

Appendix 4.1 - Metode til gennemregning af kapaciteten af et prioriteret kryds

Dette appendix er et uddrag af Vejregler for vejryds i åbent land.³

Definition af kapacitet

Kapaciteten af et vejryds beskrives ved kapaciteten af samtlige krydsets tilfartsspor. Kapaciteten af et tilfartsspor er det antal personbilenheder, pe , som pr. time kan afvikles i sporet.

Et vejryds har tilstrækkelig kapacitet, hvis den dimensionsgivende trafikintensitet i samtlige tilfartsspor i hele planperioden er mindre end kapaciteten.

Kapacitetsberegning for et vejryds kræver kendskab til:

Dimensionsgivende trafikintensiteter i hver enkelt trafikstrøm

Primærvejens længdegradient

Antal spor i tilfarterne

Vigepligtsforhold

Dimensionsgivende trafikintensiteter

Ved beregning af dimensionsgivende trafikintensiteter opdeles trafikken i køretøjskategorierne:

Cykler, knallerter og motorcykler

Person- og varevogne

Lastvogne og busser

Sætte- og påhængsvogn

Den dimensionsgivende trafikintensitet for hver enkelt trafikstrøm beregnes ved multiplikation af trafikintensiteten for hver køretøjskategori med en tilsvarende personbilækvivalent og efterfølgende summation.

For højre- og venstreindsvingende trafik afhænger personbilækvivalenten af primærvejens længdegradient og kan aflæses i tabel 1.

For ligeudkørende sekundærtrafik og for venstresvingende primærtrafik anvendes værdierne i tabel 1 gældende for længdegradienten 0%.

For gennemkørende og højresvingende primærtrafik anvendes personbilækvivalenten 1,0 for alle kategorier.

(I signalregulerede kryds anvendes værdierne svarende til længdegradienten 0% for alle trafikstrømme. Det omregnede dimensionsgivende trafikintensitet afhænger altså af, om krydset er signalreguleret eller ikke).

Køretøjskategori				
Primærvejens længdegradient	Cykler, knallerter og motorcykler	Person- og varevogne	Lastvogne og busser	Sætte- og påhængsvogn
stign.	0,7	1,4	3,0	6,0
	0,6	1,2	2,0	3,0
	0,5	1,0	1,5	2,0
	0,4	0,9	1,2	1,5
fald	0,3	0,8	1,0	1,2

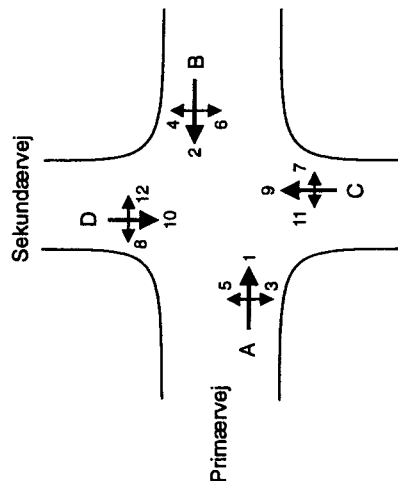
Tabel 1 Personbilækvivalenter, til omregning fra køretøjer til pe , gældende for kapacitetsberegninger for vejryds i åbent land.

På figur 1 er vist de tolv trafikstrømme, som forekommer i et firevejskryds, med den nummerering, som benyttes i afsnittet om kapacitetsberegning. A og B er primærtilfarter, og C og D er sekundærtilfarter.

De enkelte tilfartsspor identificeres i overensstemmelse med denne nummerering og bogstavering. Eksempelvis betegner $B_2 + 4$ et tilfartsspor i primærvejen med både ligeudkørende og højresvingende trafik, medens D_8 betegner et højresvingsspor i sekundærvejen.

Antallet af spor i tilfarterne skal kendes, og trafikstrømmene beregningsmæssig fordeles på de enkelte spor.

Vigepligtsforholdene er afgørende for trafikstrømmes afvikling. Ved kapacitetsberegningerne regnes med normale vigepligtsforhold, herunder med den grundlæggende forudsætning, at trafikken på sekundærvejen har ubetinget vigepligt for trafikken på primærvejen, ligesom det forudsættes, at venstresvingende primærtrafikanter ikke svinger, før det kan ske uden ulempe for modkørende trafik



Figur 1 Nummerering af trafikstrømme og bogstavering af tilfarter i et firevejskryds.

Kapacitetsberegning, ikke-signalregulerede vejkyrds

Ved kapacitetsberegning for ikke-signalregulerede vejkyrds kan anvendes et skema som vist i tabel 2.

N_i (pe/h) er trafikintensiteten i strøm "i".

H_i (pe/h) er strøm "i"s overordnede trafikintensitet, dvs. summen af trafikintensiteterne i strømme, for hvilken strøm "i" er vigepligtig. I tabel 2 er beregningen af H angivet for samtlige vigepligtige strømme.

Strøm	N	H	τ	G	N_{max}	N/N_{max}	p
-	pe/h	pe/h	sek/pe	pe/h	pe/h	-	-
1		-	-	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-	-
3		-	-	-	-	-	-
4		-	-	-	-	-	-
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11						-	-
12						-	-

Tabel 2 Skema til beregning af kapacitet i ikke-signalregulerede vejkyrds.

I vejkyrds med 4 gennemfartsspor vil den ligeudkørende primærtrafik (N_1 og N_2) være fordelt på hver 2 spor. En direkte brug af figur 2 ville derfor give lidt for lave kapacitetsværdier for sekundærtrafikken. H_7 og H_8 (samt eventuelt H_{11} og H_{12}) bør af den grund beregnes med reducerede overordnede strømme.

τ (sek/pe) er det kritiske interval for trafikantene i den vigepligtige strøm "i". I tabel 3 er τ angivet for samtlige vigepligtige strømme.

G_i (pe/h) er en hjælpestørrelse, som benyttes ved beregning af kapaciteten af den vigepligtige strøm "i". I figur 3 er G_i vist som funktion af H og τ .

N_{max} , i (pe/h) er kapaciteten af den vigepligtige strøm "i". Beregningen af N_{max} for samtlige vigepligtige strømme er vist på figur 2.

N_i/N_{max} , i (rent tal) er belastningsgraden for strøm "i".

p_i (rent tal) er sandsynligheden for køfri tilstand i den vigepligtige strøm "i". På figur 4 er p vist som funktion af N/N_{max} .

