

Trafiksignalreglerade korsningar

Förslag till modell för beräkning av framkomlighet



Ola Hagring
2001

Ola Hagring

Trafiksignalreglerade korsningar – Förslag till modell för beräkning av framkomlighet

Ämnesord:

Trafiksignaler, 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 trafiksignalreglerade korsningar görs i denna rapport.

Signal controlled intersections – A proposal for a new capacity model

Keywords:

Signal control, 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 signal controlled intersections is presented.

Citeringsanvisning:

Hagring, Ola. Trafiksignalreglerade korsningar – 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, 204.

Med stöd från:

VINNOVA Dnr 2000-0785



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 *Trafiksignalreglerade – 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.

Lund oktober 2001

Ola Hagring

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Inledning	i
Modellstruktur.....	i
Förslag till beräkningsmodell	ii
Förslag till fortsatt arbete	ii
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund och syfte	1
1.2 Metod.....	1
1.3 Avgränsning.....	2
2. Korsningar med trafiksignaler	3
3. Modellstruktur.....	5
4. Effektiv gröntid och växlingstid	9
4.1 Effektiv gröntid.....	9
4.2 Växlingstid.....	9
5. Mättnadsflöden.....	11
5.1 Mättnadsflödesmodeller.....	11
5.2 Mättnadsflödet för en signalgrupp	11
5.3 Mättnadsflödet för ett blandkörfält	12
6. Sekundärkonflikter	13
6.1 Generell modell	13
6.2 Blockerad tid på grund av sekundärkonflikt.....	13
6.3 Avveckling vid sekundärkonflikt	13
6.4 Avveckling efter gröntidens slut	14
6.5 Avveckling utan sekundärkonflikt	14
6.6 Blandkörfält.....	14
7. Korta körfält	16
8. Tidssättning.....	18
9. Inverkan av trafikstyrning	20
10. Förslag till beräkningsmodell	22
10.1 Vidareutveckling av grundmodellen.....	22
10.2 Vidareutveckling av den generaliserade modellen	22
11. Förslag till fortsatt arbete	24
Referenser	26

Sammanfattning

Inledning

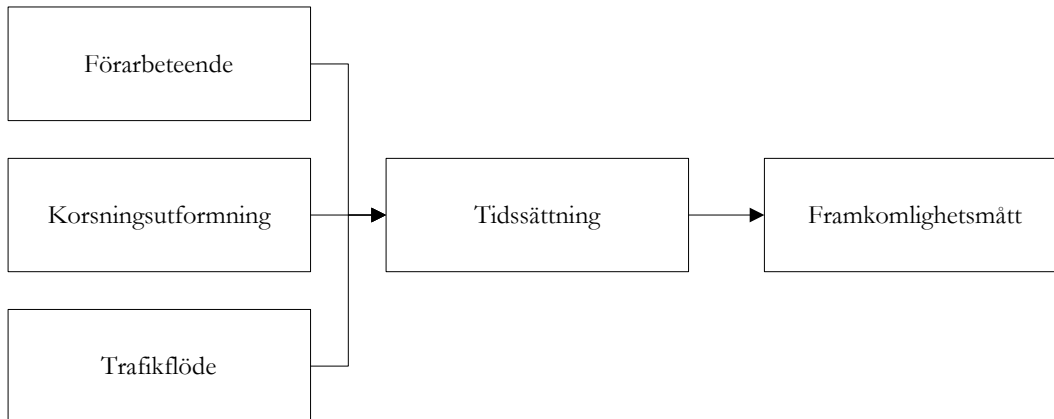
Den beräkningsmodell som används i Sverige idag för trafiksignalreglerade korsningar är 20 till 25 år gammal och i behov av uppdatering och omarbetning. Vid genomgången av beräkningsmodellen konstaterades bland annat följande behov av uppdatering:

- fältmätningar av mätnadsflöden m. m.
- sekundärkonflikter mellan olika trafikantgrupper i de olika stegen under avvecklingen
- inverkan av geometri på antalet köande fordon
- inverkan av korta köfält då mer än ett kort köfält finns
- tidssättningen har svårigheter att hantera korta köfält under vissa omständigheter (separatreglering av vänstersvängande med kort köfält) samt överbelastning
- fördröjningsberäkningen baseras på en modell med diskontinuiteter
- inverkan av olika former av signalstyrning kan ej beräknas
- fri högersväng

Utöver dessa oklarheter kan konstateras att fältmätningarna är gjorda på 70-talet och att nya mätningar antagligen är behövliga.

