

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Evaluering af fremførte og afkortede cykelstier

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

Morten L. Jensen, Civilingeniør, Via Trafik, mlj@viatrafik.dk

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

Sammenfatning

Baggrund, formål og organisering: Cykelinfrastruktur spiller en afgørende rolle i forhold til både at få flere til at cykle og få reduceret antallet af cykelulykker. Krydsene i byerne udgør en særlig udfordring, da det er her mange af de alvorlige cykelulykker sker, samtidig med at mange cyklister føler sig utrygge i krydsene.

I vejreglerne for byernes trafikarealer anbefales fremført cykelsti med højresvingsbane fremfor afkortet cykelsti i signalregulerede kryds. Erfaringer fra Københavns kommune tyder på, at afkortet cykelsti er sikrere end fremført cykelsti. En gennemgang af en række kryds har vist, at krydsben med afkortet cykelsti har markant færre cyklistulykker end kryds med fremført cykelsti.

Vejdirektoratet har på denne baggrund i december 2019 igangsat en evaluering af afkortede og fremførte cykelstier i signalregulerede kryds. Ønsket har været at få undersøgt, hvilken af de to løsninger for cyklister i signalregulerede kryds i byzone er den sikreste. Fremadrettet skal resultaterne fra evalueringen indarbejdes i vejreglerne, så de bliver til gavn for hele vejsektoren.

Vejdirektoratet har derfor bedt Via Trafik om at foretage evalueringen af den sikkerhedsmæssige effekt af hhv. 1) afkortet cykelsti, 2) fremført cykelsti med separat højresvingsbane i signalregulerede kryds og 3) fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane. Resultaterne er dokumenteret i rapporten "Trafiksikkerhed ved afkortede og fremførte cykelstier i signalregulerede kryds – en før-efter ulykkesevaluering" (Jensen og Sørensen, 2020) og sammenfattes i denne artikel. Rapporten vil blive offentliggjort på vejregelportalen i løbet af efteråret 2020.

Vejdirektoratet, afdelingen for trafiksikkerhed og cykling, har finansieret undersøgelsen. Projektleder ved Vejdirektoratet har været Winnie Hansen, og desuden har Anne Eriksson, Vejdirektoratet, deltaget i projektet. Projektleder ved Via Trafik har været Michael W. J. Sørensen, som har lavet undersøgelserne og skrevet rapporten sammen med Morten L. Jensen. Vi retter en stor tak til de mange kommuner, som har bidraget med stor hjælp til at finde relevante analysekryds og vurdering af trafikken i disse kryds.

Metode: Undersøgelsen er lavet som en før-efter ulykkesevaluering med korrektion for både generel ulykkesudvikling via brug af kontrolgruppe og ændringer i trafik og eventuel regressionseffekt. Der indgår i alt 159 ombyggede krydsben fordelt på 113 signalregulerede kryds fra 31 kommuner. Evalueringen er lavet på baggrund af relevante politiregistrerede højresvings-, venstresvings- samt trængnings-/fletteulykker med påkørsel bagfra eller fra siden (hovedsituationerne 3, 4 og 1) med cykler og knallerter. Undersøgelsen omfatter ombygninger gennemført i løbet af perioden ca. 2003-2016, og ulykkesdata for årene 2000-2019.

Hovedresultater: Evalueringen viser med al tydelighed, at afkortet cykelsti er den sikreste løsning i forhold til at reducere antallet af cykel- og knallertulykker. Det er fundet, at ombygning fra fremført cykelsti med separat højresvingsbane til afkortet cykelsti giver et fald på ca. 60 % i cykel- og knallertulykker. Ombygning fra en fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til afkortet cykelsti medfører et tilsvarende

fald. Derudover er det fundet, at ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til en fremført cykelsti med separat højresvingsbane givet en 50 % ulykkesreduktion.

Afkortet cykelsti har rigtig god effekt i forhold til at reducere antallet af højresvingsulykker med højresvingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister/knallerter. Effekten vurderes at ligge mellem 70-90 % reduktion i antallet af højresvingsulykker ved at ombygge fra en fremført til en afkortet cykelsti.

Evalueringen giver ikke noget entydigt svar på, om afkortet cykelsti er bedre end fremført cykelsti set i forhold til at reducere antallet af venstresvingsulykker med venstresvingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister/knallerter i signalregulerede kryds.

Evalueringen indikerer, at der registreres flere trængningsulykker med motorkøretøjer og cyklister/knallerter ved afkortet cykelsti end ved fremført cykelsti. Evalueringen viser dog også, at der generelt sker meget få trængningsulykker, så dette ændrer ikke ved, at afkortet cykelsti samlet set er den mest sikre krydsløsning for cyklister af de tre løsninger, som er evalueret.

Indledning

Vejdirektoratet har bedt Via Trafik om at foretage en evaluering af den sikkerhedsmæssige effekt af hhv. 1) afkortet cykelsti, 2) fremført cykelsti med separat højresvingsbane i signalregulerede kryds og 3) fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane.

Fremført cykelsti med separat højresvingsbane for bilerne anbefales nu generelt frem for afkortet cykelsti, da fremført cykelsti giver bedre oplevet tryghed og fremkommelighed samt mulighed for separat regulering af de cyklende, uden at der er nævneværdige forskelle på sikkerhedsniveauet i forhold til afkortet cykelsti. Afkortet cykelsti anbefales dog, hvis de cyklende har høj fart, eller der ikke er plads til at lave en fremført cykelsti med separat højresvingsbane. Nogle nye studier (og også nogle gamle studier) finder dog, at afkortet cykelsti er markant sikrere end fremført cykelsti, og hvis det er tilfældet, bør anbefalingen om fremført cykelsti frem for afkortet cykelsti måske revurderes. Samtidig kan det tænkes, at de cyklende i fremtiden generelt kommer til at cykle hurtigere i takt med, at der bliver flere og flere elcykler og speed pedelecs, og afkortet cykelsti vil derfor blive mere aktuel i flere kryds.

Formål og afgrænsning

Formålet med denne undersøgelse har konkret været at undersøge, hvilke(n) af tre krydsløsninger for cyklister i signalregulerede kryds i byzone, der er de(n) sikreste, herunder at kvantificere effektstørrelsen på udvalgte cykelulykker ved at ombygge et krydsben fra en løsning til en anden, se figur 1:

- **Afkortet cykelsti**, der afbrydes før krydset og fortsætter i en højresvingsbane, hvor de cyklende fletter sammen med biltrafikken.
- **Fremført cykelsti**, hvor cykelstien er ført helt frem til krydset, med separat højresvingsbane og tilbagetrukket stoplinje for biler.
- **Fremført cykelsti**, hvor cykelstien er ført helt frem til krydset, med kombineret ligeud- og højresvingsbane og tilbagetrukket stoplinje for biler.

Undersøgelsen behandler ikke krydsløsningens betydning for fremkommelighed og tryghedsfølelse. Formålet har været at undersøge "rene" løsninger, og vi har derfor så vidt muligt forsøgt at finde kryds, som svarer til ovenstående beskrivelse. Gennemgangen har dog vist, at krydsene sjældent er helt "rene", og det har derfor været nødvendigt at gå lidt på kompromis for at få tilstrækkelig med analysekryds.

Analyserne foretages for krydsben (tilfarter) frem for det samlede kryds, idet krydsbenene ofte har forskellige udformninger og er ombygget på forskellige tidspunkter. I denne undersøgelse indgår kun signalregulerede kryds. De fleste kryds i analysen er signalregulerede F-kryds, men idet analyseenheden er analyseben, er der også inkluderet relevante analyseben i signalregulerede T-kryds. Rundkørsler indgår ikke i undersøgelsen.

Undersøgelsen omfatter ombygninger gennemført i perioden 2003-2016 og ulykkesdata for årene 2000-2019. Ulykkesperioderne, der er sammenlignet før-efter ombygning er af 3-5 års varighed.

Der er ikke foretaget besigtigelse af analysekrydsene eller indhentet tegninger af krydsene. Udformningen er derimod indhentet fra eksisterende og historisk billedmateriale tilgængelig via satellitbilleder og vej billeder.

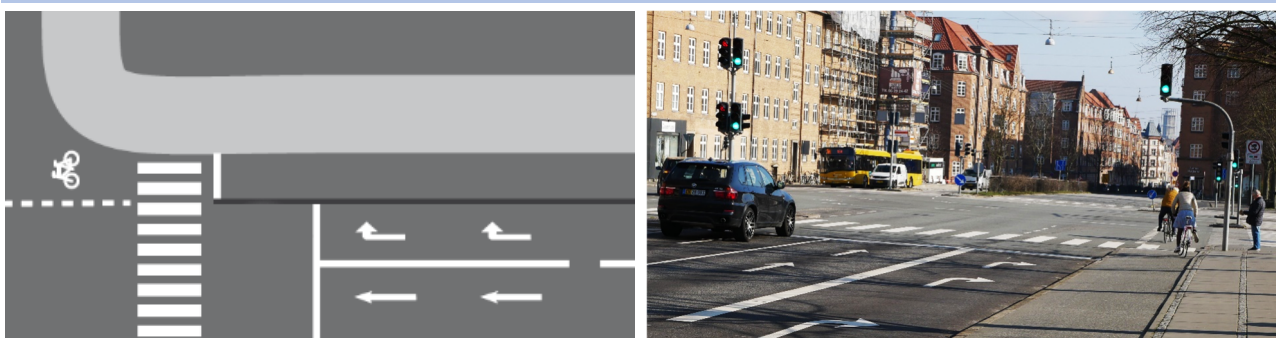
Sikkerhedsvurderingen baseres udelukkende på data om politiregistrerede person- og materielskadeulykker, som er hentet via Vejman.dk. Ekstrauheld indgår ikke. Det er sikkerheden for de cyklende, som er hovedfokus, og det er derfor udelukkende cykel- og knallertulykker, der er inkluderet i undersøgelsen.