Strøm	H	N_{max}
5	$N_2 + N_4$	G_5
6	$N_1 + N_3$	G_6
7	N_1	G_7
8	N_2	G_8
9	$N_1 + N_2 + N_4 + N_5 + N_6$	$G_9 \cdot p_5 \cdot p_6$
10	$N_1 + N_2 + N_3 + N_5 + N_6$	$G_{10} \cdot p_5 \cdot p_6$
11	$N_1 + N_2 + N_5 + N_6 + N_{10}$	$G_{11} \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_{10}$
12	$N_1 + N_2 + N_5 + N_6 + N_7 + N_9$	$G_{12} \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_9$

Figur 2 Vigepligtige strømme overordnede trafikintensitet H og kapacitet N_{max} .

Strøm	Vigepligtsforhold	
	ubetinget vigepligt	fuldt stop
5	5,5 (6,0)	
6		
7	5,5 (6,0)	6,5 (6,5)
8		
9	6,0 (7,0)	7,0 (8,0)
10		
11	7,0 (8,0)	8,0 (9,0)
12		

Tal uden parentes: 2 gennemgående spor på primærvejen
Tal med parentes: 4 gennemgående spor på primærvejen

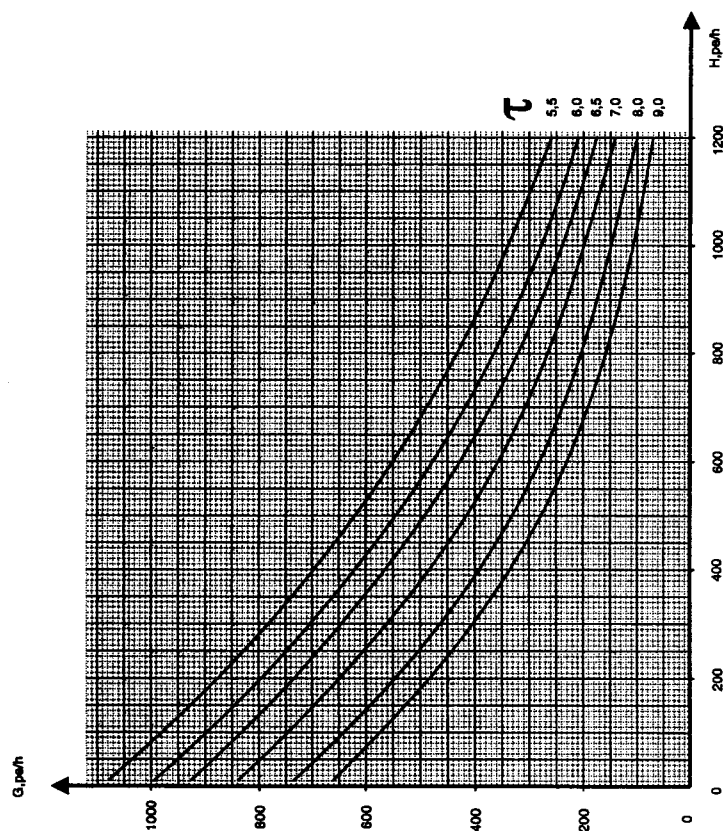
Tabel 3 Bestemmelse af τ .

Kapacitetsberegningen foretages som beskrevet nedenfor i punkterne 1-9.

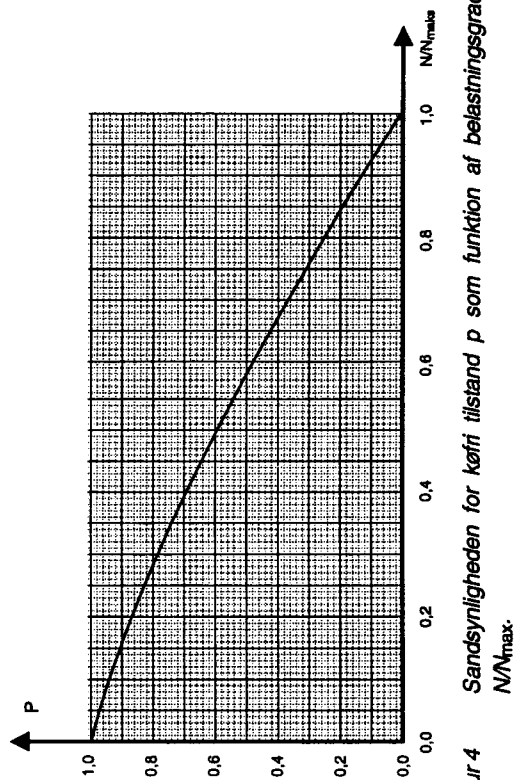
1. I skemaet vist i tabel 2 indføres de dimensionsgivende trafikintensiteter N_1 N_{12} .
2. De overordnede trafikintensiteter H_5 H_{12} beregnes, se figur 2.
3. De kritiske intervaller τ_5 τ_{12} bestemmes ved hjælp af tabel 3.
4. Hjælpestørrelserne G_5 G_{12} bestemmes ved hjælp af diagrammet figur 3.
5. De sidste tre kolonner i skemaet, N_{max} , N/N_{max} og p , udfyldes rækkevis begyndende med strøm 5 og sluttende med strøm 12, idet N_{max} beregnes som vist i figur 2, og p aflæses på figur 4.

For alle strømme skal gælde $N < N_{max}$, hvilket kontrolleres i det udfyldte skema. Det bemærkes, at dette krav skal opfyldes uafhængigt af antal spor i tilfarterne.

I punkterne 6-9 undersøges herefter, om kapaciteten er tilstrækkelig i de enkelt tilfartsspor.



Figur 3 Hjælpestørrelsen G som funktion af den overordnede trafikintensitet H og det kritiske interval τ .



Figur 4 Sandsynligheden for køfri tilstand p som funktion af belastningsgraden N/N_{\max} .

