

# Korsningar med stopp- eller väjningsplikt

## Förslag till modell för beräkning av framkomlighet



Ola Hagrind  
2001

Ola Haging

Korsningar med stopp- eller väjningsplikt – Förslag till modell  
för beräkning av framkomlighet

**Ämnesord:**

*Stopplikt, väjningsplikt, 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 korsningar med stopp- eller väjningsplikt görs i denna rapport. Rapporten avses ligga till grund för framtagning av detaljerad mätplan.

Stop and yield regulated intersections – A proposal for a new  
capacity model

**Keywords**

Stop regulation, Yield regulation, 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 stop and yield regulated intersections is presented. On the basis of this report, a detailed plan for the field data collection, will be developed.

**Citeringsanvisning**

Haging, Ola. Korsningar med stopp- eller väjningsplikt – 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, 199.

**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 ***Korsningar med stopp- eller väjningsplikt – 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 cirkulationsplatser. Förslag till beräkningsmodell för övriga korsningstyper kommer att publiceras senare.

Lund juni 2001

Ola Hagrind

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>i</b>
Inledning .....	i
Modellstruktur .....	i
Interaktioner mellan olika trafikanttyper .....	ii
Förslag till beräkningsmodell.....	iii
Förslag till fortsatt arbete.....	iii
<b>1. Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund och syfte.....	1
1.2 Metod .....	2
1.3 Avgränsning .....	2
<b>2. Korsningar med stopp- eller väjningsplikt</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Modellstruktur</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Interaktioner mellan trafikanter</b> .....	<b>7</b>
<b>5. Kapacitetsmodeller baserade på kritiska tidsavstånd</b> .....	<b>9</b>
5.1 Inledning.....	9
5.2 Beräkning av kapacitet.....	10
5.3 Beräkning av betjäningstider.....	11
5.4 Inverkan av korsningens geometri.....	11
5.5 Sammanfattning och kunskapsbrister .....	11
<b>6. Överordnat flöde och interaktioner mellan olika trafikströmmar</b> .....	<b>13</b>
6.1 Definition av överordnat flöde.....	13
6.2 Fördelningen av överordnade tidsavstånd .....	14
6.3 Fordons- och trafikanttyper .....	14
6.4 Inverkan av cyklister .....	16
6.5 Inverkan av gångtrafikanter .....	16
6.6 Inverkan av gång- och cykeltrafikanter på gemensam övergång.....	17
6.7 Sekundärkonflikter .....	17
6.8 Sammanfattning och kunskapsbrister .....	17
<b>7. Kritiska tidsavstånd och följdtider</b> .....	<b>19</b>
7.1 Mätningar av kritiska tidsavstånd och följdtider.....	19
7.2 Tunga fordon .....	19
7.3 Samband mellan kritiska tidsavstånd och trafikmiljö .....	22
7.4 Sammanfattning och kunskapsbrist .....	22
<b>8. Kapacitetsrestriktioner</b> .....	<b>24</b>
8.1 Inledning.....	24

8.2	Kapacitetsrestriktion i tillfart .....	24
8.3	Kapacitetsrestriktion i frånfart .....	24
<b>9.</b>	<b><i>Framkomlighetsmått</i></b> .....	<b>26</b>
9.1	Inledning.....	26
9.2	Beräkning av framkomlighetsmått .....	27
<b>10.</b>	<b><i>Förslag till beräkningsmodell</i></b> .....	<b>28</b>
10.1	Inledning .....	28
10.2	Beräkning av överordnat flöde.....	28
10.3	Beräkning av kritiska tidsavstånd och följdtider .....	28
10.4	Beräkning av betjäningstider och kapacitet .....	28
10.5	Beräkning av inverkan av sekundärkonflikter .....	29
10.6	Körfältsfördelning .....	29
10.7	Korrigeringsfaktor för korta körfält.....	29
10.8	Beräkning av framkomlighetsmått.....	29
10.9	Modellredovisning och rapportering .....	29
<b>11.</b>	<b><i>Förslag till fortsatt arbete</i></b> .....	<b>30</b>
11.1	Fältsmätningar .....	30
11.2	Förslag till mätplan .....	30
	<b><i>Referenser</i></b> .....	<b>32</b>

## Sammanfattning

### Inledning

De beräkningsmodeller som används i Sverige idag för korsningar med stopp- eller väjningsplikt är 20 till 25 år gamla och i behov av uppdatering och omarbetning. Den nuvarande beräkningsmodellen är dåligt underbyggd – det saknas helt enkelt fältmätningar som stöder de i beräkningsmodellen använda sambanden. Vid genomgången av CAPCAL konstaterades följande oklarheter i modellen:

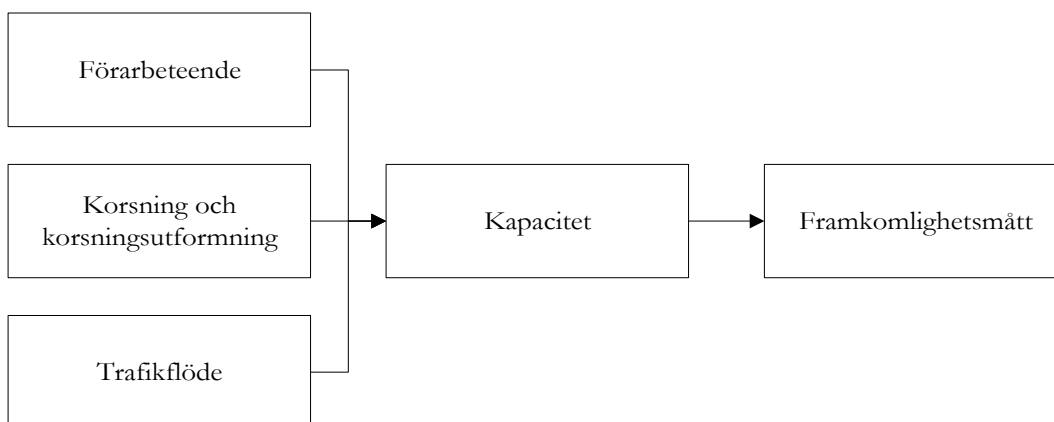
- personbilsenheter för oskyddade trafikanter
- passage av korsning i två steg
- några mättnadsflödeskorrektioner
- antaganden om tidsavståndsfördelningar
- användande av bred vägren vid högersväng till överordnad led
- personbilsenheter för olika fordonstyper

Utöver dessa oklarheter kan konstateras att mätningarna av bland annat de kritiska tidsavstånden är gjorda på 70-talet och att nya mätningar antagligen är behövliga.

Delar av beräkningsmodellen är felaktiga, om än väldokumenterade. Dit hör främst hanteringen av konflikter mellan fordonströmmar med olika ordning. För oskyddade trafikanter saknas i stort sett användbara modeller, både för deras inverkan på biltrafiken men också för biltrafikens inverkan på de oskyddade trafikanterna. Modellen borde dessutom valideras genom mätning av oberoende korsningar.

