

# Cirkulationsplatser

## Förslag till modell för beräkning av framkomlighet



Ola Hagrind  
2001

## Ola Hagring

### Cirkulationsplatser – Förslag till modell för beräkning av framkomlighet

*Ämnesord:*

*Cirkulationsplats, kapacitet, beräkningsmodell*

*Referat:*

LTH har, tillsammans med KTH och VTI, med Vägverket och VINNOVA som finansierare, i uppdrag att utveckla nya modeller för effektberäkning av vägtrafikanläggningar. En del i detta arbete avser utveckling av förslag till nya beräkningsmodeller. Redovisningen av en beräkningsmodell för framkomlighet i cirkulationsplatser görs i denna rapport. Rapporten avses ligga till grund för framtagning av detaljerad mätplan.

### Roundabouts– A proposal for a new capacity model

*Keywords:*

Roundabouts, capacity, calculation model

*Abstract:*

LTH has, together with KTH and VTI, a research project with the purpose of developing new performance models for road traffic facilities. The project is financed by Vägverket and VINNOVA. A part of this work is to develop proposals for new calculation models. In this report, a proposal for a new capacity model for roundabouts is presented. On the basis of this report, a detailed plan for the field data collection, will be developed.

*Citeringsanvisning:*

Hagring, Ola. Cirkulationsplatser – Förslag till modell för beräkning av framkomlighet. Lund, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafikteknik, 2001. Bulletin - Lunds tekniska högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Lunds universitet, 200.

*Med stöd från:*

VINNOVA Dnr 2000-0785



**Vägverket**

Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola  
Avdelning Trafikteknik  
Box 118, 221 00 LUND, Sverige

Department of Technology and Society  
Lund Institute of Technology  
Traffic Engineering  
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden



## Förord

Denna rapport *Cirkulationsplatser – Förslag till modell för beräkning av framkomlighet* har skrivits inom ramen för projektet *Effektmodeller för vägtrafikanläggningar*. Detta projekt finansieras av Vägverket och VINNOVA och har som syfte att utveckla nya effektmodeller för vägtrafikanläggningar. Projekt utförs av avdelningen för Trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Trafik och transportplanering vid Kungliga Tekniska Högskolan samt Väg- och transportforskningsinstitutet.

Rapporten är en delredovisning av etapp 1.3, Val och utveckling av framkomlighetsmodeller, och ska ligga till grund för etapp 1.7, Plan för fältmätningar. Samtidigt med denna rapport publiceras en motsvarande rapport för korsningar med stopp- eller väjningsplikt. Förslag till beräkningsmodell för övriga korsningstyper kommer att publiceras senare.

Lund juni 2001

Ola Haging



# Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i> .....	<i>i</i>
Inledning .....	i
Modellstruktur.....	i
Interaktioner mellan trafikanter.....	ii
Förslag till beräkningsmodell.....	ii
Förslag till fortsatt arbete.....	iii
1. <i>Inledning</i> .....	1
1.1 Bakgrund och syfte.....	1
1.2 Metod .....	1
1.3 Avgränsning .....	1
2. <i>Utformning av cirkulationsplatser</i> .....	3
3. <i>Modellstruktur</i> .....	5
4. <i>Interaktioner mellan trafikanter</i> .....	7
5. <i>Kapacitetsmodeller baserade på kritiska tidsavstånd</i> .....	9
5.1 Inledning.....	9
5.2 Beräkning av kapacitet.....	10
5.3 Sammanfattning och kunskapsbrister .....	12
6. <i>Överordnat flöde och interaktioner mellan olika trafikströmmar</i> .....	13
6.1 Definition av överordnat flöde.....	13
6.2 Fördelningen för överordnade tidsavstånd .....	13
6.3 Fordons- och trafikanttyper .....	16
6.4 Inverkan av cyklister .....	18
6.5 Inverkan av gångtrafikanter .....	19
6.6 Inverkan av gång- och cykeltrafikanter på gemensam övergång.....	20
6.7 Sammanfattning och kunskapsbrister .....	20
7. <i>Kritiska tidsavstånd och följdtider</i> .....	21
7.1 Mätningar av kritiska tidsavstånd och följdtider.....	21
7.2 Jämförelser med mätningar i andra länder .....	21
7.3 Tunga fordon .....	22
7.4 Samband mellan kritiska tidsavstånd och trafikmiljö .....	24
7.5 Sammanfattning och kunskapsbrist .....	25
8. <i>Kapacitetsrestriktioner</i> .....	26
8.1 Inledning.....	26
8.2 Kapacitetsrestriktion i tillfart .....	26
8.3 Kapacitetsrestriktion i cirkulationsplatsen.....	26

8.4	Kapacitetsrestriktion i frånfart .....	26
9.	<i>Framkomlighetsmått</i> .....	28
9.1	Inledning.....	28
9.2	Beräkning av framkomlighetsmått .....	29
10.	<i>Förslag till beräkningsmodell</i> .....	30
10.1	Inledning .....	30
10.2	Beräkning av överordnat flöde.....	30
10.3	Beräkning av kritiska tidsavstånd och följdtider.....	30
10.4	Beräkning av betjäningstider och kapacitet .....	30
10.5	Körfältsfördelning .....	30
10.6	Korrigerig för korta körfält.....	31
10.7	Beräkning av framkomlighetsmått.....	31
10.8	Modellredovisning och rapportering .....	31
11.	<i>Förslag till fortsatt arbete</i> .....	32
11.1	Fältmätningar .....	32
11.2	Förslag till mätplan .....	32
	<i>Referenser</i> .....	34
	<i>Appendix 1</i> .....	A1

## Sammanfattning

### Inledning

Den beräkningsmetod för cirkulationsplatser som används i dag är 20 till 25 år gammal och i behov av uppdatering och omarbetning. Den nuvarande beräkningsmodellen är dessutom dåligt underbyggd – det saknas helt enkelt fältmätningar som stöder de i beräkningsmodellen använda sambanden. De överifierade samband som förekommer är bland annat

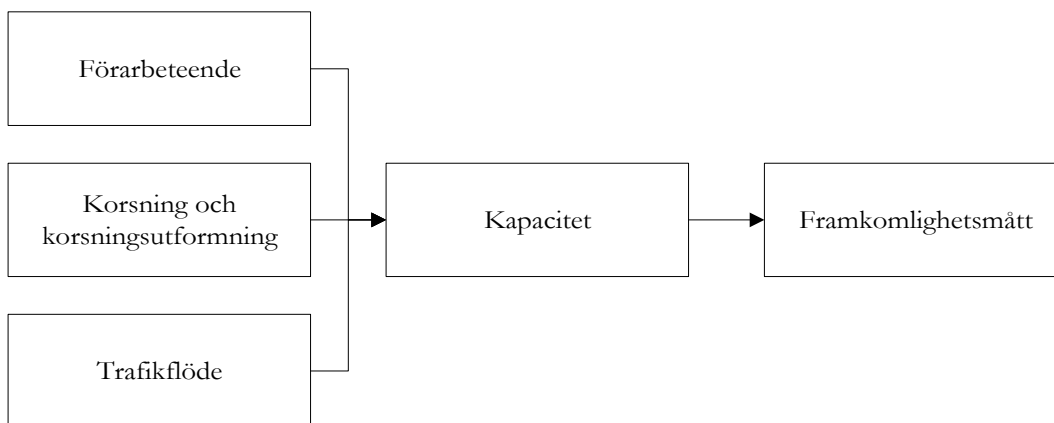
- Bestämningen av det överordnade flödet.
- Fotgängares och cyklisters inverkan.
- Det kritiska tidsavståndets beroende av geometrin.
- Beräkningen av betjäningstider och kapacitet.

Undersökning av en del av dessa samband samt utveckling av en ny beräkningsmodell har gjorts av Hagring (1996, 2000b). Denna bygger på mätningar gjorda under 90-talet. Mätningar i små cirkulationsplatser har dock ej gjorts, med ett undantag.

Syftet med denna rapport är att sammanställa en ny beräkningsmodell för cirkulationsplatser, baserad på det nuvarande forskningsläget samt att i samband med detta redovisa behov av ytterligare forskning inklusive fältmätningar.

### Modellstruktur

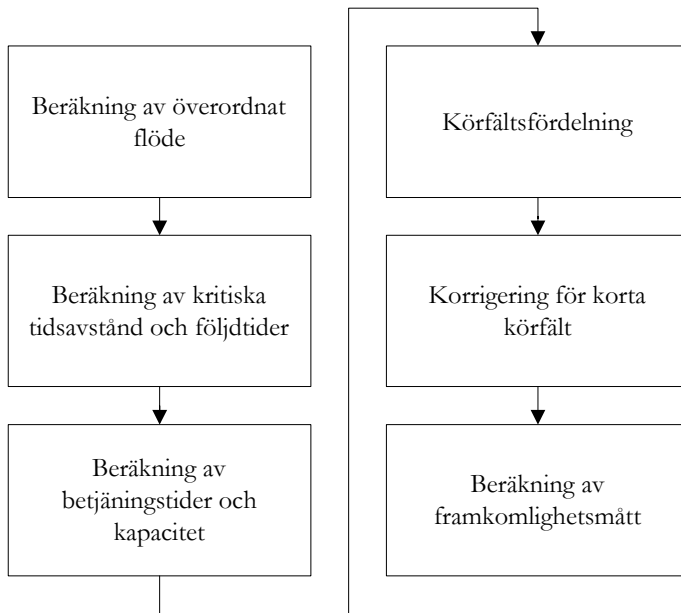
Den i figur S.1 visade modellstrukturen är den som används i de allra flesta framkomlighetsmodeller. Kapaciteten betraktas som en nyckelvariabel, som är beroende av förarbeteende, korsning och korsningsutformning samt trafikflöde. Dessa variabler är ej oberoende. Ett exempel på detta är att det kritiska tidsavståndet kan vara beroende av det överordnade flödets storlek.



**Figur S.1. Modellstruktur för beräkning av framkomlighet.**

När kapaciteten väl är beräknad kan andra framkomlighetsmått beräknas med hjälp av köteoretiska modeller. På grund av de stora variationer som såväl trafikflöden som trafikantbeteenden uppvisar kommer det många gånger att vara nödvändigt att använda förenklade modeller för att överhuvudtaget kunna få fram beräkningsbara samband. I figur S.2 görs en schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för cirkulationsplatser.





**Figur S.2. Schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för korsningar med stopp- eller väjningsplikt.**

I rapporten behandlas de olika delmodellerna, med inriktning mot mikromodeller för interaktioner mellan trafikanter. Tre olika kapacitetsmodeller för kritiska tidsavstånd behandlas. Trots olika utgångspunkter ger dessa ungefär samma resultat.

## Interaktioner mellan trafikanter

I allmänhet behandlas enbart interaktionen mellan överordnade (cirkulerande) respektive underordnade fordon. I rapporten går de olika interaktioner som förekommer i en cirkulationsplats igenom. Det kan konstateras att antalet möjliga interaktioner är stort och att interaktioner dessutom beror bland annat på hur cykeltrafiken är ordnad. Några utförliga studier av hur cyklister bör modelleras finns inte. Också för modellering av gående saknas utförliga studier.

I tätortsmiljö är det rimligt att anta att interaktioner med oskyddade trafikanter har stor betydelse för biltrafikens framkomlighet. Det finns därför goda skäl att studera dessa interaktioner. Ett annat skäl till detta är att det saknas modeller för oskyddade trafikanters framkomlighet.

## Förslag till beräkningsmodell

En preliminär modell, med följande delar, föreslås:

- Identifiering av överordnade strömmar
- Konvertering till personbilsenheter
- Hantering av strömmar med olika inverkan
- Överordnade tidsavstånd
- Beräkning av kritiska tidsavstånd och följdtider
- Beräkning av betjäningstider och kapacitet
- Körfältsfördelning
- Korrigerering för korta körfält

- Beräkning av framkomlighetsmått

## Förslag till fortsatt arbete

Det fortsatta arbetet bör bedrivas på i huvudsak två olika sätt.

För det första bör fältmätningar göras för att klarlägga bland annat kritiska tidsavstånd och följdtider i mindre cirkulationsplatser, överordnade flöden, personbilsenheter osv. Omfattningen av fältmätningen får baseras på en mätplan, där hänsyn tas till bland annat variationer i utformning. Fältmätningen bör också innehålla mätdata för validering.

För det andra bör en teoretisk modell, liknande den som finns i figur S.2, ställas upp. I en sådan kan alternativa ansatser för bland annat kapacitetsberäkning göras. Denna modell bör programmeras så att användbarheten hos olika teoretiska modeller, t.ex. för sekundärkonflikter, kan kontrolleras. Viss teoriutveckling kan komma att behövas.

Slutligen kan simulering tillgripas för modellverifiering.

Rapporten avslutats med ett kortfattat förslag till mätplan.

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

Vid samhällsekonomiska kalkyler är restidskostnaden en av de största posterna. Det är därför av stor vikt att restiden i ett väg- eller gatunät kan beräknas med god noggrannhet då kalkylerna i annat fall kan ge en felaktig skattning av ett vägprojekts kostnader. Också i andra sammanhang är det viktigt att kunna beräkna restiden, t.ex. vid val av korsningstyp i tätorter.