6. Kapaciteten af tilfartsspor, der kun benyttes af én trafikstrøm "x", er tilstrækkelig, hvis $N_x < N_{\max,x}$.
7. Kapaciteten af tilfartsspor, der benyttes af to trafikstrømme "x" og "y", for hvilke kapaciteterne hver for sig er bestemt til $N_{\max,x}$ og $N_{\max,y}$, er tilstrækkelig, hvis $N_x + N_y < N_{\max,x+y}$, hvor $N_{\max,x+y}$ er tilfartssporets kapacitet, der beregnes af formel 1.

$$N_{\max,x+y} = (N_x + N_y) \cdot \left(\frac{N_x}{N_{\max,x}} + \frac{N_y}{N_{\max,y}} \right)^{-1} \quad (1)$$
8. Kapaciteten af tilfartsspor, der benyttes af tre trafikstrømme, "x", "y" og "z", er tilstrækkelig, hvis $N_x + N_y + N_z < N_{\max,x+y+z}$, hvor $N_{\max,x+y+z}$ er tilfartssporets kapacitet, der beregnes af formel 2.

$$N_{\max,x+y+z} = (N_x + N_y + N_z) \cdot \left(\frac{N_x}{N_{\max,x}} + \frac{N_y}{N_{\max,y}} + \frac{N_z}{N_{\max,z}} \right)^{-1} \quad (2)$$
9. Ved beregning af kapaciteten af tilfartsspor på primærvejen kan man regne med $N_{\max,1} = N_{\max,2} = N_{\max,3} = N_{\max,4} = 1500 \text{ pe/h}$, såfremt kapaciteterne ikke kan bestemmes ved andre metoder. Kapaciteten af de enkelte tilfartsspor kan herefter bestemmes som angivet i punkterne 6-8.

- 1 Thagesen, Bent, Lærebog i vejbygning, Bind 1, Trafik og geometri, Polyteknisk Forlag, 1984.
- 2 Byernes Trafikarealer, Hæfte 1 og 4, Vejdirektoratet, Vejreguludvalget, 1991.
- 3 Vejregler for vejryds i åbent land, Vejdirektoratet, Vejreguludvalget, 1983.
- 4 Udformning af rundkørsler på hovedlandeveje, Idekatalog, Vejdirektoratet, 1989.
- 5 Trafikuheld i 1991, på kommuneveje, landeveje og hovedlandeveje, Vejdirektoratet, 1992.
- 6 Jørgensen, N.O., Rørbech, Jens, Oversigtsforhold og kapacitet i uregulerede landevejskryds, Vejdatalaboratoriet, Rapport 14, 1975
- 7 Jørgensen, N.O., Rundkørslers kapacitet og sikkerhed, Rapport 61, IVTB, DTH, 1991.
- 8 Jørgensen N.O., Jørgensen, Else, Rundkørsler - en brugbar reguleringsform?, Dansk Vejtidskrift, nr. 5, 1991.
- 9 Lahrmann, Harry, Rundkørsler, trafiksikkerhed, geometrisk udformning og kapacitet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger, Vejdirektoratet, 1981.

Signalregulerede kryds

Af Steen Lauritzen

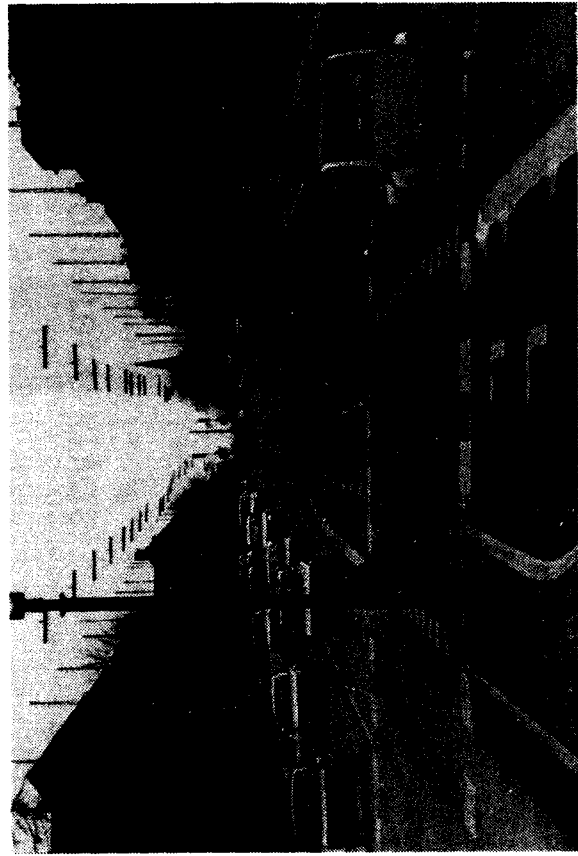
5.1 Effekter af signalanlæg

Sammenlignet med et kryds med ubetinget vigepligt påvirker en signalregulering trafikken og omgivelserne. Konsekvenserne for trafikanterne kan beskrives i form af forsinkelse, antal stop, uheld og kørselsomkostninger. Etablering af et signalreguleret kryds vil medføre, at ventetiden øges for nogle trafikanter, mens den ofte reduceres for andre. For vejforvaltningen indebærer signalanlæg øgede drifts- og vedligeholdelsesudgifter. For beboerne i krydsets nærhed kan der være øgede støj- og lugtgener på grund af de ekstra stop og accelerationer, som et signalanlæg giver anledning til. For samfundet i øvrigt er der ulemper i form af øget luftforurening både lokalt, regionalt og globalt.

Tidssepareringen af de trafikstrømme, der er i konflikt med hinanden, forøger trafiksikkerheden, men reducerer fremkommeligheden for de strømme, der uden signalregulering kan passere krydset uden vigepligt. Ved at regulere trafikken med signaler, frigøres nogle af trafikanterne fra en stillingtagen til de bedømmelsesproblemer og risikomomenter, som altid er til stede for sidevejstrafikanter i kryds med ubetinget vigepligt. Undertiden giver signalregulering mulighed for at påvirke trafikanternes hastighedsvalg og derigennem fremme et mere roligt trafikmiljø.

Ved at adskille de krydsende trafikstrømme tidsmæssigt løses de primære konflikter, dvs. konflikter mellem trafikanter, hvis kørsels- eller gangretning krydser hinanden. De sekundære konflikter, dvs. konflikter mellem svingende og ligeudkørende (eller gående) fra samme vej, er det i princippet ikke signalanlæggets opgave at løse. Disse konflikter løses af færdselslovens vigepligtsregler.