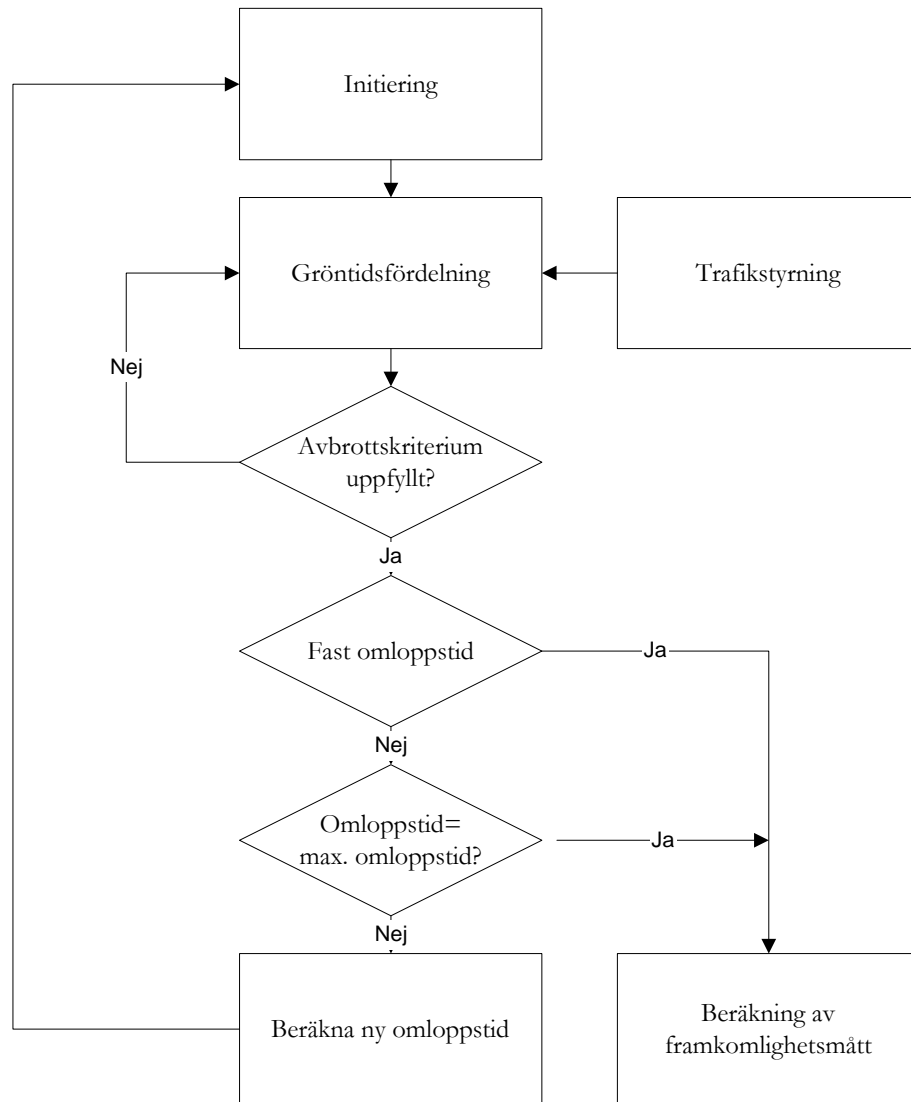
Modellstruktur

Den i figur S.1 visade modellstrukturen är den som används i de allra flesta modeller för beräkning av framkomlighet i trafiksignaler.



Figur S.1. Modellstruktur för beräkning av framkomlighet.

I figur S.2 visas en modellstruktur som är mer inriktad på trafiksignaler. Den utgår ifrån nuvarande beräkningsmodell där gröntidsfördelningen optimeras för olika värden på omloppstiden.



Figur S.2. Schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för trafiksignalreglerade korsningar.

Förslag till beräkningsmodell

Det finns två vägar att nå fram till en ny beräkningsmodell. Den ena är att utgå från nuvarande modell och förbättra de i denna ingående delmodellerna. Den andra är att göra en större revidering av nuvarande modell. Den i figur S.2 kan då vara en utgångspunkt. Utvecklingsmöjligheterna inbegriper att fördröjning för oskyddade trafikanter kan påverka gröntidsfördelningen, fler möjligheter att låta gröntidsfördelningen påverkas av olika former av trafikstyrning och möjlighet att prova olika iterativa ansatser.

Förslag till fortsatt arbete

Det fortsatta arbetet bör bedrivas på två olika sätt.

För det första bör fältmätningar göras för att klarlägga bland annat mättnadsflöden. Detta inkluderar inmätning av olika modeller för bland annat sekundärkonflikter och korta körfält. För det andra bör en teoretisk modell ställas upp. I en sådan kan alternativa ansatser för bland annat gröntidsfördelning göras. Denna modell bör programmeras så att använd-

barheten hos olika teoretiska modeller, t.ex. för fördröjning, kan kontrolleras. Viss teoriutveckling kan komma att behövas.

Slutligen kan simulering tillgripas för modellverifiering.

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.

En genomgång av olika beräkningsmodeller för trafiksignaler (Hagring 2000) visar att uppbyggnaden av den svenska beräkningsmodellen står sig väl i jämförelse med andra modeller. Grundkonceptet med körfältsvis modellering och hanteringen av mätnadsflöden och sekundärkonflikter håller fortfarande. Beräkningsmodellen är dock 20 till 25 år gammal och i behov av uppdatering och omarbetning, bland annat för att mätnadsvärdena kan antas vara högre idag än de som modellen föreskriver (se Sabeti 1989).

Vid genomgången av beräkningsmodellen konstaterades bland annat följande behov av uppdatering:

- fältmätningar av mätnadsflöden m. m.
- sekundärkonflikter mellan olika trafikantgrupper i de olika stegen under avvecklingen
- inverkan av geometri på antalet köande fordon
- inverkan av korta körfält då mer än ett kort körfält finns
- tidssättningen har svårigheter att hantera korta körfält under vissa omständigheter (separatreglering av vänstersvängande med kort körfält) samt överbelastning
- fördröjningsberäkningen baseras på en modell med diskontinuiteter
- inverkan av olika former av signalstyrning kan ej beräknas
- fri högersväng

En del av de samband som används baseras på HCM och är ej kalibrerade i Sverige.

Modellen borde dessutom valideras genom mätning av oberoende korsningar.

Syftet med denna rapport är att, utgående från den kunskapsinventering som gjorts av Hagring (2000), sammanställa ett förslag till ny beräkningsmodell för trafiksignaler, 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. Hagring (2000).

De metoder som används för modellutvecklingen i sig är olika trafikflödesteoretiska teorier och modeller 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 trafiksignalreglerade korsningar och de trafikslag som förekommer i sådana korsningar: motorfordon inklusive kollektivtrafikfordon, fotgängare och cyklister.

2. Korsningar med trafiksignaler

Någon uppdelning av trafiksignaler beroende på den geometriska utformningen görs ej. En korsning med trafiksignaler kan ha samma grundutformning som korsningstyp A, B eller C. I allmänhet har dock en av tillfarterna mer än ett ingående körfält.

Av större intresse är hur avvecklingen av de olika trafikströmmarna organiseras. Samtliga trafikströmmar är signalreglerade. Enda möjliga undantaget är högersvängande fordon som kan ges väjningsplikt förutsatt att denna ström har separat körfält.

Organisationen av avvecklingen görs på två nivåer, trafikströmsnivå och signalgruppsnivå.

I en fyrvägs korsning förekommer tolv biltrafikströmmar och åtta fotgängarströmmar. Dessutom kan ett antal cykeltrafikströmmar förekomma. Detta antal är beroende på den fysiska utformningen, trafikregleringen för cyklister och hur cyklisterna faktiskt rör sig i systemet. Flera olika utformningsvarianter förekommer, såsom cyklister i blandtrafik, framdragen stopplinje, cykelfält vid kantsten, cykelfält i gatan mellan körfält samt cykelbana. Varje utformningsvariant ger med all sannolikhet en inverkan på framkomligheten för såväl cyklister som motorfordon. Tydligast torde detta vara för framdragen stopplinje.

Det krävs fältstudier för att utröna hur cyklisterna ska behandlas beräkningsmässigt. För vissa utformningar såsom blandtrafik kan förmodligen nuvarande modell, där cyklisterna ger en viss sidofriktion, användas. Däremot saknas uppgifter om framkomligheten för cyklister. För framdragen stopplinje krävs förmodligen att cyklisterna behandlas som en separat ström.