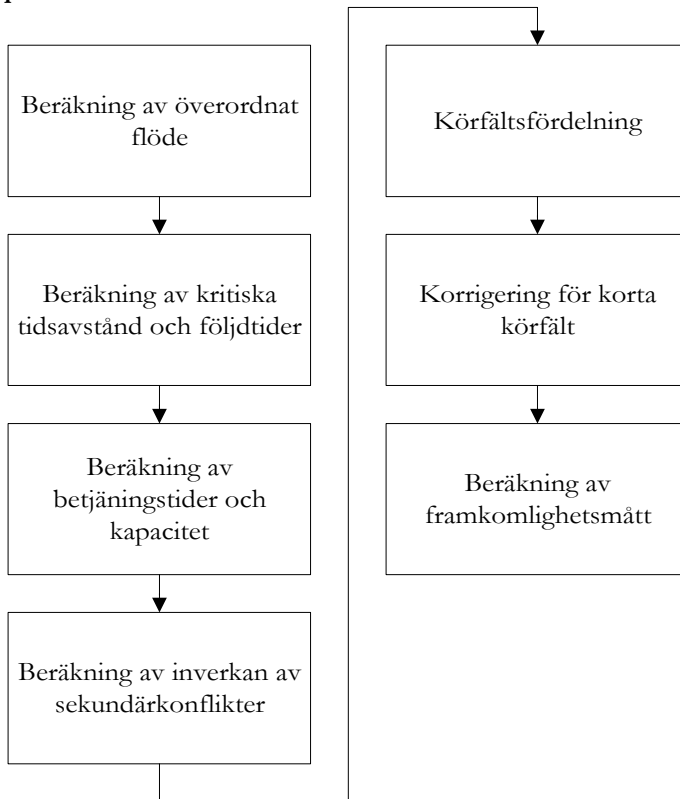
### Modellstruktur

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 korsningar med stopp- eller väjningsplikt.



**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. Rangordningen mellan olika trafikströmmar, med särskild hänsyn till fotgängare diskuteras. Behandlingen av interaktioner mellan fotgängare och motorfordon kompliceras av att fotgängare har varierande grad av företräde (varierande rangordning). Två olika kapacitetsmodeller för kritiska tidsavstånd behandlas. Trots olika utgångspunkter ger dessa ungefär samma resultat.

### Interaktioner mellan olika trafikanttyper

Interaktioner mellan olika trafikanttyper behandlas förhållandevis ingående. Den normalt sett viktigaste interaktionen – den mellan under- och överordnad motorfordonsström – är förhållandevis väl utredd men kunskapen om inverkan av olika fordonsstyper är begränsad, några mätningar av pbe-värden har ej gjorts. Kunskapen om inverkan av olika fordonsströmmar är också begränsad. Bland annat gäller detta interaktionen mellan utkörande och underordnade fordon. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.

Vad gäller interaktioner där oskyddade trafikanter är inblandade är kunskapsläget sämre.

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.

### Förslag till beräkningsmodell

En preliminär modell, med följande delar, föreslås:

- Identifiering av överordnade strömmar
- Konvertering till personbilsenheter
- Hantering av strömmar med olika inverkan
- Tidsavstånd på överordnad led
- Beräkning av kritiska tidsavstånd och följdtider
- Beräkning av betjäningstider och kapacitet
- Beräkning av inverkan av sekundärkonflikter
- Körfältsfördelning
- Korrigering för korta körfält
- Beräkning av framkomlighetsmått

### Förslag till fortsatt arbete

Det fortsatta arbetet bör bedrivas på två olika sätt.

För det första bör fältmätningar göras för att klarlägga bland annat kritiska tidsavstånd och följdtider, 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.

De beräkningsmodeller som används i Sverige idag är 20 till 25 år gamla och i behov av uppdatering och omarbetning, se Haging (2000). Dessutom är den nuvarande beräkningsmodellen dåligt underbyggd – det saknas helt enkelt fältmätningar som stöder de i beräkningsmodellen använda sambanden. Vid genomgången av CAPCAL konstaterades följande oklarheter i modellen:

- personbilsenheter för oskyddade trafikanter
- passage av korsning i två steg
- några mättnadsflödeskorrektioner
- antaganden om tidsavståndsfördelningar
- användande av bred vägren vid högersväng till överordnad led
- personbilsenheter för olika fordonstyper

Utöver dessa oklarheter kan konstateras att mätningarna av bland annat de kritiska tidsavstånden är gjorda på 70-talet och att nya mätningar antagligen är behövliga. Huruvida de kritiska tidsavstånden ändrat sig eller ej kan inte avgöras utan nya mätningar. Särskilt intressant är att få en uppfattning om det finns något samband mellan de kritiska tidsavstånden respektive följdtiden och flödets storlek eller fördröjningen.

Delar av beräkningsmodellen är felaktiga, om än väldokumenterade. Dit hör främst hanteringen av konflikter mellan fordonsströmmar med olika ordning. Detta problem är teoretiskt löst. Lösningen skulle kunna implementeras i CAPCAL. Det samma gäller problemet med korta körfält. Båda dessa lösningar är generella.

Problemet med passage av korsningar i två steg har också det lösts teoretiskt.

När det gäller personbilsenheter så saknas det uppgifter om detta, de i CAPCAL använda uppgifterna är förmodligen baserade på allmänna övervägande och schablonsiffror från andra länder.

För oskyddade trafikanter saknas i stort sett användbara modeller, både för deras inverkan på biltrafiken men också för biltrafikens inverkan på de oskyddade trafikanterna.

Beräkningen av fördröjning och andra effektmått kan behöva ses över då en hel del resultat producerats under senare år. Den diskontinuerliga fördröjningsfunktion som används i CAPCAL borde kunna bytas ut.

Modellen borde dessutom valideras genom mätning av oberoende korsningar.

Syftet med denna rapport är att, utgående från den kunskapsinventering som gjorts av Haging (2000), sammanställa en ny beräkningsmodell för stopp- och väjningspliktiga korsningar, baserad på det nuvarande forskningsläget samt att i samband med detta redovisa behov av ytterligare forskning.

## 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. Haging (2000). Referenshanteringen är i denna rapport något mindre omfattande är brukligt.

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.

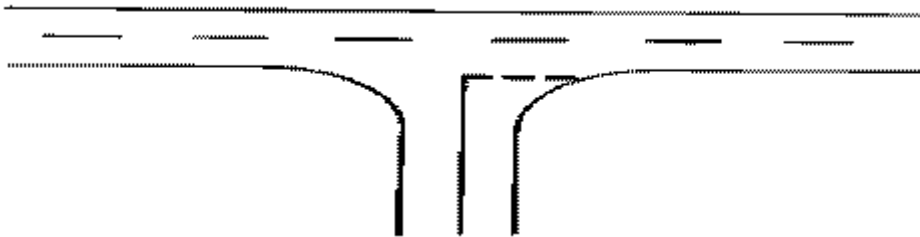
## 1.3 Avgränsning

Denna rapport behandlar korsningar med stopp- eller väjningsplikt och alla de trafikslag som förekommer i cirkulationsplatser: motorfordon, forgångare och cyklister. Framställningen avser i huvudsak interaktioner mellan trafikanter, dvs. på mikronivå.