Der er ikke foretaget egne trafiktællinger. Trafiktal for bil- og cykeltrafikken, herunder svingbevægelser, er om muligt baseret på eksisterende krydstællinger, tilgængelige i bl.a. trafikdatasystemet MASTRA. Alternativt er benyttet snittællinger og fagvurderinger fra den aktuelle kommune.

Afkortet cykelsti: En cykelsti, der er afkortet før krydset, så cykler og knallerter uanset manøvren henne i krydset skal fortsætte ind i højresvingbanen og flette med den højresvingende biltrafik.



Fremført cykelsti med separat højresvingbane: En traditionel cykelsti, som er ført helt frem til krydset, på højre side af en separat højresvingbane for biltrafikken. Fremført cykelsti kombineres desuden ofte med en tilbagetrukket stoplinje for biltrafikken.



Fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingbane: En traditionel cykelsti, som er ført helt frem til krydset, på højre side af en kombineret ligeud- og højresvingbane for biltrafikken. Fremført cykelsti kombineres desuden ofte med en tilbagetrukket stoplinje for biltrafikken.



Figur 1. Principskitse og billede af de tre løsninger, som er evalueret. Skitse: Vejdirektoratet. Foto: Via Trafik.

Metode

Undersøgelsen er lavet som en før-efter ulykkesevaluering med korrektion for både generel ulykkesudvikling via brug af kontrolgruppe og ændringer i trafik og eventuel regressionseffekt. Der er således tale om et metodestærkt studie, som i modsætning til mange tidligere studier har korrigeret for evt. ændringer af både bil- og cykeltrafik i de relevante retninger og svingbevægelser.

Krydsløsninger der indgår i evalueringen

Evaluering har omfattet en række ombygninger til eller fra afkortet cykelsti eller fremført cykelsti. Krydsløsningerne for cyklister, der er ombygget fra før- til efterperioden, er inddelt i fire grupper:

- Ombygget til eller fra afkortet cykelsti.
- Ombygget til eller fra fremført cykelsti med separat højresvingsbane.
- Ombygget til eller fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane.
- Ombygget fra ingen forhold for cyklister til anden udformning.

Dette har givet en række forskellige kombinationer, som efterfølgende er evalueret. Evalueringen har omfattet kryds-/signalben i stedet for det samlede kryds. Dvs. at der ved analysen af et 4-benet kryds kan indgå 1, 2, 3 eller alle 4 signalben, alt efter hvor mange af benene, der er blevet ombygget.

Foruden cykelstiløsningen i krydset er det registreret, om der er foretaget andre ændringer i krydset efter ombygning, der kan have haft betydning for cyklisternes sikkerhed:

- Hastighedsgrænse (primær- og sekundærvejen)
- Antal gennemgående spor (én retning)
- Blåt cykelfelt, cykelboks og/eller tilbagetrukket stoplinje
- Rabat mellem kørebane og cykelsti
- X16 cykelsignal (evt. med før-grønt og/eller før-rødt for cyklister)
- Cykelstikanalisering (evt. med tilladt cykelhøjresving for rødt)
- Separatreguleret venstresving
- Højre- eller venstresvingsforbud (ved venstresving fra modsatte side)
- Ligeudkørende busser placeret i højresvingsspor sammen med biltrafik
- Højresvingsforbud for (store) lastbiler.

For at finde analysekrydsben, hvor der er sket relevante ombygninger er følgende gjort:

- **E-mail til kommuner:** Der er sendt e-mail til kontaktpersoner i 33 kommuner med opfordring om hjælp til udpegning af potentielle analysekryds. Dette omfatter kommunerne med de største danske byer samt omegnskommunerne ved København, da det formodes, at de fleste aktuelle analysekryds findes i disse kommuner. Der er sendt opfølgende e-mail to gange. I tillæg til vores opfordring har Supercykelsekretariatet opfordret 19 samarbejdskommuner til at hjælpe med at finde analysekryds. 28 ud af 33 kommuner har svaret, og kommet med forslag til analysekryds.
- **Nyhed/opfordring på vejnettet.dk og sociale medier:** Der er skrevet og publiceret en nyhed og opfordring på vejnettet.dk om at sende navne på potentielle analysekryds. Vejnettet er et digitalt forum for deling og formidling af viden i vejsektoren for Vejdirektoratet, kommuner og politi. Nyheden og opfordringen er blevet delt på LinkedIn, og flere har kommenteret og liket opslaget.
- **Lokalkendskab og screening:** Med udgangspunkt i eget lokalkendskab til vejnettet i flere byer, som følge af tidligere projekter i byerne, eller at vi har boet i byerne, har vi selv screenet udvalgte bystrækninger for potentielle analysekryds.

For alle krydsene er det foretaget en grundig vurdering af, hvorvidt de er velegnede som analysekryds. Her er det for hvert analyseben undersøgt, hvornår krydsbenet er ombygget samt foretaget en gennemgang af den overordnede og detailudformning før og efter ombygningen. Denne gennemgang er foretaget via nuværende og historiske luftfotos og streetview tilgængelig via Google Maps, ortofoto fra Danmarks miljøportal samt Vejman.dk.

For alle de relevante krydsben er ombygningstidspunkt og alle de fundne data om krydsudformning og regulering noteret i et omfattende regneark. Relevante ulykkestal og trafiktal for bil- og cykeltrafikken før og efter ombygningen er også tilføjet og samlet i dette regneark.

Undersøgelsen inkluderer i alt 159 ombyggede krydsben fordelt på 113 signalregulerede kryds.








Ulykker der indgår i evalueringen

Evalueringen er baseret på ulykkesdata fra politiregistrerede person- og materielskadeulykker med cyklister og knallerter, der er sket 2-5 år før og efter ombygning på de evaluerede kryds-/ signalben. Ekstrauheld indgår ikke i evalueringen. Ulykkesdataene i evalueringen er for perioden 2000-2019.

Ved ulige lange før- og efterperioder er der foretaget en nedskalering af den længste periode. Dvs. at hvis der før ombygning er sket 3 ulykker på en lokalitet i løbet af 5 år, men efterperioden kun har en varighed af 4 år, er ulykkerne før ombygning korrigeret ned fra 3 til 2,4 (multipliceret med 0,8).

Oplysningerne om de politiregistrerede ulykker, der indgår i analysen, er hentet via Vejdirektoratets Vejman.dk-database, som indeholder alle politiregistrerede ulykker fra hele landet. Den officielle statistik for cykelulykker har erfaringsmæssigt et stort mørketal, da en del ulykker ikke kommer til politiets kendskab. Som supplement kan data fra akutmodtag benyttes. Disse data er dog ikke tilgængelige for alle byer eller dele af landet, og det har heller ikke været muligt inden for projektets rammer at inddrage ulykkesdata fra akutmodtag i nærværende undersøgelse. Der er heller ikke foretaget indhentning af selvrapporterede ulykker eller foretaget konfliktstudier i analysekrydsene.

Det er sikkerheden for de cyklende, som er hovedfokus, og det er derfor udelukkende cykel- og knallertulykker, der er inkluderet. Det er valgt kun at medtage ulykker, der kan kategoriseres som "relevante". Dette skal forstås ved, at der kun er medtaget cykel- og knallertulykker inden for bestemte hovedsituationer, som tiltaget er rettet imod og kan tænkes at påvirke, se tabel 1. Dette omfatter trængnings-/fletteulykker med påkørsel bagfra eller fra siden, højresvingsulykker og venstresvingsulykker med cyklister og knallertkørere.

Ulykkesituation	Forklaring	Ulykkesdiagram
140. Påkørsel bagfra mellem ligeudkørende ved kørsel i samme retning	Denne situation ses typisk ved afkortet cykelsti, hvor der f.eks. kan ske kollision mellem en ligeudkørende cykel og en højresvingende bil i højresvingsbanen.	
151. Vognbaneskift eller indfletning til venstre ved kørsel i samme retning	Denne situation ses typisk ved afkortet cykelsti, hvor der f.eks. kan ske kollision mellem en ligeudkørende cykel og en højresvingende bil i højresvingsbanen.	
152. Vognbaneskift eller udfletning til højre ved kørsel i samme retning	Denne situation ses ved afkortet cykelsti, hvor en højresvingende bil kører ind i højresvingsbanen samtidig med en ligeudkørende cyklist.	
160. Trængning mellem ligeudkørende ved kørsel i samme retning	Denne situation ses ved afkortet cykelsti, hvor en højresvingende bil kører ind i højresvingsbanen samtidig med en ligeudkørende cyklist.	
311. Påkørsel bagfra af køretøj placeret for højresving	Denne situation ses registreret både ved afkortet og fremført cykelsti, hvor en ligeudkørende cyklist påkører en bil, der er ved at foretage højresving.	
312. Højresving ind foran medkørende	Denne situation ses typisk ved fremført cykelsti, hvor en højresvingende bil overser og svinger ind foran en medkørende cyklist, der kører ligeud i krydset.	
410. Ulykke ved venstresving ind foran modkørende	Denne situation ses både ved afkortet og fremført cykelsti, hvor en venstresvingende bil fra modsatte retning overser og påkører en ligeudkørende cyklist i krydset.	