Den beräkningsmetod för cirkulationsplatser som används i dag är 20 till 25 år gammal och i behov av uppdatering och omarbetning. En översikt, se Hagrings (2000a), visar att den nuvarande beräkningsmodellen dessutom är dåligt underbyggd – det saknas helt enkelt fältmätningar som stöder de i beräkningsmodellen använda sambanden. De överifierade samband som förekommer är bland annat

- Bestämningen av det överordnade flödet.
- Fotgängares och cyklisters inverkan.
- Det kritiska tidsavståndets beroende av geometrin.
- Beräkningen av betjäningstider och kapacitet.

Undersökning av en del av dessa samband samt utveckling av en ny beräkningsmodell har gjorts av Hagrings (1996, 2000b). Denna bygger på mätningar gjorda under 90-talet. Mätningar i små cirkulationsplatser har dock ej gjorts, med ett undantag.

Syftet med denna rapport är att, utgående från den kunskapsinventering som gjorts av Hagrings (2000a), sammanställa en ny beräkningsmodell för cirkulationsplatser, baserad på det nuvarande forskningsläget samt att i samband med detta redovisa behov av ytterligare forskning inklusive fältmätningar.

## 1.2 Metod

Utvecklingen av beräkningsmodellen bygger på tidigare forskning, egen och andras, samt en värdering av denna forskning. Det viktigaste metodologiska redskapet är därför genomgång av den litteratur som finns inom området samt en syntes av detta. Aktuell litteratur finns redovisad i bl.a. Hagrings (1996, 1998a och 2000a).

De metoder som används för modellutvecklingen i sig är olika trafikflödesteoretiska teorier och modeller, främst då teorin för kritiska tidsavstånd, samt olika sannolikheteoretiska modeller. Särskilt viktigt är att kunna beskriva interaktionen mellan olika trafikanter med hjälp av sannolikheteoretiska begrepp då detta möjliggör dels utveckling av modellsamband, dels skattning av parametrar i dessa.

## 1.3 Avgränsning

Denna rapport behandlar alla typer av cirkulationsplatser och alla de trafikslag som förekommer i cirkulationsplatser: motorfordon, forngångare och cyklister. Framställningen avser i huvudsak interaktioner mellan trafikanter, dvs. på mikronivå.



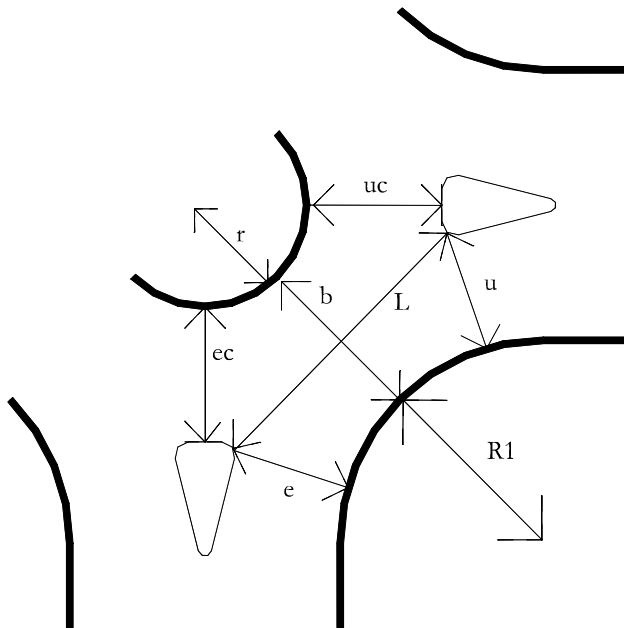
## 2. Utformning av cirkulationsplatser

Vägverket (1994) definierar tre typer av cirkulationsplatser:

- mini med rondellradie mindre än 2 m
- liten med rondellradie 2-10 m
- normal med rondellradie större än 10 m

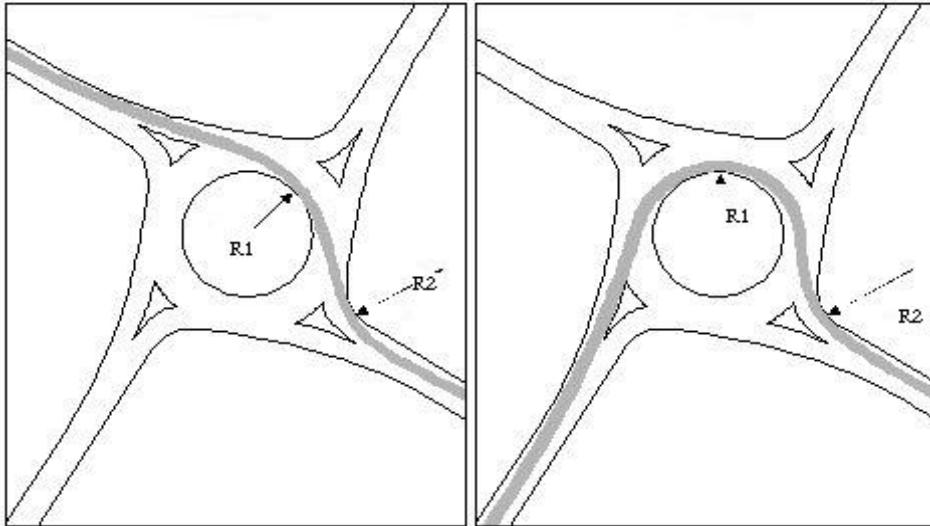
I figur 2.1 redovisas några viktiga geometriska element i en cirkulationsplats:

- r rondellradie  
 b bredd på växlingssträcka  
 L längd på växlingssträcka  
 ec avstånd mellan refug och rondell vid infart  
 uc avstånd mellan refug och rondell vid frånfart  
 e infartsbredd  
 u frånfartsbredd



**Figur 2.1 Några geometriska element i en cirkulationsplats.**

Grundprincipen för utformning är att körspåret för personbilar inte får ha större radier än 100 m (radierna R1 och R2 i figur 2.2) och att den minsta radien finns i tillfarten.



**Figur 2.2 Körspår i cirkulationsplats**

Normal och liten cirkulationsplats har förhöjd rondell medan minicirkulationsplats har överkörningsbar rondell.

Cirkulationsplatser kan vara en- eller tvåfältiga. I enfältiga cirkulationsplatser bör rondellens radie  $r$  vara minst 10 m (normal cirkulationsplats) och i tvåfältiga cirkulationsplatser bör rondellradien vara minst 15 m. I tätorter med VR50 eller VR30 kan enfältiga cirkulationsplatser med mindre radie användas.

Vid stora korsningsavstånd kan avböjning av tillfarten göras för att påverka trafikanterna att sänka hastigheten.

Cyklister kan ledas på tre sätt genom cirkulationsplatser:

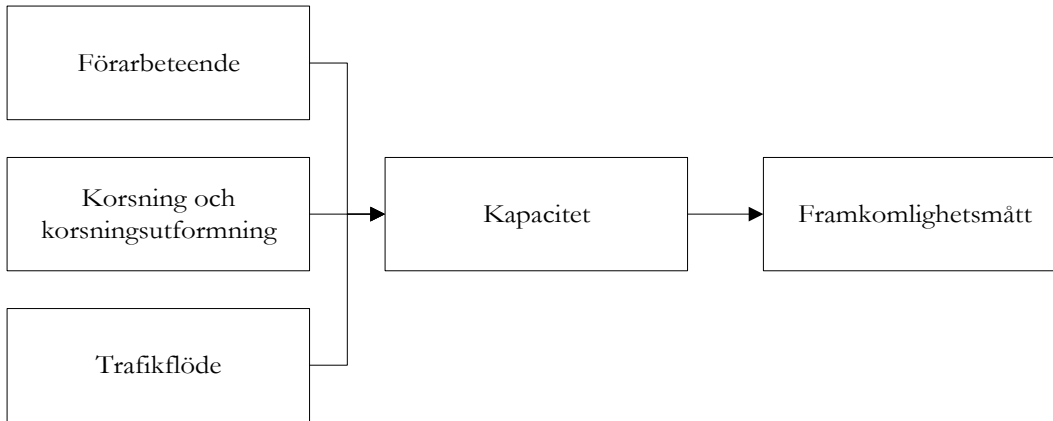
- i körbanan utan särskild markering
- i körbanan med markerat cykelfält
- på särskild cykelbana

Sammantaget innebär detta att en cirkulationsplatser kan ha en mycket varierande utformning. Det bör också noteras att de viktigaste utformningsparametrarna, nämligen rondellradie ( $r$ ), ytterradie ( $r_y=r+b$ ) och körspåren R1 och R2 inte är de som ingår i kapacitets sambanden för cirkulationsplatser (Vägverket 1995). För att kontrollera kapaciteten i en cirkulationsplats får man, efter uppritning, mäta växlingssträckans längd och bredd. Samband mellan erforderlig rondellradie och erforderlig bredd ges i VU94.

Antalet tillfarter kan variera från tre till fem även om fem tillfarter är ovanligt och knappast byggs idag. CAPCAL kan ej hantera mer än fyra tillfarter.

### 3. Modellstruktur

Den i figur 3.1 visade modellstrukturen är den som används i de allra flesta framkomlighetsmodeller. Kapaciteten betraktas som en nyckelvariabel, som är beroende av förarbeteende, korsningstyp och korsningsutformning samt trafikflöde. Dessa variabler är ej oberoende. Ett exempel på detta är att det kritiska tidsavståndet kan vara beroende av det överordnade flödets storlek.

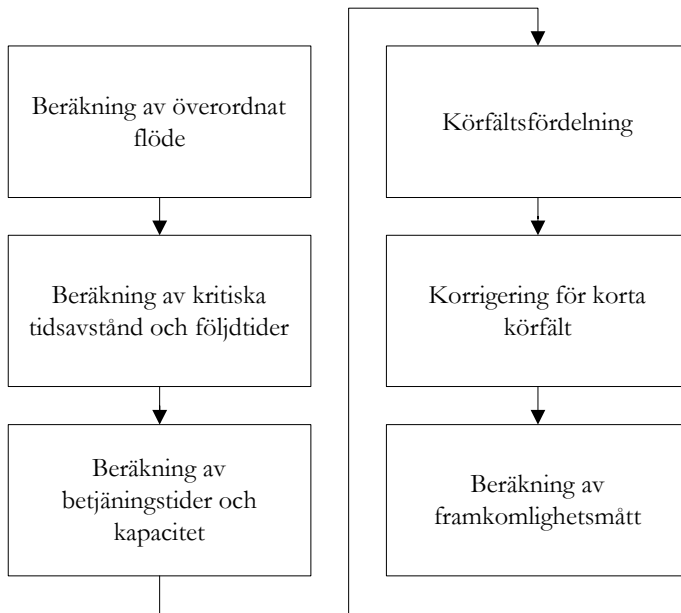


**Figur 3.1. Modellstruktur för beräkning av framkomlighet.**

När kapaciteten väl är beräknad kan andra framkomlighetsmått beräknas med hjälp av köteoretiska modeller. På grund av de stora variationer som såväl trafikflöden som trafikantbeteenden uppvisar kommer det många gånger att vara nödvändigt att använda förenklade modeller för att överhuvudtaget kunna få fram beräkningsbara samband.

Två typer av modeller finns, mikro- respektive makromodeller. Båda dessa kan hantera inverkan av olika oberoende variabler. I mikromodellen förekommer beteenderelaterade parametrar som är beroende av utformning och trafikflöde. I makromodellen förekommer motsvarande samband på aggregerad nivå.

I de mätningar som gjorts i cirkulationsplatser i Sverige av Hagrind (1996) konstaterades att det ej gick att mäta in makromodeller då antalet cirkulationsplatser som hade tillräckligt hög belastning var för få. I det följande kommer därför endast mikromodeller att behandlas. I figur 3.2 görs en schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för cirkulationsplatser. Syftet med denna är att ge en översiktlig struktur men också att föreslå olika delmodeller som ska kunna undersökas vid fältmätningar. I de följande kapitlen görs en beskrivning av de olika delmoment som förekommer.



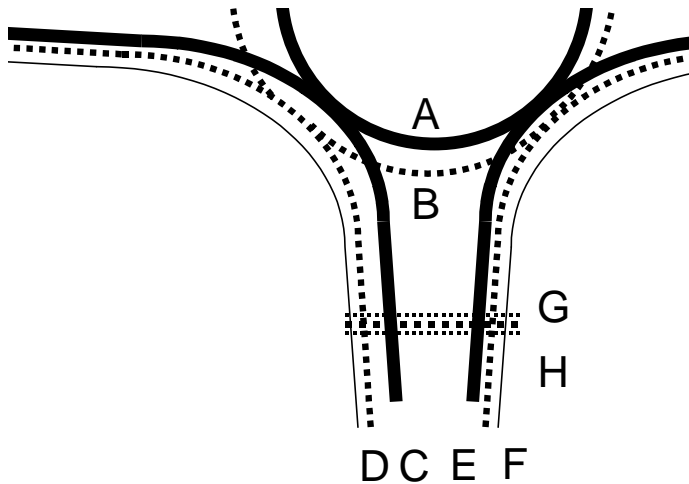
**Figur 3.2.** Schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för cirkulationsplatser.

I det följande behandlas olika aspekter på en beräkningsmodell men på en något mer allmän nivå än vad figur 3.2 visar.