På signalgruppsnivå bestäms vilka trafikströmmar som ska tillhöra en viss signalgrupp. De dubbelriktade fotgängarströmmarna över en viss tillfart tillhör normalt samma signalgrupp. I övrigt utgör deltillfarterna grunden för signalgruppsindelning, en deltillfart kan endast tillhöra en signalgrupp. Två deltillfarter kan däremot tillhöra samma signalgrupp.

Denna indelning kan anges som indata till beräkningen, vilket är vad som görs i de flesta modeller, eller bestämmas i modellen. Detta görs genom att ställa upp alla möjliga signalgrupper och kopplingar till deltillfarter, organisera dessa i logiskt möjliga omloppsplaner samt därefter välja den bästa omloppsplanen givet någon lämplig objektfunktion, t.ex. medelfördröjning eller belastningsgrad i mest belastade deltillfart. Objektfunktionen bör lämpligen vara densamma som används i de fall då signalgrupperna är specificerade i indata.

Utöver trafikströmmar och signalgrupper är styrningen av trafiksignaler viktig. I tabell 2.1 visas möjliga, principiella styrningsformer samt vilka som normalt förekommer i drift. Med delvis trafikstyrning avses att vissa fordonstyper eller trafikströmmar kan vara trafikstyrda. Ett exempel är tidsstyrda samordnade system med kollektivtrafikprioritering.

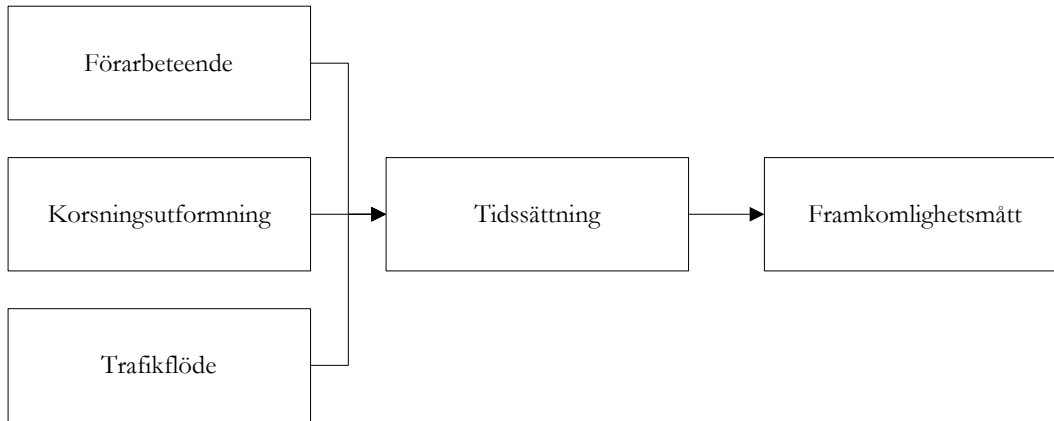
	Enskild korsning	Samordnade korsningar
Tidsstyrd		X
Delvis trafikstyrd		x
Trafikstyrd	x	x

Tabell 2.1 Principiellt möjliga styrningsformer. Styrning i drift är markerad med x.

I dag kan den svenska beräkningsmodellen inte behandla olika former av styrning på ett tillfredsställande sätt.

3. Modellstruktur

Den i figur 3.1 visade modellstrukturen är den som används i de allra flesta beräkningsmodeller för trafiksignaler. Boxen tidssättning omfattar utöver bestämning av omloppstid och gröntidsfördelning också bestämning av bland annat mätnadsflöden.



Figur 3.1. Modellstruktur för beräkning av framkomlighet i trafiksignaler.

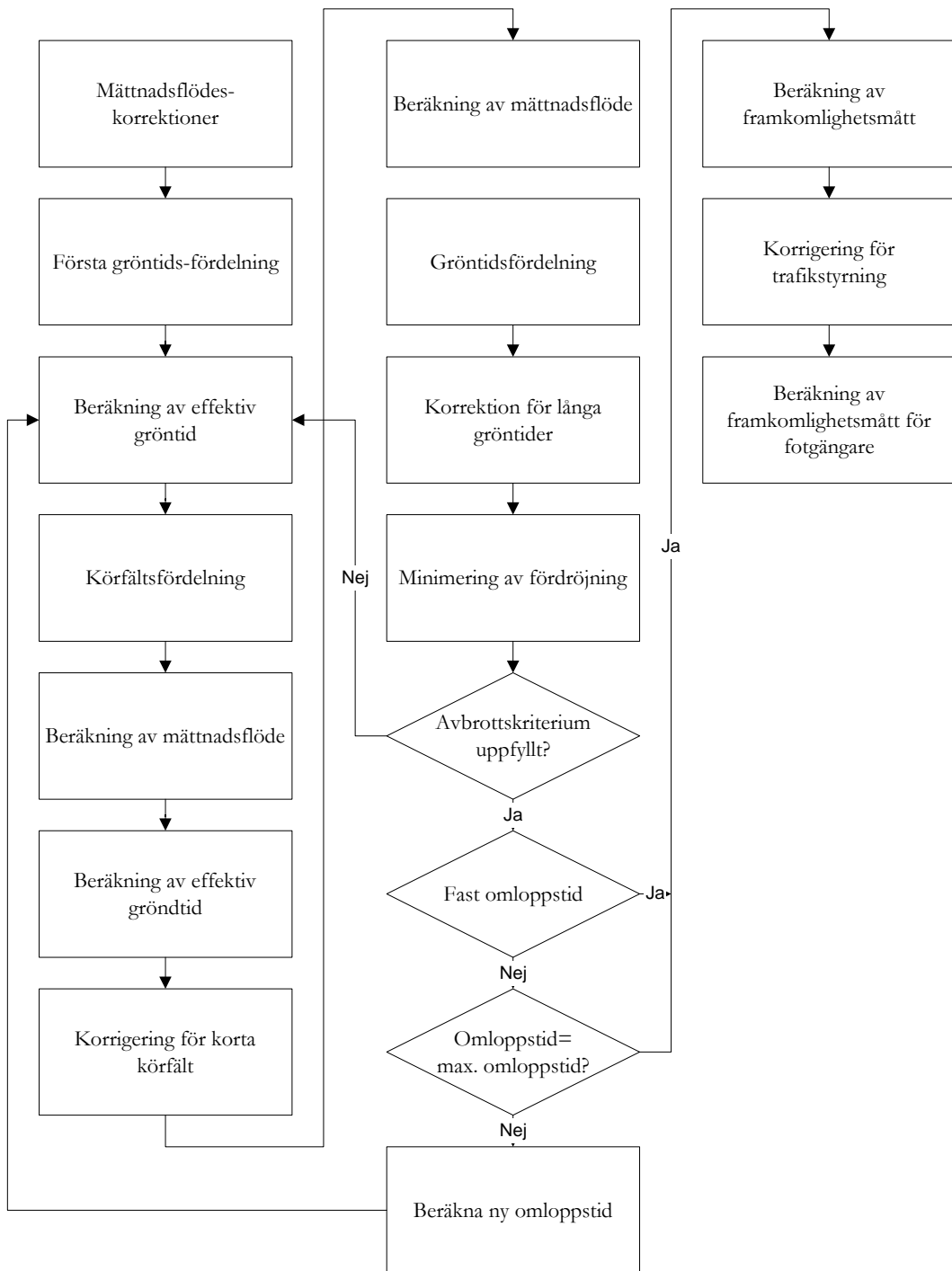
Beräkningen av framkomlighetsmått utgår, liksom övriga korsningsmodeller, ifrån kapaciteten. När kapaciteten väl är beräknad kan andra framkomlighetsmått beräknas med hjälp av köteoretiska modeller. Inverkan av olika former av styrning och samordning görs i den svenska beräkningsmodellen genom korrektionssamband för de olika framkomlighetsmått.

