

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](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)



# Cyklisters sikkerhed ved krydsning af letbane i signal- og vigepligtsregulerede kryds

Stine Sonne og Lise Holm, [sts@viatrafik.dk](mailto:sts@viatrafik.dk), [lho@m.dk](mailto:lho@m.dk)

Via Trafik Rådgivning A/S og Metroselskabet I/S

---

## Abstrakt

Projektets omdrejningspunkt er sikkerhed for cyklister ved krydsning af veje, hvor man ønsker at anlægge letbanetracé. Undersøgelsen tager afsæt i Ring 3 omkring København, hvor en letbane forventes åbnet i 2021. Vi har undersøgt hvilke tiltag, der kan være med til at forbedre sikkerheden for cyklister i signal- og vigepligtsregulerede kryds, når cyklisterne skal krydse både kørebane og letbanetracé.

I 2013 udgav Metroselskabet I/S i samarbejde med Via Trafik Rådgivning A/S et katalog, som behandler sikkerheden for krydsende fodgængere udenfor krydsområder. I 2014 har vi arbejdet på et tilsvarende katalog for cyklister, men som også omfatter kryds. Fokus er især på de bløde trafikanter, for det er dem, der kommer alvorligst til skade i konflikter med den øvrige trafik.

Når letbanen indføres i den levende by, giver det en række udfordringer i forhold til trafiksikker integration både i kryds og på strækninger. Risikoen for konflikter mellem forskellige trafikarter er høj, for typisk følger letbanen de større trafikkorridorer i byen, hvor der i forvejen er tæt og blandet trafik. Det er derfor en udfordring at få samspillet mellem især de bløde trafikanter og letbanen til at fungere optimalt. Vores undersøgelse er et bidrag til optimeret planlægning og projektering af gode og trafiksikre løsninger for letbaner i tæt by. Hensigten er, at fremkommeligheden for de enkelte trafikantgrupper afvejes med trafiksikkerhedsmæssige forsvarlige løsninger, som tilpasses stedet.

---

## Cyklister en udsat og autonom trafikantgruppe

Cyklister er en udsat trafikantgruppe i trafikken. Derfor er det relevant at se på deres sikkerhed, når et nyt trafikalt element introduceres. På landsplan udgør cyklisterne 21 % af tilskadekomne i trafikken og 14 % af de trafikdræbte. I mange kommuner er uheld med cyklister overrepræsenterede i statistikken (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013).

Udover at være en udsat gruppe i trafikken, hersker der også en vist grad af anarki i den danske cykelkultur. Cyklister tager chancer, kører på fortovet, kører mod ensretningen, kører uden lys og kører over for rødt. Det er ikke kun unge cyklister, men alle aldersgrupper, som kan finde på at overtræde færdselsloven i

større eller mindre grad. En undersøgelse blandt 1151 cyklister viser, at mellem 33-45 % af de adspurgte drejer til højre for rødt (Klingensberg, K. 2014).

Nogle af de faktorer, som kan medvirke til cyklisters autonome adfærd, kan være:

- Gode oversigtsforhold. Cyklister har væsentlig bedre oversigtsforhold end eksempelvis bilister, og oplever, at de har et godt overblik over den trafikale situation.
- Fremdrift foregår ved fysisk aktivitet og der balanceres på to hjul. Fremdrift forudsætter, at cyklen er i bevægelse for at undgå at vælte; derudover er det en ulempe for cyklisterne at stoppe/holde tilbage, da det kræver ekstra energi at sætte i gang igen, samt forsinke rejsen. Dette er medvirkende årsag til, at cyklister fristes til at tage fodgængerovergangen, smutte op på fortovet mv. for at bruge mindst mulig energi og opnå hurtigst mulig rejse.

Statistisk set er det oftest i kryds, at der sker flest uheld, også for cyklister. Omkring 60 % af alle uheld med cyklister sker i kryds (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013). Derfor er der i denne undersøgelse set nærmere på blandt andet cyklisters sikkerhed i udvalgte kryds.

