

Handbok för kapacitetsanalys med hjälp av simulering

TRV2013/79994

Titel: Handbok för kapacitetsanalys med hjälp av simulering

Ärendenummer: TRV 2013/79994

Utgivningsdatum: Augusti 2014

Utgivare: Trafikverket

Författare: Karl-Lennart Bång, Johan Olstam, Joakim Köhler

Johan Wahlstedt, Jonas Andersson

Kontaktperson: Freddie Westman, IVtbo

Produktion omslag: Grafisk form, Trafikverket

Distributör: Trafikverket

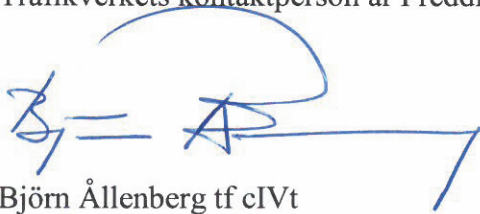
FÖRORD

- Föreliggande handbok ger tips och rekommendationer för tillämpning av trafiksimulering då de analytiska beräkningsmetoden i TRV2013/64343 för aktuell anläggningstyp inte är tillräcklig
- alternativt att det finns krav på visualisering

Handboken har sammanställts av en projektgrupp med Karl-Lennart Bång som projektledare med följande delansvariga för de olika kapitlen. Johan Olstam, Joakim Köhler, Johan Wahlstedt samt Jonas Andersson.

Handboksarbetet har följts av en referensgrupp med representanter för Trafikverket, kommuner och konsulter.

Trafikverkets kontaktperson är Freddie Westman IVtbo

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Björn Ållenberg', with a large, sweeping flourish above the name.

Björn Ållenberg tf cIVt

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sverker Hagberg', with a long, horizontal flourish extending to the right.

Sverker Hagberg cIVtd

Innehåll

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inledning | 5 |
| 1.1.1 | Syfte..... | 5 |
| 1.1.2 | Omfattning..... | 5 |
| 1.1.3 | Användning av trafiksimulering..... | 6 |
| 1.1.4 | Litteraturreferenser..... | 8 |
| 2 | Generell metodbeskrivning | 11 |
| 3 | Simulering i projekteringsprocessen | 52 |
| 4 | Trafikplatser och motorvägar | 61 |
| 5 | Landsvägar och landsvägskorsningar | 72 |
| 6 | Signalregerade korsningar | 79 |
| 7 | Cirkulationsplatser | 97 |

1 Inledning

Huvudförfattare kapitel 1: Karl-Lennart Bång och Johan Olstam
Granskare: Jeffery Archer, Benny Bergstrand, Kristina Schmidt

1.1.1 Syfte

Syftet med föreliggande handbok är att beskriva hur trafiksimulering kan användas som en alternativ metod eller komplement till analytiska metoder för att bestämma kapacitet och framkomlighet. Liksom metodbeskrivningarna i TRV2013/64343 är beskrivningarna avsedda att kunna användas för att med hjälp av trafiksimulering uppskatta effekterna av en given utformning i samband med planering, konsekvensanalys, projektering och drift av vägtrafikanläggningar. Simulering kan användas som ett komplement till de analytiska metoderna, eller som ersättning i fall som inte täcks av dessa metoder. Härigenom minskas risken för onödiga kostnader förorsakade av såväl över- som underkapacitet.

1.1.2 Omfattning

Handbok för kapacitetsanalys med hjälp av simulering

| Innehåll | Kapitel |
|--|---------|
| <i>Allmänna delar</i> | |
| Inledning | 1 |
| Generell metodbeskrivning | 2 |
| Tillämpning av simulering i projekteringsprocessen | 3 |
| <i>Anläggningsspecifika delar</i> | |
| Trafikplatser och motorvägar | 4 |
| Landsvägar och landsvägskorsningar | 5 |
| Signalreglerade korsningar | 6 |
| Cirkulationsplatser | 7 |

1.1.3 Användning av trafiksimulering

Användningsområden

För många tillämpningar är de analytiskt utvecklade metoder som beskrivs i TRV2013/64343 med tillhörande kalkylhjälpmedel snabba, pålitliga, överskådliga och genomtestade för att avgöra kapacitet och framkomlighetseffekter som restid och fördröjning. Metoderna har dock ofta svagheter vad det gäller utvärdering av systemeffekter eftersom de normalt bygger på antagandet att den studerade korsningen eller vägsträckan inte påverkas av andra delar av trafiksystemet.

Med hjälp av trafiksimulering kan man i datormiljö genomföra ”kontrollerade experiment” för olika fall. Modellerna matar in fordon eller andra trafikelement och följer deras passage (trajektorier) genom trafikanläggningen baserat på kunskap om trafikantbeteendet i olika miljöer händelsetyper avseende interaktioner med andra trafikanter. Med stöd av restidsmätningar mm i modellen under denna process kan sedan resulterande trafikeffekter vid olika belastningsnivåer uppskattas.

Simuleringsmodellerna är effektiva när man vill analysera dynamiken i hur trafiksituationer utvecklas, t ex hur köer byggs upp och avvecklas, men är mindre tillförlitliga när det gäller bestämning av kapacitet. De har även en styrka i att man kan se hur olika delar av trafiknätverket påverkas av varandra när det gäller trängsel.

Fördelarna med trafiksimuleringsmodeller jämfört med analytiska modeller är framförallt att:

- de ger möjlighet att ta hänsyn till/modellera närliggande korsningar
- de ger bättre möjligheter att modellera speciella väg- och korsningsutformningar
- de kan på ett bättre sätt beskriva trafiksystemets stokastiska och dynamiska natur med uppbyggnad och avveckling av köer både över tid och sträcka
- de ger en bättre beskrivning av trafikstyrda signaler – i analytiska modeller används ofta korrigeringstermer jämfört med tidsstyrning
- de ger möjlighet att visualisera resultaten

Nackdelarna är att:

- de traditionellt sett inte genererar några automatiska beräkningar av vissa framkomlighetsmått som till exempel kapacitet, belastningsgrad eller geometrisk fördröjning.
- de är mer tidskrävande att skapa, kalibrera och validera.
- det är mer tidskrävande att genomföra körningar och analyser
- det är generellt sett mer tidskrävande att jämföra två olika utformningar av vägar och korsningar med ett simuleringsverktyg
- de kräver mer data, både indata och data för kalibrering/validering
- de data som krävs är ofta kostsammare och mer tidskrävande att samla in, speciellt när det gäller trafikantbeteenden.
- de ställer högre krav på användaren (goda kunskaper krävs om underliggande modeller och parametrar, sannolikhetsteori och statistisk analys för att kunna använda modellen och tolka resultaten på ett korrekt sätt)
- de har en relativt hög investeringskostnad

Metodernas noggrannhet

Noggrannheten när det gäller resultat från trafiksimulering beror på hur väl modellen förmår att återge det trafikantbeteende som resulterar till följd av olika händelser i processen, t ex interaktion med andra trafikelement, geometriska hinder, trafikreglering mm. Detta i sin tur ställer stora krav på kalibrering och validering av modellen för den specifika plats och trafikförhållanden som ska studeras. Upprepade modellkörningar och jämförelser med empiriska data liksom animering av trafikprocessen kan ge svar på denna fråga.

Dokumentation

Handboken kan läsas från pärm till pärm (vilket uppmuntras, speciellt för mindre erfarna användare av trafiksimulering). Tanken är dock även att läsaren ska kunna läsa valda delar av handledningen som är av speciellt intresse för en specifik studie. Dokumentationen presenterar viktiga begrepp och termer och beskriver genomförandeprocessen i en trafiksimuleringsstudie med utgångspunkt från ett flödesschema.