I særlige tilfælde kan man af sikkerhedsmæssige årsager dog vælge også at lade signalanlægget løse en eller flere af de sekundære konflikter. Fx kan konflikten mellem venstresvingende køretøjer og modgående, ligeudkørende løses ved indførelse af en separat fase, i hvilken kun venstresvingende må køre, mens modkørende trafik samt fodgængere over den gade, som de venstresvingende svinger ind i, holdes tilbage med rødt lys (figur 5.4).



Etablering af signalanlæg har både fordele og ulemper.

5.2 Trafiksikkerhed i signalanlæg

En væsentlig årsag til nyetablering af signalanlæg er ofte en forventet forbedring af trafiksikkerheden og trygheden. Ved at adskille fjendtlige trafikstrømme tidsmæssigt, reduceres sandsynligheden for at trafikanter i disse trafikstrømme mødes i krydset. Der vil derfor kunne forventes en reduktion i antal uheld med trafikanter, der ankommer til krydset fra hver sin vej.

Omvendt vil et signalanlæg medføre en tidsmæssig koncentration af sekundærkonflikterne, der jo normalt ikke løses af signalreguleringen. Fx har venstresvingende fra hovedretningen i et kryds med ubetinget vigepligt 60 sek pr. minut til at afvente modkørende trafik og finde et passende gab i strømmen af modkørende biler. I et signalanlæg vil dette måske være reduceret til 30 sek. Ikke alene har den venstresvingende ved signalregulering kun den halve tid til at gennemføre manøvreren, trafikanten skal samtidig krydse en trafikstrøm, der er dobbelt så tæt sammenlignet med et ikke-signalreguleret kryds, dvs. eksponeringen for uheld er blevet større.

Erfaringerne viser da også, at signalreguleringer har en positiv indvirkning på antallet af uheld mellem trafikanter fra hver sin retning, mens antallet af uheld for sekundærkonflikterne typisk vil stige.

Signalanlæg øger antallet af stop i krydset og dermed også risikoen for bagende-kollisioner. Den forøgede risiko for bagendekollisioner opstår især, når signalet skifter fra grønt til gult og føreren af det forreste af to køretøjer vælger at standse eller bremser kraftigt i sidste øjeblik samt ved skift til grønt, hvis den forankørende, når det grønne lys tænder, enten ikke kører frem eller starter for langsomt i forhold til den efterfølgende. Svenske undersøgelser viser en forøgelse på 20-25 procent i antallet af bagendekollisioner ved etablering af signalanlæg.¹

Moderne trafikstyring (se afsnit 5.7) kan dog i vid udstrækning, især ved højhastighedsanlæg i åbent land, reducere risikoen for bagendekollisioner.

5.3 Kriterier for etablering af signalanlæg

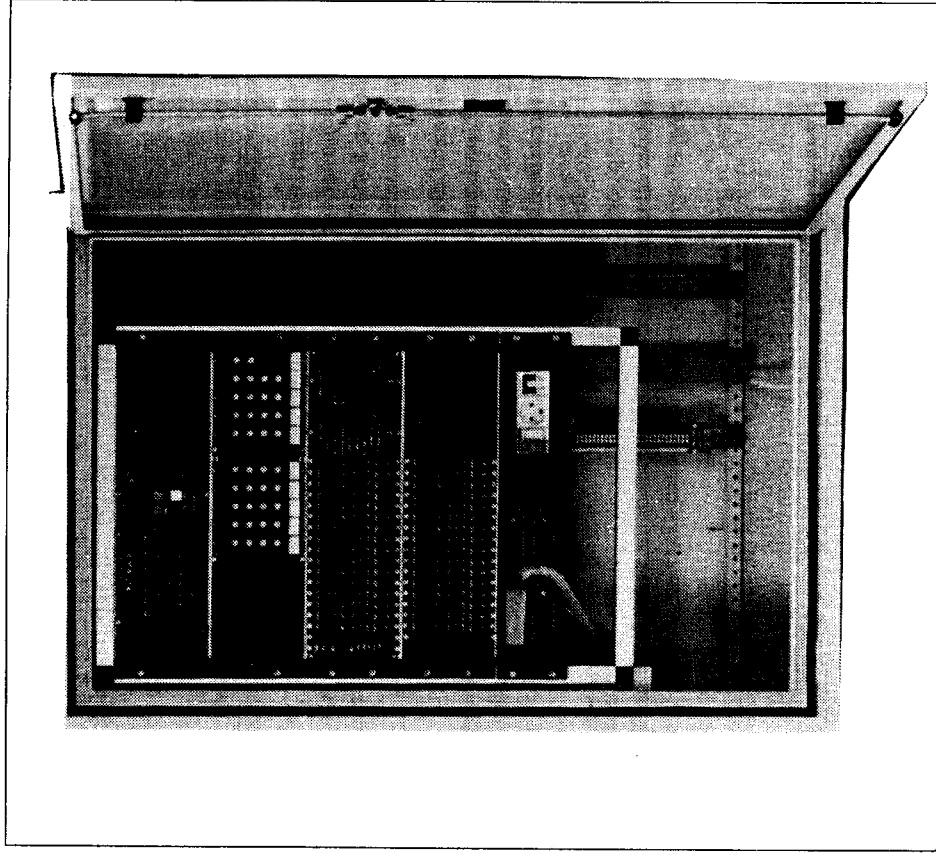
Signalanlæg har nogle positive effekter, men der vil altid være knyttet en række negative virkninger for trafikanterne. Signalanlæg skal derfor ikke etableres ukritisk, men behovet herfor skal nøje vurderes. Mindst ét af følgende kriterier bør være opfyldt, før man etablerer et signalanlæg.²

- Andre alternativer skal være undersøgt
- Andre alternativer som fx niveaufri skæring, ombygning til rundkørsel, vejlukninger, kanaliseringer, ændring af oversigtsforhold etc. bør alle være undersøgt og udelukket
- Lange ventetider for sidevejstrafik
- Der skal forekomme urimeligt store ventetider for sidevejstrafikanter i krydset.
- Hvad der er urimelig lang ventetid afhænger helt af de lokale forhold i det omgivende trafikmiljø
- Uheldsrisiko, utryghed
- Gennem rapporter, klager eller observationer på stedet konstateres særlig uheldsrisiko efter utryghed, som forventes bedst at kunne afhjælpes gennem etablering af signalanlæg
- Forbedring af grøn bølge
- Et signalanlæg, der ligger på en strækning med øvrige anlæg, som er samordnet, kan forbedre denne samordning ("grøn bølge") ved at køretøjerne holdes samlet i en tæt kolonne. Dette må dog ikke være den eneste grund til etablering af signalanlæg. Samordning behandles i afsnit 5.8

5.4 Indretning af signalanlæg

Styreapparat

Signalerne styres af et styreapparat, der indeholder alle oplysninger om, hvornår, hvordan og under hvilke betingelser de enkelte signalgrupper skal skifte i forhold til hinanden. Styreapparatet er signalanlæggets "hjerne" og er næsten altid placeret i et af krydssets hjørner. På billedet er vist et eksempel på et styreapparat.