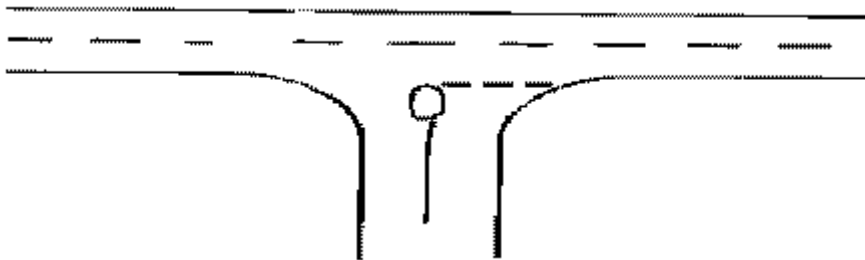
## 2. Korsningar med stopp- eller väjningsplikt

Enligt Vägverket (1994) finns tre typer av korsningar med stopp- eller väjningsplikt:

- Korsningstyp A, som saknar trafiköar och normalt har ett körfält i varje tillfart, se figur 2.1. Fyrfältig primärgata kan förekomma i tätort.
- Korsningstyp B är kanaliserad med trafikö, normalt med refug, se figur 2.2. På landsbygd förekommer kanalisering endast på sekundärväg, i tätort kan kanalisering förekomma också på primärvägen.
- Korsningstyp C, som har vänstersvängkörfält på primärvägen, kanaliserat med trafikö. Refug kan förekomma, se figur 2.3.



Figur 2.1 Korsningstyp A (Vägverket 1994).

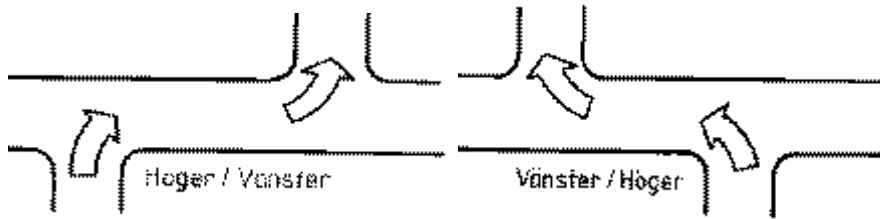


Figur 2.2 Korsningstyp B (Vägverket 1994).



Figur 2.3 Korsningstyp C (Vägverket 1994).

Dessa korsningstyper förekommer för såväl trevägs- som fyrvägs-korsningar. Förskjuten korsning erhålls genom att en fyrvägs-korsning delas isär till två trevägs-korsningar. Korsningen kan vara höger- eller vänsterförskjuten, se figur 2.4.

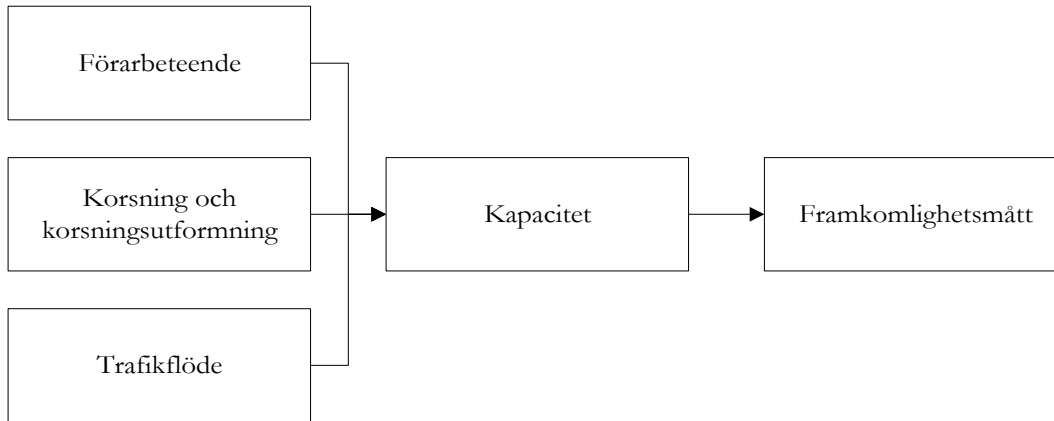


**Figur 2.4** Höger- respektive vänsterförskjutning av två trevägskorsningar.

Detaljerade anvisningar för utformningen ges av Vägverket (1994). Det bör noteras att korsningstyperna A, B och C kan reglerade med stopp- eller väjningsplikt på underordnad led. Korsningar med fyrvägsstopp tillhör också korsningstyperna A, B och C. Denna regleringsform behandlas i annan rapport.

### 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, 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.



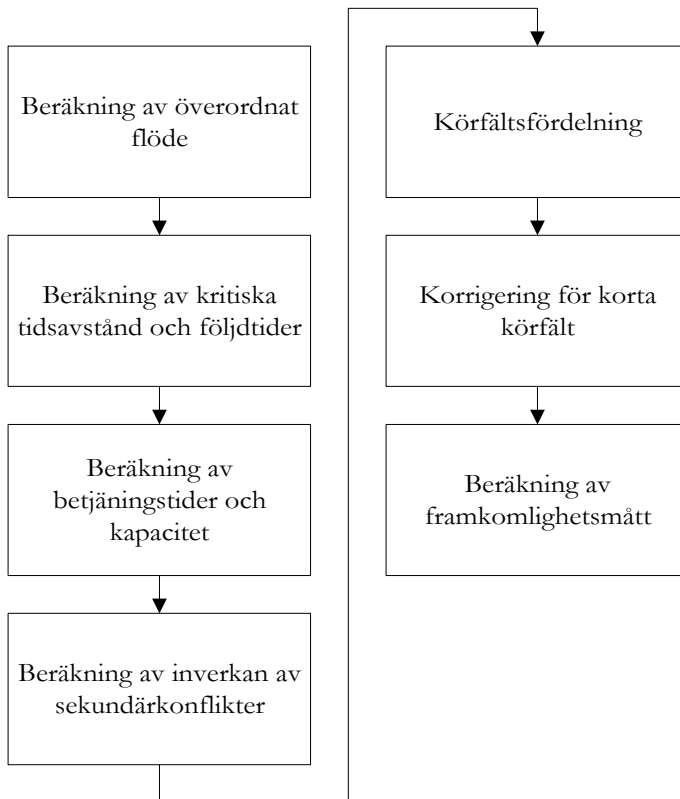
**Figur 3.1. Modellstruktur för beräkning av framkomlighet.**

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.

De mätningar som gjorts av korsningar med stopp- eller väjningsplikt (Hansson 1975) gjordes på mikronivå. Makromodeller för denna typ av korsningar är relativt ovanliga (Hagring 2000). Detta beror på att i makromodellen modelleras alla överordnade strömmar separat vilket ger en komplicerad modellstruktur. Makromodellen har därför kommit till användning mest i Storbritannien där fyrvägs-korsningar normalt ej förekommer för denna korsningstyp. Hanteringen av de överordnade strömmarna i makromodellen indikerar dock att mikromodellen har en begränsning eftersom de överordnade strömmarna normalt behandlas likvärdigt i denna. Några skattningar av separata kritiska tidsavstånd för olika överordnade strömmar har gjorts, främst av Golias (1981).

I figur 3.2 görs en schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för korsningar med stopp- eller väjningsplikt. 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. Beskrivningen är avpassad för en mikromodell.