De anläggningsspecifika kapitlen (4 - 7) beskriver hur mikroskopiska trafiksimuleringsstudier bör göras, och exemplifierar ofta detta för ett specifikt, allmänt tillämpat simuleringsprogram.

Om avvikelser görs från den i handboken beskrivna processen är det viktigt att de dokumenteras och att trafikanalytikern är medveten om hur dessa påverkar resultatens tillförlitlighet och noggrannhet.

1.1.4 Litteraturreferenser

| Författare, organisation | Titel, utgivare |
|---|---|
| Allström, A. Olstam, J. Thorsson, T. | <i>Analys av modeller för beräkning av framkomlighet i korsningar.</i> Borlänge, Trafikverket 2008 |
| Allström, A och Olstam, J | <i>Beräkningsmanual för CAPCAL v 3.3</i> 2009 |
| Andersson, J Bång, K-L. Pezo Silvano, A | <i>Kapacitetsanalys av cirkulationsplatser. Inverkan av GC-trafik och cirkulerande flöde</i> TRITA-TSC-RR 13-001 KTH Juli 2012 |
| Archer, J. Lord, N. Persliden, L.. | <i>Parametersättning, en manual för inställning av mikrosimuleringsmodeller.</i> Borlänge, Vägverket. 2008 |
| Archer, J. Lord, N. Persliden, L | <i>ABK 09 Allmänna bestämmelser för konsultuppdrag inom arkitekt- och ingenjörsvetenskap, Byggandets kontraktskommitté.</i> 2010 |
| Bergman, A | Analytiska trafikmodeller för cirkulationsplatser med obebakade övergångsställen. Examensarbete 2010 |
| Chiu, Y. Bottom, C. J. Mahut, M; Paz, A. Balakrishna, R. Waller T, Hicks, J | <i>A Primer for Dynamic Traffic Assignment.</i> ADB30 Transportation Network Modeling Committee - Transportation Research Board. Washington D.C, 2010 |
| Currin, T. | <i>Introduction to Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis,</i> Brooks/Cole(2001). |
| Dowling, R, A Skabardonis, V Alexiadis. | <i>Traffic analysis toolbox: volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software.</i> FHWA-HRT-04-040, McLean, VA 2004. |
| Dowling, R. | <i>Traffic Analysis Toolbox: Volume VI: Definition, Interpretation, And Calculation Of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness.</i> Washington DC, Federal Highway Administration. 2007. |
| FSV | <i>Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation – Grundlagen und Anwendung.</i> Köln: FGSV Verlag GmbH, 2006. |
| Grandin, U | <i>Dataanalys och hypotesprövning för statistikanvändare.</i> Uppsala, Naturvårdsverket. 2003 |
| Hagring, O. Allström, A. | <i>Capca 3.3 Model description of intersections with signal control.</i> Trivector AB Lund 2010 |
| Highways Agency | <i>Guidelines for the use of Microsimulation Software.</i> Edinburgh: Highways Agency, 2007. |
| Hoban, C. J., Shepherd, R.J., Fawcett G.J., Robinson, G.K. | <i>A model for Simulating Traffic on Two-Lane Rural Roads: User guide and manual for TRARR version 3.2.</i> Victoria: Australian Road Research Board, 1991 |
| Hollander, Y. Liu, R | <i>The principles of calibrating traffic microsimulation models.</i> <u>Transportation</u> 35: 347-362. 2008. |

| | |
|--|--|
| Irvenå Randahl | <i>Analysis of gap acceptance in a saturated two-lane roundabout and implementation of critical gaps in VISSIM</i> , Lunds tekniska högskola, 2010 |
| Law, A. M. | <i>Simulation Modeling and analysis</i> . Boston: McGraw-Hill, 2007 |
| Leiman, L., Archilla, A. R., May A. D. | <i>TWOPAS model improvements</i> . Berkeley: University of California, 1998 |
| PTV | VISSIM User Manual - Version 5.40. Karlsruhe, Germany, Planung Transport Verkehr (2012) |
| Quadstone | <i>Quadstone Paramics V5.0 - Technical Notes</i> . Edinburgh, Scotland, Quadstone Limited. 2004a |
| Quadstone | <i>Quadstone Paramics V5.0 - Viewer User Guide</i> . Edinburgh, Scotland, Quadstone Limited. 2004b |
| Smith, J. , Blewitt, R. | Traffic Modelling Guidelines. London, Transport for London. 2010 |
| Tapani, A. | <i>A Traffic Simulation Framework for Rural Highways</i> . Linköping Studies in Science and Technology - Licentiate Thesis No. 1205, Norrköping: Linköpings universitet, 2005a |
| Tapani, A. | <i>Versatile Model for Simulation of Rural Road Traffic</i> . <i>Transportation Research Record 1934</i> Transportation Research Board 2005b: 169-178. |
| Trafikverket, SKL. | <i>Vägar och gators utformning</i> . Trafikverket Publikation 2013:179 |
| Trafikverket | <i>Bygg om eller bygg nytt. Kapitel 3 Trafikanalyser</i> . Version 2013-06-13 Trafikverket Borlänge 2013. |
| TRB | <i>Highway Capacity Manual</i> . Transportation Research Board (TRB) Washington D.C. 2010 |
| TSS | <i>AIMSUN User Manual - Version 7</i> . Barcelona, Spain, Transport Simulation Systems 2012 |
| Vejdirektoratet | <i>Anvendelse af mikrosimuleringsmodeller</i> Vejregelforslag, Vejdirektoratet - Vejregelrådet 2010 |
| Vägverket | Kapacitet, köllängd och fördröjning i trafikaneläggningar. Vägverket Rapport TV 131 1977 |
| Wiedemann, R. Reiter, U. | <i>Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state</i> . <u>Project ICARUS (V1052) Final Report</u> . Brussels, CEC. 2: 1 - 53 in Appendix A 1992 |

Innehåll

Kapitel 2 Generell metodbeskrivning

| | | |
|--|---|-----------|
| 2 | Generell metodbeskrivning | 11 |
| 2.1 | Inledning | 11 |
| 2.1.1 | Läsanvisning | 11 |
| 2.1.2 | Begrepp och termer | 11 |
| 2.2 | Genomförandeprocessen | 15 |
| 2.3 | Syfte och avgränsningar | 19 |
| 2.3.1 | Syfte och problembeskrivning | 19 |
| 2.3.2 | Avgränsning i tid och rum..... | 20 |
| 2.3.3 | Val av analysmetod | 21 |
| 2.4 | Databehov | 23 |
| 2.4.1 | Trafikräkningar | 26 |
| 2.4.2 | Data för kalibrering | 27 |
| 2.4.3 | Trafikprognos | 27 |
| 2.5 | Uppbyggnad av basmodell | 30 |
| 2.5.1 | Länk-, korsnings- och zon/centroidnumrering | 30 |
| 2.5.2 | Kodning av länkar och korsningar | 30 |
| 2.5.3 | Kodning av centroider/zoner och trafikefterfrågan | 32 |
| 2.5.4 | Kodning av ruttval..... | 32 |
| 2.6 | Verifiering/kontroll/felsökning | 33 |
| 2.6.1 | Mjukvarukontroll | 33 |
| 2.6.2 | Granskning av indata och kodning | 33 |
| 2.6.3 | Granskning av animering | 34 |
| 2.6.4 | Kvarstående fel | 35 |
| 2.7 | Kalibrering | 36 |
| 2.7.1 | Rekommenderad arbetsprocess | 36 |
| 2.7.2 | Kalibreringsparametrar..... | 37 |
| 2.7.3 | Jämförelse av resultat | 37 |
| 2.7.4 | Beräkning av antal simuleringsupprepningar | 41 |
| 2.7.5 | Upplösningens påverkan på resultaten | 42 |
| 2.7.6 | Ruttkalibrering | 42 |
| 2.7.7 | "Kalibrering" av alternativa utformningar och trafikefterfrågan | 42 |
| 2.8 | Validering och känlighetsanalys | 43 |
| 2.9 | Analys av olika alternativ/scenarier | 44 |
| 2.9.1 | Rekommenderad arbetsgång:..... | 44 |
| 2.9.2 | Beräkning av effektmått..... | 45 |
| 2.9.3 | Jämförelse och hypotesprövning..... | 46 |
| 2.10 | Dokumentation | 46 |
| 2.11 | Litteraturreferenser | 47 |
| Bilaga A - Hypotesprövning | 48 | |
| A1 Exempel på t-test beräkningar i Excel | 49 | |
| Bilaga B - Dokumentationsmall | 50 | |