I styreapparatet er lagret alle oplysninger om hvordan og hvornår, de enkelte signal-lanterner skal skifte.

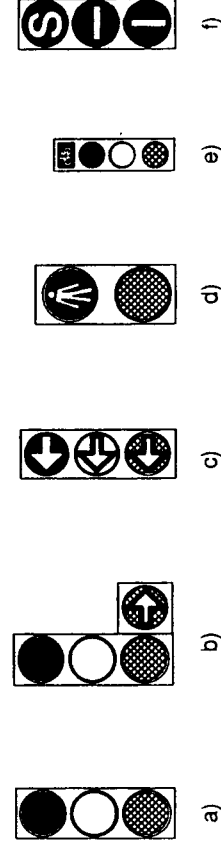
Signalbilleder

En kørende trafikstrøm gennem et signalreguleret kryds er reguleret af et signal med tre lanterner, der hver især kan vise rødt, gult og grønt (figur 5.1a). Grønt lys betyder, at man må køre frem. Dog må en trafikant ikke køre frem for grønt, hvis trafikanten på grund af færdelsesforholdene i krydset bør kunne indse, at krydse ikke kan forlades, inden signalet skifter til grønt for den tværgående trafik. Gult lys, som i Danmark altid varer i 4 sek, betyder at man skal standse ved stoplinien hvis det kan gøres uden fare for sig selv eller andre. I modsat fald har man lov a fortsætte gennem krydset. Rødt lys betyder, at det er forbudt at overskride stoplinien. Umiddelbart inden grønt vises 2 sek rødt+gult, der betyder, at trafikanterne skal gøre sig klar til at køre frem. De to sekunder medfører en mere koordineret startprocedure og giver også mulighed for en flyvende start i situationer, hvor der ikke er holdende biler i kø ved starten af grønperioden.

Tiden, der forløber fra et signal tænder grønt til det næste gang tænder grøn kaldes *omløbstiden*. Inden for omløbstiden vil et 3-lyssignal således gennemløbe en hel cyklus, bestående af grønt, gult, rødt og rødt+gult. I Danmark benyttes normalt omløbstider fra ca. 35 sek i svagt befærdede kryds og op til 110 sek stærkt befærdede kryds.

3-lyssignaler kan evt. suppleres med 1-lys pilsignaler, der viser de svingende trafikanter, at svingning i pilens retning kan foretages uden at komme i konflikt med andre trafikstrømme (figur 5.1b). Ved separatregulering af en trafikstrøm anvendes 3-lyssignaler med pile (figur 5.1c). Pilsignalet gælder kun for køretøjer der vil køre i den retning, som pilene viser.

I Danmark er næsten alle signalanlæg forsynet med 2-lys fodgængersignal med en stående rød mand og en gående grøn mand (figur 5.1d). Grøn mand fortæller fodgænger, at tværtrafikken er standset. Der kan dog godt forekomme svingende trafik med vigepligt henover feltet. Rødt lys betyder, at fodgænger ikke må træde ud i fodgængerfeltet fra kantstenen eller en helle. Hvis signalet skifter til rødt mand, mens fodgænger er i fodgængerfeltet, skal fodgænger fortsætte til nærmeste helle eller kantsten.

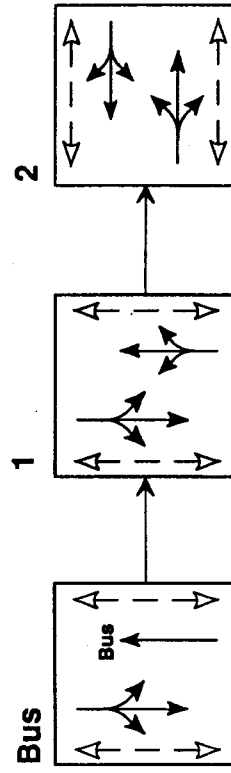


Figur 5.1 a) Normalt 3-lyssignal, b) 3-lyssignal med pil, c) 3-lys pilsignal, d) Cyklistsignal, e) Fodgængersignal, f) Bussignal.

Cyklister kan reguleres med cyklistsignaler, når der er cykelsti i signaltilfarten (figur 5.1e). Der kan være forskellige grunde til at regulere med cyklistsignaler:

- Cyklisterne har deres egen fase i signalanlægget
- Cyklister kan gives grønt lys nogle sekunder før bilerne for at give større tryghed og sikkerhed over for startende højresvingende køretøjer
- I kryds med en lang rømningsstid for cyklister, kan grøntiden for cyklister reduceres i forhold til grøntiden for køretøjer. Dette kan bevirke en samlet bedre trafikafvikling

I visse kryds specielt i de større byer findes signaler kun beregnet på busser i rutetrafik (figur 5.1f). For at øvrige trafikanter ikke skal forveksle bussignalerne med de sædvanlige signaler, består "signalfarverne" af et hvidt S for stop, en hvid vandret bjælke for gult og en lodret bjælke for grøn. Disse signaler kan fx benyttes at give busserne fri fremkørsel, mens biler i samme retning holdes tilbage jf. figur 5.2. Herved forbedres bussers fremkommelighed i forbindelse med afslutning af busbaner.



Figur 5.2 Busfaser kan forbedre fremkommeligheden for busser ved afslutningen af busbaner.

Signalgruppe

Lyset fra en lanterne eller en kombination af lanterner på et vist tidspunkt (fx rødt+gult) benævnes signalbillede. Signaler, der aldrig kan vise indbyrdes forskellige signalbilleder, kaldes en *signalgruppe*. En signalregulering i et 4-benet kryds har normalt mindst 4 signalgrupper. To grupper for de kørende på de to skærende veje og to signalgrupper for fodgængere. Af tekniske grunde tildeles hver signaltilfart dog ofte sin egen signalgruppe, selvom signalgrupperne i modstående tilfart så viser det samme.