Tabel 1. Ulykker med cyklister og knallerter, der typisk sker ved afkortet og fremført cykelsti, og som indgår i evalueringen.

Der er foretaget en manuel udpegning af ulykkerne på kort, for derved at kunne vurdere, om hver enkelt ulykke kan påvises at være relateret til cykeltilstanden i krydset eller i tilfarten op til krydset. Dette har været særligt vigtigt ift. at undgå at medtage ikke-relevante strækningsulykker i opgørelserne.

Der er ikke inkluderet ulykker med primære konflikter, som f.eks. tværkollisioner, der reguleres ved signal, og som detailudformningen af cykelstiløsningsen ikke formodes at påvirke. Samtidig formodes detailudformningen kun i meget begrænset omfang at påvirke ulykker med krydsende fodgængere, hvorfor disse heller ikke indgår i evalueringen.

I de 159 krydsben er der registreret 112 ulykker fordelt på 43 personskade- og 69 materielskadeulykker i førperioden. I efterperioden er registreret 78 ulykker fordelt på 26 personskade- og 52 materielskadeulykker.

Sikkerhedseffekt og korrektion

Til før-efter ulykkesevalueringen er der korrigeret for evt. forstyrrende faktorer, der kan påvirke sikkerhedsberegningerne. Dette er gjort ved at benytte kontrolgrupper samt korrektionsfaktorer for:

- C_{trafik} Trafikudvikling (eksponering)
- $C_{ulykker}$ Ulykkesudvikling (generel udvikling i cykelulykker)
- C_{regres} Regressionseffekt (tilfældig ophobning af ulykker)

Korrektionen for trafik- og ulykkesudvikling samt evt. regressionseffekt er gjort ved at gange antallet af relevante cykelulykker i førperioden med korrektionsfaktorerne, hvormed der fås et forventet antal cykelulykker i efterperioden:

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

Det enkelte tiltags sikkerhedseffekt er efterfølgende opgjort ved:

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

Sikkerhedseffekterne angives som procentvis ændring. En effekt på -10 % betyder, at ombygningen har medført et fald i antallet af ulykker på 10 %, mens en effekt på +10 % betyder en stigning på 10 %.

Trafikudvikling og eksponering

Trafikfaktoren, C_{trafik} , beskriver den del af ændringen i ulykkesforekomsten før og efter ombygning, der kan henføres til ændringer i trafikmængden på den lokalitet, hvor tiltaget er implementeret. Som udgangspunkt forekommer der varierende trafikmængder mellem de forskellige lokaliteter, men også før og efter ombygning. Begge disse forhold har betydning for effektberegningerne, og derfor er der korrigeret for ændringer i eksponeringen før og efter ombygning på hver lokalitet.

Der er ikke foretaget egne trafiktællinger. Trafiktal for bil- og cykeltrafikken, herunder svingbevægelser, er således om muligt baseret på eksisterende krydstællinger, tilgængelige i trafikdatasystemet MASTRA, eller alternativt snittællinger og fagvurderinger fra kommunen. Det er kun de mest aktuelle trafikstrømme, der er inkluderet i korrektionen for trafikmængde, dvs. ligeudkørende cyklister, højresvingende biltrafik samt venstresvingende biltrafik fra modsatte retning – alle opgjort pr. døgn (årsdøgntrafik).

I dette projekt er det med inspiration fra Linderholm (1992) valgt at omskrive trafikfaktoren, så den er tilpasset de specifikke trafikantgrupper og svingbevægelser, som indgår i evalueringen. Til analysen er der således korrigeret for varierende trafikmængder ved at beregne trafikanternes eksponering ud fra antallet af ligeudkørende cyklister (og knallerter) pr. døgn og svingende biler pr. døgn udtrykt ved følgende formel:

$$Eksponering = \sqrt{(Q_{Højre} + Q_{Venstre (modsat)}) * q_{Cykler}}$$

hvor Q er antal svingende biler, mens q er antal ligeudkørende cyklister. Med formelen tages der højde for både trafikudvikling og -fordeling; jo flere trafikanter, desto større risiko for at de mødes i krydset.

Ulykkesudvikling

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 bedre køreuddannelse, sikrere køretøjer, kampagnevirksomhed, fald i antallet af spiritusulykker, ændring i cykelhjembrug, Flere elcykler osv.

Som kontrolgrupper er den generelle udvikling i politiregistrerede cykel- og knallertulykker i byzone i en 5-årig periode før og efter ombygning benyttet. Der er benyttet person- og materielskadeulykker for perioden 2000-2019 fra de kommuner, der har meldt ind med relevante analysekryds. Kommunerne er efterfølgende blevet inddelt i fire undergrupper, som er: 1) Frederiksberg og Københavns Kommune, 2) Hovedstadens omegnskommuner, 3) Aarhus, Odense og Aalborg og 4) Øvrige provinsbyer. 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 cykel- og knallertulykker fra 2005-2009 til 2011-2015 i Aarhus, Odense og Aalborg.

Regressionseffekt

For de lokaliteter, hvor der er registreret tre eller flere relevante cykelulykker før ombygning, er der foretaget en manuel vurdering af, om ombygningen er sket på baggrund af mange cykelulykker eller af andre årsager. På de lokaliteter, der er vurderet til at være blevet ombygget pga. mange registrerede cykelulykker, og hvor regressionseffekt derfor kan være aktuel, er der korrigeret herfor ved brug af gennemsnitsmetodik-metoden (Vejdirektoratet, 2015a).

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 159 lokaliteter, der indgår i evalueringen, er der 70 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 langt de fleste lokaliteter kun sket ganske få relevante cykel- og knallertulykker. 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 evaluering 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 sted-specifikke 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 middeleffektestimater. Signifikanstesten er en χ^2 -test (chi²-test), der estimerer 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 effektestimater udregnes på baggrund af det samlede antal ulykker og ikke som en vægtet summering af de stedspecifikke effekter. Som supplement er derfor anvendt en log-odds-metaanalyse (Elvik, 2001), der gør netop dette.

Log-odds-metoden er benyttet til at kvalificere de fundne sikkerhedseffekter. Log-odds-metaanalysen er velegnet til sammenligningsstudier, men er imidlertid ikke særlig anvendelig til effektstudier, hvor effektestimaterne baseres på relativt få ulykker. Det skyldes, at log-odds-metaanalysen udregner et meget konservativt (forsigtigt) samlet effektestimater ved en vægtet summering af estimaterne (stedspecifikke effekter). Derfor er metoden udelukkende anvendt i vurderingen af de overordnede sikkerhedseffekter.

Til fortolkning af signifikanstesten er der anvendt signifikansniveauer på 5 % og 10 %, udtrykt ved den såkaldte p-værdi. For at et tiltag kan antages at have en signifikant sikkerhedseffekt, er der anvendt et signifikansniveau på 5 % ($p \leq 0,05$). Et signifikansniveau mindre end 5 % er udtryk for, at effektestimateret er sikkert (signifikant). Et signifikansniveau på mellem 5 og 10 % er udtryk for, at effektestimateret er en 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 på tværs af lokaliteterne, er der ligeledes anvendt et 5 % signifikansniveau. Hvis p-værdien ligger indenfor 95 % (dvs. $p > 0,05$) kan effekthomogenitet ikke afvises.

Nuværende anbefalinger og tidligere undersøgelser

Spørgsmålet om hvad der er bedst; fremført eller afkortet cykelsti er ikke et nyt spørgsmål, og spørgsmålet er således blevet stillet mange gange før i Danmark i de seneste 30-40 år. I forbindelse med et øget fokus på cykling og hvordan man kan fremme cykling, har spørgsmålet nærmest fået en renæssance i de seneste år.

Spørgsmålet har haft særlig stor bevågenhed i Danmark. I f.eks. den norske Trafiksikkerhedshåndbog (Høje m.fl., 2020) og i TØI-rapporten "Trafiksikkerhet for syklistar" (Høye, 2017), der sammenfatter trafiksikkerhedseffekterne af forskellige tiltag vha. metaanalyse af evalueringsstudier fra hele verden, henvises der udelukkende til danske studier i forhold til effekterne af afkortet cykelsti, og effekterne af fremført cykelsti er end ikke beskrevet.

En netop gennemført litteraturstudie om trafik sikre og trygge vejtekniske løsninger for cyklister (Sørensen, Jensen og Wandall, 2020) bekræfter også, at der er gennemført mange danske studier og tilnærmelsesvis ingen udenlandske studier af afkortet og fremført cykelsti.

Danske anbefalinger

Fremført og afkortet cykelsti er blevet beskrevet og anbefalet i en række publikationer, hvoraf de vigtigste er: "Vejkryds i byer" (Vejdirektoratet, 2018), Håndbog om Trafiksikkerhedsprincipper (Vejdirektoratet, 2017) samt pjecerne "Tryghed og sikkerhed i trafikken" (Vejdirektoratet, 2016), "Undgå højresvingsulykker" (Vejdirektoratet, 2015b) og "Trafiksikkerhed" (Vejdirektoratet, 2014).