2 Generell metodbeskrivning

Huvudförfattare: Johan Olstam

Delförfattare: Joakim Köhler, Andreas Tapani, Rodrigo Perez, Johan Wahlstedt.

Granskare: Kristina Schmidt, Benny Bergstrand

2.1 Inledning

2.1.1 Läsanvisning

Denna handledning kring användning av trafiksimulering för kapacitetsanalys kan läsas från pärm till pärm (vilket uppmuntras, speciellt för nya användare av trafiksimulering). Tanken är dock även att läsaren ska kunna läsa valda delar av handledningen som är av speciellt intresse för en specifik studie. Alla rekommenderas att läsa delkapitel 2.1.5 och 2.2. I delkapitel 2.1.5 presenteras viktiga begrepp och termer, och avsnittet kan senare användas för att söka dessa. I delkapitel 2.2 beskrivs genomförandeprocessen i en trafiksimuleringsstudie. Läsaren rekommenderas att utgå från Figur 2 i delkapitel 2.2 som beskriver i vilka kapitel som de olika delarna i en trafiksimuleringsstudie behandlas, för att sedan navigera till de kapitel som är av intresse för tillfället.

Handledningen beskriver hur studier med mikroskopiska trafiksimuleringsverktyg bör utföras. I verkliga fall kan och måste ibland avvikelser från denna handledning göras. Det är då viktigt att avvikelser dokumenteras och framförallt att trafikanalytikern är medveten om gjorda avvikelser och hur de påverkar resultaten.

Denna generella handledning är tänkt att vara **verktygsberoende**, dvs. **inte kopplad till någon specifik programvara**. Fokus ligger på användning av verktyg baserade på mikroskopisk trafiksimulering.

Detta kapitel behandlar användning av mikroskopisk trafiksimulering för kapacitetsanalys ur ett **generellt perspektiv**. Som komplement till detta kapitel finns **anläggnings specifika kapitel** som tar upp viktiga saker att tänka på vid simulering av specifika vägtrafikanläggningar: motorvägar med trafikplatser (se kapitel 4); landsvägar med landsvägskorsningar (se kapitel 5); signalreglerade korsningar (se kapitel 6), och cirkulationsplatser (se kapitel 7). De anläggnings specifika kapitlen följer samma struktur som detta kapitel för att underlätta uppslag. Dessa kapitel är mer förknippade med specifika programvaror och innehåller praktiska exempel.

Detta kapitel har genom **litteratur** hämtat information och inspiration från ett flertal andra trafiksimuleringshandledningar, t.ex. Dowling et al. (2004), Transportation Research Board (2010), Forschungsgesellschaft für strassen- und verkehrswesen (2006), Vejdirektoratet (2010), Highways Agency (2007) och Smith och Blewitt (2010). Se litteraturreferenser i kapitel 1.4.

2.1.2 Begrepp och termer

I detta kapitel kommer termen **trafiksystem** användas för att beskriva ett begränsat område som innehåller en eller flera korsningar och vägar. Detta kan vara allt ifrån en enstaka korsning eller väglänk till ett system med flera väglänkar och korsningar.

För att undvika missförstånd är det viktigt att använda en konsistent **modellterminologi**. Ordet modell används vanligen för många olika saker, vi har valt att använda följande definitioner¹

¹ Baserade på definitioner presenterade i HCM 2010 (Transportation Research Board 2010)

- En **algoritm** är ”en uppsättning regler för att lösa ett problem inom ett ändligt antal steg”
- **Simulering (Datorsimulering)** är en (datorimplementation av en) algoritm som genom numerisk utvärdering beskriver verkliga eller tänkta händelser i ett system.
- En **modell** är en abstrakt representation av ett system som utvecklats för undersökning av systemets egenskaper och i vissa fall dess framtida effekter. I HCM 2010 (Transportation Research Board 2010) redovisas även en snävare trafikmodellsanpassad definition ”en procedur som använder en eller flera algoritmer för att producera en mängd numeriska utdata som beskriver hur ett trafiksystem fungerar givet en mängd numeriska indata. Denna term används vanligen med ett adjektiv som beskriver dess syfte, t.ex. fördröjningsmodell, körfältsbytesmodell och önskad hastighetsmodell.
- Ett **beräkningsprogram** är en mjukvaruimplementation av en eller flera modeller som producerar specifik utdata givet en specifik mängd indata.
- Ett **trafikanalysverktyg** i vardagligt tal kallat **programvara** är en mjukvaruprodukt som, åtminstone, inkluderar ett beräkningsprogram samt ett användargränssnitt, t.ex. VISSIM (PTV 2012), AIMSUN (TSS 2012), PARAMICS (Quadstone 2004a, Quadstone 2004b), etc.
- En **modelltillämpning** är en kombination av en programvara, indata och parametrar för en specifik tillämpning (dvs. vägutformning, trafikstyrning, trafiksituation, beteendeparametrar, etc. för ett specifikt trafiksystem). Modelltillämpningar benämns vanligen också för **modell** och då ordet modelltillämpning är ovanligt i sammanhanget och rent språkligt knöligare att använda kommer ordet modell att användas istället för modelltillämpning i detta kapitel. För tydlighets skull läggs ofta platsens namn till ex Kungsgatansmodellen.

Trafiksimuleringsmodeller klassificeras ofta efter **detaljeringsnivå** i beskrivningen av trafiken. En uppdelning i **makroskopiska**, **mesoskopiska** och **mikroskopiska** modeller är vanlig. Makroskopiska trafiksimuleringsmodeller beskriver trafiken i form av fordonsflöden. Trafiken i en makroskopisk modell styrs av samband mellan flöde, medelhastighet och densitet. Mikroskopiska trafiksimuleringsmodeller beskriver enskilda fordons rörelser i trafiken. Mesoskopiska modeller beskriver trafiken med en detaljnivå mellan de makroskopiska och de mikroskopiska modellerna. En vanligen förekommande metod i mesomodeller är att beskriva enskilda fordon eller fordonspaket vars rörelser styrs av makroskopiska trafikflödessamband.

