

# Kapacitet i den afkortede cykelsti

Morten Lind Jensen, [morten@rawmobility.dk](mailto:morten@rawmobility.dk)  
RAW Mobility A/S

---

## Abstrakt

I et nyt studie af Jensen & Sørensen (2025), som er støttet af Cykelpuljen, undersøges, hvordan afkortede cykelstier i signalregulerede kryds påvirker kapaciteten og fremkommeligheden for både bil- og cykeltrafik – især med fokus på at dokumentere, hvordan forskellige faktorer som trafikmængder, ankomstfordeling og vejgeometri påvirker trafikafviklingen og trafikantadfærden. Til studiet er der udvalgt i alt 10 lokaliteter med afkortet cykelsti i Aarhus og København, som er analyseret med video. Med udgangspunkt i analyserne er der udviklet en praktisk model, hvormed der kan beregnes en forventet belastningsgrad i en afkortet cykelsti ud fra bl.a. trafikmængde, grøntid, omløbstid og cykeltrafikens ankomstfordeling.

Overordnet set viser studiet, at cyklister generelt er gode til at tilpasse sig den givne trafiksituation. Når der opstår kø i højresvingbanen, vælger mange cyklister således at trække ud til venstre i svingbanen eller køre op på fortovet – begge dele for at komme hurtigere frem. Fortovscyklende ses især ved høj trafikbelastning, og hvis der er mange tunge køretøjer i svingbanen. Det er vurderingen, at den faktiske fremkommelighed for cyklister kun i mindre omfang forringes i en afkortet cykelsti, idet mange cyklister finder måder til at komme uden om en eventuel bilkø. Omvendt forringes cyklisterne oplevede fremkommelighed, da både øget utryghed og trængsel kan give cyklisterne en følelse af et ringere serviceniveau og sikkerhed. For biltrafikken gælder, at bilernes fremkommelighed i høj grad påvirkes af cykeltrafikken – både i starten af svingbanen, hvor biler og cykler skal flette, og i selve krydsområdet. I flettepunktet kan tæt cykeltrafik dels forhindre biltrafikken i at komme ind i svingbanen, dels øge følgetiden mellem bilerne, hvilket reducerer både hastigheden og kapaciteten. I krydset er et stigende antal cykler og gående ensbetydende med højere følgetid og øget forsinkelse – særligt i starten af grøntiden.

I litteraturen vurderes afkortet cykelsti generelt som et trafiksikkerhedsmæssigt godt tiltag, som dog kan føre til øget utryghed samt forringe den oplevede fremkommelighed for cyklister. Med udgangspunkt i nærværende studie vurderes den faktiske fremkommelighed dog at være acceptabel, selv ved høj trafikbelastning – bl.a. fordi cyklister ofte "overhaler" biltrafikken. Samlet set er det vurderingen, at den negative effekt på fremkommeligheden for cyklister ikke er så entydig, som hidtil antaget. Løsningen med afkortet cykelsti har både styrker og svagheder. Det er en trafiksikkerhedsmæssig god løsning, men anvendelsen kræver nøje overvejelser i forhold til cyklisters tryghed og tilfredshed. Valget af krydsløsning for cyklister bør derfor (fortsat) bero på en afvejning mellem de tre parametre: Sikkerhed, tryghed og fremkommelighed – dog nu mest af alt på en vægtning af trafiksikkerhed og tryghed.

---

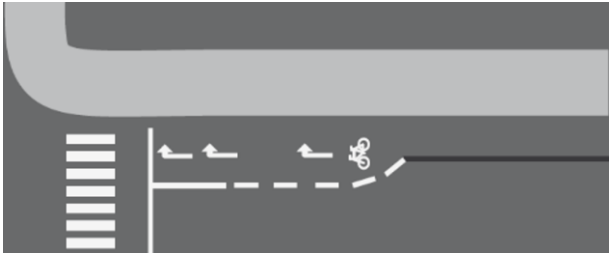
## Indledning

### Baggrund

Danmark er en cykelnation. Vi cykler gerne, og der er mange, som bevidst vælger cyklen frem for bilen. Rundt om i landets kommuner, både i de store og mindre byer samt ude på landevejene, arbejdes der løbende på at gøre det mere attraktivt at cykle for netop at få flere til at vælge cyklen til. Dette omfatter bl.a. at gennemføre tiltag, hvis formål er at gøre det let, trygt og sikkert at være cyklist.

Udfordringen med både at sikre en høj grad af fremkommelighed, tryghed og trafiksikkerhed for de cyklende, er, at disse tre "ben" (se illustrationen på næste side) ikke altid går i takt (Vejdirektoratet, 2022), hvorfor det ofte bliver et spørgsmål om at vægte forskellige løsninger, der mangler ét eller flere af "benene". Et godt eksempel herpå er krydsløsningen for cyklister, der i vejteknikerens ordbog (Vejdirektoratet, 2023) betegnes som en 'afkortet cykelsti'. Der findes flere varianter af de afkortede cykelstier, og de kan anvendes i både vigepligts- og signalregulerede kryds.

Fælles for de afkortede cykelstier er, at de – pga. en lavere ulykkesrisiko – som udgangspunkt er mere trafiksikre end pendanten hertil, som kaldes 'fremført cykelsti' (Jensen & Sørensen, 2020). En af ulemperne er dog samtidig, at cyklisterne i højere grad føler sig udsatte og dermed utrygge ved at færdes i en afkortet cykelsti end på en fremført cykelsti, og at afkortet cykelsti således reducerer cyklisternes glæde ved at cykle (Rambøll, 2022).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Fremført cykelsti med separat højresvingbane:</b></p> <p>En traditionel cykelsti, som er ført helt frem til krydset – i dette tilfælde til højre for en separat højresvingbane for biltrafikken. Fremført cykelsti kombineres ofte med en tilbagetrukket stoplinje for biltrafikken.</p> |   |
| <p><b>Afkortet cykelsti:</b></p> <p>En cykelsti, der ophører kort før krydset, så cykler og knallerter uanset manøvrerne henne i krydset skal fortsætte ind i højresvingbanen og flette med den højresvingende biltrafik.</p>                                                                  |  |

Tabel 1. Beskrivelse og illustration af hhv. en afkortet og fremført cykelsti i signalregulerede kryds. (Jensen & Sørensen, 2020)

Sammenlignet med studier, der har undersøgt effekten på trafiksikkerhed og tryghed, er afkortede cykelstiers betydning for fremkommeligheden i mindre grad veldokumenteret. Et af de få studier, der har undersøgt dette ved at måle cyklisternes oplevede serviceniveau i kryds, viser dog tydeligt, at afkortet cykelsti giver en markant forringelse af cyklisternes tilfredshed med cykelinfrastrukturen sammenlignet med andre krydsløsninger (Jensen, 2011). Det samme gælder i princippet også for bilisterne, der erfaringsmæssigt kan have svært ved at komme ind i højresvingbanen, når der er mange cyklende, og dermed kan blive utrygge, hvis de er nødt til at presse sig ind i svingbanen.

## Formål

Formålet med dette projekt har været at dokumentere forskellige parametres effekt på kapacitet og fremkommelighed i afkortede cykelstier i signalregulerede kryds. Gennem et videoobservationsstudie er det undersøgt, hvordan afkortede cykelstier fungerer med forskellige trafikmængder og udformninger, og hvor stor betydning dette har for fremkommeligheden for bil- og cykeltrafikken. Desuden er det undersøgt, om løsningen har en egentlig kapacitetsgrænse, som bør tages i betragtning, når der planlægges og vælges krydsløsninger for cyklister.

Vha. videooptagelser fra 10 lokaliteter med afkortet cykelsti i Aarhus og København er bl.a. ændringer i trafikantadfærd, ventetid og hastighed analyseret afhængigt af trafikmængden – både mht. selve antallet af trafikanter, men også fordelingen mellem biler og cykler, cyklernes spredning ved ankomst til krydset (ankomstfordelingen), samt geometrien, herunder højresvingsbanens bredde og længde. Desuden er det undersøgt, om der er nogle særlige omstændigheder, som fremprovokerer uheldige situationer eller medfører en ændret adfærd hos enten cyklister eller bilister.

Endelig er der opstillet en model, hvormed det er muligt at beregne kapacitet og belastningsgrad i en given tilfart med afkortet cykelsti ud fra en række parametre, bl.a. trafikmængde, grøntid og omløbstid. Her har fokus bl.a. været på at gøre modellen praktisk anvendelig – f.eks. ved at brugeren kun skal anvende de datakilder/-typer, som typisk er til rådighed for trafikplanlæggere, vejingeniører osv.

I et større perspektiv er formålet med undersøgelsen at give trafikplanlæggere, vejingeniører og -projekterende bedre grundlag for konkret at vurdere, om en afkortet cykelsti kan fungere mht. trafikafvikling og kapacitet, når der skal vælges krydsløsning for cyklister.