Disse vejregler og pjecer beskriver at følgende løsninger kan overvejes i signalregulerede kryds, hvor de forskellige tiltag er nævnt i prioriteret rækkefølge i forhold til de cyklende:

1. Fremført cykelsti/-bane kombineret med separat højresvingsbane
2. Afkortet cykelsti/-bane kombineret med separat højresvingsbane
3. Fremført cykelsti/-bane med kombineret ligeud-/højresvingsbane.

Fremført cykelsti anbefales kombineret med en separat højresvingsbane, når cykelstien er ført frem til signalet. Fordelene ved løsningen er et højt sikkerhedsniveau for cyklister, god fremkommelighed, god komfort/tryghed og mulighed for at opsætte et separat cyklistsignal. Fremført cykelsti kombineret med en ligeud- og højresvingsbane for biler vil derimod normalt være en trafiksikkerhedsmæssig dårlig løsning og bør således kun bruges som et nødvendigt kompromis ved etableringer af cykelstier i eksisterende byområder.

Vejreglerne anbefaler, at der etableres afkortet cykelsti i signalregulerede kryds, hvis det ikke er muligt, f.eks. på grund af pladmangel, at etablere fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane for biler. Løsningen kan ikke bruges, hvis cykeltrafikken skal reguleres selvstændigt og bør ikke bruges, hvis der er store cykeltrafikmængder. Derimod bør løsningen bruges, hvis de cyklende kører med høj fart. Det kan f.eks. være, hvis de kører ned ad en bakke, eller at der er mange knallerter, elcykler eller speed pedelecs. Fordelene ved løsningen er et højt sikkerhedsniveau for cyklister, og at konflikten mellem ligeudkørende cyklister og højresvingende biler flyttes væk fra krydset. Ulempen er derimod dårligere fremkommelighed og oplevet tryghed end fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane for biler.

Danske studier

Afgangsprojekt fra Aalborg Universitet fra 1999: Pfeifer (1999) har foretaget en med/uden-undersøgelse af 141 cykelulykker med personskaade i 102 krydsben for at vurdere forskel i sikkerhed mellem afkortede og fremførte cykelstier i signalregulerede kryds. Konklusionen er, at afkortede cykelstier medfører signifikant færre ulykker (59 %) end fremførte cykelstier, herunder også væsentlig færre 312-ulykker (højresvingsulykker) og 410-ulykker (venstresvingsulykker). Krydsene er sammenlignelige mht. udformning og trafikmængde.

Udredning for Københavns Kommune i 2000: Vejdirektoratet (2000) har lavet en gennemgang af fordele og ulemper ved fremførte og afkortede cykelstier og nogle anbefalinger om, hvordan de skal laves. Hvis der er fremført cykelsti, er det sikkerhedsmæssigt nødvendigt, at der også er cykelfaciliteter gennem krydset f.eks. cykelfelt, mens dette ikke er nødvendigt ved afkortet cykelsti. Fremført cykelsti med cykelfelt gennem krydset og afkortet cykelsti uden afmærkning i krydset er lige sikre for cyklister, hvorimod knallertkørere har en fordel i afkortet cykelsti. Der er generelt en sikkerhedsmæssig gevinst ved, at cyklister og bilister har kontakt til hinanden inden krydset. Dette taler for afkortet cykelsti. Cyklister har en tryghedsmæssig og fremkommelighedsmæssig fordel ved fremført cykelsti.

Undersøgelse af sikkerhed og tryghed på cykelstier i København fra 2006: Jensen (2006a, 2006b) og Jensen, Rosenkilde og Jensen (2007) har foretaget en omfattende undersøgelse af sikkerhed og tryghed ved forskellige løsninger for de cyklende i København. Sikkerhed er undersøgt som en før-efter analyse af at etablere cykelsti på steder uden cykelsti med forskelligt design i krydsene. Hovedkonklusionen er, at fremførte cykelstier og afkortede cykelstier med svingbane(r) for biltrafikken er sikkerhedsmæssigt lige gode samlet set, dog med den forskel, at fremførte cykelstier fungerer bedst for fodgængere og cyklister, mens afkortede cykelstier fungerer bedst for bilister. En sammenligning viser, at tilfarer med fremført cykelsti uden svingbaner er det design, som sikkerhedsmæssigt fungerer dårligst. Undersøgelsen finder, lidt overraskende, at der ikke er nævneværdig forskel på oplevet tryghed og tilfredshed med hhv. fremført og afkortet cykelsti.

Konfliktstudie fra Aalborg Universitet fra 2014: Madsen & Lahrman (2014, 2017) har foretaget konfliktstudier i fem udvalgte krydsben med forskellige løsninger for de cyklende med henblik på at vurdere de forskellige løsnings sikkerhed. Antallet af konflikter er for få til at give statistisk signifikant forskelle, men rangeres de fem løsninger alligevel, ser det ud til, at cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsbane (Viborg-løsningen) er den mest sikre. For de mere "traditionelle" løsninger ser det ud til, at de mest sikre løsninger er fremført cykelsti efterfulgt af afkortet cykelsti, begge med separat højresvingsbane. Løsninger med fælles ligeud- og højresvingsbane er de mindst sikre.

Pjece fra Vejdirektoratet fra 2014: Vejdirektoratet (2014) anslår med udgangspunkt i en række danske undersøgelser fra slutningen af 1990'erne og nogle norske litteraturstudier fra 2010-2012, at etablering af afkortet cykelfelt reducerer antallet af ulykker og personskader for cyklister med 15 % i forhold til fremførte cykelstier. Det er uklart, om effekten gælder i forhold til fremførte cykelstier med separat højresvingsbane og/eller kombineret ligeud- og højresvingsbane for biler.

Vurdering af fremtidens krydsdesign i København i 2016: Djupdræt & Wass-Danielsen (2017) har opsamlet viden og gennemført nye undersøgelser af trafiksikkerhed og oplevet tryghed ved fremførte og afkortede cykelstier i signalregulerede kryds. Gennemgangen af tidligere ulykkesstudier indikerer, at der sker flere højresvingsulykker i krydsben med fremført cykelsti/-bane i signalanlæg ift. ved afkortet cykelsti, men tallene er ikke sammenholdt med trafikdata. Med hensyn til oplevet tryghed henvises der til en borgerpanelundersøgelse blandt 842 personer. Her blev fremført cykelsti vurderet som markant trygtere end afkortet cykelsti.

Før-efter undersøgelse af højresvingsulykker med cyklister i København i 2019: Berg (2019) har foretaget en simpel før-efter analyse af højresvingsulykker mellem cykler og biler i syv kryds, der er omlagt fra afkortet til fremført cykelsti, og i to kryds, der er omlagt fra fremført til afkortet cykelsti. Denne viser, at der ved afkortet cykelsti er registreret nul ulykker i løbet af 60 år (ni lokaliteter med en gennemsnitlig uheldsperiode på 6,7 år), mens der med fremført cykelsti er registreret 15 ulykker i løbet af 35 år (ni lokaliteter med en gennemsnitlig uheldsperiode på 3,9 år). Det påpeges, at undersøgelsen kun har inkluderet højresvingsulykker og ikke har korrigeret for ændringer i trafik, generel ulykkesudvikling eller evt. regressionseffekt.

Idékatalog for cykeltrafik fra 2019: Andersen (2019) sammenfatter med udgangspunkt i tidligere studier og anbefalinger effekterne af fremført og afkortet cykelsti, herunder hvornår disse med fordel kan bruges. Fremført cykelsti beskrives i udgangspunktet som en sikrere løsning end afkortet cykelsti, hvis cyklister hastighed ikke er høj, og der ikke er svingbane(r) for biltrafikken. Tilbagetrukket stoplinje og afmærket (blåt) cykelfelt gennem krydset forbedrer sikkerheden yderligere. Fremført cykelsti har den fordel, at den imødekommer cyklisterens ønske om at få deres eget areal, hvilket giver dem generelt større tryghed. Afkortet cykelsti bør af sikkerhedsmæssige årsager bruges i kryds med cyklister i høj fart eller mange knallerter. Afkortet cykelsti kan også bruges for at kunne anlægge en højresvingsbane i kryds med dårlig plads. Afkortet cykelsti er generelt en utryk løsning og bør ikke bruges, hvor der er mange skolebørn.

Opsummering af resultater fra tidligere undersøgelser

Fremført cykelsti med separat højresvingsbane anbefales generelt frem for afkortet cykelsti, da fremført cykelsti giver bedre oplevet tryghed og fremkommelighed samt mulighed for separatregulering af de cyklende, uden at der er nævneværdige forskelle på sikkerhedsniveauet. Afkortet cykelsti anbefales dog, hvis de cyklende har høj fart, eller hvis der ikke er plads til at lave en fremført cykelsti med separat højresvingsbane.

Nogle nye studier (og også nogle ældre studier) finder dog, at afkortet cykelsti er markant sikrere end fremført cykelsti, og hvis det er tilfældet, bør anbefalingen om fremført cykelsti frem for afkortet cykelsti måske revurderes. Samtidig kan det tænkes, at de cyklende måske allerede i dag og særligt i fremtiden generelt cykler hurtigere og kommer til at cykle hurtigere, i takt med at der bliver flere og flere elcykler og speed pedelecs, og afkortet cykelsti vil derfor fremover kunne blive mere aktuell i flere kryds.