## Kryds

Projektet tager udgangspunkt i to krydskategorier:

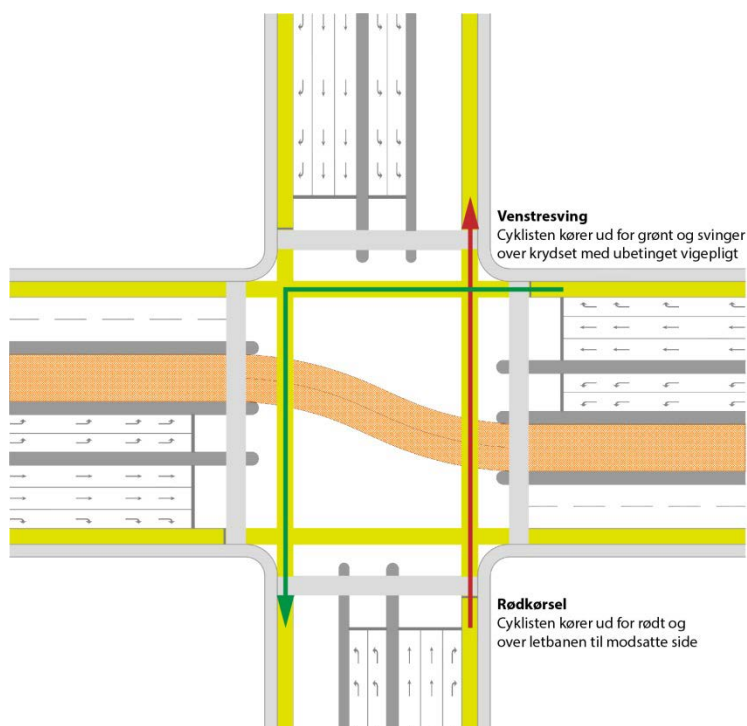
- Signalregulerede kryds
- Vigepligtsregulerede kryds

Under de to kategorier har vi udvalgt 7 kryds på Ring 3 omkring København. De varierer i størrelse, i placering af tracé, i trafikmængde og i kombination af hovedelementer. Tilsammen udgør de typiske krydsudformninger, som man kan forvente at finde på de fleste bymæssige strækninger, hvor man overvejer at indføre letbane. Herunder gennemgås kort, hvad der overordnet er set på i de to krydskategorier.

### Signalregulerede kryds

En type af uheld, som man må regne med i signalregulerede kryds, er rødkørselsuheld (se rød pil på Figur 1). I løbet af grøntiden er konflikter mellem cyklister og letbane/øvrige trafik principielt fraværende, da letbane og øvrige trafik har hver sin signalfase. Hvis der indtræffer en konflikt med en ligeudkørende cyklist i grøntiden, er årsagen typisk, at vigepligten ikke er overholdt overfor den, der har grønt signal - i dette tilfælde cyklisten.

Når cyklister skal svinge til venstre, har de ifølge Færdselslovens § 49 ubetinget vigepligt på den del af manøvreren, hvor de krydser de med- og modkørende trafikstrømme (se grøn pil på Figur 1). I praksis er der tale om en krydsning overfor rødt, fordi det sker samtidig med, at biler og cykler bag stopstregen på sidevejen holder for rødt. Færdselsloven formulerer det således:



Figur 1: Cyklisters rute i signalregulerede kryds; rødkørsel og venstresving med ubetinget vigepligt i krydsning med letbanen. Orange angiver letbanetracé.

”... cyklister, der ønsker at svinge til venstre, skal fortsætte gennem krydset til dets modsatte side og må først foretage svingning, når det kan ske uden ulempe for den øvrige færdsel. Dette gælder uanset afmærkning, med mindre det fremgår af denne, at den gælder for cyklister...”

Der er således en potentiel risiko for, at uopmærksomme cyklister kan blive påkørt, hvis de krydser letbanesporene for ubetinget vigepligt. Derfor bør der etableres særlige foranstaltninger, som øger cyklisternes opmærksomhed på letbanen i de situationer, hvor den kommer gennem krydset.