I figur 3.2 görs en schematisk beskrivning av den beräkningsmodell för trafiksignalreglerade korsningar som används i Sverige. 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.

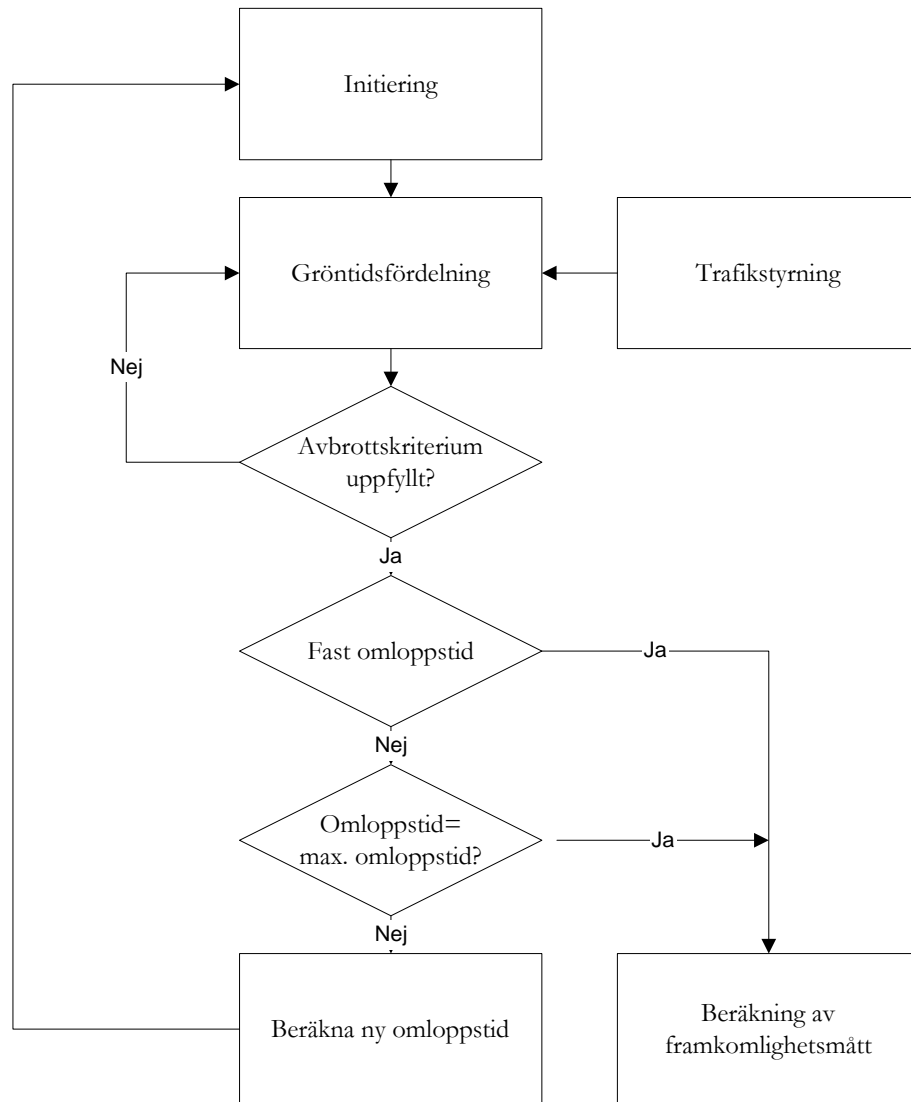
Det framgår av figur 3.2 att beräkningen är iterativ på flera nivåer. Den översta nivån avser omloppstid, den mellersta nivån avser gröntidsfördelning och den understa nivån avser bestämning av mätnadsflöden och effektiv gröntid¹.

I figur 3.3 visas en förenklad modell. Samtliga moment som behandlar bestämning av indata till gröntidsfördelningen ingår här i boxen gröntidsfördelning. Trafikstyrningen påverkar gröntidsfördelningen direkt. Ett alternativ kan vara att låta trafikstyrningen påverka endast beräkningen av framkomlighetsmått. Utöver detta innebär den förenklade modellen att fotgängare (och cyklister) tillåts påverka gröntidsfördelningen, inte bara genom säkerhetstiderna, och att andra sätt att strukturera beräkningen av indata till gröntidsfördelningen blir möjliga. Boxen initiering kan innehålla bestämning av mätnadsflödeskorrektioner, dvs. enligt figur 3.2, men också uppställning av möjliga omloppsplaner på det sätt som skisserats i kapitel 2.

¹ Begreppet effektiv gröntid vällar en del bekymmer. I engelskspråkig litteratur avses gröntid med korrigerig för tidsförluster vid gröntidens början och tidsvinster vid gröntidens slut. I svensk text avses den del av gröntiden då avveckling kan ske. Motsvarigheten till "effective green" kallas effektiv gröntid utan hänsyn till sekundärkonflikter.