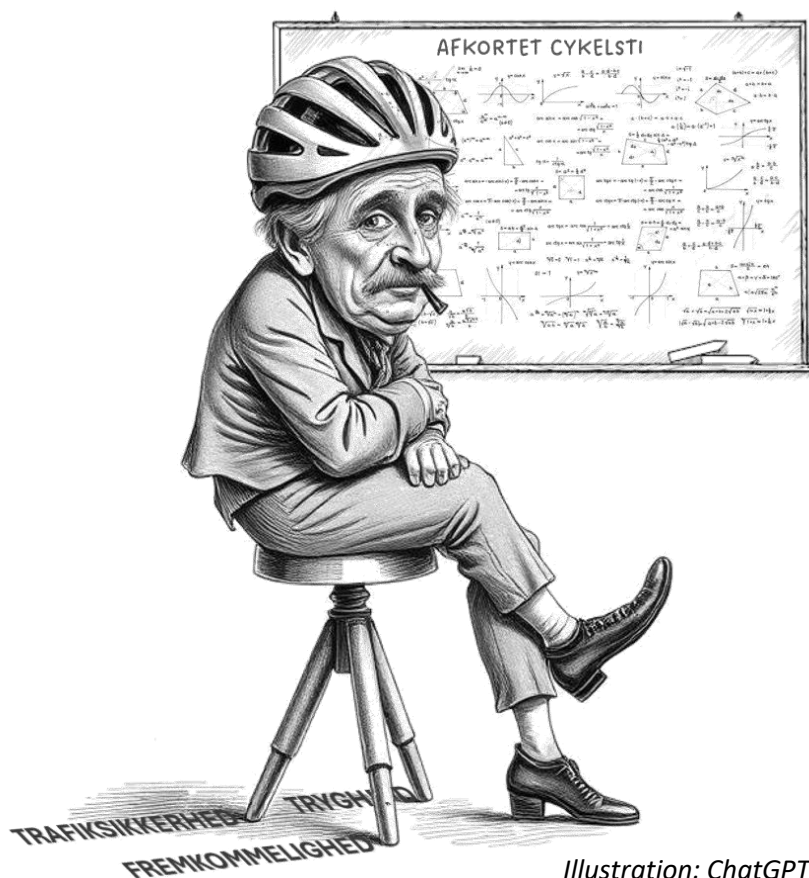
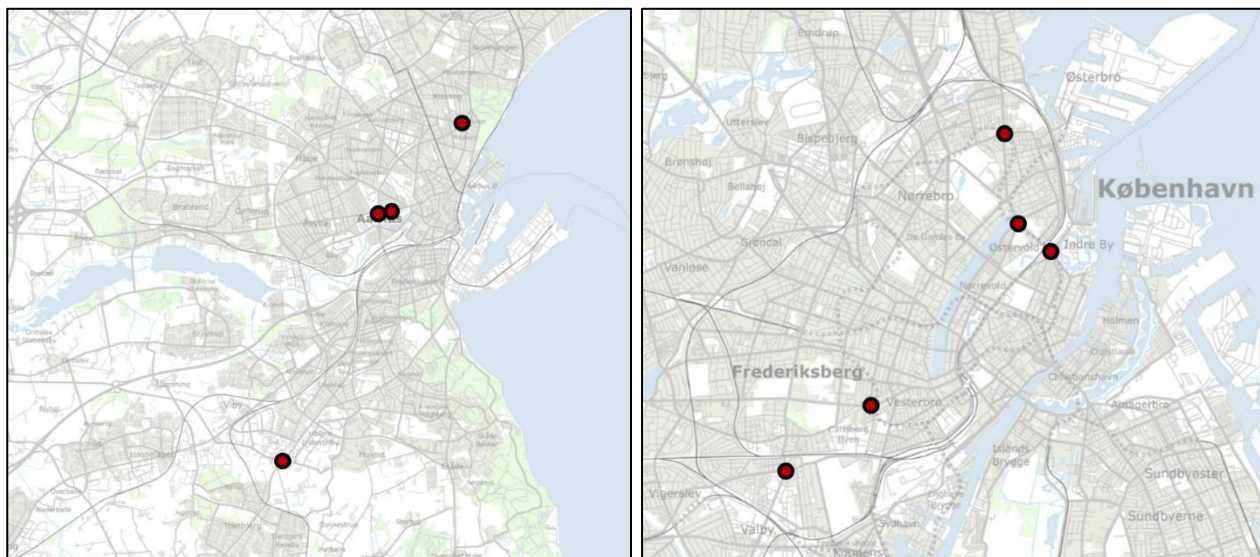


Illustration: ChatGPT

## Undersøgellesdesign

I samarbejde med Aarhus Kommune og Københavns Kommune er der udvalgt 10 tilfarter med afkortet cykelsti fordelt på ni signalregulerede kryds – hhv. fire kryds i Aarhus og fem i København (som vist på figur 1). For at sikre et nogenlunde ens sammenligningsgrundlag, på nær nogle udvalgte parametre, ligger alle 10 lokaliteter i byzone, og ingen af lokaliteterne har længdefald mod stoplinjen. De primære forskelle er dermed selve placeringen i enten Aarhus eller København, krydssets udformning (T- eller F-kryds), trafikmængden og dennes ankomstfordeling til krydset samt svingbanens længde og bredde.



Figur 1. De fire analysekryds' placering i Aarhus og fem i København. (Kort: Danmarks Miljøportal, modificeret af RAW Mobility).

Det er valgt at begrænse undersøgelsen til tilfarter med hastighedsgrænser på 50 og 60 km/t. Der er udvalgt to lokaliteter i Aarhus med en hastighedsgrænse på 60 km/t, mens det på de resterende otte er den generelle hastighedsgrænse på 50 km/t, som er gældende. Desuden indgår kun "traditionelle" afkortede cykelstier med separat højresvingbane for biltrafikken. Ved denne løsning ophører cykelstien, hvorefter cykeltrafikken skal fortsætte ind i svingbanen frem til krydset, mens biltrafikken skal flette til højre ind i svingbanen. Der indgår således ikke lokaliteter med f.eks. en smal, fremført cykelbane placeret enten til højre eller venstre for højresvingbanen. Der er heller ikke sammenlignet med kapaciteten i fremførte cykelstier, hvor cykelstien føres helt frem til krydset.

For cykeltrafikken er der ikke skelnet mellem forskellige cykeltyper, som f.eks. ladcykler, elcykler og speed pedelecs. I cykelkategorien indgår også knallerter, el-løbehjul, elektriske skateboards og uniwheels, som kører på cykelstien.

## Analysemetode

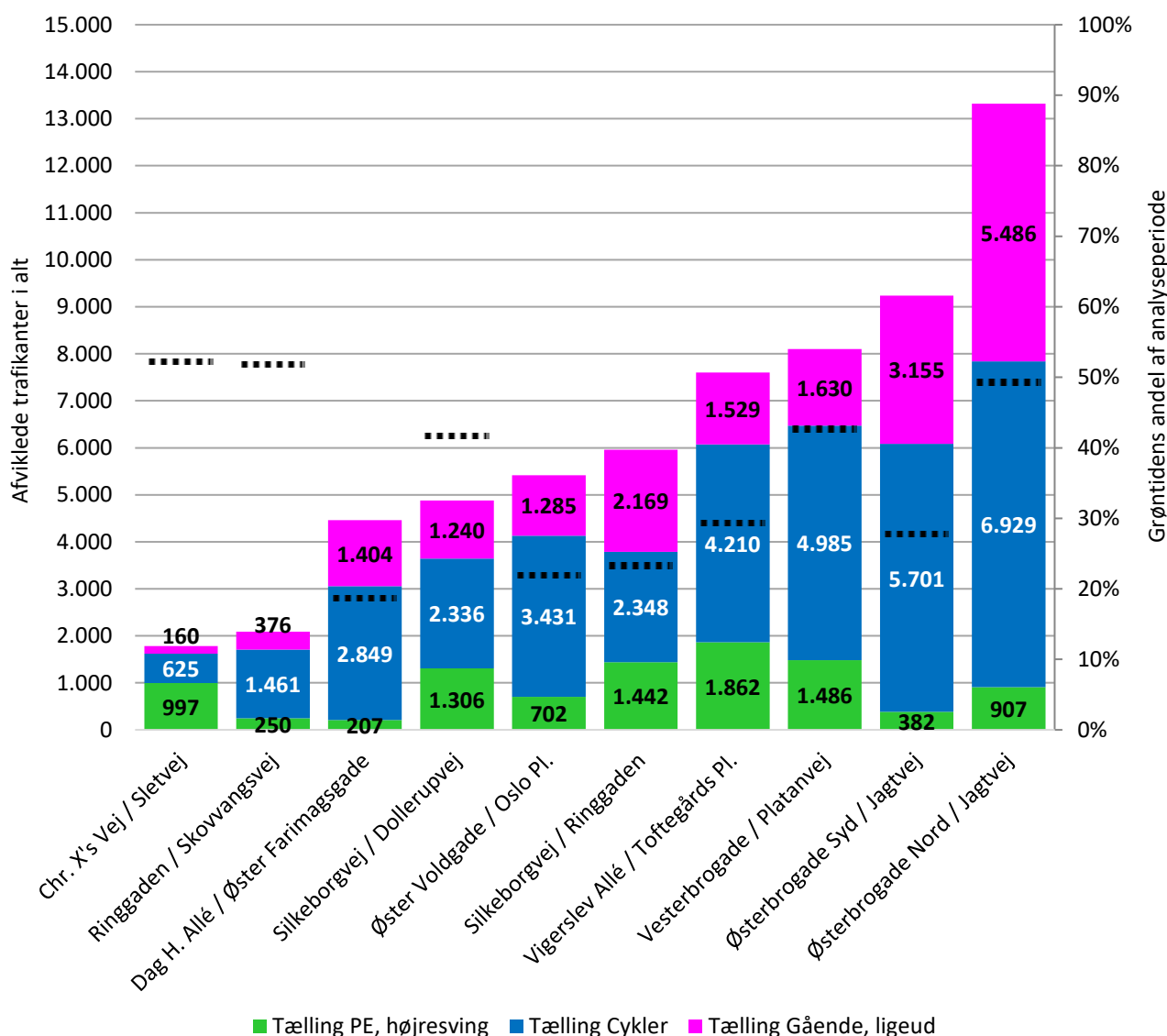
De 10 lokaliteter er filmet i september eller oktober 2024. Optagelserne er lavet på en hverdag kl. 7-19 (12 timer pr. lokalitet). Hvert kryds er filmet med to kameraer, som har filmet de aktuelle delområder i krydset, hhv. tilfarten og krydsområdet foran den afkortede cykelsti. Kameraerne blev opsat på teleskopstænger ca. 12 m over gadeniveau, hvilket har givet et godt overblik og mulighed for at nærstudere trafikantadfærden.

Ud fra videooptagelserne er følgende trafikstrømme registreret:

- Højresvingende motorkøretøjer (alle køretøjstyper, omregnet til personbilenheder, PE)
- Ligeudkørende cykler (fra tilfarten)
- Højresvingende cykler (fra tilfarten)
- Venstresvingende cykler (som laver stort venstresving kommende fra sidevejen t.v.)
- Krydsende fodgængere (langsgående, på tværs af sidevejen t.h.).