## 4 Interaktioner mellan trafikanter

En kapacitetsmodell måste bygga på en beskrivning av interaktionerna mellan trafikanter, dels mellan trafikanter i samma trafikström, dels mellan trafikanter i olika trafikströmmar. I figur 4.1 redovisas de olika trafikströmmar som är eller kan vara relevanta för en av tillfarterna i en cirkulationsplats.



**Figur 4.1** Trafikströmmar i en cirkulationsplats

Följande strömmar kan förekomma (strömmarna A, C och E kan bestå av flera delströmmar):

- A. Överordnad motorfordonsström
- B. Överordnad cykeltrafikström
- C. Utkörande motorfordonsström
- D. Utkörande cykeltrafikström
- E. Underordnad motorfordonsström
- F. Underordnad cykeltrafikström
- G. Korsande gångtrafikström
- H. Korsande cykeltrafikström

Detta ger upphov till följande interaktioner med minst en biltrafikström:

- Interaktioner mellan parallella strömmar förekommer i cirkulationsplatsen, i frånfarten och i tillfarten (A/B, C/D och E/F). Dessa interaktioner är i hög grad beroende av cirkulationsplatsens geometri, särskild bredden på körytorna.
- Interaktioner mellan utkörande fordonstrafikström och överordnad cykeltrafikström (B/C).
- Mellan korsande gång- och cykeltrafik och utkörande strömmar (C/G och C/H).
- Mellan korsande gång- och cykeltrafik och underordnade strömmar (E/G och E/H).
- Mellan över- och underordnade strömmar (A/E, B/E och B/C).

En av utgångspunkterna för arbetet med den nya framkomlighetsmodellen är att alla strömmar ska behandlas likvärdigt, dvs. att inverkan på strömmar med oskyddade trafikanter också ska beräknas. Till exempel kan interaktionen mellan utkörande fordonstrafikström och överordnad cykeltrafikström innebära att endera eller båda strömmarna påverkas och att effekterna för båda strömmarna ska beräknas.

Vilka av interaktionerna som förekommer är beroende av utformning. Följande olika utformningsfall kan urskiljas:

- Enfältig cirkulationsplats med integrerad cykeltrafik.
- Enfältig cirkulationsplats med cykelfält.
- Enfältig cirkulationsplats med separerad cykeltrafik.
- Tvåfältig cirkulationsplats med separerad cykeltrafik.

I de fall då cykeltrafiken ej är integrerad kan cyklister ändå förekomma i cirkulationsplatsen. Ström G är dubbelriktad för gångtrafik och medan ström H normalt är enkelriktad för cykeltrafik men såväl reglerade som oreglerade avvikelser kan förekomma.

Mellan väjningslinjen eller den plats där fordon stannar innan de kör in i cirkulationsplatsen och strömmarna G och H finns ett köutrymme, i allmänhet stort nog för minst ett fordon. När dessa strömmar saknas så kan korsningen beskrivas som ett kösystem med en betjäningsstation belägen vid väjningslinjen, i annat fall så är bestå systemet av två seriekoppade betjäningsstationer.

I det följande går mikromodeller för de olika interaktionerna igenom.

## 5. Kapacitetsmodeller baserade på kritiska tidsavstånd

### 5.1 Inledning

De första systematiska ansatserna för beräkning av framkomlighet i gatukorsningar med kritiska tidsavstånd gjordes av Adams (1936) och Tanner (1951). Båda sysselsatte sig med fotgängare men de modeller som de utvecklade kom att bli användbara också för fordons- trafik. Den teori de lade grunden till kallas teorin för kritiska tidsavstånd och kan formuleras på följande sätt.

Betrakta en trafikant, fotgängare, cyklist eller bilist, som väntar på att korsa en väg. Trafikanten är, som en följd av gällande trafikregler, skyldig att lämna företräde åt de trafikanter som befinner sig på den väg han ska korsa. Vi definierar dessa trafikanter som överordnade och den betraktade trafikanten som underordnad. De överordnade trafikanterna anländer med – än så länge – ospecificerade tidsavstånd. Den underordnade trafikanten kan korsa vägen om, och endast om, tidsavståndet mellan två på varandra följande trafikanter är större än ett givet värde, det kritiska tidsavståndet. Är tidsavståndet mindre kan det ej utnyttjas.

Teorin bygger på några förenklade antaganden om trafikanters beteende. Den givna definitionen av kritiska tidsavstånd leder till en enkel beslutsregel: om tidsavståndet är mindre än det kritiska – fortsatt att vänta, i annat fall – kör (eller gå eller cykla). Orsaken till att ett kortare tidsavstånd ej kan accepteras, dvs. orsaken till att det kritiska tidsavståndet har ett visst värde beror, enligt teorin, på att de kortare tidsavstånden uppfattas som osäkra. Längre tidsavstånd är säkrare men leder å andra sidan till att man får vänta längre. Det kritiska tidsavståndet kan därför ses som en kompromiss mellan kraven på god säkerhet och låg fördröjning. Stöd för denna teori kan finnas genom olika mätningar. Bland annat har det visats att det kritiska tidsavståndet blir lägre då väntetiden ökar, dvs. man gör en ny avvägning mellan kraven på god säkerhet och låg fördröjning då fördröjningen ökar. Att de kritiska tidsavstånden är lägre då hastigheterna på den överordnade leden är lägre ger också stöd för teorin.

Med kunskap om det kritiska tidsavståndet kan man nu för en uppsättning av tidsavstånd – uppmätta eller givna av någon matematisk funktion – bestämma vilka av dessa tidsavstånd som kommer att accepteras. För att bestämma hur många fordon som kan utnyttja ett visst tidsavstånd måste man emellertid också veta det kritiska tidsavståndet för två, tre osv. fordon. I allmänhet brukar antas att det extra tidsavstånd som ett ytterligare fordon behöver är konstant och detta definieras som följdtime. Med beteckningarna  $T$  för kritiskt tidsavstånd,  $T_0$  för följdtime  $T_0$  och  $h$  för ett givet tidsavstånd fås följande uppställning:

$h < T$	Tidsavståndet kan inte utnyttjas av något fordon
$T \# h < T + T_0$	Tidsavståndet kan utnyttjas av ett fordon
$T + T_0 \# h < T + 2T_0$	Tidsavståndet kan utnyttjas av två fordon
$T + 2T_0 \# h < T + 3T_0$	Tidsavståndet kan utnyttjas av tre fordon etc.

eller – mera generellt –  $i$  fordon kan utnyttja en tidlucka  $h$  om

$$T + (i-1)T_0 \# h < T + iT_0$$

Möjligheterna att avveckla en underordnad fordonsström beror således på egenskaper hos trafikanterna i denna ström. Vidare beror avvecklingsmöjligheterna på egenskaperna hos

den överordnade strömmen, främst utbudet av tidsavstånd. Detta är beroende dels av flödet i den överordnade strömmen, dels av hur frekventa olika tidsavstånd är. Detta beskrivs lämpligen genom att ange en fördelningsfunktion för tidsavstånden.

Uppställningen ovan antyder att det kritiska tidsavståndet skulle vara en, för en given situation, konstant. Så är dock inte fallet. Förarbeteendet skiftar såväl inom som mellan trafikanter. Det första fallet, dvs. när en förare har ett variabelt kritiskt tidsavstånd i en viss situation – t.ex. i en särskild korsning – definieras som inkonsistent beteende. Det andra fallet, dvs. när olika individer har olika kritiska tidsavstånd i en given situation, definieras som inhomogenitet. Båda fallen kan förekomma samtidigt.

## 5.2 Beräkning av kapacitet

För att kunna utnyttja den kritiska tidsavståndsmodellen för att beräkna kapaciteten är det nödvändigt att överföra den till en makromodell genom en medelvärdesberäkning. Detta kan göras på två sätt.

Det ena utgår från att varje tidsavstånd, större än eller lika med  $T$ , kan avveckla minst ett fordon. Under en tidsperiod kommer antalet fordon som kan avvecklas att bli antalet tidluckor  $\cong$  det genomsnittliga antalet fordon som kan avvecklas per tidsavstånd. Den senare variabeln betecknas  $E(n)$  och antalet tidluckor blir detsamma som flödet. Vi får

$$K = qE(n) \quad (5.1)$$

Medelvärdet kan skrivas

$$E(n) = \sum_{k=1}^{\infty} kp_k \quad (5.2)$$

där  $k$  är antal fordon och  $p_k$  är sannolikheten för att  $k$  fordon kan passera. För ett överordnat M3 fördelat flöde fås kapacitetssambandet som

$$K = \frac{q\alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (5.3)$$

för ett överordnat körfält.  $\Delta$  är det minsta (fixa) tidsavståndet mellan överordnade fordon,  $\alpha$  är andelen fria fordon (dvs. fordon som ej kör i kolonn) och  $\lambda$  en korrigerad flödesparameter.

Det andra sättet att beräkna kapaciteten går tillbaka till Siegloch [1973]. Det överordnade flödet antas bestå av blockerade och ickeblockerade perioder. Om tidsavståndet är större än en konstant  $T_c$  motsvarar den del som överstiger  $T_c$  en ickeblockerad period. Under denna avvecklas fordon med ett tidsavstånd motsvarande följdtiden. Konstanten uttrycks som

$$T_c = T - \frac{T_0}{2} \quad (5.4)$$

Detta förfarande motsvarar det som gäller vid beräkning av kapacitet i en trafiksignal, dvs. den ickeblockerade tiden motsvarar (den effektiva) gröntiden och följdtiden är det inverterade värdet av mätnadsflödet.

Kapacitetsuttrycket för en M3 fördelning blir

$$K = \frac{q\alpha e^{-\lambda(T_c - \Delta)}}{\lambda T_0} \quad (5.5)$$

Detta samband är generaliserat av Wu (1997a) till flera överordnade strömmar, dock utan att varje ström behandlas separat.

Akçelik (1994) anger ett liknande samband. Detta bygger på en analogi med den gröna och den röda perioden i en trafiksignal. En grön period består av den del av ett tidsavstånd som ej är blockerat + en följdttid – förlorad tid.

Det ej blockerade tidsavståndet definieras som  $E(t_u) = E(t : t > T) - T = q^{-1}$ .

Avvecklingen tänkes starta efter  $T - T_0$  s och under den återstående delen av tidsavståndet kan ytterligare ett fordon avvecklas per påbörjad följdttid. Eftersom avvecklingsprocessen är diskret (endast ett fordon i taget) måste tidsavståndet korrigeras med en förlorad tid  $l$  som tar hänsyn till detta. Enligt Akçelik är denna lika med halva följdttiden (beräknat med simulering).

Kapaciteten uttrycks som för en signalreglerad korsning  $K = sg c^{-1}$ . Mättnadsflödet definieras som  $s = T_0^{-1}$ . Gröntiden definieras som  $g = t_u + T_0 - l = \lambda^{-1} + T_0 - l$  och om-

loppstiden som  $c = t_b + t_u = g + r = \frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q}$  (se appendix 1 för härledning vid M1

fördelning). Det resulterande kapacitetssambandet blir då

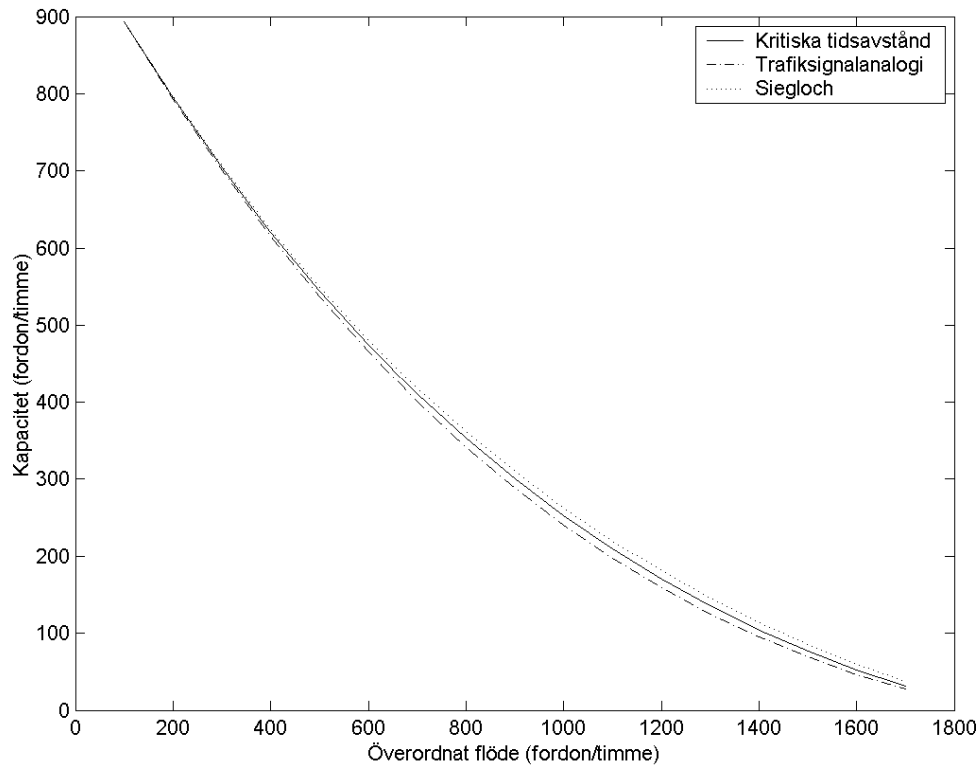
$$K = \frac{sg}{c} = T_0^{-1} (\lambda^{-1} + T_0 - l) (\alpha q) e^{-\lambda(T-\Delta)} = T_0^{-1} \left( 1 - q\Delta + \frac{T_0 \alpha q}{2} \right) e^{-\lambda(T-\Delta)} \quad (5.6)$$

I figur 5.1 är sambanden (5.3), (5.5) och (5.6) uppritade. Det kan konstateras att sambanden i stort sett överensstämmer. Sambandet (5.3) är det som korrekt beskriver antal fordon som kan avvecklas eftersom det beskriver avvecklingen som en diskret process och det förefaller därför som om samband (5.3) bör användas. Detta samband är också det som är mest teoretiskt utrett, bland annat genom att effekterna av inkonsistens och inhomogenitet har givits analytiska lösningar.