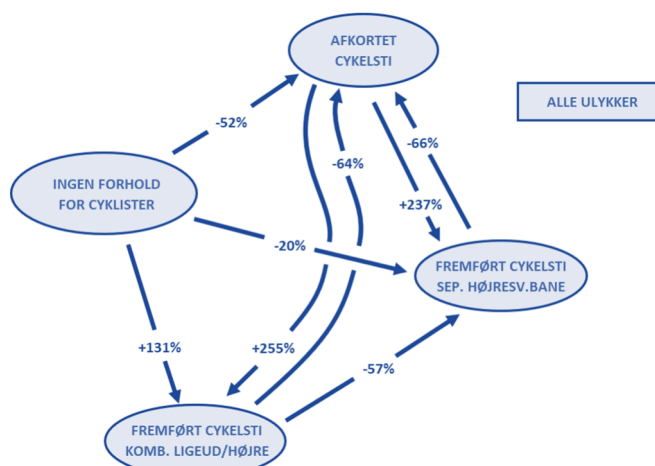
Resultater af før-efter-analysen

Overordnet sikkerhedseffekt

Figur 2 og tabel 2 sammenfatter og illustrerer sikkerhedseffekterne ved forskellige ombygninger af cykelfaciliteter i signalregulerede kryds.

Ingen forhold for cyklister: Hvilken løsning skal man vælge?

Hvis en vejbestyrelse f.eks. har ønske om at etablere en cykelsti på en strækning frem mod et signalreguleret kryds, er det vigtigt at vælge den bedste krydsløsning for cyklister fra start. Effektberegningerne viser, at sikkerhedseffekten ved at gå fra ingen cykelfaciliteter til enten at etablere afkortet eller fremført cykelsti med separat højresvingsbane har reduceret antallet af cykel- og knallertulykker. Sådanne ombygninger har medført et fald i antallet af cykel- og knallertulykker på hhv. 52 % og 20 %. Effekterne er homogene på tværs af lokaliteterne, men kan ikke påvises at være signifikante. Ingen af disse løsninger har således med sikkerhed forbedret trafikikkerheden for de cyklende, men ses udelukkende på sikkerhedseffekterne har afkortet cykelsti givet den største forbedring.



Figur 2. Samlet sikkerhedseffekt på alle højresvings-, venstresvings- og trængningsulykker med cyklister og knallertkørere ved i alt 159 ombygninger af cykelfaciliteter i signalregulerede kryds.

Hvor der på steder uden cykelfaciliteter i stedet er etableret en fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane, er der omvendt sket en stigning i antallet af cykelulykker på 131 %. Effekten er homogen, og effekten er forholdsvis sikker (tendens). Her vil der med andre ord ske en trafikikkerhedsmæssige forringelse for de cyklende, og løsningen bør derfor i udgangspunktet ikke vælges.

Stifacilitet før	Stifacilitet efter	Lokaliteter	Før	Forventet	Efter	Effekt	Homogen?	Signifikant?
Ingen	Fr. komb. l/h	25	7,6	7,3	17,0	+131%	Ja	Tendens
Afkortet	Fr. komb. l/h	11	2,6	2,3	8,0	+255%	Ja	Tendens
Ingen	Fr. sep. h.sv.	6	2,8	2,5	2,0	-20%	Ja	Nej
Fr. komb. l/h	Fr. sep. h.sv.	32	28,8	25,7	11,0	-57%	Nej	Ja
Afkortet	Fr. sep. h.sv.	30	8,0	7,4	25,0	+237%	Ja	Ja
Ingen	Afkortet	17	4,8	4,2	2,0	-52%	Ja	Nej
Fr. komb. l/h	Afkortet	30	34,6	30,5	11,0	-64%	Ja	Ja
Fr. sep. h.sv.	Afkortet	8	8,8	5,9	2,0	-66%	Ja	Nej

Tabel 2. Samlet sikkerhedseffekt på alle højresvings-, venstresvings- og trængningsulykker med cyklister og knallertkørere ved i alt 159 ombygninger af cykelfaciliteter i signalregulerede kryds.

Effekt ved at etablere separat højresvingsbane eller afkorte cykelstien

På lokaliteter med fremført cykelsti på siden af en kombineret ligeud- og højresvingsbane ses der god sikkerhedseffekt ved at etablere en separat højresvingsbane for biler – enten i form af en fremført cykelsti med separat højresvingsbane eller ved at afkorte cykelstien og lade denne fortsætte i en højresvingsbane.

Ombygning til fremført cykelsti med separat højresvingsbane har medført et stort fald i antallet af cykelulykker på 57 %. Effekten er statistisk signifikant, men ikke homogen på tværs af lokaliteterne.

Sikkerhedseffekten ved at ombygge fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til en afkortet cykelsti er homogen og kan generaliseres. Effekterne viser, at afkortet cykelsti er en sikrere løsning for cyklister og knallerter sammenlignet med fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane. Ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til afkortet cykelsti har medført et fald i antallet af cykel- og knallertulykker på 64 %. Omvendt har ombygninger fra afkortet cykelsti til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane medført en markant stigning på 255 %. Denne effekt er ligeledes homogen og forholdsvis sikker (tendens).

Fremført cykelsti med separat højresvingsbane kontra afkortet cykelsti

Ses der udelukkende på forskellen mellem fremført cykelsti med separat højresvingsbane og afkortet cykelsti, ser det ud til, at afkortet cykelsti er sikrere end fremført cykelsti. Sikkerhedseffekten ved at ombygge fra

fremført cykelsti med separat højresvingsbane til afkortet cykelsti er et fald i cykel- og knallertulykker på 66 %. Effekten er homogen på tværs af lokaliteterne, men kan ikke påvises at være signifikant. Den omvendte situation har vist, at hvor der er ombygget fra en afkortet cykelsti til fremført cykelsti med separat højresvingsbane har det medført en stigning i antallet af cykel- og knallertulykker på 237 %. Her er effekten både signifikant og homogen på tværs af lokaliteterne.

Overordnet sikkerhedseffekt estimeret ved forskellige beregningsmetoder

I tabel 3 er den overordnede fundne sikkerhedseffekt sammenlignet med effekter fundet med andre beregningsmetoder eller under andre forudsætninger. Alle resultaterne viser de samme tendenser for ombygningens sikkerhedsmæssige effekt. Det er udelukkende effektstørrelserne, som varierer.

Stifacilitet før	Stifacilitet efter	X ² -signifikanstest			Log-odds-metaanalyse			Uden korrektion for trafik			Kun "rene" løsninger		
Ingen	Fr. komb. l/h	+131%	H	T	+62%	H		+135%	H	S	+186%	H	T
Afkortet	Fr. komb. l/h	+255%	H	T	+216%	H	T	+204%	H		+273%	H	
Ingen	Fr. sep. h.sv.	-20%	H		+13%	H		-27%	H		0%	-	-
Fr. komb. l/h	Fr. sep. h.sv.	-57%		S	-27%	H		-59%		S	-47%		
Afkortet	Fr. sep. h.sv.	+237%	H	S	+139%	H	S	+198%	H	S	+842%	H	S
Ingen	Afkortet	-52%	H		-33%	H		-53%	H		-43%	H	
Fr. komb. l/h	Afkortet	-64%	H	S	-33%	H		-66%	H	S	-72%	H	S
Fr. sep. h.sv.	Afkortet	-66%	H		-27%	H		-77%	H	S	-100%	-	

Tabel 3. Sammenligning af ombygningens generelle sikkerhedseffekt på højresvings-, venstresvings- og trængningsulykker med cyklister og knallertkørere ved forskellige beregningsmetoder og forudsætninger. H = Homogen, S = Signifikant, T = Tendens.

På steder uden cykelfaciliteter, som er ombygget til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane, har det medført stigninger i antallet af cykel- og knallertulykker på 62-186 %. Hvor der i stedet for kombineret ligeud- og højresvingsbane er ombygget til fremført cykelsti med separat højresvingsbane har det vist en varierende effekt fra -27 % til +13 %. Endelig har ombygning af tilfarter uden cykelfaciliteter til afkortet cykelsti reduceret antallet af cykel- og knallertulykker med 33-53 %.

Ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til fremført cykelsti med separat højresvingsbane har reduceret antallet af cykel- og knallertulykker med 27-59 %. Ombygning til afkortet cykelsti har reduceret ulykkerne med 33-72 %.

Ombygning fra afkortet cykelsti til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane har øget antallet af cykel- og knallertulykker med 204-273 %. Hvor afkortet cykelsti er ombygget til fremført cykelsti med separat højresvingsbane har det medført stigninger på 139-842 %. Denne ombygning er den eneste, hvor alle fire beregningsmetoder finder, at sikkerhedseffekten er homogen på tværs af lokaliteterne og statistisk signifikant.

Ombygning fra fremført cykelsti med separat højresvingsbane til afkortet cykelsti har reduceret antallet af cykel- og knallertulykker med 27-100 %.

Samlet set viser effektberegningerne altså, at ombygning fra afkortet cykelsti til anden udformning har medført en stigning i antallet af cykel- og knallertulykker. Omvendt har ombygning til afkortet cykelsti reduceret antallet af ulykker uanset udformningen før ombygning.

Sikkerhedseffekt på forskellige ulykkestyper

Tabel 4 angiver sikkerhedseffekten på højresvingsulykker, venstresvingsulykker og trængningsulykker samt for alle tre ulykkestyper samlet. Bemærk, at der er registreret meget få trængningsulykker (7 ulykker i førsituationen og tre ulykker i eftersituationen), så det er vanskeligt at konkludere noget for denne ulykkestype.