I en datorimplementering av en simuleringsmodell **uppdateras modellen vid diskreta tidpunkter**. En simuleringsmodell kan antingen tillämpa en **tidsstyrd** simuleringsmetodik, där modellen uppdateras med jämna mellanrum, eller en **händelsestyrd** simuleringsmetodik, där modellen uppdateras vid de tidpunkter då systemets tillstånd förändras. Händelsestyrd uppdatering är mindre resurskrävande eftersom simuleringsmodellen uppdateras mer sällan än i en tidsstyrd modell med samma noggrannhet. Händelsestyrd simulering innebär dock beräkning av kommande förändringar i tillståndet hos modellen efter varje uppdatering. Detta förfarande blir mycket komplicerat för komplexa system med många enheter som ändrar tillstånd ofta. Händelsestyrd simulering är därför mer lämplig för beskrivning av system med begränsad storlek och för system bestående av enheter som sällan ändrar tillstånd. Tidsstyrd simulering kan anses vara lämplig för beskrivning av system med ett stort antal enheter som ändrar tillstånd ofta.

Mikroskopiska trafiksimuleringsmodeller är nästan uteslutande tidsstyrda medan det finns både tids- och händelsestyrda mesoskopiska trafiksimuleringsmodeller.

Simuleringsmodeller kan vara antingen **deterministiska** eller **stokastiska**.

Deterministiska simuleringsmodeller innehåller inte någon slumpvariation och varje körning av modellen kommer därför ge samma resultat givet samma indata. Deterministiska modeller är därför lämpliga för system med liten eller ingen slumpvariation.

Stokastiska simuleringsmodeller använder sig av statistiska fördelningar för ingående modellparametrar och processer under simuleringen för att återge variationer hos det verkliga systemet. Resultatet från en stokastisk modell kommer därför att variera beroende på de slumpstal som används för att bestämma parametervärden och styra delprocesser i modellen. Det är viktigt att komma ihåg att då olika sekvenser av slumpstal ger olika resultat så krävs att användaren tar stor hänsyn till variation och osäkerhet i analysprocessen.

Mikroskopiska trafiksimuleringsmodeller är nästan alltid stokastiska.

I modeller med **statiskt flöde** används endast en uppsättning trafikflöden för hela den tiden som simuleringen avser. Tidsavståndsfördelningen kan variera över tiden men OD-matrisen eller svängandelsfördelningen är konstant genom hela simuleringskörningen. I modeller med **tidsberoende flöde** så tillåts flödet variera över den tidsperiod som simuleras. Användaren matar in mer än en uppsättning flöden vilket ger en tidsuppdelad OD-matris. Statiskt eller tidsberoende flöde ska inte förväxlas med om modellen internt kan representera tidsvarierande flöden som uppstår på grund av simulerade händelser som t.ex. incidenter, trafiksignaler, körfältsslut.

Indata är information och värden som beskriver hur trafiksystemet ser ut, hur trafiksituationen ser ut i gränsen mot de områden som inte inkluderats i modellen, samt vilka egenskaper de simulerade trafikanterna har. Indatavärden är konstanta under simuleringen. Exempel på indata är OD-matriser, vägbredder och antal körfält.

En **parameter** är en speciell typ av indata kopplat till delmodeller i beräkningsprogrammet. Till skillnad mot mer "statisk" indata såsom hastighetsgräns, trafikflöde, fordonsfördelning, m.m. kan parametrar vid behov justeras under kalibreringsprocessen för att få modellen att bättre efterlikna det verkliga trafiksystemet. Parametrar kan, baserat på deras egenskaper och funktion i en trafiksimuleringsmodell, delas in i tre olika grupper (Archer et al 2008; Vejdirektoratet 2010):

- **Trafikantbeteende** (t.ex. önskad hastighet, önskat tidsavstånd, kritisk tidlucka, etc.)
- **Fordonsegenskaper** (t.ex. accelerations- och retardationsmöjligheter, längd, bredd, etc.)
- **Systemparametrar** (t.ex. uppdateringsfrekvens och slumpstal)

En **variabel** beskriver ett tillstånd för någon av de simulerade trafikanterna eller vägtrafikanläggningarna. Exempel på variabler för ett simulerat fordon är aktuell position, körfält, hastighet och acceleration. Exempel på variabel för en väglänk är medelhastighet, densitet och körlängd.

Ett **dataset** är samling av data från ett eller flera mättillfällen med likvärdiga trafikförhållanden. Ett dataset skulle till exempel kunna bestå av hastighets, körlängds och flödesmätningar från fem olika mättillfällen med liknande trafikförhållanden. Ett annat dataset skulle kunna bestå av flödes- och restidmätningar från tre andra mättillfällen. Då olika trafiksimuleringsprogramvaror använder olika **parameterdefinitioner** är det svårt att presentera detaljerade och kompletta parameterdefinitioner som är giltiga för samtliga programvaror. Istället ges här deskriptiva beskrivningar av vanligt förekommande och viktiga parametrar.

Parametrarna matas oftast in i trafiksimuleringsprogrammen i form av statistiska fördelningar som beskriver hur parametern varierar mellan förare, antingen generellt eller inom en viss grupp av förare t.ex. personbilsförare och lastbilsförare. För vissa kombinationer av trafiksimuleringsprogramvaror och parametrar går det dock endast att mata in ett parametervärde för samtliga förare.

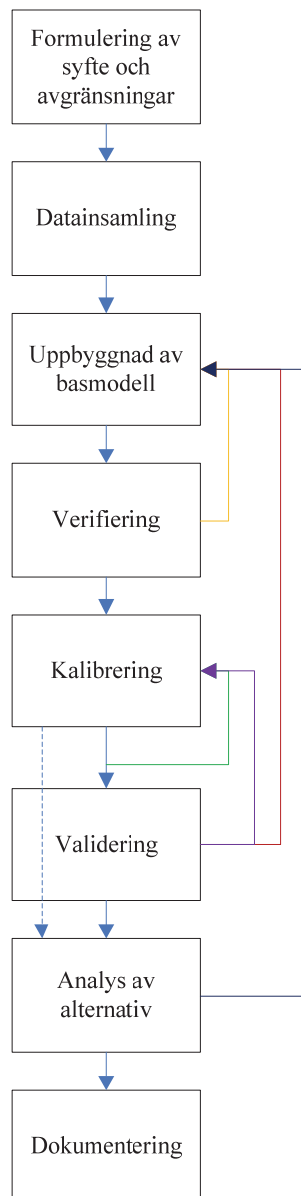
- **Önskad tidlucka** – Önskat avstånd i sekunder mellan två efterföljande fordon. Beskrivs ibland som säkerhetsavstånd.