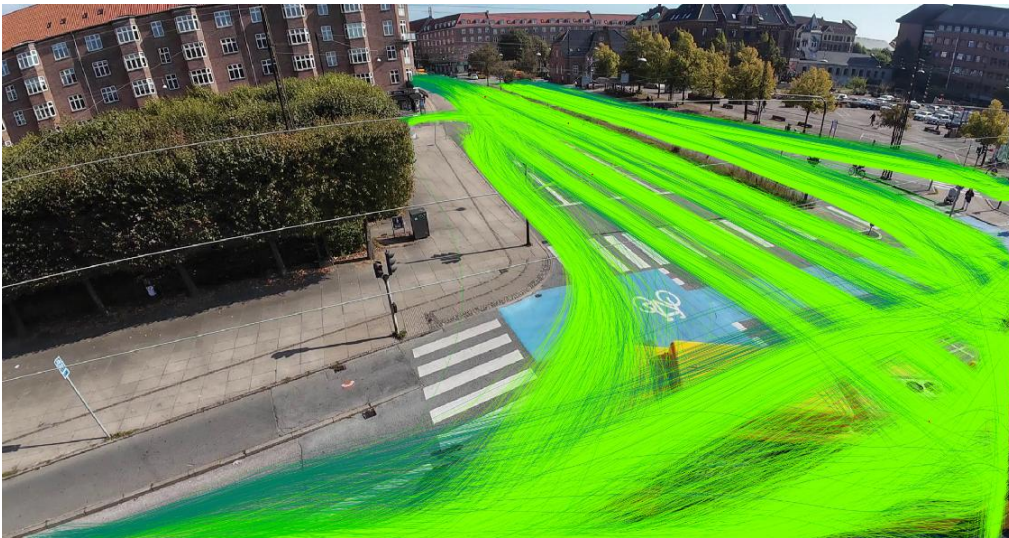
Trafikanterne er registreret med programmet Data From Sky, som tracker alle trafikanter, der bevæger sig igennem billedet. Programmet registrerer enhver synlig trafikant én gang for hver videoframe, svarende til 30 gange i sekundet (se i øvrigt figur 3-Figur 5 på næste side). Til beregning af grøntidsandel er der desuden registreret signalskift for tilfarten med afkortet cykelsti. Signalskiftene er registreret vha. Aalborg Universitets softwareprogram RUBA.

På de 10 lokaliteter er der i alt registreret ca. 9.500 højresvingende motorkøretøjer, knap 35.000 cykler og flere end 18.000 gående. På figur 2 ses de 10 tilfarter rangeret efter, hvor meget trafik der blev afviklet i løbet af 12 timer, samt grøntids andel af analyseperioden. Som det fremgår af figuren, er de 10 lokaliteter ganske forskellige mht. både trafikmængder, fordeling mellem trafikantgrupper samt grøntidsandel. På nogle lokaliteter er der en overvægt af højresvingende biler, mens det på andre er de lette trafikanter, som dominerer trafikbilledet. Desuden varierer grøntidsandelen fra 19-52 %.

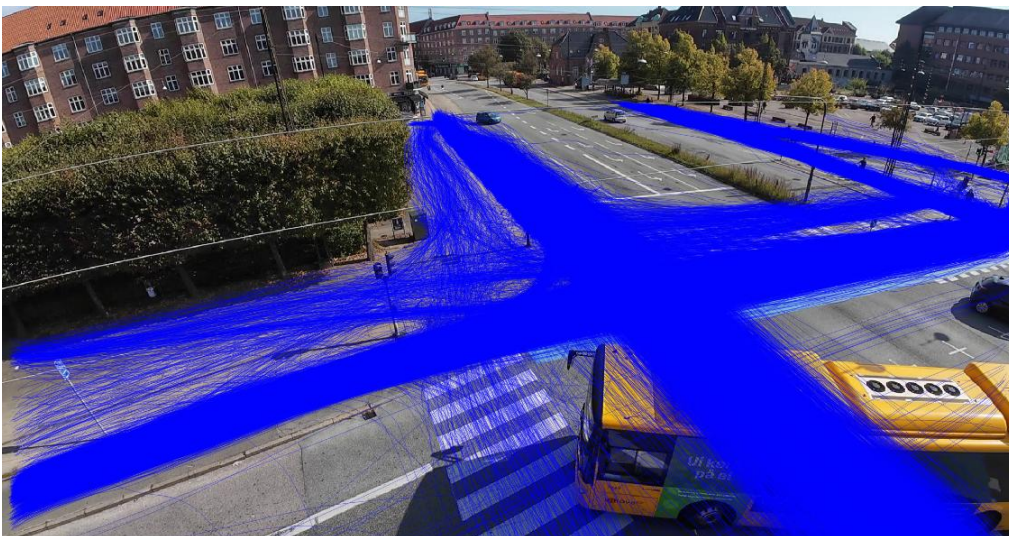


Figur 2. Analyserede tilfarter med angivelse af afviklet trafik i 12 timer fordelt på personbilenheder (PE), cykler og gående (i det langsgående fodgængerfelt), samt hvor stor en andel tilfartens grøntid udgør af den samlede analyseperiode (stiplet linje).





Figur 3. Eksempel på registrering af biltrafik med Data From Sky.



Figur 4. Eksempel på registrering af cykeltrafik med Data From Sky.



Figur 5. Eksempel på registrering af fodgængere med Data From Sky.

De tre billeder er fra krydset Vigerslev Allé / Toftegårds Pl. i København.

## Udvalgte resultater

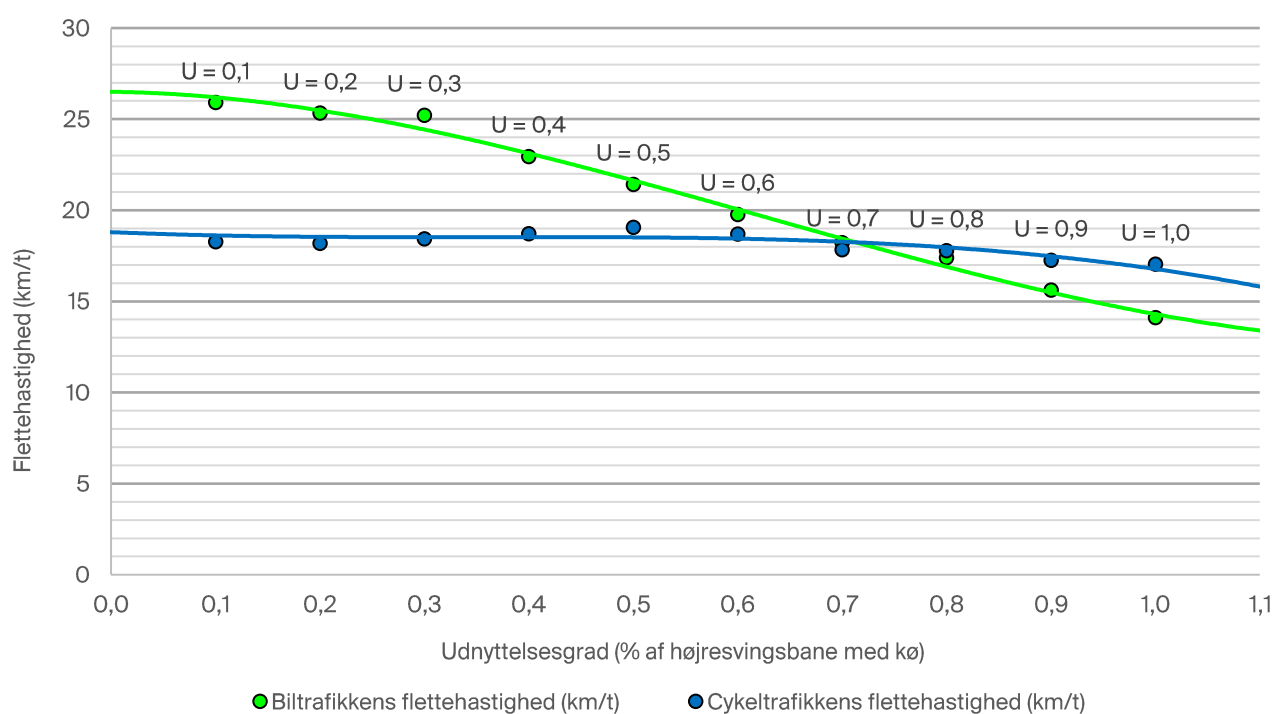
I det følgende gennemgås en række udvalgte resultater fra undersøgelsen. For flere eller mere detaljerede gennemgange af analyserne, henvises således til projektets hovedrapport (Jensen & Sørensen, 2025), som forventes at blive tilgængelig på Cykelviden.dk i løbet af efteråret 2025.

### Fletteadfærd

Til adfærdsanalysen har der bl.a. været fokus på adfærd og samspil mellem bil- og cykeltrafikken i flettepunktet, dvs. hvor cykelstien ophører, og trafikanterne skal flette i svingbanen frem mod krydset. Der er bl.a. foretaget en analyse af indkørsels- og flettehastigheden for hhv. biler og cykler i flettepunktet.

Som det ses på figur 6, ligger biltrafikkens gennemsnitshastighed i flettepunktet på 25-26 km/t, når der er ingen eller kun få biler i kø (dvs. når svingbanens udnyttelsesgrad,  $U \leq 0,3$ ), men i takt med at der skal afvikles flere biler, og køen i højresvingbanen deraf bliver længere, falder flettehastigheden også. Dette er et udtryk for, at biltrafikken udnytter en stor del af højresvingbanen til at decelerere, når der kun er få biler i kø, mens decelerationen flyttes længere væk fra krydset, når køen bliver længere.

For cykeltrafikken falder flettehastigheden også, når bilkøen bliver længere. Faldet er dog mindre markant, hvilket resulterer i, at flettehastighederne ligger på samme niveau, når køen næsten fylder hele svingbanen ( $U = 0,7$ ). Når svingbanen er ved at være fyldt ( $U \geq 0,8$ ), overstiger cyklisternes flettehastighed biltrafikkens hastighed i flettepunktet. Dette er et udtryk for, at cyklisterne ofte finder vej uden om en eventuel bilkø.



Figur 6. Sammenhæng mellem udnyttelsesgrad (% af højresvingbanen med kø) og flettehastigheden for biler og cykler.

I den forbindelse skal det nævnes, at bilisterne – i tilfælde af kø – generelt er gode til ikke at blokere flettepunktet i starten af svingbanen for dermed at friholde plads til, at cyklisterne kan passere uden om køen. På flere af lokaliteterne forekommer der stort set ikke stillestående biltrafik i flettepunktet, som dog i de fleste tilfælde er et udtryk for, at svingbanen næsten aldrig er fyldt, mens der på de tre mest belastede lokaliteter ses stillestående biltrafik i flettepunktet i 10-15 min i løbet af den 12 timers observationsperiode.

På figur 7 (næste side) ses et eksempel fra Silkeborgvej i Aarhus, hvor en bil holder tilbage før flettepunktet i stedet for at dreje ind i højresvingbanen, mens bilerne placeret i højresvingbanen har trukket helt ind til kantstenen. Dette giver god plads til, at cyklisterne kan køre venstre om bilkøen på vej ind i flettepunktet.