Stifacilitet før	Stifacilitet efter	Alle ulykker			Højresvingsulykker			Venstresvingsulykker			Trængningsulykker*		
Ingen	Fr. komb. l/h	+131%	H	T	+169%	H	T	+531%	H	T	-100%	H	
Afkortet	Fr. komb. l/h	+255%	H	T	+346%	H	T	+109%	H		0%	-	-
Ingen	Fr. sep. h.sv.	-20%	H		-100%	-		+417%	H		-100%	H	
Fr. komb. l/h	Fr. sep. h.sv.	-57%		S	-65%		S	-36%	H		0%	-	-
Afkortet	Fr. sep. h.sv.	+237%	H	S	+887%	H	S	+85%	H		-100%	H	
Ingen	Afkortet	-52%	H		-100%	-		-34%	H		-44%	H	
Fr. komb. l/h	Afkortet	-64%	H	S	-89%	H	S	+31%	H		+100%	H	
Fr. sep. h.sv.	Afkortet	-66%	H		-83%	H	S	+158%	H		0%	-	-

Tabel 4. Sammenligning af ombygningers sikkerhedseffekt på forskellige ulykkestyper (cykel- og knallertulykker). H = Homogen, S = Signifikant, T = Tendens. *Det bemærkes, at hovedparten af ulykkerne, der indgår i evalueringen, er højresvingsulykker, mens der kun er registreret meget få trængningsulykker. Sikkerhedseffekterne er beregnet ved metoden, beskrevet af Jørgensen (1981).

Ingen cykelfaciliteter før ombygning

På steder med tilfarter uden cykelfaciliteter har ombygning til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane samlet set medført 131 % flere cykel- og knallertulykker. Den største stigning ses for antallet af venstresvingsulykker, der er steget med 531 %, mens antallet af højresvingsulykker er steget med 169 %. Effekterne er homogene på tværs af lokaliteterne og forholdsvis sikre (tendens).

I tilfarter uden cykelfaciliteter, der er ombygget til fremført cykelsti med separat højresvingsbane, er der sket et fald på 20 % i antallet af cykel- og knallertulykker. Sikkerhedseffekten ser ud til at være størst på højresvingsulykkerne, hvilke der ikke er registreret nogen af efter ombygning. Der er dog kun sket en enkelt højresvingsulykke før ombygning, og sikkerhedseffekten er heller ikke statistisk signifikant. Hvis der i stedet ses på effekten på venstresvingsulykker, er der samme tendens som ved ombygning til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane; der er sket en kraftig stigning, i dette tilfælde på 417 %. Effekten er homogen, men ikke statistisk signifikant.

Der er ikke registreret trængningsulykker efter ombygning fra tilfart uden cykelfacilitet til fremført cykelsti. Sikkerhedseffekterne på -100 % er homogene, men ikke statistisk signifikante. Bemærk dog, at der i førperioden var registreret færre end fem ulykker af denne type. Hvor en tilfart helt uden cykelfaciliteter er lavet til en afkortet cykelsti, er der sket et fald på 52 % i antallet af cykel- og knallertulykker. Effekten er tilsyneladende størst på højresvingsulykker, men der er kun registreret en enkelt højresvingsulykke før og ingen efter ombygning. Effekten er heller ikke statistisk signifikant. Ombygning har reduceret antallet af venstresvings- og trængningsulykker med hhv. 34 % og 44 %. Begge sikkerhedseffekter er homogene, men ikke statistisk signifikante. Igen er tallene for trængningsulykker baseret på færre end fem ulykker.

Fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane før ombygning

Ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til separat højresvingsbane har reduceret antallet af cykel- og knallertulykker med 57 %. Ombygning til afkortet cykelsti har medført et fald på 64 %. Begge sikkerhedseffekter er statistisk signifikante, men det er kun effekten af afkortet cykelsti, der kan påvises at være homogen.

Ses der udelukkende på højresvingsulykker, er effekten størst for afkortet cykelsti, som har medført et fald på 89 %. Fremført cykelsti med separat højresvingsbane har medført et fald på 65 %. Også i dette tilfælde er begge sikkerhedseffekter statistisk signifikante, men kun effekten af afkortet cykelsti er homogen.

Hverken ombygning til afkortet eller fremført cykelsti med separat højresvingsbane har en statistisk signifikant sikkerhedseffekt på venstresvingsulykker. Imidlertid har afkortet cykelsti ført til 31 % flere venstresvingsulykker, mens fremført cykelsti med separat højresvingsbane har medført et fald på 36 %. Begge sikkerhedseffekter er homogene på tværs af lokaliteterne.

Der er ikke registreret trængningsulykker på lokaliteter med fremført cykelsti. Således er antallet af trængningsulykker uændret ved ombygning fra kombineret ligeud- og højresvingsbane til separat højresvingsbane. Ombygning til afkortet cykelsti har medført en stigning på 100 % i antallet af trængningsulykker (to ulykker). Effekten er homogen, men ikke statistisk signifikant.

Afkortet cykelsti før ombygning

På steder, hvor en afkortet cykelsti er ombygget til fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane, har det samlet medført 255 % flere cykel- og knallertulykker. Ombygning til separat højresvingsbane har medført 237 % flere ulykker. Sikkerhedseffekterne er homogene på tværs af lokaliteterne. Sikkerhedseffekten for kombineret ligeud- og højresvingsbane er forholdsvis sikker (tendens), mens effekten for separat højresvingsbane er statistisk signifikant.

Den største stigning ved ombygning til fremført cykelsti er antal registrerede højresvingsulykker. Ved kombineret ligeud- og højresvingsbane er stigningen på 346 %, mens den er hele 887 % ved separat højresvingsbane. Også her er begge sikkerhedseffekter homogene, forholdsvis sikker (tendens) for kombineret ligeud- og højresvingsbane og statistisk signifikant for separat højresvingsbane.

Antallet af venstresvingsulykker er også steget ved ombygning fra afkortet til fremført cykelsti, hhv. 109 % med kombineret ligeud- og højresvingsbane og 85 % med separat højresvingsbane. Begge sikkerhedseffekter er homogene, men ingen er imidlertid statistisk signifikante.

Fremført cykelsti med separat højresvingsbane før ombygning

Ombygning fra fremført cykelsti med separat højresvingsbane til afkortet cykelsti har samlet reduceret antallet af cykel- og knallertulykker med 66 %. Sikkerhedseffekten er homogen, men ikke statistisk signifikant.

Antallet af højresvingsulykker er blevet reduceret med 83 %, mens antallet af venstresvingsulykker er steget med 158 %. Sikkerhedseffekten på højresvingsulykker er både homogen og statistisk signifikant. Effekten på venstresvingsulykker er homogen, men ikke signifikant.

På steder med fremført cykelsti og separat højresvingsbane, der er blevet ombygget til afkortet cykelsti, er der ikke registreret trængningsulykker hverken før eller efter.

Risikoberegninger

Udover at estimere effekten af ombygninger har vi også foretaget ulykkesrisikoberegninger for de forskellige cykelfaciliteter, som indgår i evalueringen. Ulykkesrisikoen er opgjort samlet og separat for højresvings-, venstresvings- og trængningsulykker med cyklister og knallertkørere, se tabel 5. I opgørelsen af ulykkesrisiko er ulykkerne i før- og efterperioderne summeret og sammenlignet med antallet af uheldsår og antal indkørende cyklister. Dvs. at opgørelsen ikke tager højde for, hvilken cykelfacilitet der var før- eller efter ombygning.

Enhed	Stifacilitet	Alle ulykker	Højresvingsulykker	Venstresvingsulykker	Trængningsulykker*
Ulykkestæthed (ulykker pr. år)	Fr. komb. l/h	0,20	0,15	0,05	0,00
	Fr. sep. h.sv.	0,16	0,10	0,05	0,00
	Afkortet	0,07	0,02	0,04	0,01
	Ingen	0,08	0,03	0,02	0,03
Ulykkesfrekvens (pr. mio. cyklister)	Fr. komb. l/h	0,75	0,56	0,19	0,00
	Fr. sep. h.sv.	0,50	0,33	0,17	0,00
	Afkortet	0,16	0,04	0,09	0,03
	Ingen	0,27	0,11	0,06	0,11

Tabel 5. Sammenligning af risiko for cykel- og knallertulykker ved cykelfaciliteter i signalregulerede kryds fordelt på højre-, venstre- og trængningsulykker samt alle tre ulykkestyper samlet.

Mindst risiko for cykel- og knallertulykker ved afkortet cykelsti

Når antallet af observerede uheldsår sammenholdes med antallet af registrerede ulykker, viser det, at afkortet cykelsti har færrest cykel- og knallertulykker pr. år. Over i alt 456 år fordelt på 96 lokaliteter er der registrerede 30 cykel- og knallertulykker, dvs. 0,07 ulykker pr. år. Til sammenligning er der ved fremført cykelsti med separat højresvingsbane registreret 0,16 ulykker pr. år, altså mere end dobbelt så mange ulykker pr. år.

Hvis tallene sammenholdes med antallet af indkørende cyklister, ses samme tendens; afkortet cykelsti er den mest sikre af de fire undersøgte løsninger med en ulykkesfrekvens (UHF) på 0,16 cykel- og knallertulykker pr. mio. indkørende cyklister. For fremført cykelsti med separat højresvingsbane er der registret 0,50 cykel- og knallertulykker pr. mio. indkørende cyklister.