- **Minsta avstånd vid stillastående** – Beskriver det minsta avstånd som en specifik förare håller till ett framförvarande fordon vid stillastående, kallas ibland för köavstånd.
- **Kritisk tidlucka** – Den minsta tidlucka som en specifik förare kan tänka sig acceptera i samband med köfältsbyten, vävning, väjningssituationer, etc. Observera att i analytiska modeller används begreppet kritisk tidlucka för den genomsnittliga kritiska tidluckan, dvs. som den tidlucka som 50 % av förarna accepterar och 50 % inte accepterar.
- **Fordonsdynamik** – Beskriver begränsningar i de simulerade fordonens acceleration och retardationsförmåga. Utrycks ibland som maximal acceleration/retardation eller förhållande mellan motoreffekt och vikt.
- **Önskad acceleration och retardation** – Beskriver de accelerations och retardationsnivåer som en specifik förare använder vid acceleration upp till önskad hastighet eller retardation vid icke kritiska händelser. Benämns även ibland som normal eller komfortabel acceleration/retardation.
- **Reaktionstid** – Tid mellan förändring i omgivande trafiksituation tills det att föraren reagerar. Ibland går det att ange olika reaktionstider för olika situationer, t.ex. vid följekörning, vid stillastående, eller vid omslag till grönt i en trafiksignal.
- **Frifordons hastighet/Önskad hastighet** – Den hastighet som föraren strävar efter att köra i givet en specifik vägutformning. I analytiska modeller avser vanligen frifordons hastighet den hastighet som ett fordon framförs med i en aktuell trafikmiljö inkl. hastighetsgräns om det inte påverkas av framförvarande fordon. Samma parameter benämns i de flesta trafiksimuleringsprogram som önskad hastighet. I vissa trafiksimuleringsprogramvaror anges en frifordons hastighet/önskad hastighet per hastighetsgräns och i andra anges endast en maximal önskad hastighet som gäller då ingen hastighetsbegränsning finns/eller vid högsta hastighetsgränsen i trafiksystemet (kallas ibland i analytiska modeller för ideal hastighet).
- **Hastighetsacceptans** – Beskriver hur mycket en specifik förare anpassar sin önskade hastighet med avseende på hastighetsgränsen.
- **Förarmedvetenhet om fordon omkring** – Relaterar till antalet fordon som en specifik förare antas ta hänsyn till i samband med car-following, köfältsbyten, vävning, etc.
- **Köfältsbytes/omkörningsbenägenhet** – Beskriver hur benägen en specifik förare är att byta körfält eller genomföra en omkörning.
- **Planering inför nästa avfart/korsning** – Beskriver hur lång tid/sträcka innan en kommande motorvägsavfart eller korsning som en specifik förare börjar anpassa sin hastighet och välja ”rätt” körfält.

2.2 Genomförandeprocessen

En trafiksimuleringsstudie består av följande åtta steg (se även Figur 1):

1. formulering av syfte och avgränsningar,
2. datainsamling,
3. uppbyggnad av basmodell,
4. verifiering,
5. kalibrering,
6. validering,
7. analys av alternativ och
8. dokumentering.



Figur 1 Flödesschema som visar arbetsprocessen för trafiksimuleringsstudier

Steg 1: Formulering av syfte och avgränsningar (Delkapitel 2.3): För en trafiksimuleringsstudie innefattar det första steget fattande av beslut om vilket trafiksystem

och vilka alternativa utformningar och trafikefterfrågan som ska studeras. Syftet med studien kan grovt delas in i följande tre fall:

- Utvärdering av Nybyggnadsåtgärd;
- Utvärdering av Förbättringsåtgärd;
- Visualisering.

Avgränsningarna avser både vilket område och vilken tidsperiod som ska studeras. En annan viktig del i detta steg är att avgöra vilken typ av trafikmodell som ska användas. Mikroskopisk trafiksimulering är ett alternativ. Andra alternativ är de analytiska metoder som beskrivs i TRV/64343. Det kan också vara nödvändigt att använda flera olika typer av modeller, t.ex. användning av trafiksimuleringsmodeller för generering av hastighet-flödessamband för makroskopiska analyser.

Steg 2: Datainsamling (Delkapitel 2.4): Datainsamling handlar om insamling av information om trafiksystemet och de alternativa utformningar och trafikefterfrågan som ska studeras. Databehovet inkluderar detaljerad information om nätverket som ska simuleras, trafikstyrning och trafikefterfrågan. För kalibrering och validering av trafiksystemet behövs trafikmätningar av det verkliga systemet (såväl framkomlighetsmått som restid, reshastighet, körlängd, etc. som förarbeteendeparametrar såsom önskad hastighet, accepterade tidluckor, väjningsbeteende, etc.). Om simuleringar av framtida trafikefterfrågan ska genomföras behöver även prognostisering av framtida trafikefterfrågan göras med hjälp av efterfrågemodeller, elasticiteter eller uppräkningsfaktorer.

Steg 3: Uppbyggnad av basmodell (Delkapitel 2.5): Trafiksimuleringsanalyser genomförs vanligen med hjälp av dedicerade trafiksimuleringsprogram.

Modelluppbyggnadsuppgiften består av att skapa en mjukvarurepresentation av trafiksystemet som ska analyseras med hjälp av ett lämpligt sådant program. Denna del inkluderar nätverkskodning, inklusive kodning av vägnät, korsningar och trafikstyrning, samt specificering av trafikefterfrågan.

Steg 4: Verifiering (Delkapitel 2.6): Verifiering är den del av projektet där den skapade basmodellen kontrolleras för logiska fel, dvs. trafikanalytikern verifierar att basmodellen fungerar som den är avsedd att göra. Om fel upptäcks under verifiering är det nödvändigt att gå tillbaks till modelluppbyggnadsfasen och korrigera modellen.

Steg 5: Kalibrering (Delkapitel 2.7): När basmodellen fungerar som det var tänkt att den skulle göra är nästa steg att kalibrera modellen. Kalibrering är den process i vilken basmodellens parametrar justeras med syfte att få modellen att vara en representativ avbild av det verkliga trafiksystemet. Kalibrering är en iterativ process där;

1. simuleringsmodellen körs,
2. resultaten från simuleringskörningarna jämförs med trafikmätningar från det verkliga trafiksystemet och
3. modellens parametrar justeras för att öka överensstämmelsen mellan simuleringsresultaten och trafikmätningarna.

Kalibreringsuppgiften avslutas när överensstämmelsen mellan simuleringsresultaten och trafikmätningarna bedöms acceptabla med avseende på ett förbestämt kriterium, t.ex. en önskad konfidensnivå. Kalibrering mot mätdata för de lokala trafikförhållandena kan endast genomföras då basmodellen representerar ett trafiksystem som finns i verkligheten. Om så inte är fallet får data från jämförbara studier och analytiska modeller användas.

Steg 6: Validering (Delkapitel 2.8): Efter kalibreringen kommer modellen enligt definition att överensstämma med de trafikdata som använts i kalibreringsprocessen. I valideringsfasen som sedan tar vid kontrolleras att modellen är representativ, inte enbart för de trafikmätningar som användes under kalibreringsprocessen utan även i mer generella termer för det trafiksystem som studeras. Om oacceptabla skillnader mellan modellresultat och valideringsdata upptäcks är det nödvändigt att gå tillbaka till modelluppbyggnads- eller kalibreringssteget för att modifiera modellen eller justera dess parametrar.

Steg 7: Analys av alternativ (Delkapitel 2.9): Först efter acceptabelt utfall av valideringen är modellen redo att användas för analyser av alternativa utformningar och trafikefterfrågan. Analys av alternativ är det steg i vilket simuleringsmodellen används för att jämföra de alternativ avseende trafiksystemets utformning och trafikefterfrågan som ska

beaktas enligt syftesbeskrivningen. Alternativen jämförs baserat på effektivitetsindikatorer som beräknats utifrån simuleringsresultaten. För framkomlighets- och kapacitetsanalyser är hastigheter, kölängder och fördröjning exempel på effektivitetsindikatorer. Vissa alternativa utformningar och trafikefterfrågeperioder kan kräva en ny basmodell med tillhörande verifiering. Då de alternativa utformningarna och trafikefterfrågan inte finns är det svårt att genomföra kalibrering och validering såvida inte resultaten kan jämföras med andra, likande studier.

Steg 8: Dokumentering (Delkapitel 2.10): Det avslutande steget i en trafiksimuleringsanalys är dokumentering av det genomförda arbetet. En viktig del i detta steg är att presentera och dokumentera antaganden som gjorts och att ge information gällande osäkerheter i simuleringsresultaten. Dokumentation bör ske löpande under projektets gång. I detta steg handlar det således mest om att sammanställa resultat och deldokumentationen i en slutrapport.