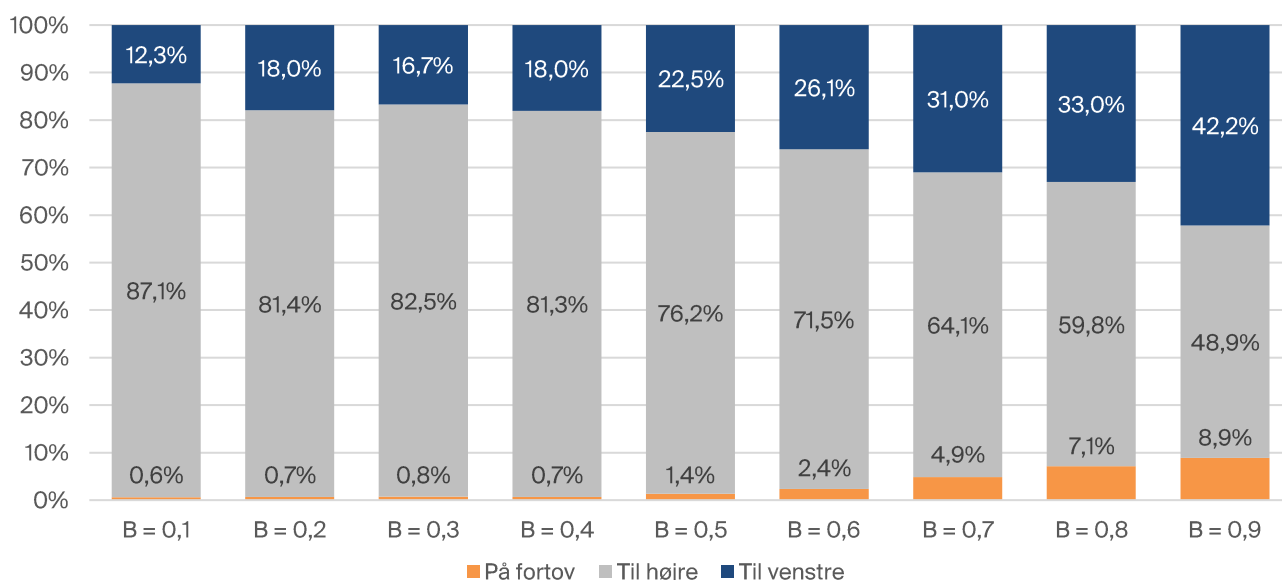




Figur 7. Eksempel på god bilistadfærd ved flettepunktet på Silkeborgvej (v/Ringgaden) i Aarhus.

På figur 8 ses cyklisternes placering i svingbanen. Der er tydelig sammenhæng mellem belastningsgraden og andelen af cyklister, der trækker ud til venstre i højresvingbanen. Dette er et udtryk for, at cyklisterne tilpasser sig trafikintensiteten og udnytter pladsen mellem den ligeudkørende og højresvingende biltrafik. Også ved lav belastning er der relativt mange, der cykler til venstre, hvilket bl.a. skyldes andre cyklister.

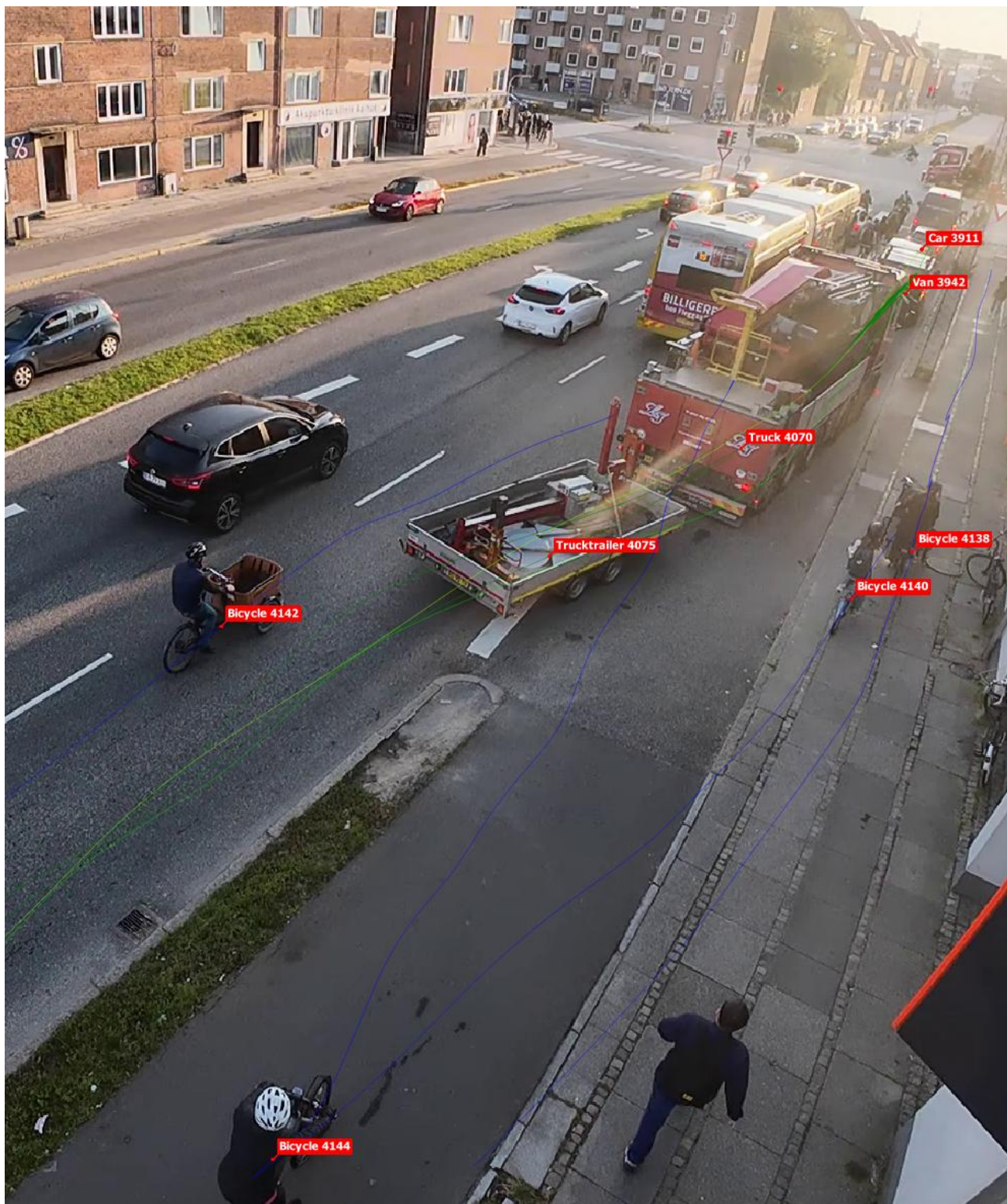
Andelen af cyklister, der kører på fortovet, stiger ligeledes med belastningsgraden. Det kan både skyldes oplevet dårligere fremkommelighed, når der er kø, eller øget utryghed pga. mere intens trafik. Resultaterne viser også, at jo flere tunge køretøjer, desto flere cykler på fortovet, der dog primært kan forklares ved, at en generel stigning i biltrafikken ofte er ensbetydende med en tilsvarende procentuel stigning i antal tunge køretøjer. En kontrol viser desuden, at der ikke er sammenhæng mellem andelen, der cykler på fortovet, og andelen af højresvingende cykler. Det kunne således tænkes, at især de højresvingende cykler ville være mere tilbøjelige til at skyde genvej via fortovet, hvilket dog ikke ser ud til at være tilfældet.



Figur 8. Cyklisternes placering i højresvingbanen afhængigt af belastningsgraden, B = Procentvis kapacitetsudnyttelse.



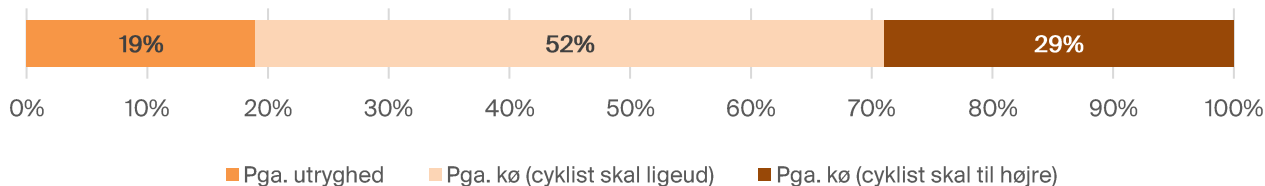
På figur 9 ses endnu et eksempel fra Silkeborgvej i Aarhus, hvor der i dette tilfælde er kø i svingbanen, og flettepunktet er blokeret af et stort køretøj med trailer. I dette tilfælde vælger en cyklist på ladcykel tidligt at køre ud på kørebanen for at overhale bilkøen venstre om, mens andre cyklister kører op på fortovet for i stedet at køre højre om køen.



Figur 9. Eksempel på cyklistadfærd, hvor en ladcykel kører ud på kørebanen for at komme venstre om bilkøen, mens andre cyklister kører højre om køen via fortovet.

For at blive en smule klogere på, hvorfor nogle cyklister vælger at køre op på fortovet, er der for 100 tilfældigt udvalgte cyklister foretaget en kvalitativ vurdering af, hvorfor cyklisterne vælger at cykle på

fortovet. Vurderingen er bl.a. lavet ud fra trafiksituationen, køremåden og kropssproget. 81 (%) af dem, der cykler på fortovet, gør det højest sandsynligt, fordi der er kø i svingbanen. Cyklisterne fordeler sig på 52 (%), der efterfølgende skal ligeud i krydset, mens 29 (%) drejer til højre. De resterende 19 (%) vurderes at cykle på fortovet, fordi de føler sig utrygge. Utrygheden skyldes enten lang kø eller tunge køretøjer i svingbanen.