Det ses også, at "Ingen forhold for cyklister" blandt de fire "løsninger" er den trafiksikkerhedsmæssige næstbedste løsning. Dette kan forklares med, at ingen løsning for de cyklende på mange måder ligner en afkortet cykelsti på strækningen op til krydset, hvormed trafikanterne har bedre mulighed for at blive opmærksomme på hinanden, inden de når hen til krydset.

Stor sikkerhedseffekt af afkortet cykelsti på højresvingsulykker

Opgørelsen viser, at afkortet cykelsti har markant færre højresvingsulykker med cykler og knallerter end fremført cykelsti. På de i alt 456 år er der registreret otte højresvingsulykker (0,02 pr. år) mod 32 ulykker på 309 år (0,10 pr. år) ved fremført cykelsti med separat højresvingsbane. På steder med fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane er der registreret hele 70 højresvingsulykker på 464 år, hvilket svarer til gennemsnitligt 0,15 højresvingsulykker pr. år.

Hvis opgørelsen laves ud fra antallet af indkørende cyklister, ses igen stor forskel på afkortet og fremført cykelsti med markant højere uheldsfrekvens ved fremført cykelsti. Den højeste uheldsfrekvens ses ved fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane, hvor der er registreret 0,56 ulykker pr. mio. indkørende cyklister. Fremført cykelsti med separat højresvingsbane har en lidt lavere uheldsfrekvens med 0,33 ulykker pr. mio. indkørende cyklister. Uheldsfrekvens er på blot 0,04 højresvingsulykker pr. år for afkortet cykelsti. "Ingen løsning" er igen den trafiksikkerhedsmæssige næstbedste løsning blandt de fire.

Mindre effekt på venstresvingsulykker

Opgørelsen af risiko viser ingen tydelig forskel mellem afkortet og fremført cykelsti, hvor der er registreret 0,04-0,05 venstresvingsulykker pr. år. Der er imidlertid en forskel, hvis opgørelsen laves ift. antallet af indkørende cyklister. Her ses der kun registreret 0,09 venstresvingsulykker pr. mio. indkørende cyklister mod 0,17-0,19 ved fremført cykelsti. "Ingen løsning" er den løsning, som har færrest venstresvingsulykker.

Ingen risiko for trængning ved fremført cykelsti

Opgørelsen viser, at der er størst risiko for trængningsulykker ved afkortet cykelsti sammenlignet med fremført cykelsti. Dog viser opgørelsen også, at denne type ulykker sker forholdsvist sjældent. Der er registreret 0,01 trængningsulykker pr. år og 0,03 ulykker pr. mio. indkørende cyklister. "Ingen løsning" er den løsning, som har flest trængningsulykker.

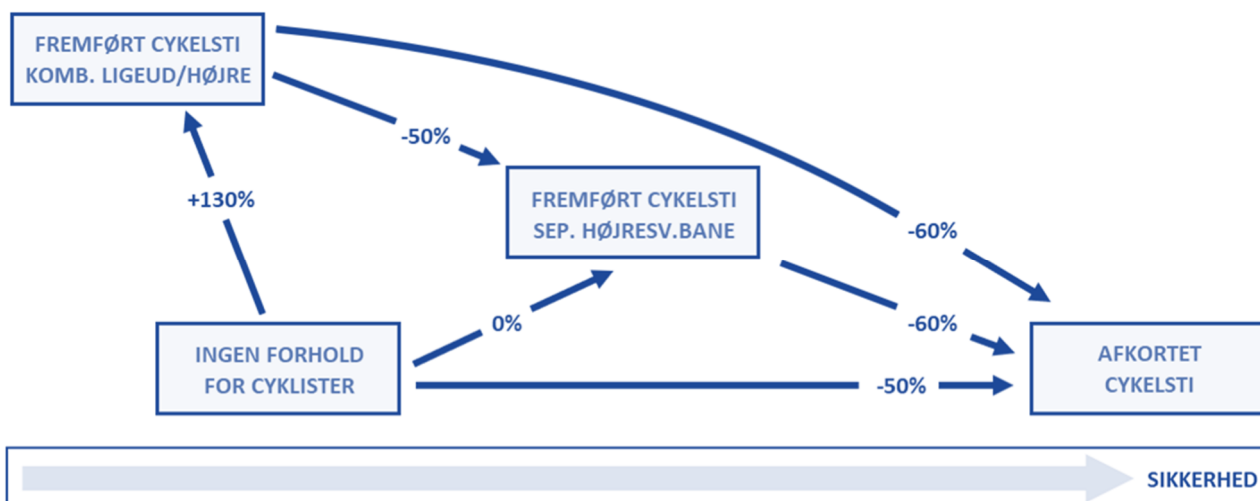
Konklusion og diskussion

Formålet med denne evaluering har været at undersøge, hvilken af de tre krydsløsninger for cyklister i signalregulerede kryds i byzone, der er den mest sikre: 1) Afkortet cykelsti, 2) fremført cykelsti med separat højresvingsbane eller 3) fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane.

Evaluering har omfattet 159 ombyggede tilfarter. Effekten ved at ombygge til/fra afkortet eller fremført cykelsti er fundet ved at undersøge forskellen i relevante cykel- og knallertulykker før og efter ombygning. Relevante ulykker omfatter højresvings-, venstresvings- og trængningsulykker. Der korrigeres for generel udvikling i trafiksikkerheden, lokale ændringer i trafikken og evt. regressionseffekt.

Sikkerhedseffekt

Studiet viser, at den mest trafiksikre løsning for cyklister i signalregulerede kryds er at afkorte cykelstien før krydset. Figur 3 viser sammenhænge mellem forskellige ombygninger af krydsben til afkortet cykelsti. Ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane eller separat højresvingsbane vurderes at reducere antal cykel- og knallertulykker med ca. 60 %. Ombygning fra fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane til fremført cykelsti med separat højresvingsbane vurderes at give en reduktion på ca. 50 %. Endelig vurderes antallet af cykel- og knallertulykker at blive mere end fordoblet, hvis der i et kryds uden cykelfaciliteter etableres en fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane. Den tilsyneladende gode sikkerhedseffekt ved ikke at have nogen cykelfaciliteter i kryds skal findes ved, at "løsningen" i realiteten virker som en afkortet cykelsti, hvor biler og cykler deler kørebanen.



Figur 3. Vurderet overordnet sikkerhedseffekt i runde tal på højresvings-, venstresvings- og trægningsulykker med cyklister og knallertkørere ved ombygning af cykelfaciliteter i signalregulerede kryds.

Afkortet cykelsti har god effekt i forhold til at reducere antallet af højresvingsulykker. På lokaliteter med afkortet cykelsti, som indgår i evalueringen, er der kun registreret få højresvingsulykker sammenlignet med lokaliteterne, hvor der er fremført cykelsti. Effekten vurderes at ligge mellem 70-90 % reduktion i antallet af højresvingsulykker ved at ombygge fra en fremført til en afkortet cykelsti.

Evalueringen giver derimod ikke noget entydigt svar på, om afkortet cykelsti er bedre end fremført cykelsti set i forhold til at reducere antallet af venstresvingsulykker. Ombygning har både vist stigning og fald i antallet af venstresvingsulykker, hvorfor det ikke er muligt at konkludere på baggrund af denne evaluering.

Evalueringen viser, at der registreres flere trægningsulykker ved afkortet cykelsti end ved fremført cykelsti. Evalueringen viser dog også, at der er registreret meget få trægningsulykker. Dette forhold ændrer derfor ikke ved, at afkortet cykelsti samlet set vurderes at være den mest sikre krydsløsning.

Diskussion

Sikkerhed eller tryghed?

Det er centralt at få valgt sikre og trygge løsninger for de cyklende i byerne for at få flest muligt til at vælge cyklen. Generelt anses fremført cykelsti for at være en tryk krydsløsning for cyklister, og hvis den etableres med en separat højresvingsbane, er det også en relativ sikker løsning.

På baggrund af nærværende evaluering kan det konstateres, at det ikke er den mest trafiksikre løsning for cyklister. Således viser evalueringen, at afkortet cykelsti er den trafiksikkerhedsmæssigt markant bedste løsning, men løsningen anses af mange for at være en meget utryk løsning for cyklister.

Valget af krydsløsning for cyklister er i høj grad et spørgsmål om, hvorvidt vejbestyrelsen ønsker at vægte sikkerhed eller tryghed højest. Tidligere er fremført cykelsti med separat højresvingsbane blevet anbefalet som det bedste kompromis mellem sikkerhed og tryghed, idet løsningen blev vurderet som værende lige så eller næsten lige så sikker som afkortet cykelsti. Denne evaluering viser imidlertid, at afkortet cykelsti er markant sikrere end fremført cykelsti med separat højresvingsbane. Evalueringen viser også, at det er vanskeligt at få sikkerhed og tryghed samtidig, og at man således kan blive tvunget til at prioritere enten sikkerhed eller tryghed først. I den sammenhæng kan det blive særdeles udfordrende at argumentere for at vælge fremført cykelsti, når den nu har vist sig at være så markant farligere end afkortet cykelsti.