Hvis krydsene bliver mere komplicerede med deleheller i signaltilfarterne og separatregulering for flere svingstrømme, kan antallet af signalgrupper vokse betragteligt, undertiden op til 20-30 grupper.

Sikkerhedstid og mellemtid

Da signalanlæggets opgave er at adskille krydsende trafikstrømme tidsmæssigt, skal der af sikkerhedsmæssige grunde altid gå et stykke tid fra det grønne lys slukker i den ene retning til det grønne lys tændes i den anden retning. Denne tid benævnes *sikkerhedstiden*. Sikkerhedstiden skal være så lang, at den sidste trafikant efter grønt lys netop går fri af den første trafikant, som starter for grønt fra den krydsende retning. Sikkerhedstiden mellem to trafikstrømme afhænger af følgende forhold:

- Krydssets geometri
- Tiden, der går fra det grønne lys slukkes til den sidste trafikant passerer stoplinien
- Hastigheden af den sidste trafikant
- Hastigheden af den første trafikant, der starter for grønt

Sikkerhedstiden vil normalt være afhængig af, hvilken trafikanttype den første og sidste trafikant er. Den nødvendige sikkerhedstid mellem den sidste cyklist og den første fodgænger vil således normalt være længere end sikkerhedstiden mellem den sidste bil og den første fodgænger. Hvis cykler og biler kører på det samme signal, er det derfor den længste af sikkerhedstiderne, der skal indlægges i styreapparatet. Denne tid betegnes *mellemtiden*.

På den ene side skal mellemtiden være så kort som mulig for at reducere trafikanternes ventetid. På den anden side skal den være tilstrækkelig lang til, at trafikanterne i normale situationer kan foretage en sikker rømning af krydset. Hvis mellemtiden bliver for lang, betyder det ekstra og uforståelig ventetid for de ventende trafikanter ved hvert eneste signalskift døgnet rundt.

Ved projektering af et signalanlæg skal sikkerhedstiden for alle kombinationer af første og sidste trafikant tages i betragtning, før mellemtiden kan bestemmes. I praksis benyttes følgende metode fra Vejdirektoratets "Vejregler for signalanlæg".²

Konfliktpunktet mellem den seneste trafikant og den først startende trafikant defineres ud fra trafikanttypernes fysiske udstrækning. Den seneste trafikant efter grønt skal netop gå fri af den første startende trafikant for grønt, der antages at passere stoplinien med flyvende start i samme øjeblik, signalet skifter til grønt (se figur 5.3). Der regnes med følgende fysiske udstrækning af og hastigheder for de forskellige trafikanttyper:

bil: 5.1 m

Konflikt	Udstrækning	Tidligste trafikant	Seneste trafikant
		Hastighed ved grønstart, V_2	Hastighed V_1 Passagetid efter grønt, t_{sen}
Bil mod kørende	8 m	13 m/s	13 m/s 3 sek
Bil mod gående	0 m	13 m/s	13 m/s 3 sek
Cykel mod kørende	2 m	8 m/s	5 m/s 2 sek
Cykel mod gående	0 m	10 m/s	5,5 m/s 0 sek
Gående mod andre	0 m	2,5 m/s	1,5 m/s 0 sek

Tabel 5.1 Vejledende værdier ved beregning af sikkerhedsider.

Sikkerhedsiden (t_s) mellem to trafikanttyper beregnes af:

$$t_s = \frac{a_1}{V_1} - \frac{a_2}{V_2} + t_{sen,1} \quad (5.1)$$

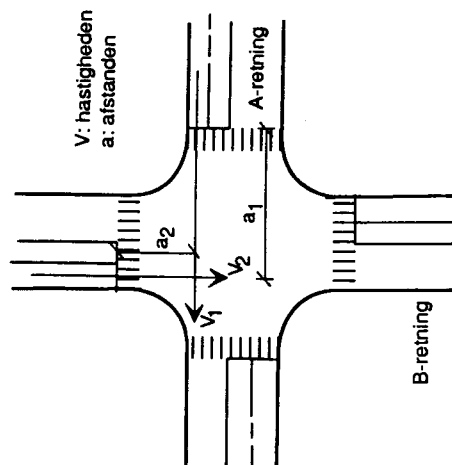
- V_1 : hastigheden for den seneste trafikant
 V_2 : hastigheden for den tidligste trafikant
 a_1 : tilbagelagt afstand for den sidste trafikant, incl. udstrækning
 a_2 : tilbagelagt afstand for tidligste trafikant
 $t_{sen,1}$: tidspunktet inde i gult, hvor den sidste trafikant passerer stoplinien.

Første led er køretiden (for fodgængere gangtiden) for den trafikant, der er ved at rømme krydset (sidste trafikant) fra stoplinien (for fodgængere kantsten/helle) til konfliktpunktet er passeret. Andet led er tilsvarende for den trafikant, der netop starter for grønt (tidligste trafikant) fra stoplinen til konfliktpunktet. Tredje og sidste led ($t_{sen,1}$) er det antal sekunder inde i gultiden, hvor den sidste rømmende trafikant passerer stoplinien.

Det skal kraftigt pointeres at værdierne i tabel 5.1 kun er vejledende og ikke må anvendes ukritisk. Der kan være en lang række situationer, hvor længere mellem-tider kan være påkrævet, fx for signaltilfarter med stigning eller fald, eller hvor seneste eller tidligste trafikant kører med andre hastigheder end de i tabellen viste. Endelig bør man forlænge mellemtiden, hvor høj hastighed gør sen kørsel i gultiden sandsynlig.

Eksempel på beregning af sikkerhedsid

I et kryds ønskes mellemtiden ved faseskift fra A-retningen til B-retningen bestemt for konflikten cykel mod bil, hvor den sidste trafikant, der kører over for gult, er en cyklist og den første trafikant for grønt er en bilist. Det antages endvidere, at afstanden for cyklisten fra stoplinen til konflikt-



Figur 5.3 Sikkerhedsiden afhænger af konfliktpunktets afstand fra stoplinjerne og trafikanternes hastighed og udstrækning.

punktet er 28 m og afstanden for bilisten fra stoplinen til konfliktpunktet er 13 m.