Figur 3.2. Schematisk beskrivning av beräkningsmodellen för trafiksignalreglerade korsningar.



Figur 3.3 Förenklad och mer flexibel modell för beräkning av framkomlighet i trafiksignaler.

Val av objektfunktion behandlas i kapitel 8. Oavsett vilken funktion som väljes så är de mest intressanta beräkningsvariablerna mätnadsflöde och effektiv gröntid för ett givet omlopp. Givet dessa variabler kan objektfunktioner med belastningsgrad, fördröjning eller kölängd sättas upp.

I de följande kapitlen beskrivs olika delar av beräkningsmodellen, med utgångspunkt från den uppdelning som finns i beskrivningen av den svenska beräkningsmodellen (Vägverket 1995).

4. Effektiv gröntid och växlingstid

I detta kapitel beskrivs principer för beräkning av effektiv gröntid samt hantering av säkerhetstider.

4.1 Effektiv gröntid

Den effektiva gröntiden bestäms av visad gröntid, tidsförlust i början av gröntiden och tidsvinst efter gröntiden, dvs. den del av gultiden som används för avveckling.

Tidsförlusten är i storleksordningen 3 s (Vägverket 1995) men hänvisning till mätningar saknas. Samma källa anger att den utnyttjade delen av den gulgröna tiden är av samma storleksordning, dvs. den effektiva gröntiden utan hänsyn till sekundärkonflikter var lika med den visade gröntiden. Då införandet av ny signalväxling kan ha ändrat storleken på tidsvinsten och tidsförlusten i början kan ha ändrats över tiden är det motiverat att låta båda dessa tidsparametrar ingå i sambandet för effektiv gröntid för en signalgrupp. I nuvarande beräkningsmodell är det oklart när en fas börjar. I beräkningsprogrammet Capcal antas en fas starta när föregående fas får rött och därmed sluta när fasen får rött. Man får då följande samband för den effektiva gröntiden för en signalgrupp utan hänsyn till sekundärkonflikter:

$$g_s = \left(\sum_{i=p_1}^{p_2} P_i \right) - t_R - t_G + t_T - t_F - t_f + t_v \quad (4.1)$$

där g anger gröntiden, s är index för signalgrupp, i är index för faser när signalgrupp s har grönt, från fas p_1 till fas p_2 . Indexen S, G, T, F, f och v för tiden t anger tid från det att föregående fas får rött till dess att fas p_1 får grönt, gultid i slutet av fas p_2 , tilltid, fråntid, tidsförlust och tidsvinst vid växling. P är längden av fasen med index i . Tilltiden såväl som fråntiden räknas som positiva i tidsriktningen. Om $p_1 = p_2$ så blir $t_R + t_G$ lika med växlingstiden. I nuvarande beräkningsprogram används beteckningen säkerhetstid för att beteckna växlingstiden.

4.2 Växlingstid

Som nämnts ovan används begreppet säkerhetstid i Capcal synonymt med växlingstid.

Säkerhetstiden är i nuvarande modell kopplad till fas, ej till signalgrupp. Eftersom beräkningen sker körfältsvis och därmed på signalgruppsnivå, så finns det inga fördelar med att behålla säkerhetstiden på fasnivå. Det vore bättre att utgå från den signalgruppsindelning som gäller för korsningen och den därtill hörande säkerhetstidsmatrisen.

5. Mättnadsflöden

I detta kapitel beskrivs grundvärden för mättnadsflöden samt korrektioner av dessa.

5.1 Mättnadsflödesmodeller

Den vanligaste modellen för mättnadsflöde utgår från ett grundvärde vid bestämda förhållanden. I Sverige avser grundvärdet på 1850 fordon/gröntimme gälla under följande förutsättningar

- körfält med 3.5 m bredd och enbart raktframkörande fordon
- endast personbilar
- inga cyklar i körfältet
- inga parkeringsplatser eller busshållplatser som stör avvecklingen
- torr väg yta
- i övrigt genomsnittliga förhållanden för Sverige.

Ljus- och siktförhållanden är ej specificerade men utgångsvärdet antas gälla för dagsljus och god sikt.

Korrektioner görs av grundvärdet med en multiplikativ modell. Liknande modeller används bl.a. i HCM (Transportation Research Board 2000) och i Canada (Teply 1995). Denna modelltyp är enkel men inrymmer en svårighet, nämligen att mättnadsflödet inte är konstant över tiden.

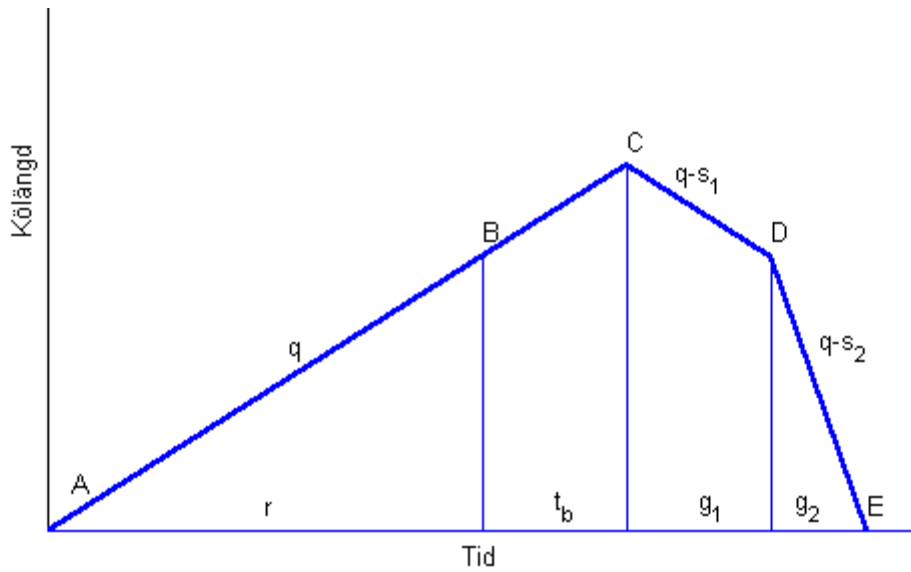
I början av den effektiva gröntiden är mättnadsflödet växande. Grundvärdet är med andra ord ett genomsnitt över tiden. Korta effektiva gröntider riskerar därmed att överskatta antalet avvecklade fordon och tvärtom för långa gröntider. Å andra sidan tenderar mättnadsflödet att minska när gröntiden når 40 s. För att kunna hantera detta bör möjligheterna att använda ett tidsberoende grundvärde användas enligt (5.1).

$$s_0 = \int_0^g t s(t) dt \quad (5.1)$$

där $s(t)$ är en funktion som beskriver mättnadsflödets tidsberoende. En sådan modell kan dock innebära svårigheter vid mer komplexa situationer, se avsnitt 5.2.