Sikkerhed er ikke en absolut størrelse

Der er en generel usik mht. at beskrive løsninger som f.eks. værende "sikre" eller "ikke sikre" eller at angive effekter uden at angive, hvad der sammenlignes med. Det kan f.eks. være at beskrive en fremført cykelsti med separat højresvingsbane som en sikker løsning, der giver en reduktion i cykel- og knallertulykker på 50 %.

Denne evaluering viser dog, at sikkerhed ikke er et absolut, men et relativt begreb, og at sikkerheden af en løsning afhænger af, hvad der sammenlignes med. En fremført cykelsti med separat højresvingsbane kan således betegnes som en sikker løsning, hvis den sammenlignes med en fremført cykelsti med kombineret

ligeud- og højresvingsbane, men som en farlig løsning, hvis der sammenlignes med en afkortet cykelsti. På samme måde vil effektestimaterne variere. Effekten ved at etablere en separat højresvingsbane ved en fremført cykelsti kan således f.eks. være en reduktion på 50 %, mens en ændring fra fremført til afkortet cykelsti giver en reduktion i cykel- og knallertulykker på 60 %.

Effektstørrelse

Denne evaluering giver en meget tydelig konklusion på, hvilke løsninger som er mere eller mindre sikre end andre løsninger. Selve effektstørrelsen kan dog diskuteres. Vi har her i konklusionen bevidst valgt at angive meget runde tal, som adskiller sig lidt fra tallene angivet tidligere i artiklen.

Præcise værdier kan give brugerne indtryk af, at dette er et facit med to streger under. Brugeren kan f.eks. tro, at man vil få en ulykkesreduktion på f.eks. præcis 52 %, hvis der anlægges afkortet cykelsti i et krydsben uden tidligere cykelløsning. Det vil ikke nødvendigvis være tilfældet. Effekten kan både være 40 %, 50 %, 60 % eller noget helt fjerde. Vores gennemgang viser, at alle krydsene er helt unikke både før og efter, så i princippet er det ikke muligt at angive et fælles effektestimater for dem alle. Samtidig viser gennemgangen også, at valget af overordnet evalueringsmetode (χ^2 -signifikanstest eller Log-odds-metaanalyse) i sig selv har stor betydning for effektstørrelsen, og her kan det jo diskuteres, hvilken metode der er mest rigtig at bruge.

Frem og tilbage er ikke lige langt

I figur 3 er det bevidst valgt kun at angive effektstørrelser i én retning mod mere og mere sikre løsninger, med undtagelse af at etablere fremført cykelsti med kombineret ligeud- og højresvingsbane i krydsben, hvor der tidligere ikke var nogen cykelløsning. Dette er valgt, fordi dette både forventes at være de mest relevante ombygninger og for at indikere hvilke "vej", man bør gå for at forbedre sikkerheden for de cyklende. Hvis nogen mod forventning og mod gode råd ønsker at gå den modsatte "vej" f.eks. fra afkortet cykelsti til fremført cykelsti med separat højresvingsbane, viser denne evaluering, at man ikke bare kan tage den reciprokke værdi af det angivne effektestimater for reduktionen (-60 %) for at finde stigningen i antal cykel- og knallertulykker (dvs. $1/0,4-1 \cdot 100 = 150 \%$). Her har vi nærmere fundet en tredobling af ulykkestallet, som dermed er større end den reciprokke værdi.

At virkningen ved at gå fra den ene løsning til den anden og omvendt ikke nødvendigvis vil være den samme kan forklares med begreber som oplevet tryghed, vane, adfærdstilpasning og risikokompensation. Hvis man f.eks. går fra fremført cykelsti til afkortet cykelsti, vil cyklisterne (og bilisterne) opføre sig forsigtigt og opmærksomt, idet denne løsning opleves som mere utryk, hvilket er en medvirkende årsag til den gode effekt. Går man derimod den modsatte vej til en fremført cykelsti, som føles særlig tryk for både cyklister og bilister, vil de overkompensere og således blive for uforsigtige og uopmærksomme, og den negative virkning kan derfor blive større end man umiddelbart vil forvente.

Fremtidig sikkerhedseffekt

I sammenligning med tidligere studier viser denne evaluering en større og mere tydelig sikkerhedseffekt af at etablere afkortet cykelsti. En del af forklaringen herpå kan måske være, at der i de senere år er kommet flere og hurtigere cykler på de danske cykelstier. Omfanget og brugen af elcykler er steget kraftigt i de senere år, og senest er der igangsat en forsøgsordning med speed pedelecs, der kan køre op til 45 km/t.

Hvis denne udvikling forventes at fortsætte de kommende år, og der således vil komme endnu flere hurtige cykler på cykelstierne, så vil effekten af afkortet cykelsti være mindst lige så stor og måske endda større. Afkortede cykelstier vil således også i fremtiden være og måske endda blive endnu mere relevante i krydsene for at opnå god sikkerhed for de cyklende.

Referencer

- Andersen, T. (2019). Udformning af cykelinfrastruktur – Signalregulerede kryds – cykelsikre løsninger”, Cycling Embassy of Denmark, <https://idekatalogforcykeltrafik.dk/signalregulerede-kryds-cykelsikre-loesninger/>.
- Berg, S. T. (2019). Afkortet cykelstier - religion eller trafikikkerhed, Trafikdage på Aalborg universitet, 2019.
- Djupdræt, U. & Wass-Danielsen, M. (2017). Fremtidens krydsdesign - sikkerhed og tryghed ved fremførte og afkortede cykelstier, Trafikdage på Aalborg Universitet 2017, ISSN 1603-9696.
- Elvik, R. (2001). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 33, s. 327–336.
- Høye, A. (2017). Trafikikkerhet for syklistar, rapport 1597, <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=46551>.
- Høye, A., Elvik, R., Sørensen, M. & Vaa, T. (2020). Trafikikkerhetshåndboken, TØI, <https://tsh.toi.no/>.
- Jensen, M. L. & Sørensen, M. W. J. (2020). Trafikikkerhed ved afkortede og fremførte cykelstier i signalregulerede kryds – en før-efter ulykkesevaluering, Via Trafik rapport.
- Jensen, S. U. (2006a). Effekter af cykelstier og cykelbaner, Trafitec, <https://www.trafitec.dk/sites/default/files/publications/effekter%20af%20cykelstier%20og%20cykelbaner.pdf>.
- Jensen, S. U. (2006b). Cyklisters oplevede tryghed og tilfredshed, Trafitec, <https://www.trafitec.dk/sites/default/files/publications/cyklisters%20oplevede%20tryghed%20og%20tilfredshed.pdf>.
- Jensen, S. U., Rosenkilde, C. og Jensen, N. (2007). Sikkerhed og tryghed på cykelstier i København, Dansk vejtidsskrift, nr. 3, <http://asp.vejt看id.dk/Artikler/2007/03/4890.pdf>.
- Jørgensen, E. (1981). Sikkerhedsmæssig effekt: Vejledning for vejbestyrelser. Vejdirektoratet, 1981.
- Linderholm, L. (1992). Traffic Safety Evaluation of Engineering Measures: Development of a Method and its Application to How Physical Lay-outs Influence Bicyclists at Signalized Intersections.
- Madsen, T. K. O. & Lahrmann, H. (2014). Krydsløsninger for cyklister: Anvendelse af konfliktteknik til vurdering af forskellige løsningsikkerhed. Aalborg Universitet, DCE Technical reports, Nr. 179.
- Madsen, T. K. O. & Lahrmann, H. (2017). Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies. *Transportation Research Part F* 46, pp. 438-450.
- Pfeifer, J. P. C. (1999). Sikkerhed for cyklister i kryds. Institut for Samfundsudvikling og Planlægning. Aalborg Universitet (afgangsprojekt), http://arkiv.cykelviden.dk/filer/Sikkerhed_for_cyklistar_i_kryds.pdf.
- Sørensen, M. W. J., Jensen, M. L. & Wandall, N. H. (2020). Trafikikkerhe og trygge vejtekniske løsninger for cyklister – et litteraturstudie. Via Trafik rapport.
- Vejdirektoratet (2000). Sikkerhedsmæssige forskelle mellem cykelstier og cykelbaner, https://www.kk.dk/sites/default/files/edoc_old_format/OEkonomiudvalget/11-10-2005%2015.00.00/Dagsorden/11-10-2005%2008.44.41/Cykelstiers%20sikkerhed%20bilag%202.PDF.
- Vejdirektoratet (2014). Håndbog, Trafikikkerhed - Effekter af vejtekniske virkemidler, 2. udgave, rapport nr. 507, ISBN: 978-87-93184-08-4.
- Vejdirektoratet (2015a). Håndbog trafikikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse.
- Vejdirektoratet (2015b). Undgå højresvingsulykker – Vej- og trafiktekniske tiltag i signalregulerede kryds.
- Vejdirektoratet (2016). Tryghed og sikkerhed i trafikken, ISBN: 978-87-93436-08-4, https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/tryghed_og_sikkerhed_i_trafikken_2016.pdf.
- Vejdirektoratet (2017). Håndbog - Trafikikkerhedsprincipper - Anlæg og planlægning, juni 2017, <https://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=trafikikkerhedsprincipper&docId=vd-2017-0086-full>.
- Vejdirektoratet (2018). Håndbog, Vejkryds i byer, oktober 2018, <https://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fv1%2fNavigation%2fTillidsmandssystemer%2fVejregler%2fAnlaegsplanlaegning%2fTrafikarealer+by%2fkryds+i+byomrader%2f&docId=vd20180158-full>.