Erfaringsmæssigt er der kun ganske få, som benytter sig af § 49, og mange cyklister ved ikke, at det er en reel mulighed. Det vil derfor fortrinsvis være i mindre kryds, at cyklister vil benytte § 49, da det kan være svært at overskue trafikken i de større kryds. Det er dog muligt, at krydsningshyppigheden jf. § 49 vil være større på tidspunkter, hvor der ikke er meget trafik – eksempelvis sen aften/nat.

En undersøgelse, foretaget af DTU Transport, som omfattede knap 2000 cyklistregistreringer (Stenberg, M. m. fl., 2007) fastslog, at 75 procent af cyklisterne svinger til højre for rødt, når de ankommer til et signalreguleret kryds. Det samme datasæt, indsamlet i 4 kryds i hhv. København og Kongens Lyngby, viste, at andelen af venstresvingere overfor rødt var langt lavere. Samtidig indikerede observationerne, at store kryds næsten ingen venstresvingeskørsler havde, mens mindre kryds havde flere.

I andre lande, eksempelvis Holland og Frankrig, er det ikke lovligt at svinge til venstre for ubetinget vigepligt. I Holland er kryds udformet således, at cyklisterne har stopstregen trukket frem og cyklisterne kører ind bag stopstregen, når de skal svinge til venstre. I Frankrig kører letbanen i en separat fase, og al anden trafik i signalet holder stille.

## Vigepligtsregulerede kryds

I vigepligtsregulerede kryds er der andre forhold som gør sig gældende. Her skal alle trafikantgrupper holde tilbage for letbanen og for hinanden. I nogle situationer kan vigepligtskryds være meget komplekse at overskue, fordi afstanden over vejen kan være stor. Gode oversigtsforhold og heller kan være nogle af de elementer, som gør passage af et vigepligtsreguleret kryds mere overskuelig.

Der er især tre forhold, som gør sig gældende for cyklister på vej ud i et vigepligtsreguleret kryds:

- **Erkendelse:** Forskellige elementer kan tages i brug for, at cyklisten erkender vigepligtskrydset og de komplekse forhold. Det kan være forskellige former for afmærkning, letbane-advarselssignal med lyd/lys, samt vejens/stiens forløb.
- **Hastighed:** Jo højere hastighed, jo lavere chance for at nå at bremse i tilfælde af, at letbanen kommer. Derfor er det afgørende, at cyklister møder krydset med en så lav hastighed, at de kan nå at reagere. Forskellige former for elementer kan tages i brug for at sænke cyklistens hastighed, for eksempel bump, forsætninger, bomme og niveuforskelle.
- **Orientering:** Manglende orientering er en af de væsentligste årsager til, at der sker uheld. Der er to forhold, som kan forbedre dette:
  1. Gode oversigtsforhold ved krydsningen, så er det muligt for cyklisten at orientere sig tilstrækkeligt inden krydsningen.
  2. Koncentration. Cyklisten fokuserer på at cykle, og ikke på at SMS'e eller høre høj musik, hvormed orienteringsevnen nedsættes.

I krydsningssituationer skal, at punkt 1 er opfyldt ifølge Vejreglerne, fordi det angår den fysiske udformning af krydset. Punkt 2 forudsætter en holdningsbearbejdning blandt cyklister – eksempelvis ved iværksættelse af målrettede kampagner.

## Beregning af cyklisters sikkerhed i kryds

Vi har udarbejdet en beregningsmetode til at anskueliggøre cyklisters sikkerhed i de konkrete krydsudformninger. Den bruges til at beregne sikkerheden i 2 (3) situationer:

- Eksisterende forhold uden letbane
- Løsningsforslag 1 med letbane
- (Løsningsforslag 2 med letbane)

Med beregningsmetoden forsøger vi at kvantificere "sikkerheden" i de enkelte krydsningsløsninger med afsæt i en ensartet beregning, som omfatter en række standardiserede faktorer. Standardiseringen er baseret på en række antagelser om bl.a. cyklisters adfærd samt forudsætninger vedrørende køretøjers tekniske egenskaber, trafikarealernes geometri o.l. Disse informationer danner grundlag for beregningen af et indeks for hhv. sandsynlighed, konsekvens og eksponering i tilknytning til et givent krydsningsforløb.