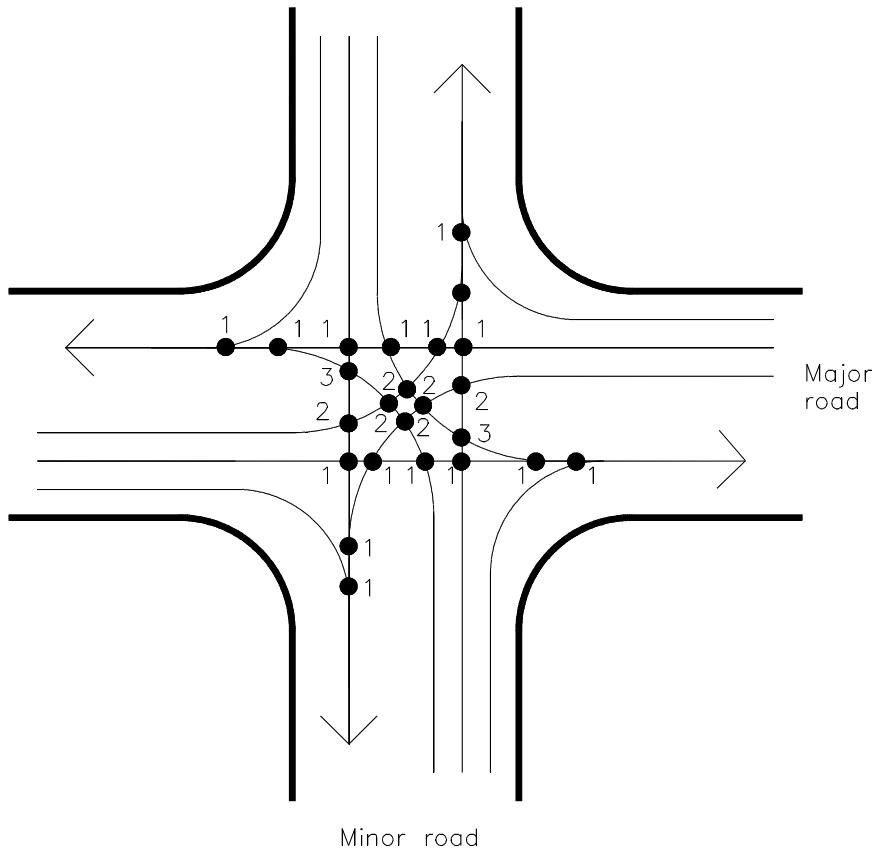


**Figur 3.2. Schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för korsningar med stopp- eller väjningsplikt.**

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 biltrafikströmmar som är eller kan vara relevanta för en av tillfarterna i en fyrvägskorsning med stopp- eller väjningsplikt.



**Figur 4.1. Interaktioner mellan över- och underordnade strömmar. Siffrorna anger interaktionsrang.**

I HCM (Transportation Research Board 1998) rangordnas strömmarna på följande sätt, se tabell 4.1. Rangordningen gäller en fyrvägskorsning.

**Tabell 4.1 Rangordning av strömmar i HCM.**

Rangordning	Ström
1	Raktframkörande på överordnad led Högersvängande från överordnad led Fotgängare som korsar underordnad led
2	Vänstersvängande från överordnad led Högersvängande från underordnad led Fotgängare som korsar överordnad led
3	Raktframkörande på underordnad led
4	Vänstersvängande från underordnad led

Denna rangordning är inte helt överensstämmande med den som gäller i Sverige. Avvikelserna gäller fotgängare. För att en rangordning ska fungera krävs att det inte sker några interaktioner mellan strömmar med samma rang. En svårighet med att åstadkomma en strikt



rangordning är att trafikantbeteendet varierar. En snäv tolkning av den svenska trafiklagstiftningen resulterar i en rangordning med fem nivåer där fotgängarna placeras högst. I praktiken är interaktionen mellan fotgängare och bilister inte avhängig enbart denna snäva tolkning utan är beroende av också andra faktorer. En sådan faktor är att den lagstiftning som rör detta nyligen har ändrats och att bilister i stor utsträckning ej lämnar företräde åt fotgängare. För cyklister, som ej omfattas av lagen, är situationen än mera oklar. I tabell 4.2 redovisas en rangordning där fotgängare kan ha rang 0 till 5 beroende på hur interaktionerna sker.

**Tabell 4.2 Rangordning av strömmar med hänsyn till fotgängare. Fotgängare kan ha rangordning 0 till 5.**

Rangordning	Ström	
0	Fotgängare	
1	Raktframkörande på överordnad led	Fotgängare
	Högersvängande från överordnad led	
2	Vänstersvängande från överordnad led	
	Högersvängande från underordnad led	
3	Raktframkörande på underordnad led	
4	Vänstersvängande från underordnad led	
5	Fotgängare	

Interaktioner mellan fotgängare och motorfordon sker i allmänhet vid gångpassagerna strax utanför korsningsytan. Interaktioner mellan cyklister och motorfordon kan ske antingen i analogi med interaktionerna mellan olika motorfordonsströmmar eller i analogi med interaktionerna mellan fotgängare och motorfordon.

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.

Mellan väjningslinjen eller den plats där fordon stannar innan de kör in i cirkulationsplatsen och gångpassagen (och cykelpassagen om sådan finns) finns ett köutrymme, i allmänhet stort nog för minst ett fordon. När dessa strömmar saknas så kan korsningen beskrivas som ett kösystem med en betjäningstation belägen vid väjningslinjen, i annat fall så är består systemet av två seriekopplade betjäningstationer.

I de följande kapitlen 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 följdttid. Med beteckningarna  $T$  för kritiskt tidsavstånd,  $T_0$  för följdttid  $T_0$  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

$$K = qE(n) \tag{5.1}$$

Medelvärdet kan skrivas

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

[Harders 1968] 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

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

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

$$T_c = T - \frac{T_0}{2} \tag{5.4}$$

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 mättnadsflödet.

Det allmänna kapacitetsuttrycket blir

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

för en M3 fördelning.

I figur 5.1 är sambanden (5.3) och (5.5) uppritade. Skillnaden mellan dessa samband är liten. Sambandet (5.3) är det som korrekt beskriver antal fordon som kan avvecklas 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.

### 5.3 Beräkning av betjäningstider

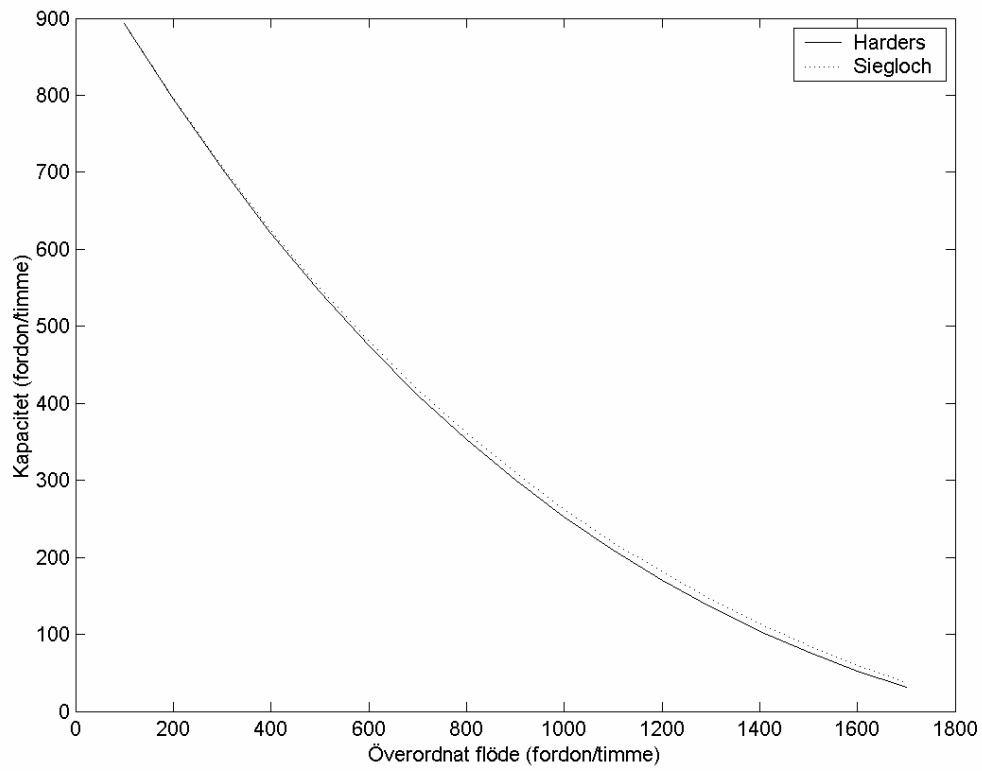
Kapaciteten kan uttryckas också som det inverterade värdet av betjäningstiden för fordon som befinner sig i kö. För fordon som ej befinner sig i kö kommer betjäningstiden att skilja sig från de som väntar i kö. I CAPCAL löses detta på ett sätt som inte är teoretiskt korrekt. Det vanligaste sättet att hantera detta är att enbart betrakta korsningen vid kapacitetsgränsen vilket ger avsevärt enklare beräkningar.