Ovanstående samband är giltiga för ett överordnat flöde som består av endast en trafikström. Om flera trafikströmmar förekommer kan fordonens ankomster överlagras varvid ovanstående modeller kan användas. Parametrarna i den använda fördelningen, t.ex. andelen fria fordon och det minsta tidsavståndet, måste då bestämmas för den överlagrade fördelningen. Hagring (1998b) m.fl. författare har utvecklat modeller för separat men samtidig behandling av de olika trafikströmmarna. Med en sådan modell blir det möjligt att beräkna inverkan av det totala flödets fördelning på de olika trafikströmmarna. En skev fördelning leder till lägre kapacitet en jämn fördelning, förutsatt att kritiska tidsavstånd och följdttider är lika. I annat fall är kapacitetsmaximum förskjutet. Förskjutningens storlek beror på skillnaden i kritiskt tidsavstånd och följdttid mellan de olika trafikströmmarna. En ytterligare svårighet inträder dock i beräkningarna eftersom det blir nödvändigt att beräkna vägvalet genom cirkulationsplatsen.

### 5.3 Sammanfattning och kunskapsbrister

Detta kapitel behandlar olika sätt att beräkna kapacitet, baserat på den enklaste formen av interaktion – mellan en underordnad och en överordnad trafikström, den senare med absolut prioritet. Samband (5.3), liksom de övriga, inbegriper en svårighet eftersom de kritiska tidsavstånden och följdtiderna kan vara beroende av det överordnade flödets storlek eller av andra variabler. Här föreligger viss kunskapsbrist. Detta diskuteras i kapitel 7.



Figur 5.1 Jämförelse av kapacitetssambanden (5.3), (5.5) och (5.6).  $T= 4.0$  s,  $T_0=2.4$  s.

## 6. Överordnat flöde och interaktioner mellan olika trafikströmmar

### 6.1 Definition av överordnat flöde

Det överordnade flödet i en cirkulationsplats kan definieras på olika sätt. Den allmänt förekommande definitionen är att det överordnade flödet är lika med det cirkulerande flödet, dvs. det flöde som har företräde i en korsningspunkt. Denna definition stöds av mätningar utförda av Haging (1998a). Ett starkt stöd för denna definition är att skattade separata kritiska tidsavstånd för de båda överordnade strömmarna i en tvåfältig cirkulationsplats är ungefär lika stora. Detta gäller också för högersvängande underordnade fordon som ju inte fysiskt interagerar med den inre av de båda överordnade strömmarna.

I nuvarande version av CAPCAL (Vägverket 1995) definieras det överordnade flödet som andelar av det cirkulerande flödet, beräknat på de olika trafikströmmarna i det cirkulerande flödet. Denna definition är inte empiriskt belagd.

Vissa modeller, se bl.a. Louah (1988) och Bovy (1991), tar också hänsyn till den trafikström som lämnar cirkulationsplatsen i den studerade anslutningen. Denna trafikströms inverkan på kapaciteten är beroende av avståndet mellan den punkt där den utkörande trafikströmmen lämnar cirkulationsplatsen och den punkt där den inkörande trafikströmmen ansluter till den cirkulerande.

Inverkan av utkörande fordon har ej studerats i svenska cirkulationsplatser. Haging (2000c) har utvecklat en kapacitetsmodell som tar hänsyn till utkörande fordon. Denna kräver att man skattar de kritiska tidsavstånden med hänsyn till utkörande fordon *och* om dessa har inverkan på underordnad ströms kapacitet så kommer de skattade kritiska tidsavstånden inte att vara riktiga i en situation då den utkörande strömmen har ett annat flöde.

En svårighet med att skatta kritiska tidsavstånd med hänsyn till utkörande fordon är att tidsavstånden i överordnad ström ej kan mätas på vanligt sätt eftersom de utkörande fordonen aldrig passerar konfliktpunkten. Därför måste någon form av projicerade tidsavstånd användas. Ett alternativ till detta är att betrakta den utkörande strömmen på makronivå och ansätta storleken på denna som en oberoende variabel när sambandet mellan det kritiska tidsavståndet och övriga oberoende variabler (utformning, flödesegenskaper osv.) ska bestämmas.

Interaktionen mellan utkörande fordon och cirkulerande cyklister har studerats genom simulering av Tan (1994). Några mätvärden redovisas ej.

### 6.2 Fördelningen för överordnade tidsavstånd

När det gäller fördelningen av tidsavstånd på överordnad led så har detta studerats av Haging (1998a). Dessa går att beskriva med en M3 fördelning med antalet fria fordon linjärt beroende av flödet. Om det förekommer två körfält i överordnad ström kan detta beskrivas antingen som en överlagrad ström eller som två separata strömmar. En svårighet som uppkommer om man väljer att ej överlagra strömmarna är att beräkna fördelningen av flödet per körfält. Denna blir beroende av körfältsmarkeringarna i tillfarterna, fördelningen av det underordnade flödet på de tillgängliga körfälten och körfältsbyten i cirkulationsplatsen.

Den senare faktorn styrs av bland annat målning och frångångsreformering. Å andra sidan ger en separat modellering av de överordnade strömmarna möjlighet att ta hänsyn till effekter av varierande körfältsfördelning, och därmed också effekter av varierande OD-flöden.

Hagring (1998a) angav följande samband mellan andelen fria fordon och flödet:

$$\alpha = k_1 - qk_2 \quad (6.1)$$

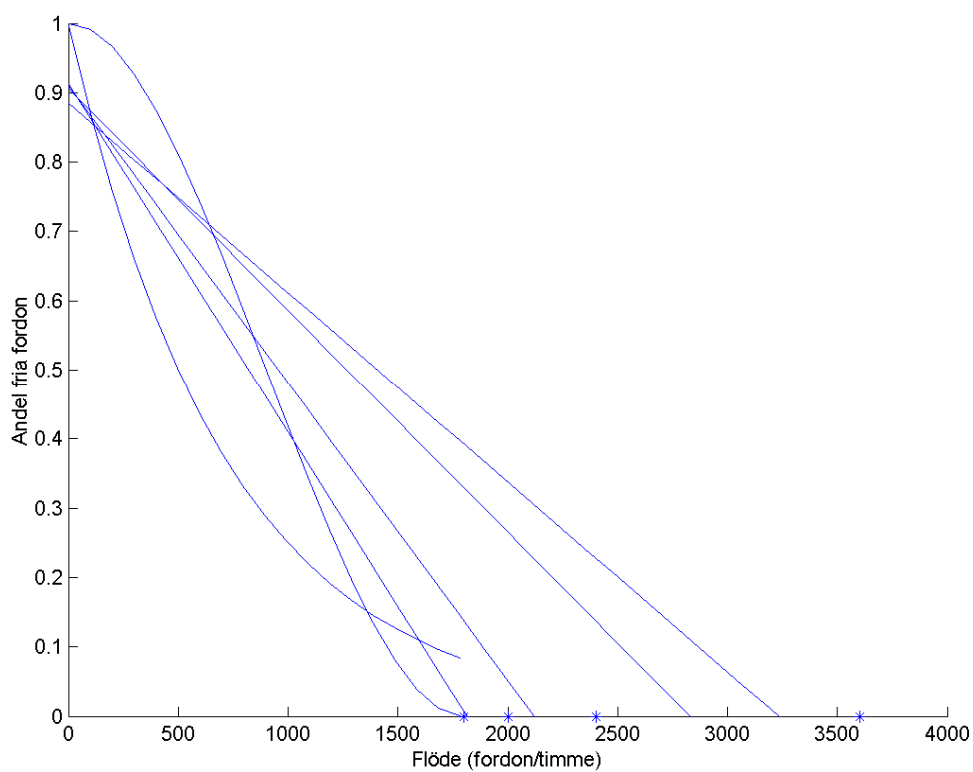
Skattningen av konstanterna och det minsta tidsavståndet gjordes med några olika metoder. Något entydigt sätt att välja mellan dessa finns inte då det finns flera kriterier för val. Visst fog för att välja moment-metoden som skattningsmetod finns då denna ger resultat som bäst beskriver situationen då flödet närmar sig  $\Delta^{-1}$ . Det minsta tidsavståndet och konstanterna baserad på denna skattningsmetod ges i tabell 6.1. Den överlagrade modellen gav avsevärt sämre förklaringsgrad men predikterade ändå tidsavståndsfördelningen väl.

Modell	$\Delta$	$k_1$	$k_2$
Separat	1.5	0.906	1.153
Separat	1.8	0.910	1.545
Separat	2.0	0.913	1.812
Överlagrad	1.0	0.885	0.985

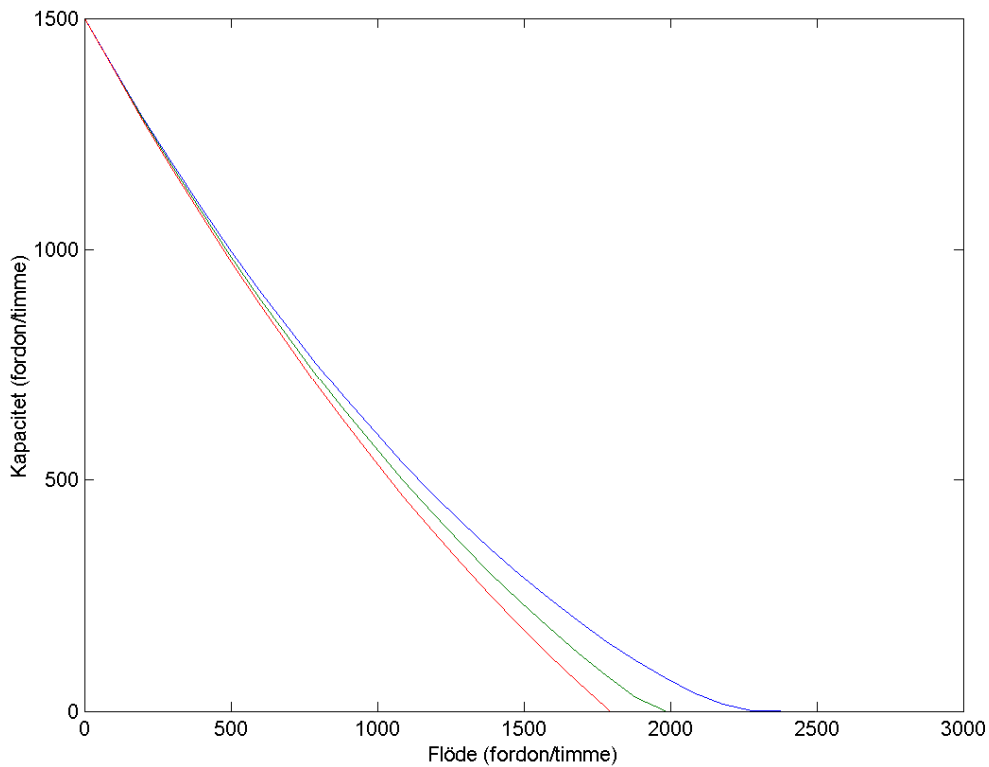
Tabell 6.1 Värden på konstanterna  $k_1$  och  $k_2$  för några olika modeller.

Med konstanterna givna enligt tabell 6.1 uppfylls inte randvillkoren för andelen fria fordon, dvs. att andelen fria fordon ska vara 0 då  $q = \Delta$  och 1 då  $q = 0$ . Å andra sidan är dessa en teoretisk konstruktion. Med  $k_1 = 1$  och  $k_2 = \Delta$  uppfylls randvillkoren exakt, men denna modell stämde sämre med data. I SIDRA (Akçelik 1998) används en exponentiell modell. Denna provades av Hagring (1998a) men gav lägre förklaringsgrad. I figur 6.1 visas några samband mellan andelen fria fordon och flödet. Den kubiska modellen (Plank 1982) är den enda som uppfyller båda randvillkoren men den är en teoretisk konstruktion. Den linjära modellen med  $\Delta = 2.0$  uppfyller det högra randvillkoret approximativt. Den exponentiella modellen uppfyller det vänstra randvillkoret. Av figur 6.2 framgår att mindre delavärden ger högre kapacitet.