I metodens sidste beregningsled fås:

$$\text{RISIKO} = \text{SANDSYNLIGHED} \times \text{KONSEKVENNS} \times \text{EKSPONERING}$$

Risikoen er defineret som et indeks, der afspejler sandsynligheden for påkørsel af cyklister og alvorligheden af påkørslen samt den eksponeringsgrad, der knytter sig til krydsudformningen. Her drages der paralleller til metoden udviklet i forbindelse med udarbejdelsen af "*Sikkerhedskatalog for fodgængeres krydsning af frie strækninger*" (Metroselskabet, Via Trafik, 2013). I nærværende projekt behandles beregningen af risikoen i henholdsvis signal- og vigepligtsregulerede kryds særskilt, da eksponeringen regnes forskelligt i de to krydstyper.

## Sandsynlighed

Sandsynligheden beskriver, hvor stor sandsynligheden er for at en cyklist bliver involveret i et uheld. Sandsynlighedsindekset er defineret som opholdstid i konfliktzone. Dvs. den tid, som cyklisten er om at krydse f.eks. et kørespor. Sandsynligheden bestemmes af følgende:

- Antal køre- og letbanespor, som krydes af cyklisten uden adskillelse i form af heller eller "sikkerhedszone".
- Passagetiden pr. kørespor, dvs. den tid, som det tager en cyklist at krydse et kørespor. Desto længere tid en cyklist er om at krydse vejen, desto større er sandsynligheden.
- Trafikmængden, jo større trafikmængde, desto større er sandsynligheden.
- Hastigheden på biler, tog, letbane, knallerter og cykler.

## Konsekvens

Konsekvensen er alvorlighedsgraden af påkørslen af en cyklist. Den afhænger af kraftpåvirkningen ved kollisionen mellem den krydsende cyklist og den tværgående trafikant. Det vil sige, at alvorlighedsgraden bliver bestemt ud fra den hastighedsændring, som cyklisten vil opleve ved en påkørsel. Konsekvensen består af en række parametre, som vægtes i forhold til hinanden, de respektive køretøjers fysiske egenskaber samt de ydre omstændigheder ved sammenstødet:

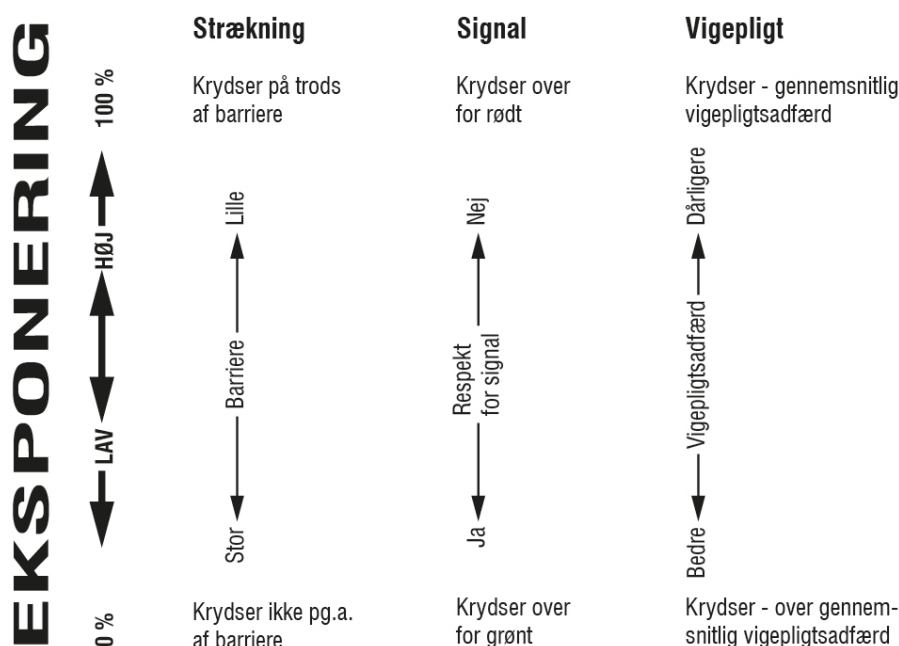
- Køretøjets hastighed
- Køretøjets vægt
- Deceleration

- Længde før kollison
- Cyklistens vægt
- Chaufførens reaktionstid
- Kollisionsvarighed
- Kollisionshastighed
- Kraftpåvirkning

For en mere detaljeret gennemgang af sammenhængen mellem de forskellige parametre, henviser vi til tidligere udarbejdet materiale (Metroselskabet, Via Trafik, 2013b).