### 5.4 Inverkan av korsningens geometri

Korsningens geometri påverkar bland annat de kritiska tidsavstånden men kan också innebära större förändringar i förarbetet. Ett viktigt exempel på detta är att ett underordnat fordons passage av en korsning kan ske i två steg om det finns en refug på överordnad led. Då kan ett fordon vänta vid denna efter passage av trafikströmmar i ena riktningen men innan passage av strömmarna i den andra riktningen. I CAPCAL används i dag en enkel modell för detta. Brilon, Wu och Lemke (1996) har utvecklat en modell för detta som borde gå att direkt implementera i en ny framkomlighetsmodell.

### 5.5 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.

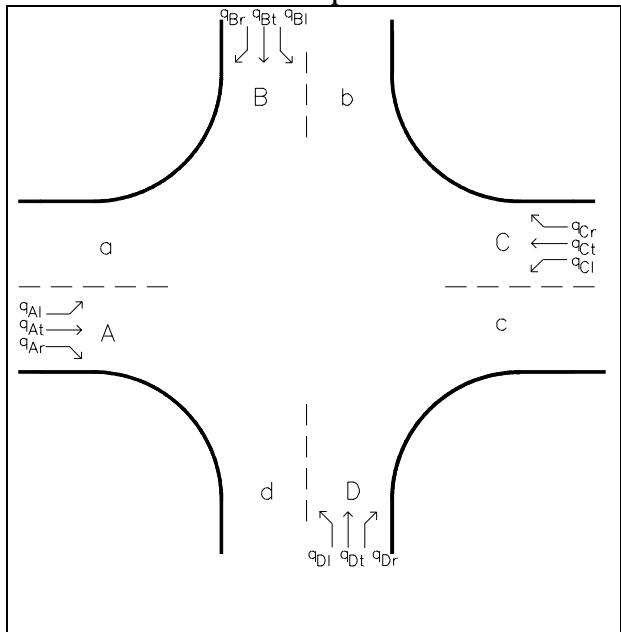


Figur 5.1 Jämförelse av kapacitetssambanden (5.3) och (5.6).  $T=6.0$  s,  $T_0=3.6$  s.

## 6. Överordnat flöde och interaktioner mellan olika trafikströmmar

### 6.1 Definition av överordnat flöde

Det överordnade flödet i en fyrvägskorsning definieras enligt figur 6.1. Det som saknas här är gång- och cykeltrafikströmmarna. I CAPCAL är gångtrafik överordnad endast de underordnade motorfordonsströmmarna endast om gångpassagen är placerad efter (nedströms) stopplinjen. Om övergångsstället är placerat längre upp i en sådan tillfart bör gångtrafikflödet sättas till 0. Cyklister i blandtrafik beaktas endast i korsande konflikter. Oskyddade trafikanter motsvarar 0.5 personbilsenheter.

	Underordnad ström	Överordnade strömmar
$q_{Al}$	$q_{Cl} + q_{Cr} / N_b$	$q_{Cl} + q_{Cr} / N_b$
$q_{Br}$	$q_{Cl} / N_a$	$q_{Cl} / N_a$
$q_{Bt}$	$q_{At} + q_{Al} + q_{Ar} / N_d + q_{Ct} + q_{Cl} / N_d$	$q_{At} + q_{Al} + q_{Ar} / N_d + q_{Ct} + q_{Cl} / N_d$
$q_{Bl}$	$q_{Al} + q_{At} / N_c + q_{Ct} + q_{Cl} + q_{Dt} + q_{Dr} / N_c$	$q_{Al} + q_{At} / N_c + q_{Ct} + q_{Cl} + q_{Dt} + q_{Dr} / N_c$
$q_{Cl}$	$q_{At} + q_{Ar} / N_d$	$q_{At} + q_{Ar} / N_d$
$q_{Dr}$	$q_{At} / N_c$	$q_{At} / N_c$
$q_{Dt}$	$q_{At} + q_{Al} / N_b + q_{Ct} + q_{Cl} + q_{Cr} / N_b$	$q_{At} + q_{Al} / N_b + q_{Ct} + q_{Cl} + q_{Cr} / N_b$
$q_{Dl}$	$q_{At} + q_{Al} + q_{Bt} + q_{Br} / N_a + q_{Cl} + q_{Cr} / N_a$	$q_{At} + q_{Al} + q_{Bt} + q_{Br} / N_a + q_{Cl} + q_{Cr} / N_a$

**Figur 6.1** Definition av överordnat flöde. A, B, C och D är tillfarter. a, b, c och d är frånfarter.  $N_a$ ,  $N_b$ ,  $N_c$  och  $N_d$  är antalet körfält i frånfarten.

I bland annat HCM (Transportation Research Board 1998) räknas högersvängande från överordnad led till det överordnade flödet för den närmsta tillfarten, trots att någon interaktion ej sker. pbe-värdet är för denna ström 0.5. Det är troligt att detta kan ha viss relevans också i Sverige. Ett alternativ till att ha avvikande pbe-värden för denna ström är att skatta kritiska tidsavstånd med hänsyn till högersvängande fordon. Ett problem med detta är att tidsavstånden i denna ström ej kan mätas på vanligt sätt eftersom de högersvängande fordonen aldrig passerar konfliktpunkten. Därför måste någon form av projicerade tidsavstånd användas. Ytterligare ett alternativ finns, att betrakta den högersvängande 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<sup>1</sup>. Att man i HCM (Transportation Research Board 1998) endast inräknar hälften av flödet i de underordnade högersvängande och raktframkörande strömmarna i det överordnade flödet för den motstående underordnade vänstersvängande strömmen antyder en modell där de olika fordonsströmmarna ges olika vikt, en modell som är i överensstämmelse med den engelska makromodellen.

Detta samt de oklara prioritetsförhållandena som gäller fotgängare gör att det finns vissa osäkerheter i definitionen av det överordnade flödet.

<sup>1</sup> Detta är helt i analogi med utkörande fordon i cirkulationsplatser.