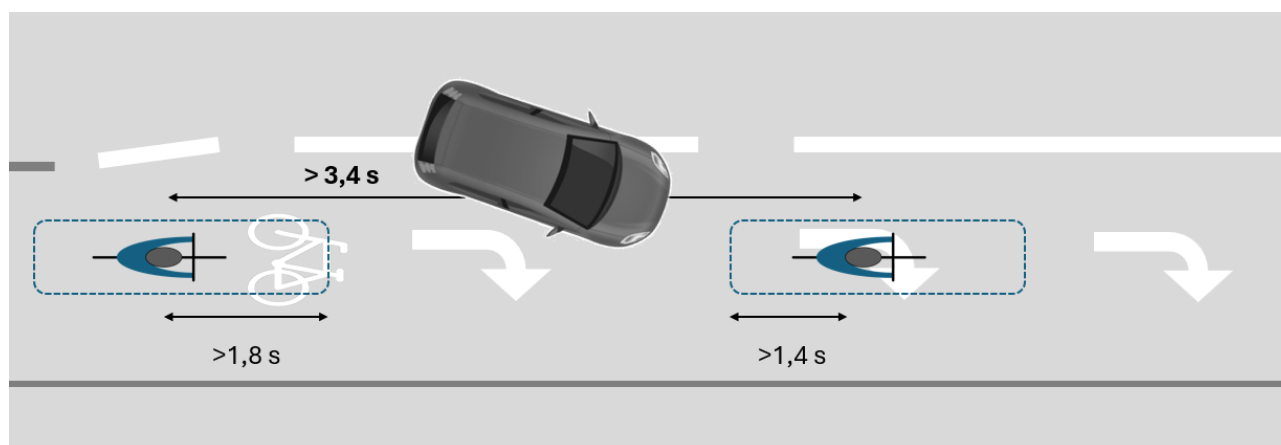


**Figur 10. Mulige årsager til, at nogle cyklister kommende fra tilfarten vælger at køre op/ind på fortovet, vurderet ud fra 100 tilfældigt udvalgte cyklister, der kører på fortovet langs den afkortede cykelsti.**

Når biltrafikken skal flette ind i højresvingbanen, viser erfaringer, at cykeltrafikkens ankomstfordeling (spredning) har stor betydning for trafikafviklingen. Hvis cyklisterne kører tæt, er der ofte ikke plads til, at en bil kan trække ind i svingbanen mellem cyklisterne. Dog kan cyklisternes ankomst i grupper betyde, at der er bedre plads til biltrafikken mellem cykelgrupperne, end hvis cyklisterne ankommer meget spredt. Kapaciteten i flettepunktet er således påvirket af tidsfab-teorien – dvs. at tidsafstanden mellem to cykler skal være stor nok til, at en bilist vil trække ind i svingbanen mellem cyklerne. Er tidsafstanden stor nok, antages det, at bilisten vil udnytte tidsfabet. Dette gælder for så vidt også, hvis en cyklist kører alene. Da vil en bilist også have brug for en vis afstand enten foran eller bagved cyklisten for at trække ind i svingbanen.

Som illustreret på figur 11, viser analyserne af de nødvendige minimumsafstande mellem cykler og biler i flettepunktet, at de korteste tidsafstande ses for de biler, der trækker ind bagved en cykel (1,4 sekunder), mens tidsfabstandene er en smule større (1,8 sekunder) for de biler, der trækker ind foran en cykel. Dette kan forklares med, at det er lettere for en bilist at bedømme en afstand til og hastighed for en forankørende cykel, end hvis bilisten i stedet ligger foran cyklisten ved kørsel ind i svingbanen. Endelig viser analysen, at bilisterne har brug for et mellemrum på mindst 3,4 sekunder mellem to cykler.

I kombination med antal cykler og deres ankomstfordeling, er det beregnet, hvor meget hver enkelt cykel "fylder". Dette skal forstås ved, at en cykel, der kører alene, fylder 3,2 sekunder, mens to cykler, der kører efter hinanden med en afstand på f.eks. 2,0 sekunder, i gennemsnit fylder 2,6 sekunder. På denne måde er der beregnet en samlet resttid – dvs. den resterende tid, som biltrafikken har til rådighed i flettepunktet.



**Figur 11. Illustration af nødvendige minimumstidsfabstande (sekunder) i situationer, hvor en bil skal flette ind i højresvingbanen.**

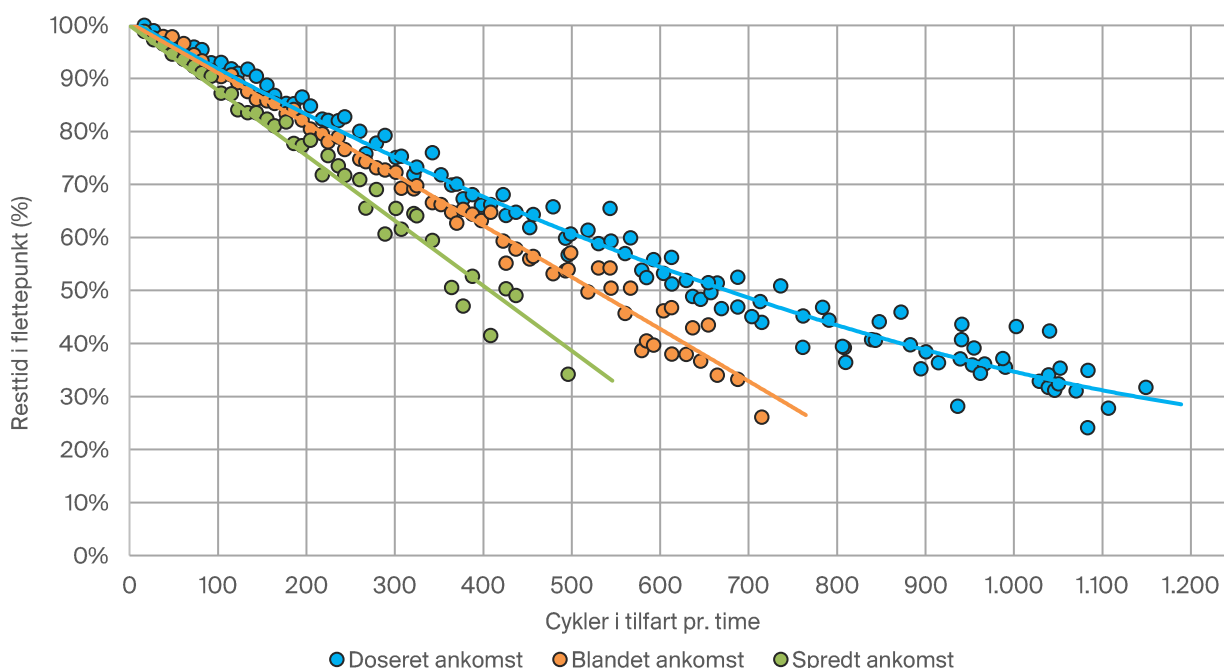
Det bemærkes, at hvis tidsfabstandene opgøres afhængigt af svingbanens bredde, tyder det på, at bilisterne kører tættere på cyklerne, når svingbanen er bred. Dette kan forklares med, at bilisterne føler, der er bedre plads i svingbanen, selvom der er cykler. Der er dog også andre forhold, som kan påvirke både fletteadfærd og registreringerne, hvorfor det ikke er sikkert, at forskellene alene skyldes svingbanens bredde.

## Ankomstfordeling og resttid i flettepunktet

Det er valgt at inddele cyklisterne i tre ankomststyper, hhv. doseret, blandet og spredt. Doseret ankomst er udtryk for, at cyklisterne hovedsageligt ankommer i "klumper", og derfor fylder mindst, mens cyklister, der ankommer spredt, fylder mest. Der henvises til hovedrapporten for en mere detaljeret gennemgang heraf.

Når ankomststyperne kombineres med antal cykler pr. time, er der fundet en tydelig sammenhæng med den resttid, som biltrafikken har til rådighed. På figur 12 ses, at jo mere spredt cyklisterne ankommer til svingbanen, desto mindre resttid er der til rådighed for biltrafikken, hvilket har betydning for kapaciteten. Eksempelvis vil spredte ankomster for ca. 400 cykler på en time betyde, at der kun er ca. halvdelen af tiden til rådighed for biltrafikken, mens cykeltrafikken spærrer for biltrafikken i den anden halvdel af tiden.

Samtidig viser figuren også, at der for 'spredt' ankomst er et maks. på ca. 500 cykler pr. time. Herefter kører cyklisterne så tæt, at de automatisk "springer" over i den næste kategori. Det samme gør sig gældende for 'blandet' ankomst, som ligeledes har et maks. antal cykler på ca. 725 cykler pr. time.



Figur 12. Sammenhæng mellem tilgængelig resttid i flettepunktet afhængigt af registrerede cykler i tilfarten pr. time.

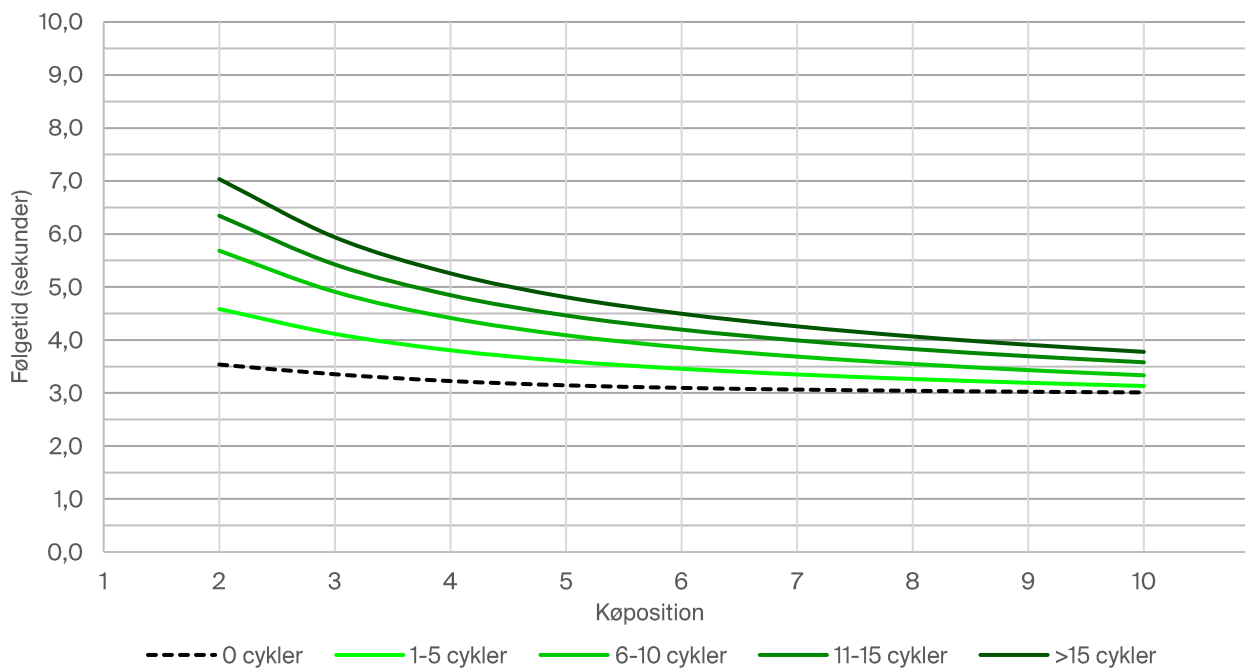
## Adfærd i krydsområdet

Foruden forsinkelse i fletteområdet opstår der også forsinkelse for biltrafikken i selve krydset. Hvor stor denne forsinkelse er, afhænger af hvor mange lette trafikanter, der samlet set skal afvikles i krydset. Til at undersøge dette, er der bl.a. foretaget registrering af biltrafikkens følgetid ved kørsel ind i krydset.