## Eksposering

Eksposering er et begreb, som anvendes hyppigt i forbindelse med risikovurderinger. I dette projekt fortæller eksposeringen noget om, hvor mange cyklister, der lader sig eksposere for en sandsynlighed og som kan medføre en (uheldig) konsekvens. Beregningsmetoden sandsynlighed x konsekvens er direkte overført fra tidligere materiale, som omhandlede fodgængerkrydsninger mellem overgange på en fri strækning (Metroselskabet, Via Trafik, 2013b). Nedenfor ses en samlet gennemgang af eksposeringen (anvendt i både dette projekt og samt i "Sikkerhedskatalog for fodgængerens krydsning af frie strækninger" (Metroselskabet, Via Trafik, 2013).



Figur 2. Sammenhæng mellem eksposering og øvrige faktorer i nærværende opgave samt metoden for frie strækninger (jf. sikkerhedskatalog for fodgængerkrydsninger mellem overgange).

Eksposeringen er en varieret størrelse, som påvirkes af forskellige tiltag. Med andre ord kan man sige at det er muligt at mindske antallet af rødkørsler og § 49 venstresving ved at lave nogle foranstaltninger, som ændrer cyklisterne adfærd. Dette kan løses på forskellig vis. Når der eksempelvis introduceres et venteareal for venstresvingende cyklister forudsættes andelen af cyklisters § 49-venstresving at falde, fordi ventearealet motiverer cyklisterne til at holde tilbage.

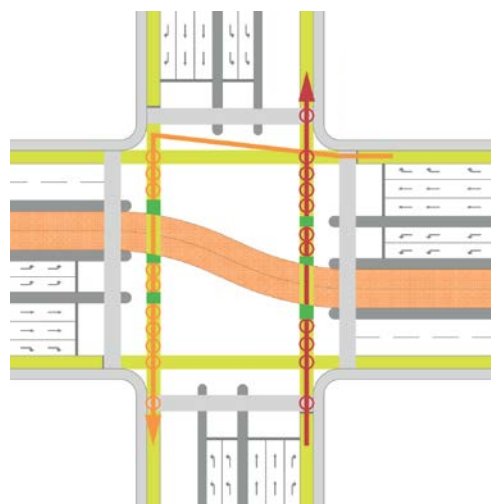
## Regneeksempel

I praksis oversættes teorien til risikoberegningen for cyklister, som krydser det signalregulerede kryds. Det omfatter to situationer:

- Cyklisten kører ud for grønt og foretager et "§ 49-venstresving"

- Cyklisten kører over for rødt

Den venstresvingende cyklist har to færre konfliktpunkter end den cyklist, der kører over for rødt (vist på figuren til højre). Cirklerne indikerer, hvor mange konfliktpunkter hver cyklist har. En cyklist, som foretager et "§ 49-venstresving" har 12 konfliktpunkter, hvor cyklisten, der kører over for rødt, har 13 punkter. Dette skyldes, at den venstresvingende allerede er ude i krydset, og derfor ikke igen krydser fodgængerfeltet endnu en gang. I praksis regnes rødkørsel og § 49-venstresving under ét. Det har mindre betydning for cyklistens risiko, at venstresvingscyklister ikke har begge fodgængerfelter i konfliktzonen.