## 6.2 Fördelningen av överordnade tidsavstånd

Några aktuella studier av tidsavstånd på överordnad led i korsningar för svenska förhållanden finns ej att tillgå. I CAPCAL används en M3-fördelning (Tanner-fördelning) om det endast finns en överordnad ström. I annat fall används en exponentialfördelning för att beskriva tidsavstånden.

## 6.3 Fordons- och trafikanttyper

Klassificeringen av fordonstyper varierar. Den tyska manualen (se Hagrings 2000) anger fyra fordonstyper med olika personbilsäkvivalenter: motorcykel, personbil, lastbil och lastbil med släp. I HCM (Transportation Research Board 1994 och 1998) användes tidigare (1994) en fordonsklassificering som överensstämde med den tyska men denna är bortplockad i den senaste versionen (1998).

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.

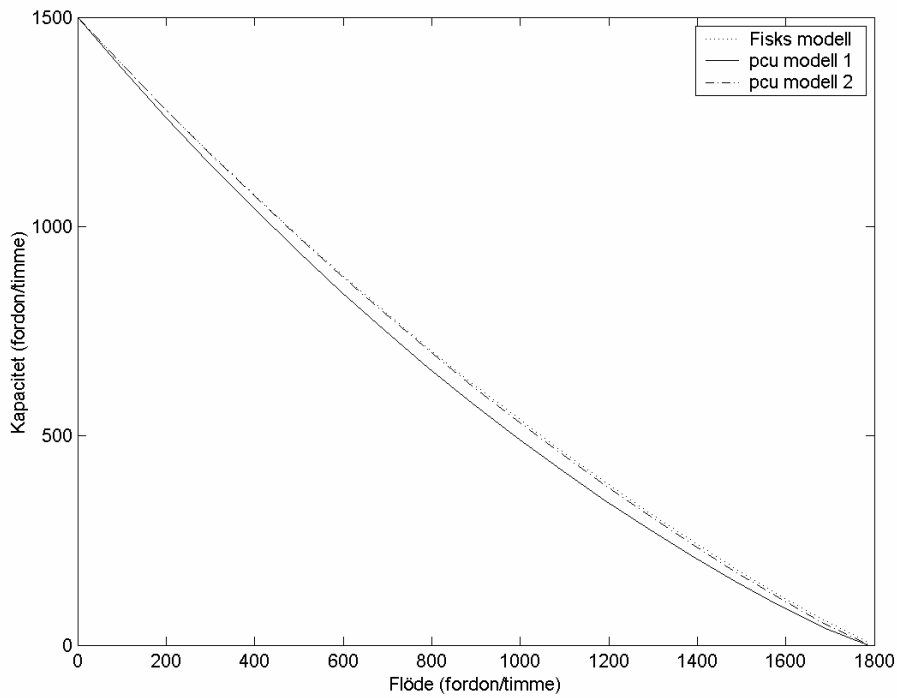
Ett annat sätt att hantera detta är att behandla de olika fordonstyperna separat. En sådan modell har utvecklats av Fisk (1990). Denna innebär att separata minsta tidsavstånd måste skattas för såväl personbilar som tunga fordon. Ett alternativ till detta, föreslaget av Fisk, är att anta förhållandet 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

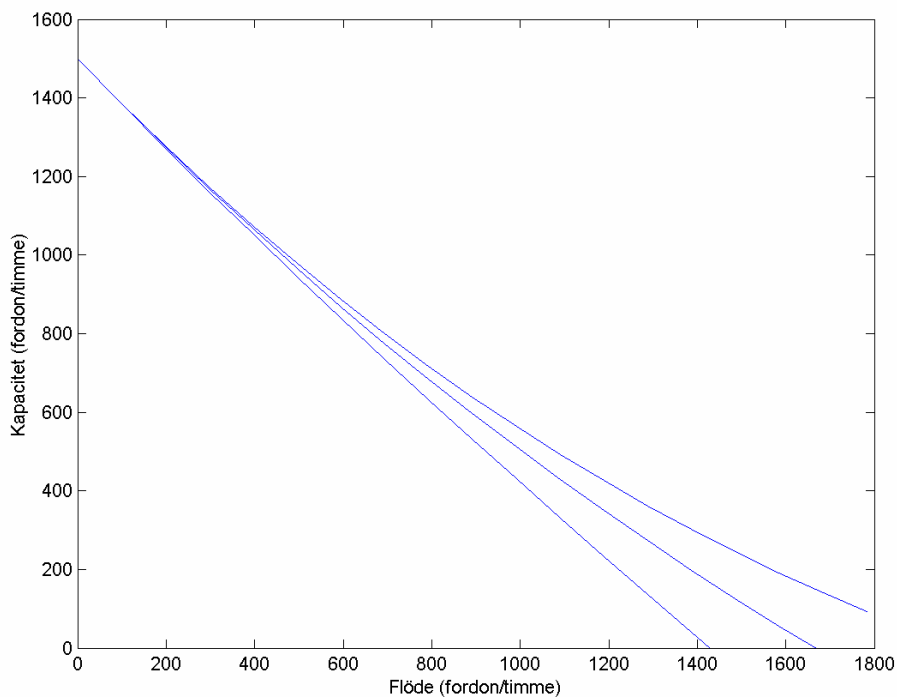
$$\alpha_k = k_1 - k_2 f q, \text{ där } f \text{ är ett viktat pbe-värde.}$$

I figur 5.1 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 6.2** Jämförelse av några olika modeller för hantering av flera fordonstyper. pbevärde för tunga fordon = 2.0, andel tunga fordon = 0.1.

I figur 6.2 visas inverkan av tunga fordon på kapaciteten med (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 6.3 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. Beräkning av pbe-värden kommer att hanteras i annat sammanhang.

#### 6.4 Inverkan av cyklister

Cykeltrafiken kan vara separerad eller integrerad. I allmänhet torde man kunna förutsätta att den är både och, beroende på att cyklisterna inte följer den trafikreglering som finns. Andelen separerade cyklister är därför en viktig faktor. De båda kategorierna måste behandlas var för sig.

#### 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  $N$  magasinstorleken. (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 betjäningsstationen 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.

Den andra betjäningsstationen avser interaktionen mellan under- och överordnade fordon och behandlas i kapitel 5. Den första betjäningsstationen 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 korsningen 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 blockeringstiden och magasinets storlek, biltrafikflödet och fotgångarflödet. 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 Sekundärkonflikter

Sekundärkonflikter redovisas i figur 4.1. Eftersom primärkonflikter inte är bortreglerade blir dessa förhållandevis komplicerade. I CAPCAL används en modell för att ta hänsyn till sekundärkonflikterna som innebär att inverkan av sekundärkonflikterna överdrivs. Detta beror på att vissa av de överordnade strömmarna kommer påverka en underordnad ström på två sätt. Först som överordnat flöde och därefter genom att blockera en del av betjäningstiden för en underordnad ström, nämligen när fordon i den överordnade strömmen väntar på betjäning (dvs. köar). De överordnade strömmar som har denna inverkan har rang 2 eller 3.

En analytisk lösning för detta problem har formulerats av Wu (1998). Denna lösning borde kunna implementeras direkt i en beräkningsmodell. Tracz och Gondek (2000) visade emellertid, med hjälp av simulering, att Wu's lösning inte alltid ger tillfredsställande resultat. Innan implementering bör detta undersökas närmare.

## 6.8 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. Kunskapen om inverkan av olika fordonströmmar är också begränsad. Bland annat gäller detta interaktionen mellan utkörande och underordnade fordon. Såväl mikro- som makromodeller finns utvecklade. Fältmätningar i Sverige saknas.

