennemsnitlige risiko for C/K-ulykker i byrundkørsler er risikoen f.eks. cirka 1/3 og 1/2 i hhv. 1-sporede rundkørsler med tilbagetrukket cykelsti og 1-sporede rundkørsler uden cykelfaciliteter.

Dårligst sikkerhed fås især, hvis der er cykelbane i rundkørslen, men også i nogen grad, hvis der er cykelsti. C/K-ulykkesrisikoen er cirka den samme i rundkørsler med cykelsti som i byrundkørsler generelt, mens den er 20-30 % højere i rundkørsler med cykelbane. Ulykkesrisikoen er allerhøjest, både ved cykelbane og cykelsti, hvis disse er blå, idet ulykkesrisikoen her er cirka 10 % og 40 % højere end ufarvet cykelinfrastruktur. Disse resultater stemmer overens med nuværende anbefalinger og resultater fra tidligere danske og udenlandske studier, men effekterne er her blevet slået endnu tydeligere fast.

Det er tidligere fundet, at minirundkørsler er en dårligere sikkerhedsmæssige løsning for cyklister end 1-sporede rundkørsler, og der har således været en vis skepsis mod disse. Dette kan ikke bekræftes af nærværende undersøgelse, hvor det er fundet, at C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende *bil* i gennemsnit er den

samme for de to typer. Minirundkørsler har faktisk en lavere gennemsnitlig C/K-ulykkesrisiko pr. indkørende *cykel* end 1-sporede rundkørsler, men dette forklares delvis med mindre biltrafik. Derudover bekræfter undersøgelserne, at 2-sporede rundkørsler helt bør undgås, hvis der er cyklister, medmindre der etableres niveaufri skæring eller alternativt tilbagetrukne cykelstiløsninger udenfor rundkørslen, hvor cyklisterne har vigepligt ved krydsning af til- og frafarterne.

Rundkørsler med hastighedsdæmpende foranstaltninger, ingen eller få fodgængerfelter samt få og vinkelrette vejgrene giver den laveste C/K-ulykkesrisiko. Det kan i praksis være en udfordring at sikre få og vinkelrette vejgrene, da rundkørsler ofte netop etableres, fordi der er mange og ”skæve” vejgrene. Samtidig har fodgængerfelter en vigtig funktion i forhold til krydsende fodgængere.

Udformning af helleanlæg, højde, diameter og sigt gennem midterø, bredde af cirkulationsarealet samt bredde, belægning og afgrænsning af overkørselsarealet er også analyseret. Her er det dog mindre entydigt, hvilken af de forskellige mulige detailudformninger, som giver lavest C/K-ulykkesrisiko.

## Rundkørsel eller signalregulerede kryds

Del-undersøgelsen er gennemført ved at undersøge antallet af ulykker fordelt på forskellige ulykkestyper og -alvorlighed på 149 lokaliteter, som er blevet ombygget til/fra en rundkørsel. Krydsene er blevet inddelt i signal- og vigepligtsregulerede kryds, og rundkørslerne er blevet inddelt i mini- og 1-sporede rundkørsler med/uden cykelfaciliteter.

Som tidligere beskrevet er rundkørsler samlet set et godt sikkerhedstiltag. På baggrund af disse før-efter ulykkesevalueringstudier tyder det dog på, at den bedste sikkerhed for cyklister i bykryds opnås ved at signalregulere trafikken fremfor at lave rundkørsler. Således er der en tendens til, at der sker færre (alvorlige) C/K-ulykker i signalregulerede kryds sammenlignet med rundkørsler, og i særdeleshed 1-sporede rundkørsler med cykelfaciliteter i cirkulationsarealet.

Ombygning fra 1-sporet rundkørsel med cykelfaciliteter til et signalreguleret kryds giver således i størrelsesorden 60-80 % færre C/K-ulykker, mens den omvendte ombygning i runde tal giver 200-300 % flere C/K-ulykker. Ombygning fra vigepligtsreguleret kryds til forskellige rundkørselsvarianter giver typisk 40-170 % flere C/K-ulykker, dog med undtagelse af ombygning til rundkørsel med tilbagetrukket cykelsti udenfor rundkørslen som giver 40-50 % færre C/K-ulykker.

Det skal bemærkes, at dette ikke et facit med to streger under, da en lang række forhold har/kan få indflydelse på sikkerheden, samtidig med at meget få af resultaterne er statistisk signifikante. Men det ændrer ikke ved, at uanset, hvordan tallene kombineres, vendes og drejes, så peger pilen i den samme retning; nemlig at rundkørsler i byer kan være en udfordring, når det gælder sikkerhed for de cyklende.

## Diskussion

Ideelt set bør man vælge cykelløsninger i byerne, som giver de cyklende høj grad af sikkerhed, tryghed og fremkommelighed. Generelt anses cykelsti og -bane i rundkørsler som løsninger, som giver god tryghed og fremkommelighed for de cyklende. På baggrund af de tre gennemførte studier kan det dog konkluderes, at disse løsninger samtidig er dem, som generelt giver højest C/K-ulykkesrisiko. Nogle af de mest sikre løsninger for de cyklende er således 100 % integration af cykel- og biltrafikken i form af ingen cykelfaciliteter i rundkørsler. Mange cyklister føler sig dog utrygge ved 100 % integration.