5.2 Mättnadsflödet för en signalgrupp

Beroende på avvecklingsförhållandena kan mättnadsflödet variera över tiden för en signalgrupp, även om det bortses från det tidsberoende sambandet (5.1). I figur 5.1 visas körlängdens variation över tiden för en signalgrupp med två faser och effektivt gröntid under tidsperioderna g_1 och g_2 . Under den första fasen är mättnadsflödet lägre än det ankommande flödet och kön fortsätter att växa. Under den andra fasen är mättnadsflödet betydligt större än det ankommande flödet och kön avvecklas snabbt. Bilden är förenklad i minst två avseenden. För det första är inte ankomsterna normalt inte deterministiska utan uppvisar en viss variation. För det andra är mättnadsflödena tidsberoende. dvs. linjerna BC, CD och DE är i praktiken krökta. En svårighet som ett tidsberoende mättnadsflöde enligt (2.1) medför är att definiera tidsberoendet över flera faser eller när mättnadsflödet ändras under en fas.



Figur 5.1. Avvecklingsförloppet för en signalgrupp med två faser (blandfas plus eftergrönt). t_b avser blockerad tid, se kapitel 6.

Kapaciteten ges av

$$K = \frac{g_1 s_1 + g_2 s_1}{c} \quad (5.1)$$

5.3 Mättnadsflödet för ett blandkörfält

Mättnadsflödet för ett blandkörfält ges av det viktade harmoniska medelvärdet av mättnadsflödena för de ingående fordonströmmarna. Index m avser trafikström och p avser andel av det totala flödet i denna trafikström.

$$s = \left(\sum_m \left(\frac{p_m}{s_m} \right)^{-1} \right)^{-1} \quad (5.2)$$

6. Sekundärkonflikter

6.1 Generell modell

Avvecklingen för en motorfordonsström med sekundärkonflikt sker i följande etapper (se figur 5.1):

1. Blockerad tid på grund av sekundärkonflikt
2. Avveckling vid sekundärkonflikt
3. Avveckling efter gröntidens slut

De tre första etapperna motsvarar tidsperioderna t_b , g_1 och g_2 i figur 5.1. Avveckling efter gröntidens slut kan ske endast om det finns köande fordon mellan konfliktpunkten och stopplinjen.

6.2 Blockerad tid på grund av sekundärkonflikt

Den blockerade tidens längd bestäms av de strömmar som är överordnade. Den blockerade tiden är först och främst beroende av konfliktmatrisen, dvs. huruvida det föreligger någon sekundärkonflikt eller ej. Om sekundärkonflikt föreligger är det fotgängare och cyklister som bestämmer denna för högersvängande fordon. För vänstersvängande fordon tillkommer dessutom raktframkörande och högersvängande fordon. Avgörande faktorer för bestämning av den blockerade tiden är när avvecklingen börjar för respektive trafikström, den kö som finns för varje trafikström samt mätnadsflöden och ankomstflöden för de olika strömmarna.

Det är alltså inte i första hand gröntidens start som är av intresse utan när avvecklingen börjar. För motorfordon är detta i överensstämmelse med avsnitt 4.1 ovan. För oskyddade trafikanter sker oftast en del av avvecklingen under rödtiden vilket då minskar blockerings-tiden.

För motorfordon används i den svenska beräkningsmodellen följande samband:

$$t_b = \frac{N_o + q_o + r_o}{s_o - q_o} \quad (6.1)$$

där index o står för överordnad ström. För gångtrafik används en modell som bygger på att fotgängarna korsar gatan i grupper, en från vardera sidan. Den tid som grupperna blockerar frånfarten beror på gruppernas utsträckning i färdriktningen (dvs. tätheten samt övergångsställets bredd), gånghastigheten samt avstånd från kantsten till körfältet. Sammantaget leder detta till att två olika värden på blockeringstiden kan beräknas. Den största av dessa väljes.

För cyklister finns ej någon modell men gångtrafikantmodellen bör kunna användas, åtminstone som utgångspunkt för en ny modell.

6.3 Avveckling vid sekundärkonflikt

Avvecklingstakten vid sekundärkonflikt kan modelleras på olika sätt. I Sverige används en modell byggd på kritiska tidsavstånd, dvs. mätnadsflödet beräknas på samma sätt som kapaciteten beräknas i en oregerad korsning. Den nuvarande modellen beräknar för vänstersvängande fordon båda sekundärkonflikterna och väljer den lägsta. Hur pass väl denna modell stämmer är beroende av magasinutrymmet mellan de båda överordnade strömmarna.

Om magasinstrymme saknas – delar av utrymmet är beläget tvärs den överordnade strömmen och kan inte utnyttjas utan att hindra överordnad ström – ger denna modell för högt mättnadsflöde. Även om modellen ger rätt mättnadsflöde kommer fördröjningen att underskattas eftersom två kösystem ska passeras men bara ett modelleras. En modellering som bygger på seriekopplade kösystem skulle kunna användas för att ge en bättre beskrivning.

Att alternativ till detta är att använda sig av någon av de modeller som finns i den kanadensiska kapacitetsmanualen (Teply et al. 1995) eller i HCM (Transportation Research Board 2000). I HCM bestäms mättnadsflödet genom att låta personbilskvivalenten för vänstersvängande vara beroende av det överordnade flödet. Modellen bygger på kritiska tidsavstånd och är således en variant av den som användes i Sverige. I den kanadensiska manualen bestäms mättnadsflödet som en funktion av det överordnade flödet. Fördelen med det svenska angreppssättet är att det kritiska tidsavståndet kan mätas även om inte förhållandena är mättade. I trafiksignaler som är högt belastade bör dock den kanadensiska modellen kunna mätas in.