Figur 6.1 Andel fria fordon beräknade med några olika modeller. Räta linjer är modeller från tabell 6.1 ( $\Delta = 2.0, 1.8, 1.5$  och  $1.0$  från vänster till höger). De två övriga är en exponentiell modell och en kubisk modell enligt Plank (1982) med  $\Delta = 2.0$ . \* markerar maximalt flöde för de linjära modellerna, dvs.  $\Delta^{-1}$ .



**Figur 6.2 Kapacitet beräknad med samband (6.3), separat modell för andel fria fordon.  $\Delta = 2.0, 1.8$  och  $1.5$  från vänster till höger.**

I SIDRA (Akçelik 1998) används en modell med överlagrade strömmar med  $\Delta$ -värdena 2.0, 1.2 och 1.0 för en, två respektive flera ingående strömmar. Om en cirkulerande ström är sammansatt av strömmar med olika  $\Delta$ -värden, så beräknas ett flödesviktat medelvärde. Om fördelningen av flödet per körfält är ojämn korrigeras  $\Delta$ -värdet för detta. Det bör vara möjligt att undersöka en sådan modell på svenska data.

### 6.3 Fordons- och trafikanttyper

Klassificeringen av fordonstyper varierar. Den tyska manualen (se Haging 2000a) anger fyra fordonstyper med olika personbilsekvivalenter: motorcykel, personbil, lastbil och lastbil med släp. I SIDRA (Akçelik 1998) används endast personbilar och tunga fordon. Beroende på hur de oskyddade trafikanterna tar sig igenom cirkulationsplatsen och vilken inverkan de har på fordonstrafiken kan den tyska klassificeringen behöva kompletteras.

Två principiellt olika sätt att hantera förekomsten av olika fordonstyper finns. Det ena bygger på att modellparametrarna viktas med det genomsnittliga pbe-värdet. Beroende på val av tidsavståndsmodell och antal parametrar i dessa kan olika sätt att vikta förekomma. För en exponentialfördelning kan endast flödet viktas medan en M3 fördelning har tre parametrar som kan viktas. Då kapaciteten för en vägsträcka kan uttrycka som  $\Delta^{-1}$ , förefaller det rimligast att vikta det minsta tidsavståndet för en M3 fördelning. Något av sambanden (5.3), (5.6) och (5.7) kan användas på detta sätt.

Ett annat sätt att hantera detta är att behandla de olika fordonstyperna separat. En sådan modell har utvecklats av Fisk (1990). Denna innebär att separata minsta tidsavstånd måste

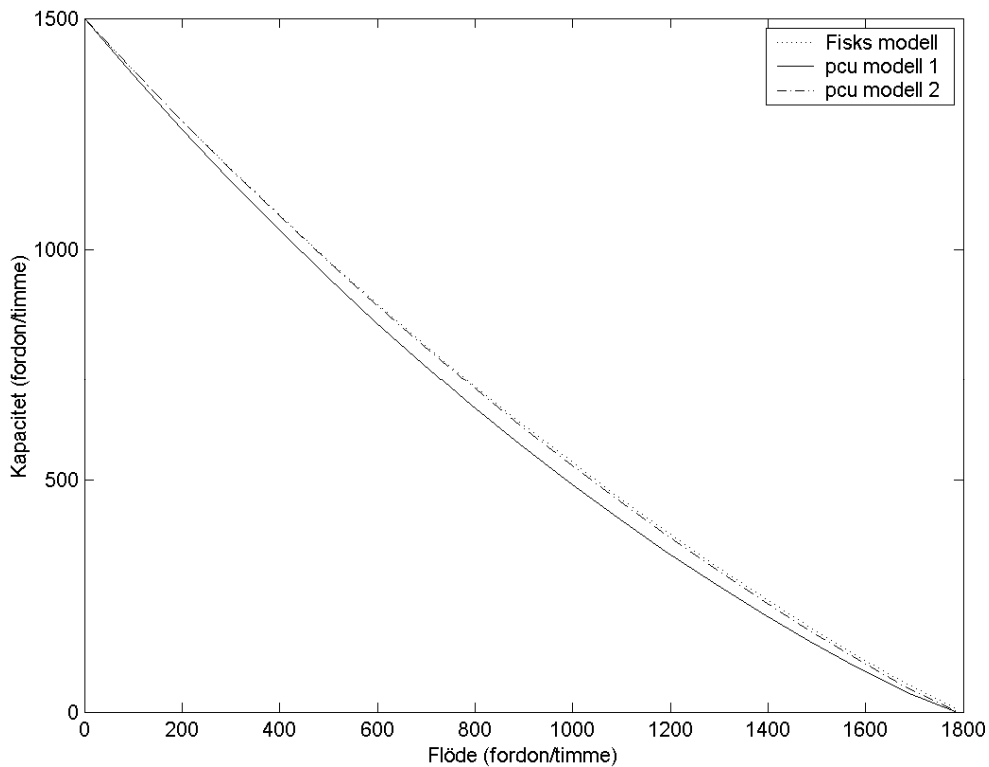
skattas för såväl personbilar som tunga fordon. Ett alternativ till detta, föreslaget av Fisk, är att anta förhållandet mellan de minsta tidsavstånden är desamma som förhållandet mellan pbe-värdena. Detta skulle innebära att det minsta tidsavståndet för en lastbil är dubbelt så stort som för en personbil. Det på detta antagande vilande kapacitetssambandet ser ut på följande sätt:

$$K = q(1 - \alpha_k) \frac{(p_{pb} e^{-\lambda(T - \Delta_{pb})} + p_{lb} e^{-\lambda(T - \Delta_{lb})})}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (6.1)$$

där  $p_i$  är andelen personbilar respektive tung trafik,  $\Delta_i$  är minsta tidsavståndet för personbilar respektive tung trafik och  $\alpha_k$  är den ekvivalenta andelen fria fordon givet av

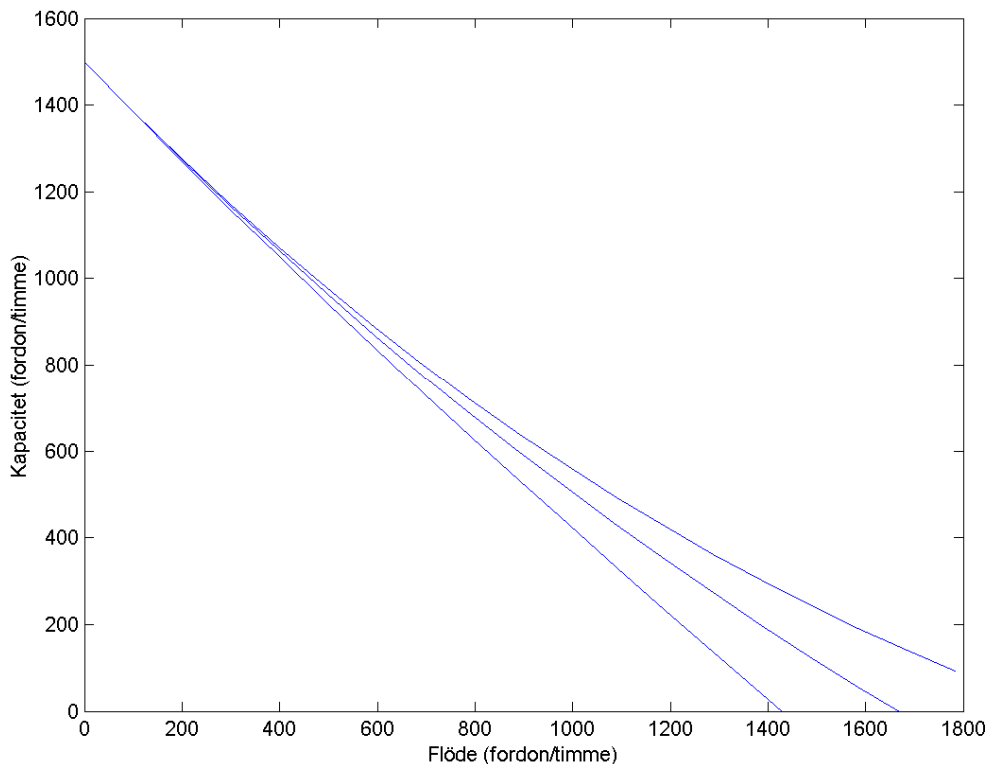
$$\alpha_k = k_1 - k_2 f q, \text{ där } f \text{ är ett viktat pbe-värde.}$$

I figur 6.3 är några av kapacitetssambanden uppritade. I pbe-modell 1 har flödet viktats upp med det viktade pbe-värdet  $f$ . I pbe-modell 2 är det minsta tidsavståndet viktat. Skillnaden mellan pbe-modell 1 och de övriga två modellerna är liten, ca 50 fordon/timme som mest, men ökar med ökande andel tunga fordon.



**Figur 6.3** Jämförelse av några olika modeller för hantering av flera fordonstyper. pbe-värde för tunga fordon = 2.0, andel tunga fordon = 0.1.

I figur 6.4 visas inverkan av tunga fordon på kapaciteten enligt (6.1). Randvillkoren är desamma som för generella kapacitetssamband, dvs. när det överordnade flödet är 0 blir kapaciteten  $T_0^{-1}$  och när det överordnade flödet är  $(f\Delta)^{-1}$  blir kapaciteten 0.



**Figur 6.4** Inverkan av tunga fordon på kapaciteten. Andel tunga fordon = 0.0 (överst), 0.2 och 0.4 (nederst).

Eftersom de olika sambanden är möjliga att generalisera innebär det inga teoretiska svårigheter att hantera fler än två fordonstyper i överordnad ström – t.ex. personbilar, tunga fordon och cyklister. Vad som däremot kan vålla problem är att beräkna pbe-värden samt att avgöra hur cyklister påverkar den underordnade strömmen.

## 6.4 Inverkan av cyklister

Cyklister som befinner sig i en cirkulationsplats färdas i allmänhet längst till höger så att fordon kan passera dem. Biltrafiken och cykeltrafiken kan då behandlas som separata strömmar, eventuellt med olika kritiska tidsavstånd. De resulterande kapacitetssambanden har härletts av Hagring (1998b). Några studier av tidsavstånden mellan cyklister är ej kända. Vid ostört flöde bör de rimligen vara exponentialfördelade. I en cirkulationsplats, där flödet ej är ostört, är det möjligt att detta ser annorlunda, särskilt vid höga flöden. Separat modellering av cykelströmmen ger möjlighet att använda separata kritiska tidsavstånd för denna ström.

Alternativet till separat modellering är att betrakta bil- och cykeltrafikströmmarna som en ström. Detta leder till åtminstone två svårigheter. Den ena gäller möjligheten att skatta pbe-värden – svårigheter uppkommer efter som det rör sig om två strömmar. Den andra svårigheten är att få modellen att stämma med randvillkoret att kapaciteten är 0 då det överordnade flödet är  $(f\Delta)^{-1}$ .

Om cirkulationsplatsen är så trång så att cyklister ej körs om blir modelleringen enklare – det rör sig ju då om endast en ström. pbe-värdet för cyklister kan då bestämmas med samma metoder som används för övriga fordonstyper.

Tan (1994) har genom simulering behandlat de två fallen då cyklister kan respektive ej kan köras om. Skillnaden visade sig vara ganska liten. Tyvärr redovisas inre några empiriska samband eller parametervärden.

## 6.5 Inverkan av gångtrafikanter

Som tidigare har nämnts behandlas gångtrafikanter som en separat ström. För motorfordon kommer tillfarten att fungera som två seriekopplade kösystem med ett magasin emellan, vars storlek i fordon bestäms av avståndet mellan övergångsställe och väjningslinje. Marlow och Maycock (1982) har härlett ett samband för kapacitetsreduktionen hos det andra kösystemet, dvs. det vid väjningslinjen:

$$r = 1 - \left( \sum_{i=0}^{N+1} \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^i \right)^{-1} \quad (6.2)$$

där  $K_1$  och  $K_2$  är kapaciteten vid det första respektive det andra övergångsstället och  $N$  magasinets storleken. (6.2) är giltigt oavsett värdet på  $\frac{K_1}{K_2}$ . Härledningen förutsätter att det in-

kommande flödet är  $\geq K_1$  så att utflödet alltid är  $K_1$ . Detta innebär att systemet inte är i jämvikt men det delsystem som omfattar det andra kösystemet är i jämvikt eftersom kön inte kan tillväxa oändligt.

Inverkan av den första betjäningstationen minskar med minskande gångtrafikflöde. Marlow och Maycock anger en korrigeringsfaktor för detta för det fall då  $K_1 \geq K_2$ . I annat fall blir övergångsstället en flaskhals – en situation som ej utretts. Marlow och Maycock (1982) har genom simulering konstaterat att denna modell fungerar väl. Tan (1994) har anpassat denna modell till observationer av trafikanternas beteenden, dvs. att fotgängare ej har absolut prioritet. Om  $N=0$  så kan en modell liknande de som diskuteras för cyklister i föregående avsnitt användas.

Den andra betjäningstationen avser interaktionen mellan under- och överordnade fordon och behandlas i kapitel 5. Den första betjäningstationen avser interaktionen mellan gångtrafikanter och motorfordon och kan behandlas på i princip samma sätt.