Af tabel 5.1 fremgår, at en cyklist regningsmæssigt passerer stoplinjen 2 sekunder inde i det gule lys og fortsætter med en hastighed af 5 m/sek. For at gå fri af konfliktpunktet skal cyklisten tilbagelægge en strækning på 28 m plus 2 m, i alt 30 m. Den første bil antages at passere stoplinjen med flyvende start og en hastighed af 13 m/sek. Den nødvendige sikkerhedsid kan da beregnes til $30/5 - 13/13 + 2 = 7$ sek.

Da denne konflikt i dette eksempel er den mest kritiske, kan mellemtiden sættes til 7 sek.

Fase, fasediagram

Normalt kan signalvekslingen i et anlæg opdeles i faser, dvs. tidsintervaller, hvor der ikke sker væsentlige ændringer i signalgivningen. En fase bliver herved en samling af signalgrupper, der hovedsageligt viser samme signal. Et typisk signalanlæg er derfor opbygget af to faser. Den første fase giver grønt i hovedretningen, den anden i tværretningen. Mellemtiden er indskudt mellem faserne. Signalvekslingen kan anskueliggøres i et fasediagram, der illustrerer hovedprincipperne i signalvekslingen, jf. figur 5.4.

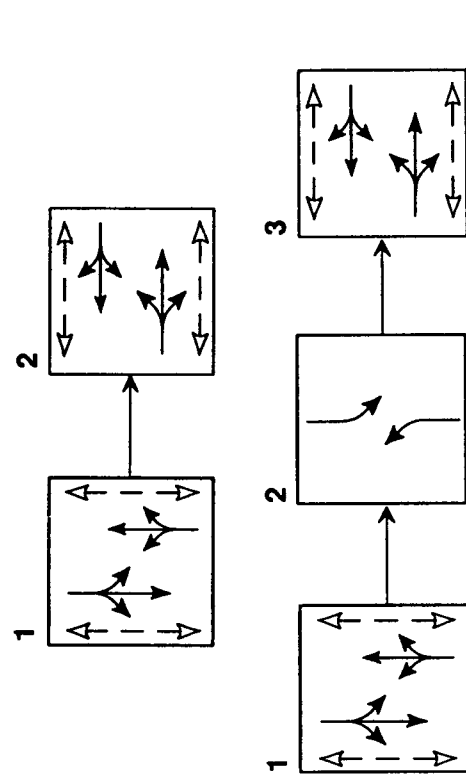
Ved mere komplicerede anlæg kan tre eller flere faser forekomme. Hvis der fx er separatregulering af venstresvingende (bundet venstresving) er der tale om tre

Tidsstyring

Signalanlæg styres efter ét af to hovedprincipper: tidsstyring og trafikstyring. Ved tidsstyring forstås, at signalernes grøntid og rødtid er konstante uanset for omløb. Omløbstiden bliver dermed også konstant i modsætning til trafikstyring, hvor trafikens variationer minut for minut medfører skiftende grøntider og omløbstider.

I styreapparatet findes normalt indprogrammeret flere forskellige opbygninger af et omløb, såkaldte signalprogrammer, der er tilpasset de aktuelt forekommende trafiksituationer i løbet af døgnet og ugen. De forskellige signalprogrammer kan have forskellige omløbstider og faseopbygninger. Et signalprogram med tidsstyring i to faser er vist i figur 5.5.

I København anvendes i alt fire signalprogrammer, to til morgen- og eftermiddagsmyldretiden på 80 eller 100 sek, et 60 sek program til dag/aftentrafik og et 48 sek program til nattrafik. I mange byer anvendes et færre antal programmer gennem døgnet, fx ét myldretidsprogram og ét "normalprogram", der fungerer uden for myldretiderne. I figur 5.6 er vist ugeplanen for skift mellem 4 signalprogrammer for signalanlæggene på Ringgaden i Århus.

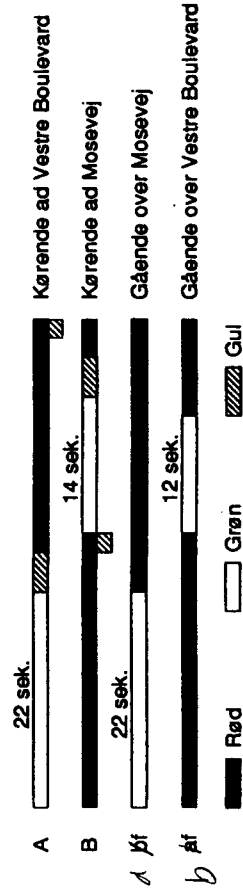


Figur 5.4 Fasediagram for et almindeligt 2-faset signalanlæg og et 3-faset anlæg med separat venstresvingsfase.

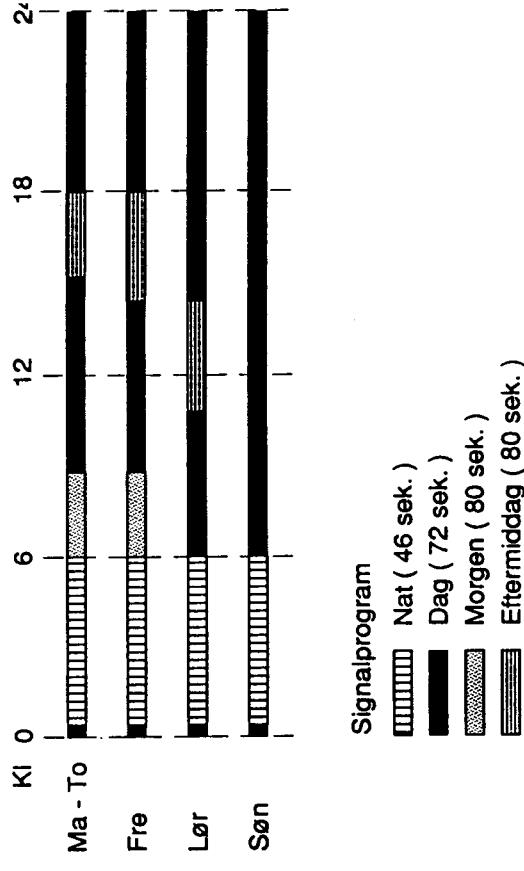
faser. Antallet af signalgrupper ved sådanne reguleringsformer er ofte betragteligt større end ved traditionel regulering, bl.a. fordi der kræves flere signalgrupper for fodgængere.