6.4 Avveckling efter gröntidens slut

Denna avveckling är beroende av att det finns en kvarstående kö mellan konfliktpunkten med överordnad ström och stopplinjen samt hur lång denna är. Längden av den kvarstående kön är beroende av storleken på mättnadsflödet och det inkommande flödet samt av hur det resulterande kösystemet fungerar. Hur många som faktiskt kan avvecklas av dessa är beroende av magasinlängden, dvs. avståndet mellan konfliktpunkten med överordnad ström och stopplinjen. I nuvarande beräkningsmodell görs beräkningen med utgångspunkt från detta men med åtminstone ett fel. Endast medelantalet köande vid rödtidens slut beaktas. Detta ger en överskattning eftersom de komponenter i medelvärdesbildningen som är större än magasinlängden inte kan bidra med mer än magasinlängden. Resterande fordon får ju rött ljus när gröntiden är slut.

6.5 Avveckling utan sekundärkonflikt

Avveckling utan sekundärkonflikt kan ske på två olika sätt. Det ena uppkommer vid separatreglering, dvs. någon sekundärkonflikt förekommer inte. Det andra är om sekundärkonflikter förekommer, men att det överordnade flödet är så litet att det i praktiken inte uppstår några konflikter. I modellen som används för att beräkna mättnadsflödet vid sekundärkonflikter är följdtiden satt till det inverterade värdet av mättnadsflöde utan sekundärkonflikt, dvs. det mättnadsflöde som erhålls genom de korrektioner som beskrivs i kapitel 5. Gränsvärdet för mättnadsflödet när det överordnade flödet går mot noll blir då mättnadsflödet utan sekundärkonflikt. För vänstersvängande används i HCM olika korrigeringsfaktorer för separatreglering, blandfas samt en kombination av dessa. Dessutom skiljs på separat köfält eller blandköfält, dvs. sex olika fall. Det är rimligt att undersöka om det finns sådana skillnader i Sverige.

6.6 Blandkörfält

Mättnadsflödet för ett blandkörfält utan sekundärkonflikter ges av (5.2). När sekundärkonflikter förekommer gäller (5.2) så länge köfältet inte blockeras av svängande fordon. Detta är i sin tur beroende av andelen svängande samt det tillgängliga magasinstrymmet för såväl höger- som vänstersvängande, om båda förekommer. Den svenska modellen kan för närvarande bara behandla en svängande ström.

7. Korta körfält

Beräkningen av korta körfält görs i den svenska modellen genom händelsestyrd simulering på makronivå. De händelser som ingår i simuleringen är när mättnadsflödet ändras. Detta sker vid signalväxling och när ett körfält blockeras respektive när blockeringen upphör. Blockering kan ske både vid infart till körfältet och vid utfart. I beräkningsmodellen behandlas korta körfält och genomgående körfält lika, det har ingen betydelse vilket körfält som faktiskt är genomgående. Beräkningen tar endast hänsyn till förgreningspunktens läge.

Modellen kan ej hantera flera korta körfält, vare sig dessa ligger jämsides eller på olika sidor om ett genomgående körfält. Hur stora felen blir på grund av detta är oklart.

För att uppnå den största kapaciteten bör tidssättningen göras så att det av körfälten som begränsar kapaciteten töms när det är fullt. Ett alternativt sätt att uttrycka detta är att det inte ger något tillskott att förlänga gröntiden om körfältet är blockerat. Denna restriktion innebär svårigheter i samband med tidssättningen, se kapitel 8.

8. Tidssättning

Tidssättningen består i att tilldela gröntid till ett antal faser eller signalgrupper givet ett antal bivillkor så att någon funktion (objektfunktion) som beskriver tidssättningens kvalitet får så litet (eller stort) värde som möjligt. Objektfunktionen kan vara linjär eller icke-linjär, vilket leder till ett linjärt respektive ett icke-linjärt programmeringsproblem. Lösningen av problemet görs iterativt och genererar således ett antal olika lösningar med successivt lägre och lägre värde på objektfunktionen.

I nuvarande beräkningsmodell är objektfunktionen linjär och kan uttryckas på följande sätt:

$$\min Z : x_l = \frac{q_l c}{\sum g_p s_{pl}} \leq Z \quad (8.1)$$

där x är belastningsgraden. Bivillkor finns för gröntiderna i form av max- och mintider samt för omloppstiden.

Likhetstecknet gäller för de kritiska körfälten, dvs. de som har högst belastningsgrad. Problemet kan formuleras så att det kan lösas med simplex-metoden, vilket är vad som görs i den svenska modellen.

Ett annat sätt att lösa problemet är att direkt söka de kritiska signalgrupperna. Vet man dessa är problemet förenklat till att fördela tiden mellan dessa. Detta angreppssätt användes i SIDRA. Denna metod klarar också överlappande signalgrupper. Implicit bygger detta angreppssätt på att optimeringsproblemet kan beskrivas som ett riktat, cirkulärt nätverk. Objektfunktionen kan då uttryckas som att minimera den maximala belastningsgraden för bågarna i nätverket.

En förutsättning för att simplexmetoden ska fungera är att den kritiska belastningsgraden minskar när ökande gröntid ges åt körfält med hög belastningsgrad. Detta fungerar inte alltid då det finns korta körfält och särskilt inte om dessa är separatreglerade. Trots detta bör simplex-metoden kunna användas i fortsättningen också. Det finns för närvarande en kontroll av de lösningar som genereras och den bästa av dessa sparas. Tester visar att åtminstone någon av dessa lösningar är tillfredsställande.

(8.1) ger en lösning som approximativt uppfyller den andra av de två objektfunktioner som är de vanligaste, nämligen medelfördröjningen. Genom att omfördela gröntiden kan en lägre fördröjning erhållas. Detta görs genom att numeriskt derivera fördröjningsfunktionen med avseende på de olika faserna och välja den som ger störst förändring som sökriktning. Detta ger en långsam konvergens. Dessutom är fördröjningsfunktionen inte kontinuerlig vilket kan ge problem om lösningen ligger i närheten av diskontinuiteterna. Att överföra fördröjningsfunktionen i kontinuerlig form medför dock ingen svårighet. Fördelen med denna metod är att den kan hantera inverkan av korta körfält på ett riktigt sätt. I beräkningen av derivatorna görs nämligen en omräkning av alla de steg som görs vid den ordinarie tidssättningen och beräkningen av fördröjningen baseras på figur 5.1.

En annan lösning är att direkt minimera fördröjningen. Hur pass väl detta fungerar beror bland annat på om det går att anpassa någon icke-linjär optimeringsmetod till problemet. En fördel med att direkt minimera fördröjningen är att det medger att de oskyddade trafikanterna kan beaktas vilket inte är möjligt i det linjära problemet. Å andra sidan vore det

möjligt att anpassa förbättringen av lösningen till det linjära problemet till oskyddade trafik-
kanter genom att beräkna fördröjningsförändringar också för dessa.