Om det finns ett övergångsställe i fränfarten kan detta innebära en kapacitetsrestriktion. En effekt av detta är att det kan bildas en kö som växer ut i cirkulationsplatsen och därmed hindrar all avveckling. Marlow och Maycock anger i tabellform, baserat på resultat av Griffiths (1981), sannolikheten för en viss kölängd. Emellertid har Griffiths baserat sitt arbete på antagandet att motorfordonen lämnar fotgängarna företräde. Tan (1994) fann att så ej var fallet och har, baserat på simulering, bestämt ett regressions samband mellan blockerings tiden och magasinets storlek, biltrafikflödet och fotgängarflödet. Det är dock oklart hur trafikantbeteendet hanterats och i regressions sambanden finns inga beteendeparametrar.

Effekten på kapaciteten i tillfarten uppströms beräknas genom att den blockerade tiden konverteras till ett ekvivalent överordnat flöde.

## 6.6 Inverkan av gång- och cykeltrafikanter på gemensam övergång

Om cyklister och gångtrafikanter utnyttjar en gemensam övergång, dvs. övergångarna ligger precis intill varandra, kan dessa trafikantgrupper behandlas som en gemensam ström eller som separata strömmar. Några studier av detta har ej funnits.

## 6.7 Sammanfattning och kunskapsbrister

Den normalt sett viktigaste interaktionen – den mellan under- och överordnad motorfordonsström – är förhållandevis väl utredd men kunskapen om inverkan av olika fordonstyper är begränsad, några mätningar av pbe-värden har ej gjorts. De beräkningsmodeller som finns tillgängliga är väl genomarbetade och kräver egentligen endast kalibrering med avseende på pbe-värden.

Vad gäller övriga interaktioner är kunskapsläget sämre. Särskilt gäller detta för de interaktioner där oskyddade trafikanter är inblandade men också interaktionen mellan utkörande och underordnade fordon. Särskilt kan följande brister pekas ut:

- Interaktionen mellan utkörande och underordnade fordon. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.
- Interaktionen mellan underordnade fordon och korsande oskyddade trafikanter. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.
- Interaktionen mellan utkörande fordon och korsande oskyddade trafikanter. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.
- Interaktionen mellan överordnade cyklister och underordnade fordon. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.

En del av modellutvecklingen har gjorts med simulering, baserat på dels ej redovisat empiriskt material, dels ej redovisade interaktionssamband.

I tätortsmiljö är det rimligt att anta att interaktioner med oskyddade trafikanter har stor betydelse för biltrafikens framkomlighet. Det finns därför goda skäl att studera dessa interaktioner. Ett annat skäl till detta är att det saknas modeller för oskyddade trafikanters framkomlighet.

## 7. Kritiska tidsavstånd och följdtider

### 7.1 Mätningar av kritiska tidsavstånd och följdtider

Hagring (1996) har visat att de samband mellan kritiska tidsavstånd och utformning som används i CAPCAL (Vägverket 1995) inte är riktiga eller, rättare sagt, att det finns samband som bättre stämmer med uppmätta data. Enligt analyser av dessa data är det kritiska tidsavståndet linjärt beroende av såväl växlingssträckans längd som bredd. Dessutom har, vid två körfält i tillfarten, det högra körfältet ett kritiskt tidsavstånd som är väsentligt lägre än det i det vänstra körfältet. För tunga fordon har det kritiska tidsavståndet visat sig vara 1.1 s längre än det för personbilar.

En brist i de mätningar som gjorts är att i stort sett endast cirkulationsplatser med normal storlek mätts. De två minsta cirkulationsplatserna hade rondellradier på 9 m respektive 3 m. I den senare var dock trafikantbeteendet speciellt och resultaten från mätningen av denna bör därför behandlas med försiktighet.

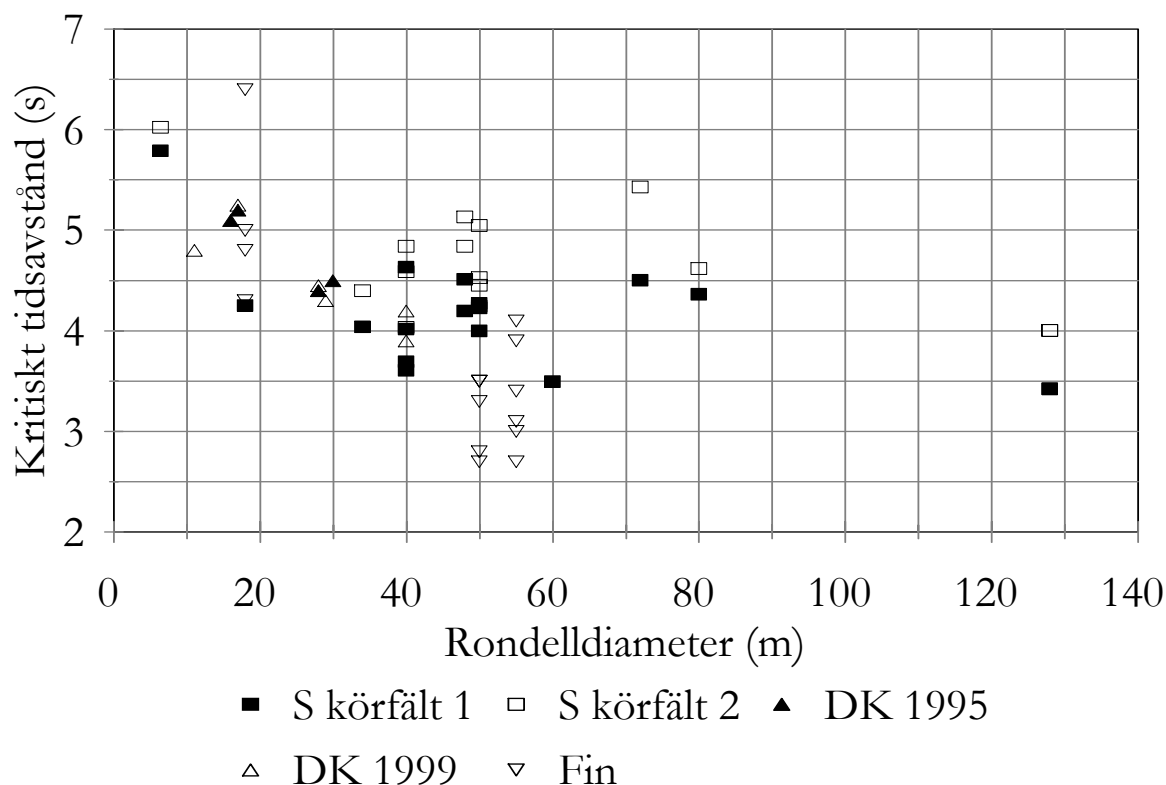
Senare undersökningar av Hagring (1998a) har visat att underordnade fordon är olika känsliga för om ett överordnat fordon befinner sig i borte eller närmre körfältet. Ett annat resultat var att högersvängande fordon har ett lägre kritiskt tidsavstånd än ett fordon som ska rakt fram eller svänga vänster under förutsättning att alla tre manövrarna är tillåtna i samma körfält. Det finns således ett riktighetsberoende utöver körfältsberoendet.

Något beroende av det överordnade flödets storlek har ej kunnat finnas. Ett sådant beroende, eller beroende av väntetidens längd, har visats av flera författare. Detta beroende innebär också en förklaring till att makromodeller i allmänhet är linjära, linjariteten uttrycker förändringar i trafikantbeteendet som överensstämmer med ett sådant beroende. Det finns således ett starkt stöd för att det förekommer ett beroende av flödet eller av väntetidens längd. Det datamaterial som finns bör undersökas med avseende på flödet i underordnad led eftersom en eventuell förändring i trafikantbeteende kan vara en effekt av såväl det över- som det underordnade flödets storlek.

Följdtiderna har konstaterats vara konstanta, dvs. oberoende av utformningen.

### 7.2 Jämförelser med mätningar i andra länder

Kritiska tidsavstånd har mätts bland annat i Finland (Peltola 1994 och 1997) och i Danmark (Aagaardh 1995, Nielsen och Jensen 1999). I figur 7.1 redovisas mätningarna av Aagaardh och Peltola. Aagaardh använde Hewitts metod för skattning av de kritiska tidsavstånden medan Peltola använde Raffs metod. Raffs metod har visat sig ge skattningar som är starkt beroende av det överordnade flödets storlek, dvs. antal och storlek på de erbjudna tidsavstånden. Detta kan vara en förklaring till de låga värden för cirkulationsplatserna med diameter 50 respektive 55 m. De nyare, danska mätningarna (Nielsen och Jensen 1999) visar på en negativ korrelation mellan det kritiska tidsavståndet och rondelldiametern. De svenska mätningarna visar på en liknande negativ korrelation. Korrelation med växlingssträckans längd är dock bättre än med rondelldiametern. Om man bortser från de finländska mätningarna avseende diameter på 50 respektive 55 m, så är skillnaderna i variationsbredd för det kritiska tidsavståndet för en viss storlek i allmänhet mindre än 1 s. Där skillnaderna är större beror detta i flera fall på att det i de svenska mätningarna ingår värden för det vänstra körfältet i tvåfältiga cirkulationsplatser.



**Figur 7.1** Kritiska tidsavstånd uppmätta i Sverige, Danmark och Finland. De finländska mätningarna avser tre olika cirkulationsplatser. 18 m: fyra olika tillfarter, 50 m: två tillfarter vid olika tidpunkter, 55 m: tvåfältig cirkulationsplats, såväl höger som vänster körfält.

Av övriga mätningar kan främst framhållas de som gjorts av Troutbeck (1989). Jämförelser med de nordiska mätningarna är svåra att göra, bland annat därför att de kritiska tidsavstånden relateras till följdtiden. Akçelik (1998) redovisar dock kritiska tidsavstånd på ett mer överskådligt sätt. Variationen är stor men beror till stor del på cirkulationsplatsens storlek (diameter) och det överordnade flödets storlek. I stora cirkulationsplatser med högt flöde kan det kritiska tidsavståndet bli så lågt som 2.2 s.

De svenska mätningarna av följdtiden visade att denna var i stort sett oberoende av utformning och flöde och i genomsnitt 2.4 s. I Danmark har uppmäts ett medelvärde på 2.9 s (Aagaardh 1995) respektive 2.7 s (Nielsen och Jensen 1999). I Finland har följdtider på ca 2.5 s mättes upp (Peltola 1996). Som jämförelse kan nämnas att följdtider i SIDRA (Akçelik 1998) varierar mellan 2.8 och 1.4 s, beroende på bland annat det överordnade flödet.

Tunga fordon har ej mätts separat i andra länder.

Rekommenderat kritiskt tidsavstånd då det överordnade fordonet är en cykel är i Danmark (Aagaardh 1997) 2.5 s. Cyklisterna modelleras således som en särskild ström.

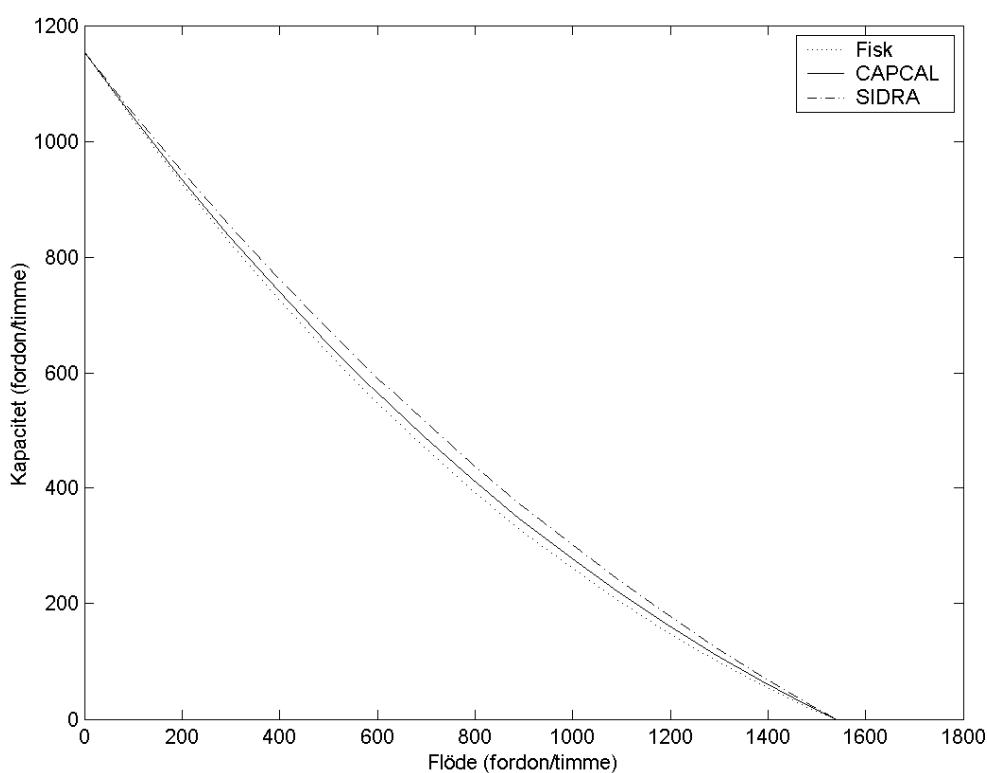
### 7.3 Tunga fordon

Också i underordnad ström kommer andelen tunga fordon att påverka kapaciteten eftersom de har längre kritiskt tidsavstånd/högre pbe-värde. Detta kan modelleras på tre olika sätt.