100 % separation af cykel- og biltrafikken i form af f.eks. tilbagetrukket cykelsti udenfor rundkørslen kan give både gode sikkerhed og tryghed, men giver ofte dårlig fremkommelighed som følge af omvej og tillagt vigepligt. Samtidig er det en dyr og pladskrævende løsning, som der sjældent er plads til i byen. Studierne viser således, at det er vanskeligt at få sikkerhed, tryghed og fremkommelighed for de cyklende samtidig i bykryds. Det kan derfor blive nødvendigt for den aktuelle vejmyndighed at prioritere mellem enten sikkerhed, tryghed eller fremkommelighed.

Disse sammenhænge kan også opsummeres i følgende to paradokser:

- Jo mere man gør for at forbedre forholdene for cyklisterne i form af forskellige cykelfaciliteter, jo større ulykkesrisiko bliver der for den enkelte cyklist.
- Jo flere der cykler, jo sikrere bliver det at cykle, det såkaldte "Safety in Numbers" fænomen. Men for at få flere til at cykle, skal man typisk forbedre forholdene for cyklisterne ved brug af netop de populære cykelfaciliteter, som i sig selv forringer sikkerheden.

Et sidste paradoks som er blevet tydeligere i dette projekt, omhandler sikkerheden i rundkørsler:

- Rundkørsler er generelt et populært og godt sikkerhedstiltag, men udgør en sikkerhedsmæssig og generel udfordring for de cyklende.

Spørgsmålet er med andre ord, om man skal prioritere cykelfremme eller cykelsikkerhed, og om man skal prioritere generel trafikikkerhed eller cykelsikkerhed. Anbefalet krydsløsning vil blive noget forskellige afhængig af, hvad der prioriteres højest. Denne prioritering er derfor netop særdeles vigtig, og afhænger af lokale forhold og mål for projektet.

## Referencer

Arnold, L., Flannery, A., Ledbetter, L., Bills, T., Jones, M., Ragland, D., & Spautz, L. (2013). Identifying Factors that Determine Bicyclist and Pedestrian-Involved Collision Rates and Bicyclist and Pedestrian Demand at Mulgi-Lane Roundabouts. Safe Transportation Research & Education Center.

Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. (2009). Injury crashes with bicyclists at roundabouts: influence of some location characteristics and the design of cycle facilities. *Journal of Safety Research*.

Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. (2010). Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*.

Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. (2011). Extended prediction models for crashes at roundabouts. *Safety Science*.

Daniels, S., Nuyts, E., & Wets, G. (2008). The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study.

Dijkstra, A. (2005). Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers. SWOV.

Elvik, R. (2015). Trafiksikkerheshåndboken - 1.6 Rundkjøringer. TØI.

Harper, N., & Dunn, R. (2005). Accident prediction models at roundabouts. Melbourne, Australien: ITE Annual Meeting.

Hels, T., & Møller, M. (2007). Cyklistsikkerhed i rundkørsler. Danmarks Transportforskning.

Hydén, C., & Várhelyi, A. (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*.

Høye, A. (2017). Trafiksikkerhet for syklister. TØI.

Høye, A., Sørensen, M., & de Jong, T. (2015). Separate sykkelanlegg i by. TØI.

Jensen, M.; Sørensen, M. & Wandall, N. (2021). Sikkerhed for cyklister i byrundkørsler og -kryds med forskellig udformning – En før-efter ulykkesevaluering, Via Trafik.

Jensen, S., & Madsen, P. (2012). Rundkørsler, sikkerhed og cyklister. Trafitec.

Jensen, S. (2013a). Cyklisters sikkerhed i rundkørsler. Trafitec.

Jensen, S. (2013b). Evaluering af effekter af rundkørsler med forskellig udformning - del 2. Trafitec.

Jørgensen, E. (1981). Sikkerhedsmæssig effekt: Vejledning for vejbestyrelser. Vejdirektoratet, 1981.

Jørgensen, E., & Jørgensen, N. (2002). Trafiksikkerhed i rundkørsler i Danmark. Vejdirektoratet.

- Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., . . . Carter, D. (2007). Roundabouts in the United States. National Cooperative Highway Research Program.
- Schoon, C., & van Minnen, J. (1993). Ongevallen op rotondes II. SWOV
- Sørensen, M.; Jensen, M og Barowski-Morley, A. (2022). Sikkerhed for cyklister i rundkørsler og signalregulerede kryds med afkortede og fremførte cykelstier, Via Trafik.
- Sørensen, M.; Jensen, M.; Wandall, N.; Thomsen, S. & Pedersen, A. (2020). Udformning af rundkørsler i byer og sikkerhed for cyklister – Litteratur og effektstudie, Via Trafik.
- Turner, S., Roozenburg, A., & Smith, A. (2009). Roundabout crash prediction models. NZ Transport.
- Vejdirektoratet (2014). Håndbog, Trafiksikkerhed - Effekter af vejtekniske virkemidler, rapport nr. 507.
- Vejdirektoratet (2015). Håndbog trafiksikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse.
- Vejdirektoratet (2017a). Håndbog - Trafiksikkerhedsprincipper - Anlæg og planlægning, juni 2017.
- Vejdirektoratet (2017b). Grundlag for udformning af trafikarealer. Vejdirektoratet.
- Vejdirektoratet (2018). Håndbog, Vejkryds i byer, oktober 2018.
- Vejdirektoratet (2019). Rundkørsler i åbent land. Vejdirektoratet.
- Vejdirektoratet (2022). Vejtekniske løsninger for cyklister – Effekt på sikkerhed og oplevet tryghed.