Vad gäller interaktioner där oskyddade trafikanter är inblandade är kunskapsläget sämre. 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

De systematiska mätningar som gjorts av de kritiska tidsavstånden och följdtiderna är över 25 år gamla (Hansson 1975). Analysen av mätningarna gjordes med probitanalys, som senare har visat sig ge skattningar med bias (Brilon, Koenig och Troutbeck 1997) även med Ashworths korrektion (Ashworth 1968).

### 7.2 Tunga fordon

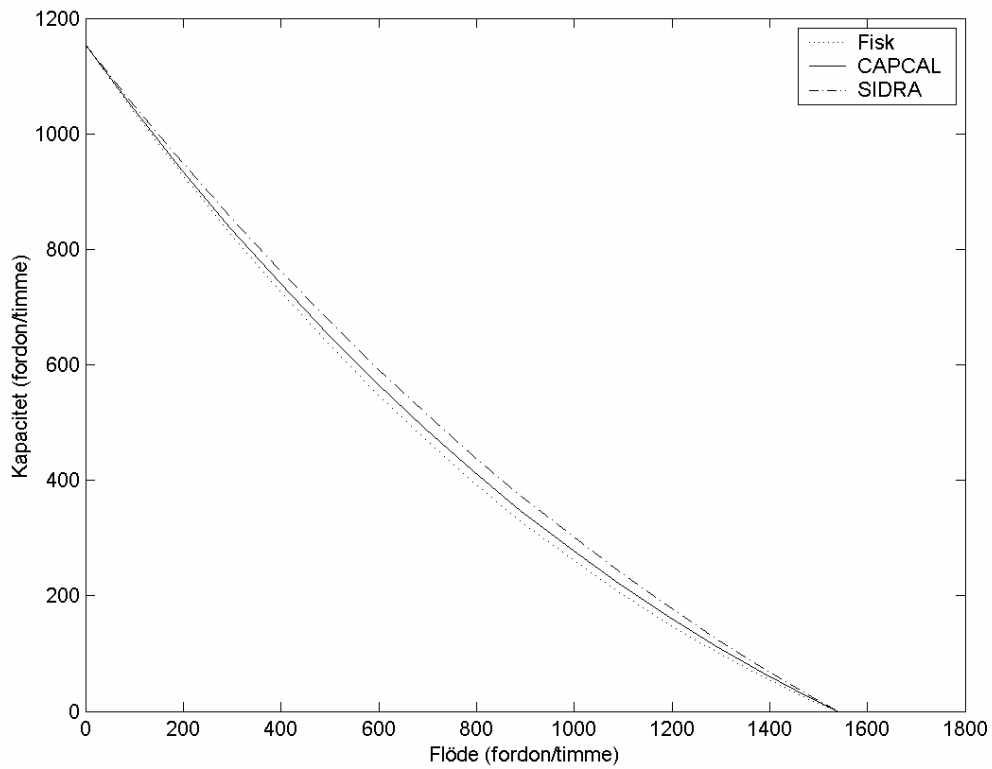
Också i underordnad ström kommer andelen tunga fordon att påverka kapaciteten eftersom de har längre kritiskt tidsavstånd/högre pbe-värde. Detta kan modelleras på tre olika sätt.

- 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).

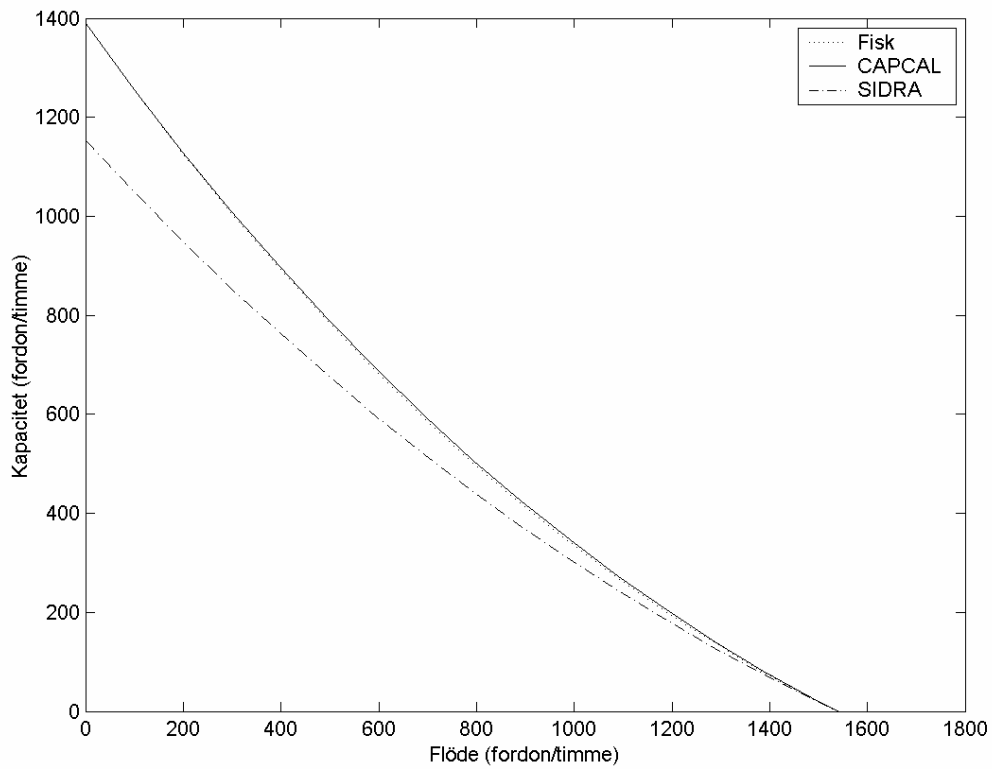
De båda första modellerna tar hänsyn till de olika fordonstyperna genom de kritiska tidsavståndens och följdtidernas storlek och är därför mer flexibla än den modell som används i SIDRA. Om pbe-värdet i underordnad ström ska definieras analogt med pbe-värdet i överordnad ström bör följdtiden utgöra utgångspunkten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

I figur 7.1 har det antagits att kvoten mellan följdtiderna 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.