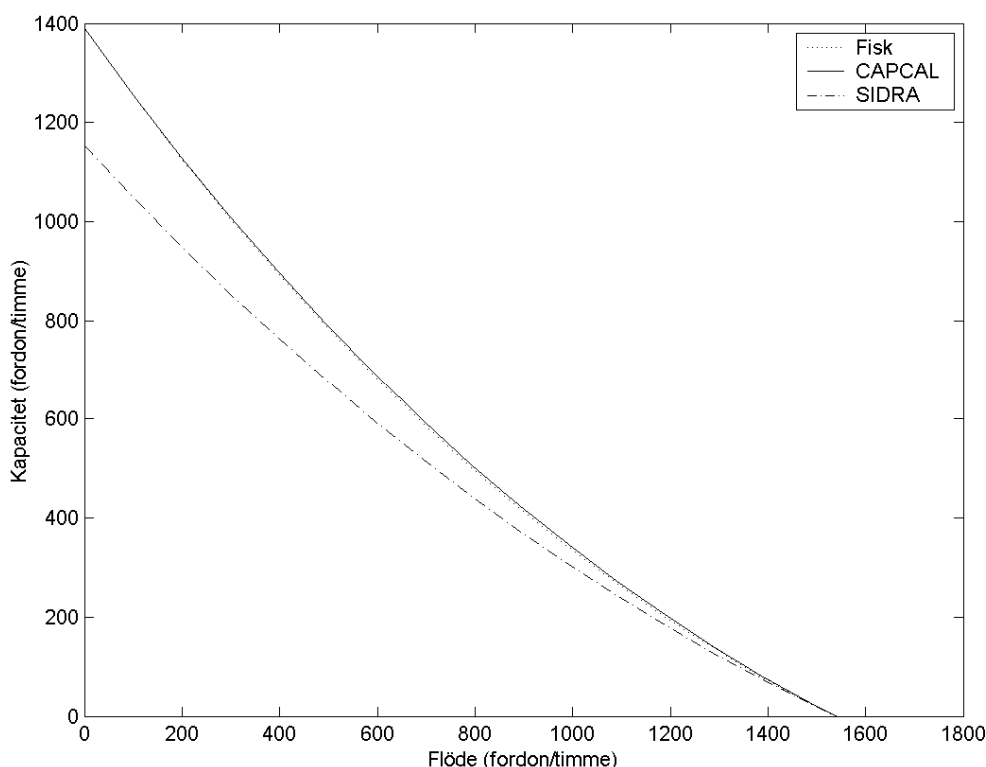


- Det kritiska tidsavståndet kan viktas med hänsyn till andelarna av de olika fordonstyperna. Det erhållna kritiska tidsavståndet kan därefter användas i något av de samband som anges i kapitel 5. Detta används i CAPCAL.
- Separata kapacitetsvärden kan beräknas för de olika fordonstyperna. Denna metod har föreslagits av Fisk (1990). Den genomsnittliga kapaciteten erhålls därefter som ett viktat harmoniskt medelvärde (Catchpole och Plank 1986).
- Den beräknade kapaciteten kan korrigeras genom att den divideras med det viktade pbe-värdet. Detta förfarande används i SIDRA (Akçelik 1998).

De båda första modellerna tar hänsyn till de olika fordonstyperna genom de kritiska tidsavståndens och följdtidernas storlek och är därför mer flexibla än den modell som används i SIDRA. Om pbe-värdet i underordnad ström ska definieras analogt med pbe-värdet i överordnad ström bör följdtiden utgöra utgångspunkten för detta men samtidigt måste hänsyn tas till att också det kritiska tidsavståndet är olika.



**Figur 7.2** Jämförelse av tre modeller för beräkning av inverkan av tunga fordon. Andel tunga fordon = 0.3. Kvoten mellan följdtiderna för tunga fordon och personbilar är densamma som motsvarande kvot mellan pbe-värdena.



**Figur 7.3 Jämförelse av tre modeller för beräkning av inverkan av tunga fordon. Andel tunga fordon = 0.3. Kvoten mellan följdtimeerna för tunga fordon och personbilar är mindre än motsvarande kvot mellan pbe-värdena.**

I figur 7.2 har det antagits att kvoten mellan följdtimeerna för tunga fordon och personbilar är densamma som motsvarande kvot mellan pbe-värdena. Motsvarande gäller för de kritiska tidsavstånden. Skillnaden mellan modellerna blir liten i det första fallet.

I figur 7.3 har det antagits att kvoten mellan följdtimeerna är betydligt mindre än motsvarande kvot mellan pbe-värdena. Den modell som används i SIDRA avviker från de båda andra. Orsaken till detta är att kvoterna mellan följdtimeerna respektive de kritiska tidsavstånden för de olika fordonstyperna inte överensstämmer med motsvarande kvoter för pbe-värdena. Om det finns separata mätningar av de kritiska tidsavstånden och följdtimeerna för de olika fordonstyperna bör därför dessa användas.

#### 7.4 Samband mellan kritiska tidsavstånd och trafikmiljö

De kritiska tidsavstånden kan uttryckas som

$$T = f(G, R, Q, F) \quad (7.1)$$

där  $G$  är den geometriska utformningen,  $R$  är trafikreglering,  $Q$  är trafikflödet och  $F$  är framkomligheten. Detta samband kan realiseras på olika sätt. I CAPCAL används ett additivt linjärt samband

$$T = T_g + \sum_{i=1}^n \Delta T_i \quad (7.2)$$

där  $T_g$  är ett grundvärde och  $T_i$  en korrektionsfaktor som beror av trafikmiljön. Grundvärdet bestäms av regleringsform, hastighet på överordnad led och trafikström. Någon multiplikativ modell, dvs. en modell med formen

$$T = T_g \prod_{i=1}^n \Delta T_i \quad (7.3)$$

är inte känd, med modellformen används bland annat för korrigering av mätnadsflödet i signaldelen i CAPCAL. I cirkulationsplatsmodellen i SIDRA (Akçelik 1998) används en kombinerad additiv och multiplikativ modell av formen

$$T = T_0 \sum_{i=1}^n \Delta T_i \quad (7.4)$$

Observera att i sambandet ingår följdtiden som ett grundvärde och inte det kritiska tidsavståndet.

Om framkomligheten påverkar det kritiska tidsavståndet håller inte de ovanstående modellerna eftersom fördröjningen inte är känd vid beräkningen av det kritiska tidsavståndet. Detta innebär att en iterativ procedur är nödvändig, så att (7.1) respektive (7.2) kan modifieras med avseende på beräknad fördröjning.

För följdtiden finns olika samband. I CAPCAL antas att följdtiden är 60% av det kritiska tidsavståndet. I SIDRA cirkulationsplatsmodellen i (Akçelik 1998) är det följdtiden som är den parameter som först bestäms med en modell av typ (7.2).

## 7.5 Sammanfattning och kunskapsbrist

Mätningar av kritiska tidsavstånd har gjorts för normala cirkulationsplatser och dessa kan användas i en kapacitetsmodell. Det som saknas är mätningar i mindre cirkulationsplatser samt vid olika trafikförhållanden, det senare för att kunna bedöma om det kritiska tidsavståndet är beroende av det överordnade flödets storlek eller av någon annan variabel relaterad till trafikflödet.

Mätningar avseende oskyddade trafikanter saknas helt.

## 8. Kapacitetsrestriktioner

### 8.1 Inledning

De hittills beskrivna delmodellerna har behandlat beräkning av kapacitet i en underordnad ström som funktion av trafikflöden i de olika interagerande strömmar. Kapaciteten är, vid en given utformning, beroende av de överordnade flödenas storlek och sammansättning. Utöver detta kan det emellertid finnas kapacitetsrestriktioner som dessa delmodeller ej behandlar och som beror på att körytorna är för smala för att tillåta att flödet når kapaciteten och/eller att inflödet är större än kapaciteten. Detta kan inträffa i tillfarten, i cirkulationsplatsen och i frånfarten. Kapacitetsrestriktioner kan också förekomma som en följd av nivåskillnader, t.ex. genom förhöjda övergångsställen och vägkuddar.

### 8.2 Kapacitetsrestriktion i tillfart

Förekomsten av korta körfält, dvs. en breddökning av anslutande väg nära väjningslinjen, innebär en kapacitetsrestriktion eftersom en ström i ett körfält kan blockera ett intilliggande körfält om kön sträcker sig förbi förgreningspunkten. Detta kan behandlas i CAPCAL men modellen är inte helt fullständig. En generell lösning på detta problem har givits av Wu (1997b). Denna bör kunna implementeras direkt i modellen.

En annan restriktion uppkommer om inflödet är högre än kapaciteten. I CAPCAL tas ej hänsyn till detta, dvs. det görs ingen begränsning av inflödet. Detta problem har noterats av Fisk (1991), som också formulerat en lösning på det. Denna lösning är provad i annat sammanhang (Hagring 1996) och kan implementeras direkt i modellen.

### 8.3 Kapacitetsrestriktion i cirkulationsplatsen

Detta är ett område som ej är undersökt. Framkomligheten i cirkulationsplatsen är beroende av inner- och ytterradie. En rimlig bedömning är att det är främst tunga fordon som kan ha så begränsad framkomlighet att kapaciteten sjunker. Inverkan är emellertid inte självklar. Långsamma fordon leder till en ökad andel fordon i kolonn vilket ger fler längre tidsavstånd, dvs. en ström kan missgynnas och en annan gynnas. I praktiken torde problemen vara små – det är rimligt att cirkulationsplaster med begränsat körutrymme för tunga fordon inte byggs i korsningspunkter där andelen sådana fordon är stor.

### 8.4 Kapacitetsrestriktion i frånfart

I VU94 (Vägverket 1994) anges ett praktiskt maxflöde på 1500 fordon<sup>1</sup>/timme och att detta bör kontrolleras mot aktuellt flöde. Några mätningar som grund för detta redovisas ej.

---

<sup>1</sup> Egentligen bilar.



## 9. Framkomlighetsmått

### 9.1 Inledning

De framkomlighetsmått som används i den svenska beräkningsmodellen (Vägverket 1995) anges normalt per körfält. Följande mått redovisas i utdata från beräkningen:

<b>Kapacitet</b>	Det största flöde som kan passera ett snitt i körfältet. För underordnade körfält kan snittet tänkas ligga vid stopp- eller väjningslinjen. Kapaciteten beräknas på timnivå.
<b>Belastningsgrad</b>	Kvoten mellan inkommande flöde och kapacitet.
<b>Kölängd – medel</b>	Genomsnittlig kölängd för korsningar utan trafiksignaler. Genomsnittlig kölängd vid växling till grönt för trafiksignaler.
<b>Kölängd – 90%</b>	Den kölängd som underskrids under 90% av tiden enligt definitionerna för kölängd – medel.
<b>Fördröjning stopplinje</b>	Interaktionsfördröjning. Interaktionsfördröjningen består av betjäningstid och väntetid i kö. Betjäningstid är den tid det tar för trafikanten att bli betjänad och väntetid i kö är den tid som tillbringas i kö innan stopp- respektive väjningslinjen nås. Begreppet väntetid används ibland för att uttrycka hela interaktionsfördröjning, men här används den första definitionen.
<b>Övrig fördröjning</b>	Geometrisk fördröjning som avser fördröjning som uppkommer på grund av korsningens utformning, dvs. retardations- och accelerationsförluster. Jämförelsen sker mot en ostörd passage även om någon ostörd passage ej existerar såsom för ett högersvängande fordon.
<b>Total fördröjning</b>	Total fördröjning, inkluderande såväl interaktionsfördröjning som geometrisk fördröjning, men ej summan av dessa båda storheter.
<b>Andel fördröjda stopplinje</b>	Andel av förare som blir fördröjda på grund av interaktion med andra trafikanter.
<b>Andel fördröjda övrig</b>	Andel fördröjda på grund av geometrisk fördröjning
<b>Andel fördröjning totalt</b>	Total andel fördröjda (summan av ovanstående andelar)
<b>Andel stopp</b>	Andel förare som stannar

Total fördröjning total och andel stopp beräknas också per trafikström.

## 9.2 Beräkning av framkomlighetsmått

För beräkningen av kapacitet har redogjorts i föregående kapitel. Belastningsgraden kan beräknas om flödet är känt. Beräkningen av övriga framkomlighetsmått görs i allmänhet genom en köteoretisk ansats, se Hagring (2001) för en kortfattad introduktion. Närmast till hands ligger att utnyttja teorin för M/G/1 eller M/G2/1 system och att hantera överbelastning genom koordinattransformering med justeringsparametrar enligt Tan (1997) eller genom att använda samband från HCM (Transportation Research Board 1998) eller SIDRA (Akçelik 1998). Alternativt kan diffusionsekvationen användas (Newell 1982, Troutbeck och Blogg 1998).

## 10. Förslag till beräkningsmodell

### 10.1 Inledning

I figur 3.2 återfinns en schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för cirkulationsplatser. I detta kapitel görs en precisering av denna modell.

### 10.2 Beräkning av överordnat flöde

#### 10.2.1 Identifiering av överordnade strömmar

Detta kan göras med utgångspunkt från kapitel 4.