I

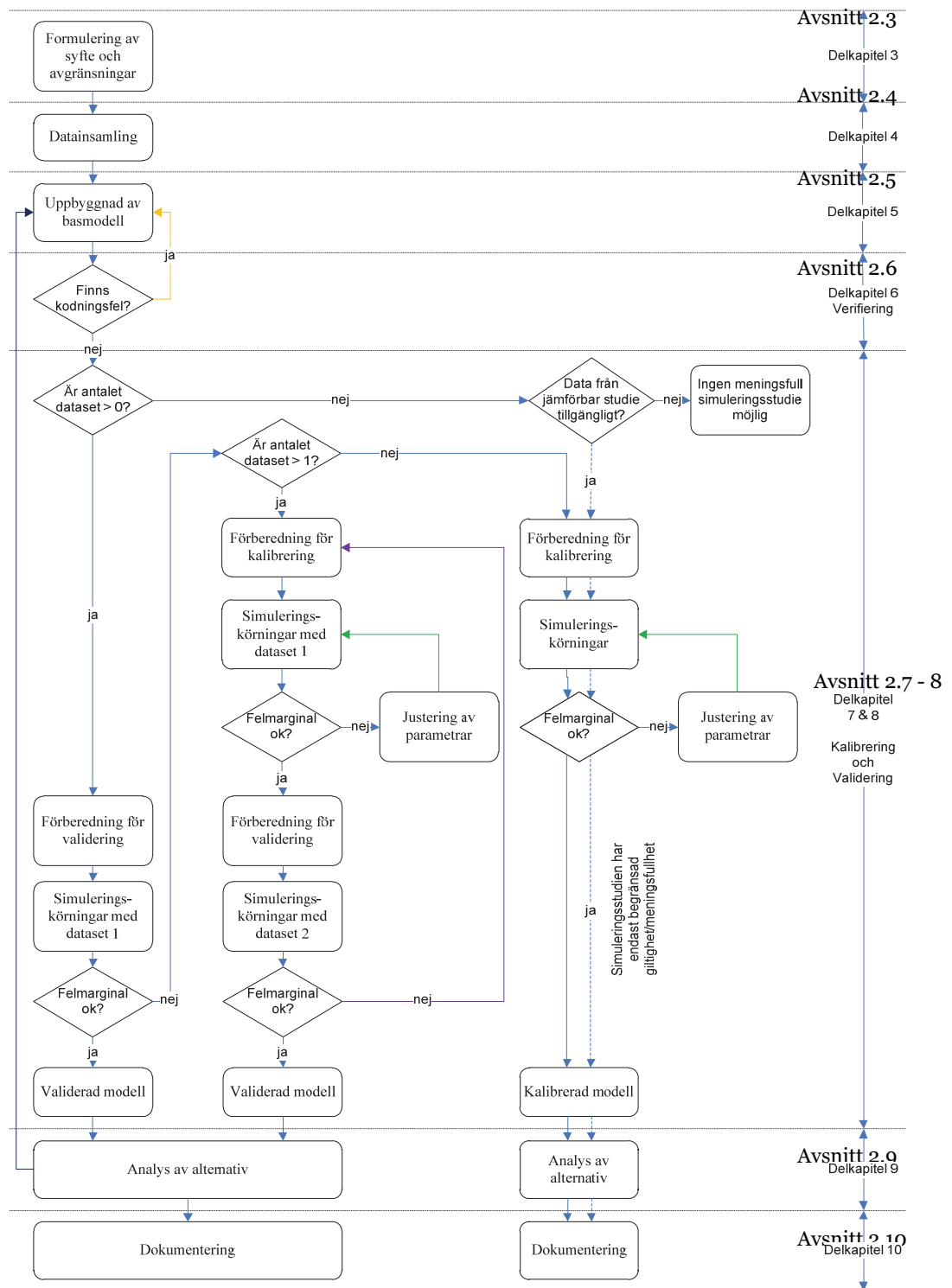
Tabell 1 ges förslag på milstolpar och delresultat för en trafiksimuleringsstudie. Antalet och omfattning av delresultat anpassas efter projektets storlek.

Tabell 1 Förslag till milstolpar och delresultat

| Milstolpe | Delresultat | Innehåll |
|-------------------|--|--|
| Planering | <ol style="list-style-type: none"> 1. Syfte, omfattning och tidplan 2. Datainsamlingsplan 3. Verifieringsplan 4. Kalibreringsplan 5. Valideringsplan 6. Etablering av loggbok/dagbok | Syfte, val av modell (inklusive motivering varför ex. analytiska modeller inte var tillämpliga), geografisk och tidsmässig avgränsning, kostnader, tidplan, alternativ/lösningar som ska studeras, datainsamlingsplan, plan för verifiering, kalibrering och validering. |
| Datainsamling | <ol style="list-style-type: none"> 1. Datainsamlings-pm 2. Framtida trafik / prognosticering | Specificering av databehov, tillgänglig data, och insamlingsbehov. Datainsamlingsmetod, kvalitetssäkring samt sammanställning av insamlad data |
| Modellutveckling | <ol style="list-style-type: none"> 1. 50 % färdigställd modell | |
| Verifiering | <ol style="list-style-type: none"> 1. Färdigkodad modell | |
| Kalibrering | <ol style="list-style-type: none"> 1. Kalibrerad modell | |
| Validering | <ol style="list-style-type: none"> 1. Validerad modell | |
| Preliminär analys | <ol style="list-style-type: none"> 1. Preliminärt resultat | Dialog/diskussion med beställare/analysgrupp |
| Slutredovisning | <ol style="list-style-type: none"> 1. Slutrapport 2. Teknisk dokumentation | |

Stegen i Figur 1 är generella för simuleringsbaserade studier inom andra tillämpningsområden (se t.ex. Law (2007)). Ett mer detaljerat flödesschema med kapitelhänvisningar för de olika delstegen återfinns i Figur 2.

Figur 2 Detaljerat flödesschema baserat på Forschungsgesellschaft für strassen- und verkehrswesen (2006)



Flödesschemat i Figur 2 innehåller en mer detaljerad beskrivning av kalibrerings- och valideringsprocesserna. Hur kalibrering och validering ska genomföras beror på hur många dataset som finns tillgängliga. I det optimala fallet går det att dela upp insamlad data i två dataset, ett för kalibrering och ett för validering. Om så är fallet görs först simuleringskörningar med dataset 1 och resultaten från simuleringskörningarna jämförs med trafikmätningar med dataset 1. Det normala är att felmarginalen med programvarans "default"-inställningar inte är acceptabel och att en kalibrering behöver genomföras.

Kalibreringen görs då mot dataset 1 och när acceptabel felmarginal uppnåtts görs en ny validering mot dataset 2. Om felmarginalen för dataset 2 inte är acceptabel måste kalibreringen göras om. Ofta är det dock så att den insamlade datamängden är för liten för uppdelning i två dataset. Det går då inte att göra någon validering utan enbart en kalibrering. Om det inte finns något dataset alls behövs åtminstone data från någon jämförbar studie för att en meningsfull simulering ska kunna genomföras. Om det endast finns ett dataset eller enbart data från jämföra studier går det endast att skapa en kalibrerad modell med begränsad giltighet. Slutsatser baserade på resultat från en sådan icke validerad modell bör tolkas med stor försiktighet.