Figur 3: Cirkler indikerer konfliktpunkter i hver manøvre, de grønne felter indikerer "sikkerhedszoner"

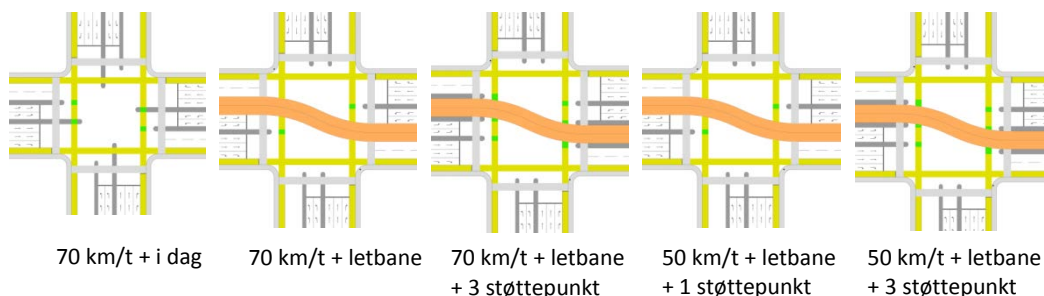
I kryds, hvor letbanen implementeres anbefaler vi, at krydssets cykelfaciliteter udformes på en sådan måde, at venstresvingende cyklister ikke finder vigepligtskrydsningen attraktiv. En løsningsmulighed er derfor, at alle kryds udstyres med:

- Venstresvingsholdeplads
- Separat cykelsignal placeret således, at venstresvingende cyklister også kan se det
- Lyd/lyssignal som aktiveres, når letbanen er på vej

Udover antallet af konfliktzoner indgår antallet af sikkerhedszoner også i beregningen. Undersøgelser viser, at når der indlægges sikkerhedszoner i en krydsning, kan sikkerheden forbedres. Sikkerhedszonerne markeres ikke i krydset, da det muligvis vil kunne opfordre flere til at krydse. De er til for, at cyklisten i katastrofesituationer har mulighed for at søge tilflugt et sted. Det er hensigten, at cyklisten, som krydser over for rødt/ubetinget vigepligt, skal føle sig utryk i krydsningssituationen, for at reducere antallet, der vælger at krydse over. Sikkerhedszonen er beregnet til at være min. 2 meter bred for at sikre plads til cyklisters ophold.

Herunder er et eksempel på en udregning af et kryds før og efter letbanen. Her ses, hvordan især antallet af støttepunkter, bilers og letbanes hastigheder har indflydelse på risikoindekset for cyklisterne.

	70 km/t + 1 dag	70 km/t + letbane	70 km/t + letbane + 3 sikkerhedszoner	50 km/t + 1 sikkerhedszone	50 km/t + 3 sikkerhedszoner
Hastighed bil [km/t]	70	70	70	50	50
Hastighed letbane [km/t]	-	20	20	20	20
Hastighed cykel [km/t]	15	15	15	15	15
Antal støttepunkter	1	1	3	1	3
Sandsynlighed [Sek.]	26	29	24	31	24
Konsekvens [G]	171	171	144	127	109
Eksponering	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Indeks risiko	230	250	170	190	130



Figur 4: Regneeksempel på et signalreguleret kryds. Indeks risikoen viser hvilken løsning, der er den sikreste for cyklisterne. De mest betydelige parametre er hastigheden for bil- og letbanetrafik, krydssets størrelse, samt antallet af sikkerhedszoner.

De før omtalte elementer, som venstresvingsholdeplads mv., reducerer eksponeringen betydeligt. Vi vurderer således, at være omkring 5 % af cyklisterne vil krydse over for rødt/§ 49 venstresving. Eksponeringen varierer ikke i forhold til krydsstørrelser i modellen, men vil i praksis variere, da der i større kryds er en større barrierevirkning. Derfor vil uoverskueligheden i store kryds afholde en del flere fra at vove sig ud i krydset, når der ikke er grønt.

## Konklusion

Den høje andel af tilskadekomne cyklister i trafikken, gør det aktuelt at se på netop denne gruppe, når letbanen skal implementeres på de danske veje. Det er især cyklister, som kører over for rødt eller benytter sig af § 49 – venstresving, som er sårbare i forhold til krydsning med letbane i signal- og vigepligtsregulerede kryds.