Figur 13 viser følgetiden afhængigt af bilernes position i køen, samt hvor mange cykler der skal afvikles fra tilfarten pr. omløb. Det ses, at følgetiden generelt er højest for de forreste køretøjer i køen. Det skyldes, at hastigheden er lav i starten af grøntiden, hvorfor følgetiden er højere end for de efterfølgende køretøjer, som passerer med en højere hastighed. Ydermere bliver følgetiden højere, jo flere cykler der skal afvikles pr. omløb. Dette skyldes, at cyklerne "fylder noget" i køen, hvormed biltrafikken kører med større afstand.

Samme tendens ses, når følgetiden opgøres med udgangspunkt i alle lette trafikanter, der skal afvikles pr. omløb – dvs. inkl. de gående og venstresvingende cykler. Også her er følgetiden generelt højest for de forreste køretøjer i køen, samt at jo flere lette trafikanter, der skal afvikles pr. omløb, desto højere bliver følgetiden. En væsentlig pointe fra følgetidsanalysen er altså, at følgetiden både afhænger af antal cykler fra tilfarten, men også af hvor mange øvrige lette trafikanter, der skal afvikles.

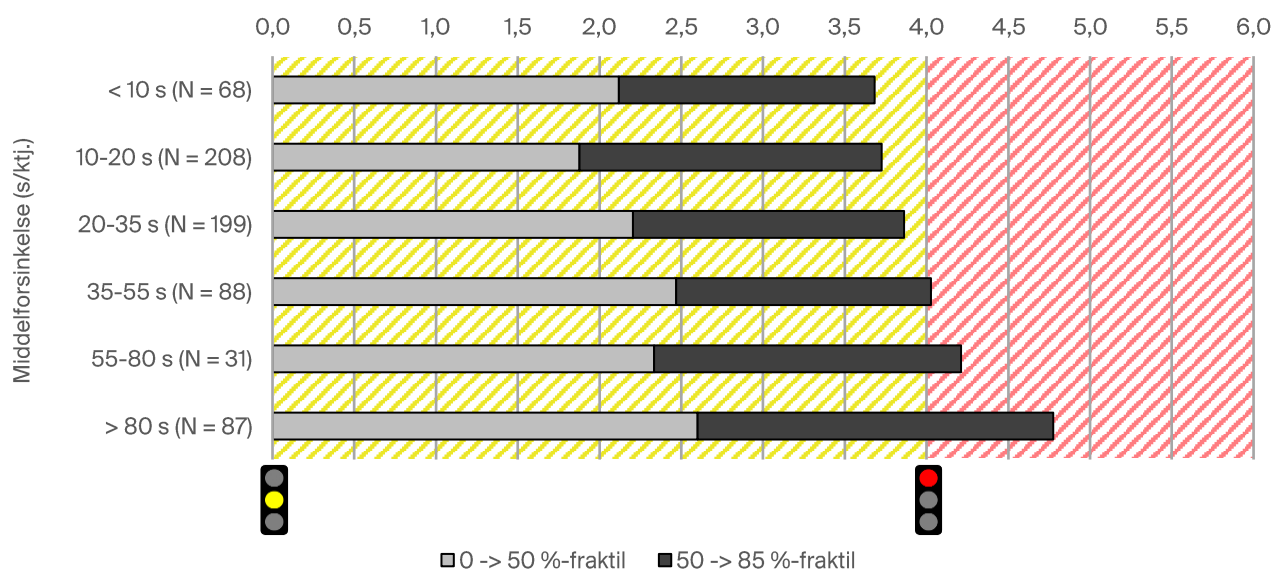




Figur 13. Biltrafikkens følgetid afhængigt af køposition og antal cykler, der skal afvikles i tilfarten pr. omløb.

Udover følgetiden er der også foretaget registrering af tidspunktet for det 1. køretøjs passage af stoplinjen. Her viser passagetiden sig ligeledes at være afhængig af antal cykler og gående, der skal afvikles pr. omløb – jo flere cykler og gående, desto senere kører 1. køretøj over stoplinjen. Dette betyder, at både 1. køretøjs passagetid og følgetiden for de næste køretøjer har betydning for, hvor mange biler der kan afvikles.

Et andet forhold, som har betydning for kapaciteten, er tidspunktet for sidste køretøjs passage af stoplinjen – dvs. hvor længe efter skift fra grønt til gult, der stadig afvikles biltrafik fra svingbanen. Her viser analysen, at passagetiden øges ved stigende middelforsinkelse (ventetid). Dvs. at jo længere tid, bilisterne har ventet i krydset, desto senere kører sidste bil over stoplinjen, selvom signalet er skiftet fra grønt. Som det ses på figur 14, ligger medianen generelt omkring 2,0-2,5 sekunder, mens især 85 %-fraktilen stiger i takt med ventetiden. Det er udtryk for, at bilisternes tålmodighed bliver mindre, når de skal vente længe i krydset. Sammenhængen mellem ventetid og passagetid efter grønt medfører reelt en forøgelse af den effektive grøntid, og dermed en forbedring af kapaciteten, idet en del af gultiden udnyttes til at afvikle biltrafik.



Figur 14. Seneste bils passagetid efter grønt opgjort som 50 %- og 85 %-fraktil, fordelt på middelforsinkelse (sek. pr. køretøj).

## Kapacitetsbetragtninger

### Nuværende beregningsprincipper

I kapitel 7 i håndbogen 'Kapacitet og serviceniveau' (Vejdirektoratet, 2024) beskrives bl.a., hvordan kapacitet og belastningsgrad beregnes for tilfartsspor i signalregulerede kryds. Det er denne metode, der ligger til grund for den beregningsmodel, som er udviklet for afkortede cykelstier i nærværende projekt.

Ved et tilfartsspors kapacitet forstås det maksimale antal køretøjer, der kan afvikles fra tilfartssporet i en given beregningsperiode. For at kunne beregne kapaciteten, skal man derfor først og fremmest kende signalanlæggets omløbstid og den effektive grøntid for det givne tilfartsspor, da disse har betydning for i hvor stor en del af beregningsperioden, der reelt kan afvikles trafik fra tilfartssporet. Desuden skal man kende køretøjernes manøvre i krydset, og vide om køretøjerne har vigepligt for andre trafikstrømme i hele eller dele af grøntiden, idet disse to forhold har betydning for den såkaldte følgetid pr. køretøj.

Følgetiden er den gennemsnitlige tidsafstand, hvormed motorkøretøjer i tilfartssporet følger efter hinanden ud i krydset i grøntiden. For højresvingende motorkøretøjer afhænger følgetiden desuden af, om strømmen har vigepligt for cykler og/eller gående, som optager en del af grøntiden.

Den effektive grøntid er lig grøntiden (dvs. signalets visning), dels med et fradrag for den ekstra tid, som de forreste køretøjer i køen bruger ved opstart, dels med et tillæg for den del af gultiden (efter skift fra grønt lys), hvor der stadig afvikles trafik. Erfaringsmæssigt fastsættes den effektive grøntid til at være grøntiden + 1 sek. Bemærk dog, at den effektive grøntid for en højresvingende trafikstrøm med vigepligt for cykler og/eller gående skal reduceres yderligere pga. den tid, hvor cykler og gående spærrer for de højresvingende, og der således ikke kan afvikles biltrafik fra tilfartssporet.

Det maksimale antal motorkøretøjer, der kan afvikles fra et tilfartsspor, kan beregnes ved:

$$N_{Max} = \frac{T}{\delta} * \frac{E_{gr}}{O}$$

hvor:

$N_{Max}$  = Tilfartssporets kapacitet i beregningsperioden

$T$  = Beregningsperiodens længde i sekunder

$\delta$  = Gennemsnitlig følgetid pr. køretøj i sekunder

$E_{gr}$  = Effektiv grøntid pr. omløb i sekunder

$O$  = Signalanlæggets omløbstid i sekunder.

Dvs. at i et signalanlæg med en omløbstid på 80 sekunder, en effektiv grøntid på 23 sekunder og en følgetid på 2,8 sekunder pr. køretøj, vil der kunne afvikle 370 køretøjer pr. time fra tilfartssporet.

Når tilfartssporets kapacitet kendes, kan belastningsgraden beregnes. Tilfartssporets belastningsgrad er udtryk for, hvor meget tilfartssporet er belastet med trafik i forhold til kapaciteten:

$$B = \frac{N}{N_{Max}}$$

hvor:

$B$  = Tilfartssporets belastningsgrad

$N$  = Trafikintensiteten i beregningsperioden

$N_{Max}$  = Kapaciteten i tilfartssporet i beregningsperioden.

Dvs. at hvis der f.eks. er en trafikintensitet på 240 køretøjer pr. time fra et tilfartsspor med en kapacitet på 370 køretøjer pr. time, vil belastningsgraden være 0,65.