9. Inverkan av trafikstyrning

En översikt över olika styrningsformer samt deras effekter görs i tabell 9.1.

Tabell 9.1 Effekter av trafikstyrning

Styrning	Effekter
Trafikstyrning oberoende korsning	Såväl omloppstid som gröntidsfördelning varierar kontinuerligt. I extrema fall kan signalgrupper utgå. Ankomsterna kan antas vara exponentialfördelade med eller utan modell för fordon i kolonn. Ankomsterna är dock oberoende av vilken status som signalen har. Minskad fördröjning åstadkoms genom att fördela gröntider på ett lämpligt sätt.
Tidsstyrd samordning	Omloppstiden och gröntidsfördelningen ligger fast inom en längre tidsperiod (program). Ankomsterna och gröntidsvisningen är inte oberoende. Minskad fördröjning åstadkoms genom att ankomsterna i så stor utsträckning som möjligt sker mot grönt.
Trafikstyrd samordning	Detta är en kombination av ovanstående två fall. Detta kan innebära att förlängning av gröntiden kan göras för ett belastat körfält, men många andra strategier finns.
Kollektivtrafikprioritering	Detta kan förekomma i de ovan angivna systemen och innebär att de strategier som användes för dessa motverkas.

Korrigerig för trafikstyrning görs i den svenska modellen genom att de beräknade framkomlighetsmått korrigeras med faktorer, framtagna genom simulering. I HCM 2000 (Transportation Research Board 2000) används också korrektionsfaktorer. Den deterministiska komponenten i fördröjningen korrigeras för effekter av samordning. Korrektionsfaktorerna baseras på fältmätningar eller på ankomstfördelningen. Den senare är klassad i sex olika grupper. Inverkan av trafikstyrning är beroende av förlängningsintervallet och belastningsgraden. Denna påverkar enbart den slumpmässiga komponenten i fördröjningen. Också inverkan av en uppströms liggande signal på den slumpmässiga komponenten kan beaktas. Denna problematik kommer att belysas i en separat rapport.

10. Förslag till beräkningsmodell

I figur 3.2 återfinns en schematisk beskrivning av en beräkningsmodell för korsningar med stopp- eller väjningsplikt där de huvudsakliga momenten i beräkningen visas. I figur 3.3 har denna beskrivning förenklats och generaliserats.

10.1 Vidareutveckling av grundmodellen

En första ansats är att utveckla modellen i figur 3.2 genom att byta ut delmodeller och/eller genom att införa reviderade värden på olika konstanter. Några av delarna i beräkningsmodellen där nya delmodeller kommer att behöva utvecklas är följande:

Sekundärkonflikter med fotgängare

Den använda modellen är en konstruktion, baserad på en artikel av Tarko och Gaca (1991). Det finns fältmätningar avseende sekundärkonflikter för fotgängare (Löfquist och Nilsson 1996) som bör kunna användas som utgångspunkt.

Fler än ett kort körfält

Den idag använda modellen bör kunna generaliseras.

Beräkning av framkomlighetsmått

Nya metoder för beräkning av bland annat fördröjning bör utvecklas.

Inverkan av trafikstyrning

Detta har diskuterats i kapitel 9.

10.2 Vidareutveckling av den generaliserade modellen

Ett alternativ till detta är att utgå från modellen i figur 3.3. Denna ger några olika utvecklingsmöjligheter. För det första kan effekterna för fotgängare lyftas in i modellen för gröntidsfördelning. För det andra kan olika former av trafikstyrning påverka gröntidsfördelningen. En vinst med detta kan vara att det blir enklare att generalisera sådana effekter. För det tredje ges det möjlighet att använda olika kriterier för gröntidsfördelningen. För det fjärde blir det möjligt att undersöka olika varianter på den procedur som går igenom vid varje iteration i gröntidsfördelningen. För det femte kan initieringen göras mer grundläggande än idag, t.ex. genom att alla tillåtna omloppsplaner sätts upp och beräknas. Modellen i figur 3.3 kan dessutom kompletteras med en återkoppling så att de restriktioner som dimensionerar problemet (t.ex. antalet körfält) kan redovisas.

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 mätnadsflöden och effektiva gröntider. Fältmätningen bör också innehålla mätdata för validering.

För det andra bör en teoretisk modell, liknande den som finns i figur 3.2 eller 3.3, 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.

De fältmätningar som gjordes av Bång och Hansson (Vägverket 1975) omfattade konflikter mellan vänstersvägande och mötande trafik, konflikter mellan svängande fordon och gångtrafikanter samt inverkan av tillfartsbredd och körfältsbredd på trafikavvecklingen. 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 mätnadsflöden. Vidare kan jämförelser göras mellan beräknade och uppmätta framkomlighetsmått såsom kapacitet och kölängd. Planerad omfattning av fältmätningarna har redovisats i PM Projektplanering för etapp 2 och 3, 2001-09-16.

Referenser

Hagring, O. (2000) *Framkomlighet i korsningar med trafiksignaler. En litteraturoversikt*. Bulletin 191. Trafikteknik, Institutionen för Teknik och Samhälle, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Löfqvist, F. och Nilsson, A. (1996) *Sekundärkonfliktsmodell – gående/svängande fordon i signalreglerade korsningar*. Thesis 85, Institutionen för trafikteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Sabeti, M.(1989) *Mättnadsflöden i signalreglerade korsningar*. Examensarbete 1989:1, Trafikplanering, KTH, Stockholm.

Tarko, A. and Gaca, S. (1991) Pedestrians at signalized intersections. In Brannolte, U. (ed.) Highway Capacity and Level of Service. *Proceedings of the International Symposium on Highway Capacity*, Karlsruhe.

Teply, S., Richardson, D., Schnablegger, J. and Stephenson, B. (1995) *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*. Institute of Transportation Engineers District 7 – Canada.

Transportation Research Board. (2000) *Highway Capacity Manual HCM 2000*. Washington D. C.

Vägverket. (1975) *Fältnätningar avseende fordons- och gångtrafikens framkomlighet i signalreglerade korsningar*. Rapport TV127.

Vägverket. (1995) *CAPCAL. Model description of Intersection with traffic signals*. Report 1995:008E. Borlänge, Sweden.