I signalregulerede kryds er krydsning for grønt konfliktfri med letbanen. Der kan opstå en konflikt, hvis en cyklist trodser det røde lys og begiver sig ud i krydset. Flere forskellige undersøgelser viser, at cyklister har en autonom adfærd, hvilket kobler sig til mekaniske og fysiologiske faktorer.

For at kunne regne på cyklisters sikkerhed ift. at indføre letbane på strækninger og i kryds i Danmark, har vi opstillet en regnemodel, som tager udgangspunkt i en beregning af risikoen, som cyklisten tager ved at krydse for rødt eller ved § 49- venstresving. Risikoen beregnes som et indeks således, at forskellige krydsløsninger kan sammenlignes.

Risikoen beregnes ud fra følgende formel: Risiko = sandsynlighed x konsekvens x eksponering

- Sandsynligheden er bestemt ud fra passagetiden – dvs. den tid, som cyklisten bruger på at passere gennem krydset, antallet af sikkerhedszoner (arealer i krydset, hvor der ikke kører trafik), trafikmængde og bilernes hastighed.
- Konsekvensen bestemmes ud fra den hastighedsændring, som cyklisten vil pådrage sig ved en kollision. Den er bestemt ud fra hastigheden og massen på den tværgående trafik, bremseevne, reaktionstiden for chaufføren mv.
- Eksponeringen er bestemt ud fra antallet af cyklister, som vælger at krydse over for rødt/ § 49- venstresving.

Disse tre parametre udgør tilsammen risikoen. I udregningerne af forskellige løsningforslag er det især hastigheden for letbane og biler samt antallet af sikkerhedszoner, som er afgørende for risikoen, som cyklisterne pådrager sig.

Metoden er forenklet for at kunne arbejde med typiske krydsudformninger for cyklisters krydsning af letbanetracéer. Undersøgelserne er et input til drøftelser af mulige krydsudformninger, hvor der også vil være mange andre hensyn at tage end netop sikkerhed for cyklister. Tanken er, at undersøgelserne bidrager til etablering af trafiksikre løsninger ved indførelse af letbane på Ring 3 og andre steder i Danmark.

## Litteraturliste

Færdselssikkerhedskommissionen. 2013, *Hver ulykke er én for meget – et fælles ansvar*

*Færdselssikkerhedskommissionens nationale handlingsplan 2013-2020*, Færdselssikkerhedskommissionen.

Havarikommissionen for Vejtrafikulykker. 2013, *Ulykker med fodgængere*, Vejdirektoratet, København.

Havarikommissionen for Vejtrafikulykker. 2008, *Krydsulykker mellem cykler og biler*, Vejdirektoratet, København.

Klingensberg, K. 2014, *Cyklister: Rødt lyds stopper os ikke*, Fyns Stiftstidende, 25. feb. 2014

Københavns Kommune, 2013, *Cykelfokus- Københavns Kommunes retningslinjer for vejprojekter*, Københavns Kommune, København

Margaritis, D. 2007, *Accident analysis into the primary and secondary safety of city trams in the Netherlands*, Transport Research Laboratory.

Metroselskabet, Via Trafik, 2013, *Trafiksikre letbanestrækninger i byer - Metoder og eksempler på implementering af fodgængerkrydsninger mellem overgange*, Metroselskabet I/S, København SV

Metroselskabet, Via Trafik, 2013b, *Risikovurdering – konflikt indeks*, Via Trafik Rådgivning, Birkerød.

Stenberg, M., Olesen N., M. og Larsen, J. 2007, *Cyklisters højresving for rødt lys*, DTU Transport, Lyngby

Transportøkonomisk Institut - *Trafikksikkerhetshåndboken*, [www.tsh.toi.no](http://www.tsh.toi.no) [2014, 02-06-2014]

Underlien Jensen, S., Lund, B., Herrstedt, L. 2003, *Nye løsninger til erstatning af stibomme - Odense - Danmarks Nationale Cykelby*, Atkins, København.

Vejdirektoratet. 2011, *Temaanalyse - Ulykker i signalregulerede kryds 2001-2010*, Vejdirektoratet, København.