## Beregningsmodel til afkortet cykelsti

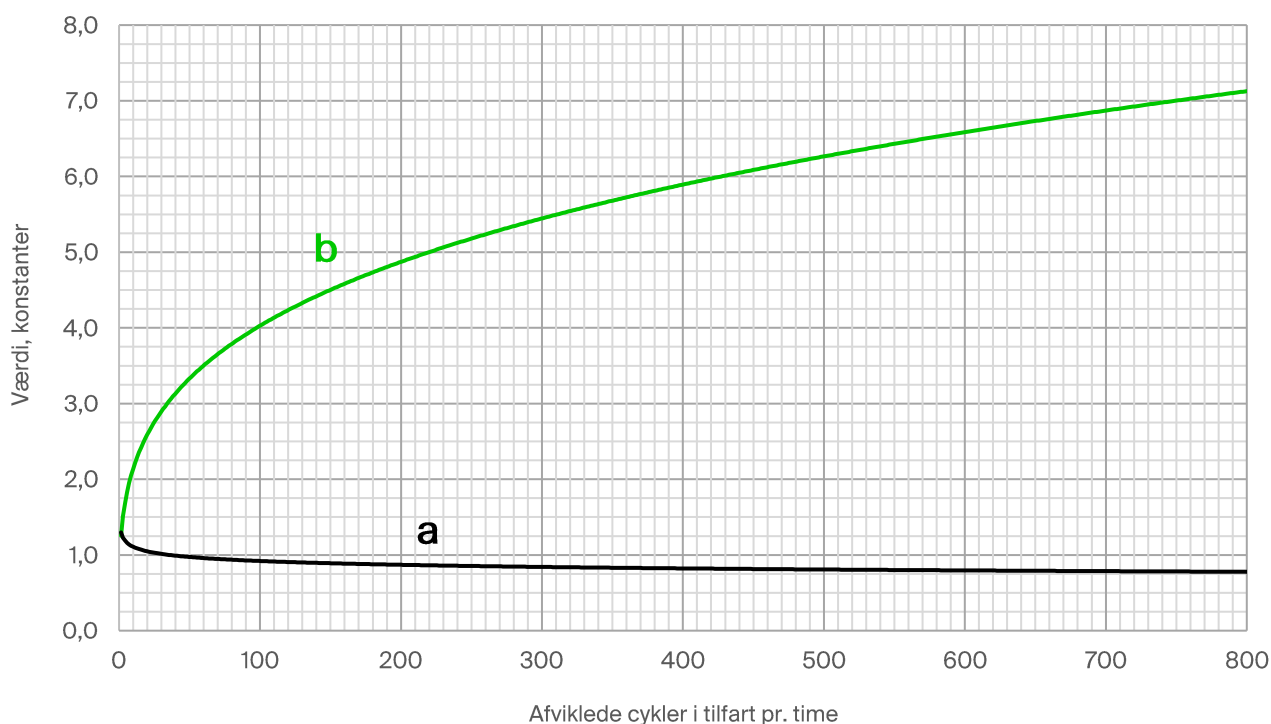
Som tidligere beskrevet, viser analyserne bl.a., at biltrafikkens tidsstab i en afkortet cykelsti er størst i starten af grøntiden. Dvs. at jo længere grøntiden er, desto mindre betydning har antallet af cykler og gående for kapaciteten. Dette forhold er derfor væsentligt at inkludere i en beregningsmodel for kapaciteten i en afkortet cykelsti.

Udgangspunktet for at beregne biltrafikkens tidsforbrug pr. omløb er en potensmodel,  $y = b \cdot x^a$ , hvormed der bliver taget højde for ekstra tidsstab i grøntidens start. Samtidig kan der vha. konstanterne,  $b$  og  $a$ , tages højde for, hvor mange cykler der skal afvikles sammen med biltrafikken. Desuden har både antallet af omløb,  $O$ , i beregningsperioden,  $T$ , betydning for kapaciteten, fordi tidsstabet er størst i opstarten.

Beregningsmodellen er baseret på, hvor meget biltrafik, der skal afvikles i en given beregningsperiode,  $T$ . Typisk er der ønske om at kende belastningen hen over en (spids)time. Da potensmodellen undersøger kapaciteten pr. omløb, er det nødvendigt også at kende trafikmængden pr. omløb. Ved at dividere omløbstiden,  $O$ , med beregningsperioden,  $T$ , og derefter gange dette med  $N_{PE}$ , som er antal personbilenheder, der skal afvikles i beregningsperioden, fås det antal personbilenheder, der i gennemsnit skal afvikles pr. omløb. Dvs. at  $x$ 'et i potensfunktionen er det antal køretøjer, der skal afvikles pr. omløb.

| Cykler (i tilfarten) pr. time | 10   | 50   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| a                             | 1,10 | 0,97 | 0,92 | 0,87 | 0,84 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,79 |
| b                             | 2,10 | 3,33 | 4,03 | 4,87 | 5,45 | 5,89 | 6,27 | 6,59 | 6,87 |

Tabel 2. Estimerede konstanter til beregning af forventet belastningsgrad.



Figur 15. Grafisk udvikling for konstanterne,  $a$  og  $b$ , udledt af potensfunktioner for cykeltrafik pr. omløb omregnet til timetrafik.

Med potensfunktionen samt konstanterne  $b$  og  $a$  beregnes således det samlede antal sekunder pr. omløb,  $y$ , der skal bruges på at afvikle  $x$  biler. Ved at dividere tidsforbruget/-behovet for  $x$  biler med den effektive grøntid (hvor der reelt kan afvikles trafik),  $E_{gr}$ , fås belastningsgraden (pr. omløb).



Belastningsgraden i en afkortet cykelsti kan dermed beregnes med følgende formel:

$$B = \frac{b * \left(N_{PE} * \frac{O}{T}\right)^a * k_{fAF} * k_{fFlet} * k_{fLT\%}}{E_{gr}}$$

hvor:

$N_{PE}$  = Antallet af personbilenheder i beregningsperioden

$T$  = Beregningsperiodens længde i sekunder

$O$  = Omløbstiden i sekunder

$E_{gr}$  = Grøntiden pr. omløb i sekunder + 2 sekunder for kørsel over for gult lys

$k_{fAF}$  = Korrektionsfaktor, som tager højde for cykeltrafikkens ankomstfordeling

$k_{fFlet}$  = Korrektionsfaktor for cykeltrafikmængden i flettepunktet

$k_{fLT\%}$  = Korrektionsfaktor for, som tager højde for cykeltrafikken i tilfarten og dennes andel af det samlede antal lette trafikanter i krydsområdet foran den afkortede cykelsti.

Som det fremgår, skal modellen altså korrigeres med tre korrektionsfaktorer. Det bemærkes i øvrigt, at modellen ikke er udviklet til afkortede cykelstier i vigepligtskryds.

### Korrektionsfaktorerne $k_{fAF}$ og $k_{fFlet}$ pga. reduceret kapacitet i flettepunktet før krydset

Til at korrigere for reduceret kapacitet i flettepunktet, er der udviklet to korrektionsfaktorer. Den ene,  $k_{fAF}$ , tager højde for dels cykeltrafikkens spredning ved kørsel ind i højresvingsbanen, der har betydning for biltrafikkens mulighed for at komme ind i højresvingsbanen, dels grøntidens andel af omløbstiden, der har betydning for, hvor stor en andel af cykeltrafikken, som kan forventes at ankomme til krydset i grøntiden.

| $k_{fAF}$ |      | Cyklisternes ankomstfordeling til krydset |         |        |
|-----------|------|-------------------------------------------|---------|--------|
|           |      | Doseret                                   | Blandet | Spredt |
| Gr/O      | 0,1  | 0,95                                      | 0,97    | 1,00   |
|           | 0,2  | 0,96                                      | 0,98    | 1,01   |
|           | 0,3  | 0,97                                      | 0,99    | 1,02   |
|           | 0,4  | 0,98                                      | 1,00    | 1,03   |
|           | 0,5  | 0,99                                      | 1,01    | 1,04   |
|           | 0,6  | 1,00                                      | 1,02    | 1,05   |
|           | Gns. | 0,98                                      | 1,00    | 1,03   |

Tabel 3. Korrektionsfaktor,  $k_{fAF}$ , for cyklisterne ankomstfordeling til krydset.

I flettepunktet afhænger biltrafikkens mulighed for at trække ind i højresvingsbanen også af cykeltrafikmængden. Jo flere cyklister, desto længere tid "spærrer" de for biltrafikken. Denne faktor er således udtryk for, hvor meget belastningen øges, fordi der opstår spildtid i højresvingsbanen.

| Cykler i tilfarten pr. time | 10   | 50   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $k_{fFlet}$                 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,08 | 1,12 | 1,16 | 1,21 | 1,28 | 1,37 |

Tabel 4. Korrektionsfaktor,  $k_{fFlet}$ , for cykeltrafikmængden i tilfartens betydning for spildtiden i højresvingsbanen.

### Korrektionsfaktor $k_{fLT\%}$ pga. reduceret kapacitet i krydsområdet fra øvrige lette trafikanter

Til at korrigere for reduceret kapacitet pga. andre lette trafikanter (foruden cyklisterne i tilfarten), er der udviklet endnu en korrektionsfaktor. Denne er udtryk for, hvor meget belastningen stiger, afhængigt af hvor mange øvrige lette trafikanter der skal afvikles i krydset, dvs. gående på tværs af sidevejen (til højre) samt ligeudkørende cykler efter venstresving (stort venstresving fra sidevejen til venstre).

| Cykeltrafikken i tilfartens andel | ≤ 30 % | 40%  | 50%  | 60%  | 70%  | 80%  | ≥ 90% | Ukendt |
|-----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| $k_{fLT\%}$                       | 1,21   | 1,18 | 1,11 | 1,08 | 1,06 | 1,04 | 1,03  | 1,08   |

Tabel 5. Korrektionsfaktoren,  $k_{fLT\%}$ , for tilfartens andel af alle lette trafikanter i krydset foran den afkortede cykelsti.

## Eksempel på brug af beregningsmodellen

Det følgende afsnit beskriver et eksempel på anvendelse af beregningsmodellen med udgangspunkt i en afkortet cykelsti i krydset Silkeborgvej/Ringgaden (O1) i Aarhus.

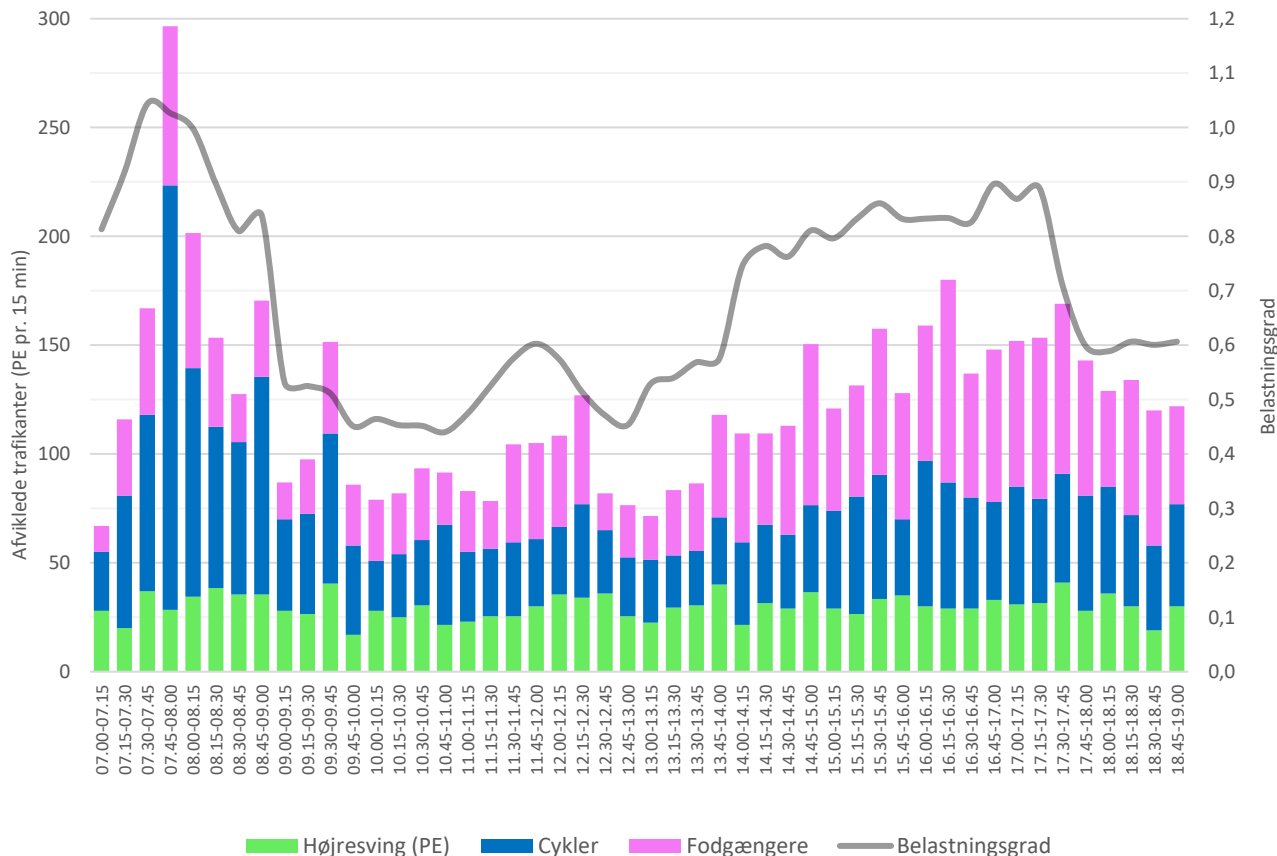
Trafiktællingen på Silkeborgvej viser, at den største sammenhængende time for højresvingende motorkøretøjer er kl. 8-9, hvor der er registreret svarende til 142 personbilenheder. Samlet for både motorkøretøjer, cykler og gående ligger den største time dog fra kl. 7.30-8.30, hvor der er registreret:

- 134 højresvingende motorkøretøjer (PE)
- 395 cykler i tilfarten ( $kf_{LT\%} = 60\%$ ,  $kf_{AF} = \text{Blandet}$ )
- 60 venstresvingende cykler fra venstre
- 225 langsgående fodgængere.

I morgenspidstimen er der registreret en gennemsnitlig omløbstid og grøntid på Silkeborgvejs vestlige vejgren på hhv. 120 og 22 sekunder. Kapacitetsberegningen for den afkortede cykelsti på Silkeborgvej viser dermed en belastningsgrad på 1,0 i morgenspidstimen kl. 7.30-8.30:

$$B = \frac{b * \left(N_{PE} * \frac{Q}{T}\right)^a * kf_{AF} * kf_{Flet} * kf_{LT\%}}{E_{gr}} = \frac{5,87 * \left(134 * \frac{120}{3.600}\right)^{0,82} * 0,98 * 1,16 * 1,08}{22 + 2} = 1,0$$

På figur 16 ses trafikafviklingen i intervaller á 15 min med dertilhørende angivelse af belastningsgrad. Den relativt høje belastningsgrad stemmer godt overens med videoobservationerne. I morgenspidstimen forekommer der således store kødannelser i højresvingssbanen – især fordi der skal afvikles mange cyklister. Deraf opstår der flere omløb, hvor der kun afvikles 3-4 biler i grøntiden, og flere bilister oplever at må vente to omløb. I hele tidsrummet kl. 7-19 ligger svingbanens gennemsnitlige belastning på 0,6.



Figur 16. Afviklet biltrafik (PE), cykler og gående pr. 15 min med angivelse af belastningsgrad i højresvingssbanen.

## Konklusion

Formålet med studiet har været at dokumentere forskellige parametres effekt på kapacitet og fremkommelighed i afkortede cykelstier i signalregulerede kryds. Gennem et videoobservationsstudie er det undersøgt, hvordan afkortede cykelstier fungerer med forskellige trafikmængder og udformninger, og hvor stor betydning det har for fremkommeligheden for bil- og cykeltrafikken. Desuden er det undersøgt, om løsningen har en egentlig kapacitetsgrænse, som bør tages i betragtning, når der planlægges og vælges krydsløsninger for cyklister.

Overordnet set har adfærdsstudiet vist, at cykeltrafikken fremkommelighed kun i mindre omfang påvirkes, selvom trafikbelastningen stiger, og der opstår kødannelser fra biltrafikken i højresvingbanen. Som videoregistreringerne viser, skyldes dette i høj grad, at cyklisterne er gode til at tilpasse sig den givne trafiksituation og –belastning, f.eks. ved i højere grad at trække ud til venstre i svingbanen, når antallet af biler (og cykler) stiger i svingbanen, eller ved at køre inden om bilkøen på fortovet – begge dele for at komme hurtigere gennem krydset. Samtidig tyder registreringerne også på, at mange af bilisterne er gode til ikke at blokere flettepunktet i starten af højresvingbanen og dermed at friholde plads til, at cyklisterne kan passere uden om bilkøen.

Betragtningerne om cyklisterne fremkommelighed er primært vurderet ud fra cyklisterne hastigheder og den observerede adfærd i den afkortede cykelsti, mens biltrafikken fremkommelighed bl.a. er vurderet ud fra følgetider. Ønskescenariet var, at der kunne laves samme beregninger/betragtninger om følgetider for cykeltrafikken. Det er dog hverken muligt eller brugbart at beregne følgetider for cyklister, da de opfører sig mere "autonomt" end bilister. Dette skal f.eks. forstås ved, at nogle cykler kører frem og placerer sig foran stoplinjen, når de holder for rødt lys, nogle placerer sig ved siden af hinanden, mens andre placerer sig bagved bilkøen. Der er således ikke på samme måde, som for biltrafikken, altid tale om en veldefineret kø, hvor cyklisterne kører på én række efter hinanden ud i krydset. Dette er således årsagen til, at cykeltrafikken fremkommelighed i højere grad er vurderet ud fra (udsving i) hastigheder og tidsforbruget i højresvingbanen.

Selvom cyklisterne fremkommelighed kun ser ud til at blive en smule forringet, når trafikbelastningen stiger, kan det stadig – fra cyklisterne side – opleves markant mindre fremkommeligt, hvis der er kø i højresvingbanen, og at man som cyklist dermed er tvunget til enten at blive bagved bilkøen, køre venstre om køen, hvor pladsen kan være trang, eller føle sig nødsaget til at køre op på fortovet. Dette er formentlig årsagen til, at mange cyklister har en oplevelse af, at deres fremkommelighed bliver væsentlig forringet i en afkortet cykelsti. Dette hænger godt sammen med studiet af Jensen (2011), der bl.a. fandt, at afkortet cykelsti giver en markant forringelse af cyklisterne oplevede serviceniveau og tilfredshed med cykelinfrastrukturen.

I denne sammenhæng er det desuden værd at bemærke, at cyklisterne oplevelse af afkortede cykelstier som mindre fremkommelige sandsynligvis også hænger sammen med, at cyklisterne i højere grad føler sig udsatte i en afkortet cykelsti, der bl.a. resulterer i, at flere cykler op på fortovet, når trafikbelastningen og antallet af tunge køretøjer stiger. Det påpeges her, at fortovscyklisme både er ulovligt og uhensigtsmæssigt af hensyn til trafikikkerheden, hvorfor det ud fra et trafikikkerhedsmæssigt synspunkt er uheldigt, at der cycles på fortovet. Derimod er cykling til venstre i højresvingbanen en trafikikker cykeladfærd.

Idet fortovscyklisme er særdeles uhensigtsmæssigt, da det øger risikoen for både højresvingulykker og ulykker med gående på fortovet, bør brug af afkortet cykelsti derfor nøje overvejes, når der er meget trafik, mange gående, mange cyklende skolebørn og smalt fortov. Samtidig bør fortovscyklisme vanskeliggøres ved f.eks. at sikre lysning mellem fortov og cykelsti. Der kan desuden tænkes i og iværksættes kampanjer og kontrol mod fortovscyklisme.

Med undersøgelsen kan der ikke påvises at være væsentlige forskelle i cykelfremkommeligheden afhængigt af højresvingbanens bredde eller længde. I den forbindelse bemærkes det, at de 10 lokaliteter, der indgår i

undersøgelsen, er ganske forskellige både mht. udformning, trafikmængde og -fordeling. Dette betyder samtidig også, at det netop er svært at undersøge og kontrollere for en eventuel effekt af svingbanens længde og bredde, da mange andre forhold kan påvirke resultaterne.

Overordnet set er det vurderingen, at reduceret fremkommelighed for cyklister ikke decideret kan bruges som argument for at fravælge en afkortet cykelsti, hvorfor det i endnu højere grad end i dag vil være et spørgsmål om at opveje tryghed mod trafiksikkerhed, når denne løsning skal vælges enten til eller fra. Hvis der ønskes en høj grad af tryghed for de cyklende, kan der argumenteres mod at vælge afkortet cykelsti, men er ønsket derimod at prioritere trafiksikkerhed for de cyklende, er der fordele ved at vælge netop denne løsning.

I forhold til spørgsmålet om, hvorvidt afkortede cykelstier har en kapacitetsgrænse, så er svaret: Ja. Der er naturligvis en grænse for hvor mange biler og cykler, der kan afvikles i en afkortet cykelsti. Dog viser denne undersøgelse, at grænsen nok er mere flydende end som så, idet kapacitetsgrænsen afhænger af flere parametre end blot trafikmængderne. Derfor er der i forbindelse med projektet udviklet en beregningsmodel, som ud fra viden om trafikmængderne, cykeltrafikkens ankomstfordeling og signalstyringen kan hjælpe med at beregne antallet af biler, der kan afvikles i en given tidsperiode.

## Referencer

Jensen, M.L. & Sørensen, M.W.J. (2020). Trafiksikkerhed ved afkortede og fremførte cykelstier i signalregulerede kryds – En før-efter ulykkesevaluering. Via Trafik.

Jensen, M.L. & Sørensen, M.W.J. (2025). Kapacitet i den afkortede cykelsti. RAW Mobility. *NB! Rapporten er endnu ikke publiceret ved denne artikels udgivelse.*

Jensen, S.U. (2011). Fodgængeres og cyklisters oplevede serviceniveau i kryds. Trafitec.

Rambøll (2022). Cyklisters tryghed ved fremført og afkortet cykelsti.

Vejdirektoratet (2022). Vejtekniske løsninger for cyklister - Effekt på sikkerhed og oplevet tryghed. 01-2022.

Vejdirektoratet (2023). Vej- og trafikteknisk ordbog. 11-2023.

Vejdirektoratet (2024). Håndbog om Kapacitet og serviceniveau. 03-2024.