Signalgruppeplan

En nærmere beskrivelse af signalvekslingen fremgår af signalgruppeplanen, der er en oversigt over, hvornår i omløbet de enkelte signalgrupper har grønt, samt evt. om grøntiden kan forlænges gennem trafikstyring, jf. figur 5.5.



Figur 5.5 Signalgruppeplanen viser, hvordan de enkelte signalgrupper skifter i forhold til hinanden.



Figur 5.6 Ugeplan med tidspunkter for skift mellem signalprogrammer.

5.5 Trafikafvikling

Kapacitet generelt

Kapaciteten af en trafikstrøm med vigepligt afhænger af trafikintensiteten i fjendtlige trafikstrømme. Fx vil kapaciteten for venstresvingende ikke alene afhænge af længden af grøntiden, men også af antallet af ligeudkørende og højresvingende fra den modstående signaltilfart. Derfor beregnes kapaciteten af hver strøm i krydset separat.

Hvis der hele tiden er modkørende trafik, kan de venstresvingende kun køre i mellemtiden efter grønt, dvs. kapaciteten pr. omløb bliver lig med antal køretøjer, der kan holde og vente ude i krydset. I disse tilfælde vil der gælde, at jo kortere omløbstiden er, jo flere omløb pr. time, hvilket medfører højere kapacitet for venstresvingende.

Omvendt forholder det sig for ligeudkørende: jo større omløbstid, jo højere kapacitet. Dette skyldes, at mellemtidene ("spildtiden") samlet udgør en mindre andel ved en stor omløbstid end ved en kort omløbstid.

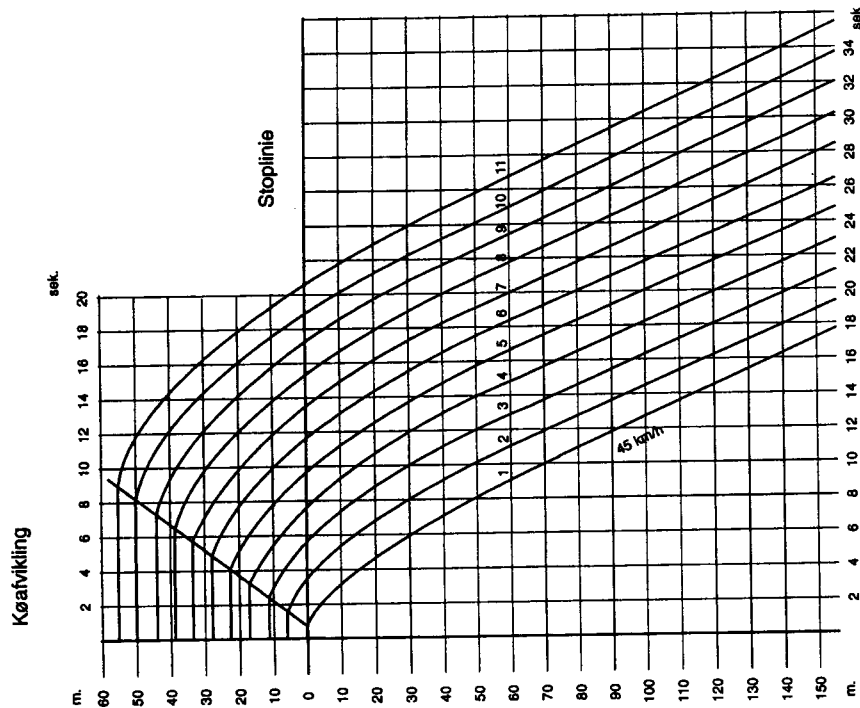
Køafvikling ved en stoplinie

I de fleste kryds er det antallet af ligeudkørende, der bestemmer grøntidens længde ved spidsbelastninger. Det er derfor nødvendigt med kendskab til, hvor hurtigt en kø af holdende biler ved en stoplinie kan afvikles, når signalet skifter til grønt. Hvor hurtigt en given kø vil blive afviklet afhænger af, hvor tæt efter hinanden de startende biler kan passere stoplinjen. Køafviklingen for personbiler er illustreret i figur 5.7, hvor man kan se startproceduren for de første 11 biler i en situation, hvor der er fri fremkørsel ligeud.

Grøntimekapaciteten, K , angiver, hvor mange køretøjer eller personbilenheder, der kan passere stoplinjen pr. time med grønt lys og er dermed et udtryk for tidsafstanden, hvormed bilerne passerer stoplinjen.

For at bestemme kapaciteten for et spor i en signaltilfart, skal grøntimekapaciteten reduceres med en faktor svarende til den andel af omløbstiden, hvor bilerne rent faktisk passerer stoplinjen. Hvis der i et anlæg med omløbstiden C køres uhindret over stoplinjen i g sek af omløbstiden, er reduktionsfaktoren derfor g/C (grøntidsandelen). Kapaciteten er derfor $N_{\max} = K \cdot g/C$.

Forhold af betydning for størrelsen af grøntimekapaciteten er bredden af køresporet, om der er fri fremkørsel efter stoplinjen, parkering i frafarten, stigning/fald før og efter krydset samt krav om overholdelse af vigepligt ved svingning.



Figur 5.7 Startprocedure ved afvikling af en kø.

For et rent ligeudspor i en signaltilfart er grøntimekapaciteten normalt ca. 2000 personbilenheder pr. time (pbe/h). Ved konstant køafvikling svarer dette til ca. 1,8 sek grøntid pr. pbe. Af figur 5.7 ses, at 10 biler har passeret stoplinjen efter 19 sek svarende til 1,9 sek grøntid pr. bil. Ofte benyttede værdier ved praktiske beregninger af den nødvendige grøntid er 1,8-2 sek pr. pbe. Ved en lastbilprocent på 10 er grøntimekapaciteten typisk 1800 køretøjer pr. time svarende til ét køretøj pr. 2 sek grøntid.

Hvis højresvingende skal vige for ligeudkørende cyklister og fodgængere er grøntimekapaciteten noget lavere, evt. så lav, at der reelt kun kan afvikles de køretøjer, som holder i krydset, når signalet skifter fra grønt til gult.