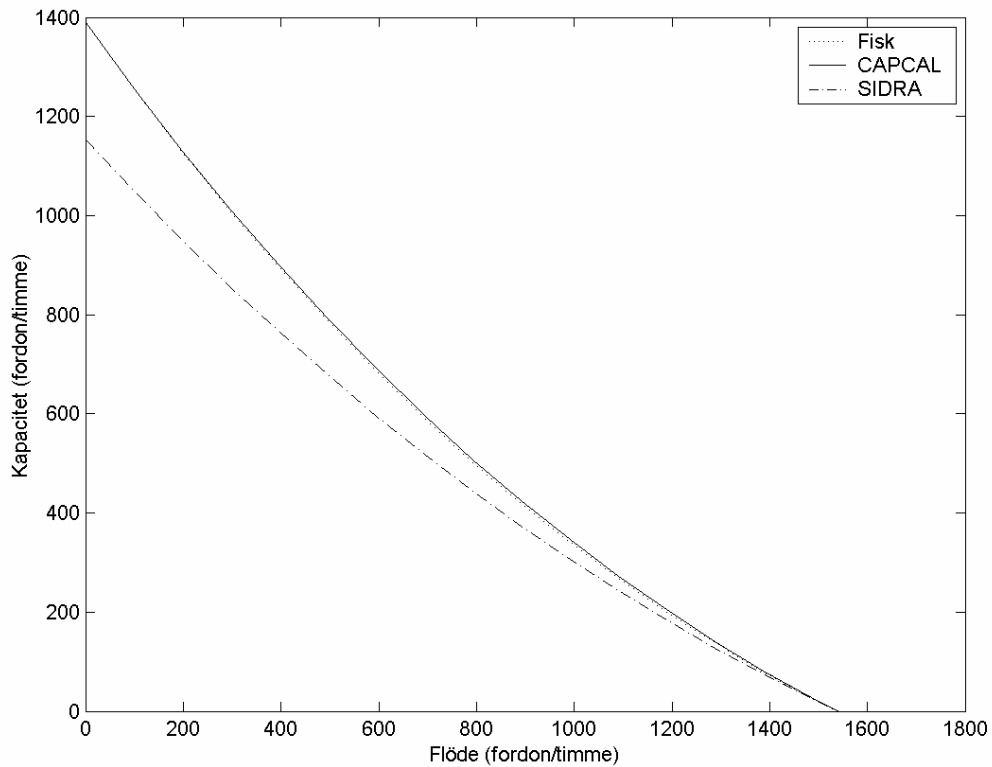
I figur 7.2 har det antagits att kvoten mellan följdtiderna är betydligt mindre än motsvarande kvot mellan pbe-värdena. Den modell som används i SIDRA avviker från de båda andra. Orsaken till detta är att kvoterna mellan följdtiderna respektive de kritiska tidsavstånden för de olika fordonstyperna inte överensstämmer med motsvarande kvoter för pbe-värdena. Om det finns separata mätningar av de kritiska tidsavstånden och följdtiderna för de olika fordonstyperna bör därför dessa användas.



**Figur 7.1** 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 densamma som motsvarande kvot mellan pbe-värdena.



**Figur 7. 2** 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.



### 7.3 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 realiserats 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 mättnadsflödet 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).

### 7.4 Sammanfattning och kunskapsbrist

Systematiska mätningar av kritiska tidsavstånd har inte gjorts på 25 år. Dessa mätningar var omfattande och väl utförda men det finns idag ingen kunskap om huruvida dessa värden är representativa. Mätningar avseende oskyddade trafikanter saknas helt. Här finns en uppenbar kunskapsbrist.





## 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 tillfart och i frånfart. 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 (1997). Denna bör kunna implementeras direkt i modellen.

### 8.3 Kapacitetsrestriktion i frånfart

Detta kan inträffa om frånfarten smalnar av nedströms. Studier av detta saknas.



## 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 koordinattransformation 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 korsningar med stopp- eller väjningsplikt. 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 tabell 4.2.

#### 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. Ett exempel på detta är högersvängande från överordnad led som kan antas ha ett mindre inflytande än raktframkörande på överordnad led. Ett annat är att i HCM (Transportation Research Board 1998) värderas inte alla strömmar likvärdigt. Ett alternativ till detta är att införa olika kritiska tidsavstånd för olika strömmar.

#### 10.2.4 Tidsavstånd på överordnad led

För de olika interaktionerna måste fördelningen av tidsavstånden i de överordnade strömmarna kunna bestämmas. En översiktlig beskrivning av denna process finns i Haging (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 som 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 Beräkning av inverkan av sekundärkonflikter

Här föreslås att den modell som utvecklats av Wu (1998) används men att denna prövas mot såväl fältdata som simulering.

### 10.6 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.

### 10.7 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.

### 10.8 Beräkning av framkomlighetsmått

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

### 10.9 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 två olika sätt.

För det första bör fältmätningar göras för att klarlägga bland annat kritiska tidsavstånd och följdtider, 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 Hansson (1975) omfattade 18 korsningar med varierande utformning. Då så lång tid förflutit sedan dessa mätningar gjordes förefaller det rimligt att genomföra en mätserie av ungefär samma omfattning.

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 7.4. Kunskapsbrist finns inom främst två huvudområden, oskyddade trafikanter samt kritiska tidsavstånd. För oskyddade trafikanter saknas helt uppgifter. Ingen kunskap finns om samband mellan framkomligheten i ett körfält – mätt t.ex. som överordnat flöde eller väntetid i kö. Med utgångspunkt från detta föreslås följande mätplan:

- Mätningar av kritiska tidsavstånd och följdtider i korsningar med varierande utformning och i en omfattning som motsvarar Hanssons (1975) mätningar.
- Mätning av kritiska tidsavstånd och följdtider i korsningar med hög belastning.
- Mätning av interaktioner mellan oskyddade trafikanter och motorfordon.





## Referenser

- Adams W. F. (1936) ***Road traffic considered as a random series*** Journal of the Inst. Civ. Engrs 4.
- Akçelik R. (1998) Roundabouts: Capacity and performance analysis. Research Report ARR 321. ARRB.
- Ashworth R. (1968) A note on the selection of gap acceptance criteria for traffic simulation studies. ***Transportation Research 2(2)***.
- Brilon W., Koenig R. and Troutbeck R. (1997) Useful Estimation Procedures for Critical Gaps. In ***Proceedings of the Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals*** Portland, Or., USA.
- Brilon W., Wu N. and Lemke K. (1996) ***Capacity at unsignalized two-stage priority intersections*** Pre-print 96-1280 TRB 75<sup>th</sup> Annual Meeting.
- 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)***.
- Golias J. (1981) ***Gap acceptance, delay and capacity for vehicles crossing a priority stream***. Doct. Thesis. Transport Studies Group, University College London.
- Griffiths J. D. (1981) A mathematical model of a nonsignalized pedestrian crossing. ***Transportation Science 15(3)*** .
- Hagring, O. (2000) ***Framkomlighet i korsningar utan trafiksignaler. En litteraturöversikt***. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Avdelning Trafikteknik, Bulletin 190.
- Hagring, O. (2001) ***Beräkning av framkomlighetsmått i korsningar utan trafiksignaler. En litteraturöversikt***. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Avdelning Trafikteknik, Bulletin 196.
- Hansson A. (1975) ***Studies in driver behaviour, with applications in traffic design and planning*** Bulletin 11. Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund University.
- Harders J. [1976] Grenz- und folgezeitlücken als grundlage für die leistungsfähigkeit von landstrassen. ***Schriftenserie strassenbau und strassenverkehrstechnik***, Heft 216.
- 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.

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.

Tan J. (1997) Estimation of Traffic Queues and Delays at Roundabout Entries. In Proceedings of the Third International Symposium on ***Intersections Without Traffic Signals*** Portland, Or., USA.

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

Tracz M. and Gondek S. (2000) Use of Simulation to Analysis of Impedance Impact at Unsignalized Intersections. In W. Brilon (ed.) ***Proceedings of Fourth International Symposium on Highway Capacity,*** Maui, Hawaii.

Transportation Research Board (1994) ***Highway Capacity Manual.*** Special Report 209. Washington DC, USA.

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

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 Intersection without traffic signals*** Report 1995:007E. Borlänge, Sweden.

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.

Wu N. (1998) Impedance effects for streams of higher ranks at unsignalised intersections. In R. Rysgaard (ed.) ***Proceedings of the third international symposium on highway capacity.*** Copenhagen, Denmark.