#### 10.2.2 Konvertering till personbilsenheter

Fordonsströmmarna bör uttryckas i personbilsenheter. Detta påverkar utbudet av tidsavstånd vilket innebär att den modellerade situationen avviker från den faktiska. En lösning på detta är att tillämpa den metod som utvecklats av Fisk (1990). Skillnaden mellan olika modeller är förhållandevis liten, se figur 6.1.

#### 10.2.3 Hantering av strömmar med olika inverkan

Detta avser det förhållandet att en överordnad ström kan ha en större inverkan än en annan, räknat per personbilsenhet. Detta är aktuellt enbart för tvåfältiga cirkulationsplatser.

#### 10.2.4 Överordnade tidsavstånd

För de olika interaktionerna måste fördelningen av tidsavstånden i de överordnade strömmarna kunna bestämmas. En översiktlig beskrivning av denna process finns i Hagring (2000). En svårighet är att bestämma hur tidsavståndsfördelningen för det överordnade flödet, givet tidsavståndsfördelningarna i de olika strömmarna, ska se ut.

### 10.3 Beräkning av kritiska tidsavstånd och följdtider

De kritiska tidsavstånden kan uttryckas med den modell som anges i (7.1). Olika modellansatser bör provas.

### 10.4 Beräkning av betjäningstider och kapacitet

I kapitel 5 har några olika modeller för beräkning av kapacitet presenterats. I princip finns det två olika mikromodeller att välja på: Harders [1968] och Siegloch [1973] där Harders modell är en diskret variant av Siegloch's. Genom att välja olika tidsavståndsfördelningar –  $f(t)$  i modellen, kan en lång rad samband erhållas. Valet av tidsavståndsfördelning får baseras på uppmätta tidsavstånd.

För oskyddade trafikanter, och särskilt för gående, är kapaciteten av mindre intresse eftersom huvuddelen av fördröjningen är betjäningstid. När betjäningen börjar kan normalt alla fotgängare avvecklas.

### 10.5 Körfältsfördelning

I CAPCAL baseras körfältsfördelningen på att belastningsgraden ska vara lika stor i alla körfält i en deltillfart. Fördelen med denna ansats är belastningsgraden är en enkel linjär funktion av kapaciteten. Fördelning så att fördröjningen är lika stor är mer komplicerad



men bör, åtminstone teoretiskt, ge bättre resultat. Emellertid kan en tredje modell, nämligen anpassning till trafikanternas faktiska val, ge en bättre beskrivning, något som endast kan prövas mot fältdata.

## 10.6 Korrigering för korta körfält

Som nämnts ovan bör den modell som utvecklas av Wu (1997) kunna användas. Denna modell bör också kunna användas för de fall då en tillfart är så bred att den medger uppställning av mer än ett fordon vid stopplinjen.

## 10.7 Beräkning av framkomlighetsmått

De i avsnitt 9.1 beskrivna framkomlighetsmåten bör beräknas med någon av de metoder som nämnts i avsnitt 9.2.

## 10.8 Modellredovisning och rapportering

Beräkningsmodellen, inkluderande referenser till fältmätningar med flera källor, presenteras så att den, utan annan information, kan omsättas i en beräkningshandledning eller ett datorprogram.

## 11. Förslag till fortsatt arbete

Det fortsatta arbetet bör bedrivas på i huvudsak två olika sätt.

För det första bör fältmätningar göras för att klarlägga bland annat kritiska tidsavstånd och följdtider i mindre cirkulationsplatser, överordnade flöden, personbilsenheter osv. Omfattningen av fältmätningen får baseras på en mätplan, där hänsyn tas till bland annat variationer i utformning. Fältmätningen bör också innehålla mätdata för validering.

För det andra bör en teoretisk modell, liknande den som finns i figur 3.2, ställas upp. I en sådan kan alternativa ansatser för bland annat kapacitetsberäkning göras. Denna modell bör programmeras så att användbarheten hos olika teoretiska modeller, t.ex. för sekundärkonflikter, kan kontrolleras. Viss teoriutveckling kan komma att behövas.

Slutligen kan simulering tillgripas för modellverifiering.

### 11.1 Fältmätningar

De fältmätningar som gjordes av Hagrings (1996) omfattade 11 cirkulationsplatser med totalt 17 tillfarter. Ytterradien för dessa cirkulationsplatser varierade från 13 till 78 m. En del av cirkulationsplatserna var elliptiska varför radien varierade från tillfart till tillfart. Samband mellan kritiskt tidsavstånd och utformningen kunde bestämmas. Det kritiska tidsavståndet fanns vara beroende av växlingssträckans längd och bredd. Ett beroende mellan det kritiska tidsavståndet och ytterradien existerade också men var inte lika starkt som beroendet av växlingssträckans längd, förmodligen därför att växlingssträckans längd är ett mått som kan kopplas direkt till en tillfart, vilket inte radien kan på samma sätt.

Följdtiden befanns vara i stort sett konstant för alla tillfarter och det kritiska tidsavståndet för tunga fordon ca 1.1 s större än för personbilar. Något samband mellan det kritiska tidsavståndet och det överordnade flödets storlek kunde ej finnas.

Mätningarna avser endast konflikter mellan motorfordon. Konflikter mellan motorfordon och oskyddade trafikanter bör mätas, dels för att utröna de oskyddade trafikanternas inverkan på biltrafiken, dels för att kunna beräkna framkomligheten för oskyddade trafikanter.

Mätningar behöver också göras för att kunna validera beräkningsmodellen. Förslagsvis görs valideringen genom att jämförelser mellan beräknade och uppmätta parametrar såsom kritiska tidsavstånd, följdtider och parametrar i tidsavståndsfördelningen. Vidare kan jämförelser göras mellan beräknade och uppmätta framkomlighetsmått såsom kapacitet och kölängd.

### 11.2 Förslag till mätplan

Förslaget till mätplan baseras på den sammanställning av kunskapsbrister som gjorts avsnitten 6.7 och 7.5. Kunskapsbrist finns inom två huvudområden, oskyddade trafikanter samt kritiska tidsavstånd. För oskyddade trafikanter saknas helt uppgifter. Vad gäller kritiska tidsavstånd saknas uppgifter för små cirkulationsplatser, dvs. främst enfältiga cirkulationsplatser. Ingen kunskap finns om samband mellan framkomligheten i ett körfält – mätt t.ex. som överordnat flöde eller väntetid i kö. Utöver detta saknas uppgifter om geometrisk fördrojning i cirkulationsplatser. Med utgångspunkt från detta föreslås följande mätplan:

- Mätningar av kritiska tidsavstånd och följtider i små cirkulationsplatser.
- Mätning av kritiska tidsavstånd och följtider i cirkulationsplatser med hög belastning.
- Mätning av interaktioner mellan oskyddade trafikanter och motorfordon.
- Mätning av inverkan av utkörande fordon.
- Mätning av geometrisk fördröjning.

## Referenser

- Aagaardh P. (1995) *Metoder til valg af reguleringsform for vejkryds*. IVTB, Danmarks Tekniske Universitet.
- Aagaardh P. (1997) Danish Capacity Models. In Ola Hgrading (ed.) *NordKap – nordiskt kapacitetssamarbete*. Bulletin 156, Inst. för trafikteknik, LTH, Lund.
- Adams W. F. (1936) *Road traffic considered as a random series*. Journal of the Inst. Civ. Engrs 4.
- Akçelik R. (1994) Gap-acceptance modelling by traffic signal analogy. *Traffic Engineering & Control* 35(9).
- Akçelik R. (1998) Roundabouts: Capacity and performance analysis. Research Report ARR 321. ARRB.
- Bovy Ph. H. et al.[1991] *Guide de Suisse des Giratoires*. VSS/OFR+FSR. Lausanne.
- Catchpole E. A. and Plank A. W. (1986) The capacity of a priority intersection. *Transportation Research* 20(6).
- Fisk C.S. (1990) Effects of heavy traffic on network congestion. *Transportation Research* 24B(5).
- Fisk C. S. (1991) Traffic performance analysis at roundabouts. *Transportation Research* 25B(2-3).
- Griffiths J. D. (1981) A mathematical model of a nonsignalized pedestrian crossing. *Transportation Science* 15(3) .
- Hgrading O. (1996) *Roundabout Entry Capacity*. Bulletin 135. Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund.
- Hgrading (1998a) Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity. Doctoral. Thesis.
- Hgrading (1998b) A further generalization of Tanner's formula. *Transportation Research* 32B(6).
- Hgrading O. (1999) Kompendium i trafikflödesteori. Teknik och samhälle, LTH.
- Hgrading, O. (2000a) *Framkomlighet i korsningar utan trafiksignaler. En litteraturöversikt*. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Avdelning Trafikteknik, Bulletin 190.
- Hgrading O. (2000b) Effects of OD flows on roundabout entry capacity. In Brilon W. (ed.) *Proceedings of Fourth International Symposium on Highway Capacity*, Maui, Hawaii.
- Hgrading O. (2000c) Derivation of a capacity equation for a roundabout including circulating and exiting flow. Submitted for the 2001 TRB Annual Meeting.

Hagring, O. (2001) *Beräkning av framkomlighetsmått i korsningar utan trafiksignaler. En litteraturöversikt*. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Avdelning Trafikteknik, Bulletin 196.

Harders J. [1968] Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer verkehrsknoten. *Schriftenserie strassenbau und strassenverkehrstechnik*, Heft 76.

Louah G. (1988) Recent French Studies on Capacity and Waiting Times at Rural Unsignalized Intersections. W. Brilon (ed.) *Intersection Without Traffic Signals*. Proceedings of an International Workshop in Bochum, Germany. Heidelberg: Springer-Verlag.

Marlow M. and Maycock G. (1982). *The effect of zebra crossings on junction entry capacities*. Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 724. England: Department of Transport.

Newell, G. F. (1982) *Applications of Queueing Theory*. Chapman and Hall, London.

Nielsen M. H. and Jensen C. H. (1999). Kapacitet i rundkørsler. *Dansk Vejtidskrift* 11/99.

Peltola V. (1994) Roundabouts – Design Guidelines and Capacity (In Finnish). FinnRA, Traffic Road and Engineering.

Peltola V. (1996) Two-lane roundabouts (In Finnish with English abstracts). FinnRA, Traffic Road and Engineering.

Peltola V. (1997) Finländska mätningar i cirkulationsplatser och trafiksignaler. In Ola Hagring (ed.) *NordKap – nordiskt kapacitetssamarbete*. Bulletin 156, Inst. för trafikteknik, LTH, Lund.

Plank, A. W. (1982). The capacity of a priority intersection. *Traffic Engineering & Control* 23(2).

Siegloch W. [1973] Die leistungsermittlung von knotenpunkten ohne lichtsignalanlagen. *Schriftenserie strassenbau und strassenverkehrstechnik*, Heft 154.

Tan J. (1994) Influences of Pedestrian and Cyclist Flow on Roundabout Entry Capacity. In R. Akçelik (ed.) *Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity*. Sydney, Australia.

Tanner J. C. (1951) The delay to pedestrians crossing a road. *Biometrika* 38, pp 383-392.

Transportation Research Board (1998) *Highway Capacity Manual*. Special Report 209. Washington DC, USA.

Troutbeck R. J. (1989) *Evaluating the performance of a Roundabout*. Australian Road Research Board. Special Report 45.

Troutbeck, R. J. and Blogg, M. (1998) Queuing at Congested Intersections. *Transportation Research Record No. 1646*. Transportation Research Board. Washington D. C.

Vägverket. (1994). *Vägutformning 94 Del 7 Korsningar*. Publikation 1994:053. Borlänge, Sweden.

Vägverket. (1995) *CAPCAL. Model description of Roundabouts*. Report 1995:009E. Borlänge, Sweden.

Wu N. (1997a) *Eine universelle formel für Berechnung der Kapazität von Kreisverkehrsplätzen*. Ruhr-Universität Bochum.

Wu N. (1997b) Capacity of shared/short lanes at unsignalized intersections. In Proceedings of the *Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals*, Portland, Or., USA.



## Appendix 1

Härledning av kapacitetssamband enligt Akçelik (1994).

Sambandet bygger på en analogi med en trafiksignal. Ett tidsavstånd då fordon kan avveck-

las definieras som  $t_a : t > T$ . Vi får  $E(t_a) = \int_T^{\infty} t f(t) dt = T + q^{-1}$  för en exponentialför-

delning. Med den definition som anges av Akçelik betraktas tidsperioden  $T$  i varje sådant tidavstånd som blockerad, dvs. ett ickeblockerat tidsavstånd får den genomsnittliga längden

$$E(t_u) = E(t_a) - T = q^{-1}.$$

Medelvärden av alla tidsavstånd kan uttryckas som längden av ett omlopp, dvs. summan av den blockerade respektive ickeblockerade perioden multiplicerat med andelen omlopp.

Andelen omlopp är det samma som andelen blockerade perioder, dvs.  $e^{-qT}$ . Andelen ickeblockerade perioder är densamma.

Vi får sambandet  $e^{-qT} (q^{-1} + E(t_b)) = q^{-1}$  eftersom medelvärdet av summan av den blockerade respektive ickeblockerade perioden måste vara medelvärdet av alla tidsavstånd.

$$\text{Härur fås } E(t_b) = q^{-1}(e^{qT} - 1).$$

Motsvarande resultat fås för en M3 fördelning.