2.3 Syfte och avgränsningar

2.3.1 Syfte och problembeskrivning

Innan arbetet påbörjas är det viktigt att klargöra vilka frågor som uppdragsgivare, projektledare och utförare förväntar sig att studien ska ge svar på. Vid framtagning av projektbeskrivningen bör information om följande delar beaktas²:

- **Bakgrund:**
 - Trafiksystemets utformning och läge. Ritning och flygfoto över området är bra illustrationshjälpmedel
 - Trafiksystemet, dess funktion och trafiksituationen i nuläget
 - Eventuella problem med den nuvarande utformningen av trafiksystemet
 - Typ av förändring av vägtransportsystemet som ska studeras:
 - nybyggnad
 - förbättringsåtgärd
- **Uppdragets syfte:**
 - Varför behövs studien?
 - Vilka frågeställningar och hypoteser ska studien ge svar på? Skriv detaljerade hypoteser kopplade till de aktuella problemen och frågeställningarna, t.ex. ”det nya utformningsalternativet förväntas ge kortare köllängder på A-vägen och på så sätt undvika/minska blockering av korsningen uppströms”, snarare än övergripande hypoteser, såsom ”det nya utformningsalternativet kommer ge kortare köer”.
 - Vilka och hur många nya/alternativa utformningar och trafikefterfrågeperioder ska studeras? Vilka alternativ ska jämföras med varandra? Undvik att jämföra alla alternativ med varandra. Skapa en jämförelsehierarki.
 - Vem är den tilltänkta mottagaren av resultaten?
- **Analysbehov:**
 - Baserat på uppdragets syfte, vilka typer av analyser behövs? (Framkomlighet, kapacitet, säkerhet, miljö, eller en kombination av dessa)
 - Vilka är de viktigaste effektmåtten (kapacitet, fördröjning, köllängd, bränsleförbrukning, etc.) för denna studie?
 - Vilken säkerhet/precision önskar beslutsfattarna? Vilken felmarginal är acceptabel? Räcker det med timmedelvärden, eller önskas en högre tidsupplösning?

² Delvis baserad på Archer och Cunningham (2005) och Dowling et al. (2004)

- Önskas visualisering av simuleringen och i så fall på vilken detaljnivå? Generellt sätt ställs högre krav på visualiseringen ju högre upp i hierarkin hos beställarorganisationen som resultaten ska presenteras.

2.3.2 Avgränsning i tid och rum

Följande frågor kan hjälpa till att definiera lämplig avgränsning i tid och rum:

- Inom vilket område och under hur lång tid pågår trängsel och köutbredning kopplad till studieobjektet/området?
- Kommer de alternativa utformningar som studeras att påverka ett större område (pga. t.ex. omfördelning av trafik på nya rutter) än det som behöver modelleras för den nuvarande utformningen?
- Kommer de alternativa trafikefterfrågeperioderna som studeras att påverka ett större område (pga. t.ex. nya eller längre köer, omfördelning av trafik på nya rutter) än det som behöver modelleras för den nuvarande utformningen?
- Kommer framtida exploateringar, närliggande trafiknätverk m.m. att ändra förutsättningarna i närtid eller framtid. Hur påverkar det efterfrågeprofiler i tid och rum?
- Behövs extra vägvägsnitt i modellområdets periferi (så kallade uppvärmningssträckor) för att skapa korrekta fördelningar för fordonens ankomsttider/tidsavstånd (t.ex. för att återskapa kolonnbildning pga. begränsade omkörningsmöjligheter eller signalreglerade korsningar uppströms). ”Dummy”-trafiksignaler i modellens ytterkant kan vara användbara för att återskapa specifika ankomstfördelningar som inte går att ange direkt i programvaran.
- Vilka tidsperioder ska studeras (förmiddag, eftermiddag, vardag, helgdag, maxtimme, lågtrafik, etc.)?
- Vilken tidsuppdelning av trafikefterfrågan krävs för att fånga trafikvariationen över den tidsperiod som behöver modelleras?
- Tidsavgränsningen ska omfatta den tidsperiod som ska studeras plus tid innan denna period för att bygga upp trafiksituationen för den studerade tidsperioden, samt tid efter för att avveckla de köer och den trängsel som uppstår. Om tidsperioden innehåller en trafiktopp ska hela uppbyggnaden och avvecklingen av denna trafiktopp inkluderas i modellen.
- Rumsavgränsningen ska omfatta det område som ska studeras plus åtminstone det område inom vilket köutbredning sker, det vill säga det får inte finnas köer/trängsel i randen av det modellerade området.

Följande arbetsgång kan användas för att skapa en lämplig avgränsning i tid och rum:

1. Markera på en karta eller ett flygfoto det område som behöver modelleras för att ta hänsyn till nulägets trängsel och köutbredning.
2. Markera de områden som de alternativa utformningarna kan tänkas påverka.
3. Markera de områden som de alternativa trafikefterfrågeperioderna kan tänkas påverka.
4. Kan någon av de alternativa utformningarna tänkas påverka trafikanternas startpunkter, destinationer eller ruttval, t.ex. genom nyalstring av trafik till eller från det studerade området eller ökad eller minskad trafik på rutter som går igenom området pga. förbättrad eller försämrade framkomlighet? Kan modellen utökas för att ta hänsyn till dessa effekter, eller krävs kompletterande analyser med verktyg som bättre hanterar stora nät och ruttval såsom mesoskopiska

trafiksimuleringsmodeller med dynamisk nätutläggning eller makroskopiska modeller med statisk nätutläggning?

I områden med mycket trängsel eller många närliggande korsningar och vägar som påverkar och påverkas av trafiksituationen i det område som ska studeras finns en övervägande risk att ovan beskrivna procedur resulterar i att studieområdet hela tiden utökas. Det gäller således att göra en avvägning mellan syftet med studien och de tillgängliga resurserna. Om studieområdet riskerar att bli för stort för en analys med mikroskopisk trafiksimulering är det ett tecken på att studien eventuellt behöver kompletteras med analyser med verktyg som bättre hanterar stora nät och ruttval såsom mesoskopiska trafiksimuleringsmodeller med dynamisk nätutläggning eller makroskopiska modeller med statisk nätutläggning (se kapitel 4 eller Chiu et al. (2010)).

2.3.3 Val av analysmetod

För många tillämpningar är de analytiska och statistiska metoder som beskrivs i TRV2013/64343 för olika anläggningstyper vanliga och accepterade verktyg. De ger bra handledning när det gäller analyser av isolerade trafikanläggningar med begränsade trängselproblem. Metoderna är snabba, robusta, överskådliga och beprövade för att avgöra om trafikefterfrågan ligger över eller under kapaciteten för den studerade anläggningen. De har dock ofta svagheter vad det gäller utvärdering av systemeffekter och höga belastningsgrader. Metoderna appliceras ofta under antagandet att den studerade korsningen eller vägsträckan inte påverkar eller påverkas av andra delar av trafiksystemet. Simuleringsmodellerna å sin sida är effektiva när man vill analysera dynamiken i hur trafiksituationer utvecklas. De ger bättre möjligheter att analysera hur köer byggs upp och avvecklas. Simuleringsmodeller har även en styrka i att man kan se hur olika delar av trafikanätverket påverkas av varandra när det gäller trängsel. Ett problem med simuleringsmodeller är dock att de kräver förhållandevis stora mängder av indata. Kalibrering av parametrar och efterfrågematriser/trafikflöden är också en svår och tidskrävande process. Den viktigaste parametern i valet mellan analytiska modeller och simuleringsmodeller är dock hur stor systempåverkan är samt om det finns realtidsstyrda trafikstyrningsanordningar. Vid stor påverkan mellan olika delar och realtidsstyrda trafikstyrningsanordningar är ofta simuleringsmodeller att föredra. Men även inom kategorin trafiksimuleringsmodeller finns modellalternativen: mikro eller meso. För val mellan dess har storleken på nätverket ofta en avgörande betydelse. Eftersom mikrosimuleringsmodeller är mer indatakrävande är mesomodeller oftast mer lämpade för större nätverk. En annan viktig faktor vid val mellan mikro och meso är ruttvalsmodelleringens betydelse för analysen. Om ruttvalet är en central del av hur nätverket fungerar pekar det i praktiken mot att en mesosimuleringsmodell ska användas. Vid simulering kan man ofta med fördel använda sig av analytiska modeller som ett komplement. Särskilt intressant är det för vägtrafikanläggningar eller trafiksituationer där simuleringsmodeller har visat sig ha svagheter. Exempelvis kan det vid simuleringar av trafikplatser vara intressant att komplettera med analytiska modeller för vävningar och växlingar. Sammanfattningsvis har trafiksimuleringsmodeller fördelar gentemot analytiska modeller p.g.a. att³:

- de ger möjlighet att ta hänsyn till/modellera närliggande korsningar
- de ger bättre möjligheter att modellera speciella väg- och korsningsutformningar
- de kan på ett bättre sätt beskriva trafiksystemets stokastiska och dynamiska natur med uppbyggnad och avveckling av köer både över tid och sträcka

³ Baserad på Allström et al. (2008)

- de ger en bättre beskrivning av trafikstyrda signaler och andra former av realtidsstyrda trafikstyrningsanordningar, t.ex. variabla hastighetsgränser, omledning m.h.a. variabla meddelandeskyltar etc.. För analytiska modeller används ofta korrigeringsstermer m.h.t. ovannämnda funktioner
- de ger möjlighet att visualisera resultaten

De nackdelar som finns med trafiksimuleringsmodeller kontra analytiska/empiriska modeller är framförallt att⁴:

- de traditionellt sett inte genererar några automatiska beräkningar av vissa framkomlighetsmått som till exempel kapacitet, belastningsgrad eller geometrisk fördröjning
- de är mer tidskrävande att skapa, kalibrera och validera
- det är mer tidskrävande att genomföra körningar och analyser
- det är generellt sett mer tidskrävande att jämföra två olika väg/korsningsutformningar med ett simuleringsverktyg
- de kräver mer data, både indata och data för kalibrering/validering
- de indata som krävs är ofta kostsamma och mer tidskrävande att samla in
- de ställer höga krav på användaren. Det krävs goda kunskaper om underliggande modeller och parametrar, sannolikhetsteori och statistisk analys för att kunna använda modellen och tolka resultaten på ett korrekt sätt
- de har en relativt hög investeringskostnad

Som hjälp i valet av analysmetod rekommenderas att följande frågor besvaras⁵:

1. Vad är syftet med studien? Vilka förändringar ska studeras: vägutformning, signalstyrning, busstidtabeller?
2. Vilken typ av trafiksystem ska analyseras, inkluderar det tätortsgator, motorvägar, landsvägar eller kombinationer av dessa?
3. Hur stort och omfattande är det område som ska studeras och hur ser områdes topologi ut (isolerade korsningar, signalreglerade vägsträckor, nätverk)?
4. Finns det flera möjliga vägval mellan trafiksystemets start och slutpunkter.
5. Vilka typer av trafikantslag (personbilar, bilpooler, bussar, spårvagnar, lastbilar, gångtrafikanter, cyklister) ska inkluderas i modellen?
6. Vilka trafikregleringsmetoder behöver beaktas (stopp- och/eller väjningsskyltar, hastighetsskyltar, tidsstyrda trafiksignaler, trafikstyrda trafiksignaler, påfartsreglering (*eng.* ramp metering)?
7. Ska överbelastade trafiksituationer studeras?
8. Vilken och hur lång tidsperiod ska studeras?
9. Varierar vägutformningen under analysperioden?
10. Varierar trafikefterfrågan signifikant under analysperioden?
11. Varierar trafikstyrningen under analysperioden?
12. Vilka typer av data och detaljnivå förväntas av verktyget?
13. Vilken information finns tillgänglig till indata, kalibreringen och validering?

⁴ Baserad på Allström et al. (2008)

⁵ Baserat på Dowling et al. (2004) och Archer och Cunningham (2005)

14. Behövs en visuell presentation av studieområdet?
15. Finns det en annan analysmetod som uppfyller kravspecifikationen?

2.4 Databehov

Detta avsnitt behandlar det andra steget i arbetsprocessen (se Figur 1) angående behovet av data för att bygga simuleringsmodellen och senare kunna kalibrera och validera denna. Databehovet styrs först och främst av studiens syfte och avgränsningar. De frågeställningar som studien söker svara på bör vara vägledande för vilka krav som ska ställas på data och noggrannhet. Kraven varierar med typ av studie.

För utvärdering av *Nybyggnadsåtgärder* ska:

- en kvalitetssäkrad trafikefterfrågeprognos tas fram. En prognos kan tas fram genom t.ex. Samperskörningar eller trafikstringstal (se vidare under avsnitt 2.4.3)

För utvärdering av *Förbättringsåtgärder* ska:

- platsbesök genomförs av den som genomför simuleringen
- aktuella trafikmätningar finns eller genomförs för den befintliga anläggningen (se vidare under avsnitt 2.4.1)
- data för kalibrering finns eller samlas in för den befintliga anläggningen (se vidare under avsnitt 2.4.2)
- vid t.ex. förändrad markanvändning, analys av ett prognosår eller annat som påverkar trafikefterfrågan ska en kvalitetssäkrad trafikefterfrågeprognos tas fram. Detta kan göras t.ex. genom Samperskörningar eller på basis av trafikstringstal (se vidare under avsnitt 2.4.3).

Behovet av data och dessas format kan till viss del skilja sig mellan olika mjukvaror. Programvarans manual bör därför studeras noggrant för att ta reda på hur olika indata och parametrar definieras så att data samlas in på samma sätt.

Datinsamling är ofta kostsam och därför behöver databehovet alltid vägas mot vad som är rimligt i förhållande till studiens syfte och budget. Om det inte anses möjligt att samla in de data som krävs för studiens ursprungliga syfte bör man gå tillbaka och ändra syfte och avgränsningar så att de stämmer överens med vad som är möjligt givet tillgängliga data.

Databehovet för de flesta trafiksimuleringsstudier kan indelas i följande kategorier:

- Väggeometri (länklängder, antal körfält, kurvatur, etc.)
- Trafikledning och reglering (signalscheman, trafikstyrningsutrustning, trafikregler, ITS (Intelligent Transport System), etc.)
- Föraregenskaper (önskad hastighet/frifordonshastighet, önskat tidsavstånd, kritisk tidlucka, etc.)
- Fordonsegenskaper (längd och bredd, effekt-massa förhållanden, accelerations- och retardationsmöjligheter etc.)
- Trafikefterfrågan (OD-matris, svängandelar, trafikräkningar, etc.) uppdelat per fordonstyp
- Kalibrerings- och valideringsdata (trafikräkningar, hastigheter, körlängder, restider, etc.)

Arbetet med att identifiera databehov och samla in data kan genomföras enligt följande procedur:

1. Identifiera vilka resultat från simuleringen som är viktiga för att uppnå studiens syfte (ex: körlängder/restider etc.)
2. Fastställ vilka data och vilken noggrannhet för dessa som krävs för att resultaten från simuleringen ska tillgodose studiens syfte
3. Säkerställ att data samlas in enligt samma definition som i programvaran

4. Inventera tillgängliga data och dessas kvalitet och gör en översyn av behovet av kompletterande datainsamling (t.ex. trafikräkningar, signalplaner och växlingsscheman, observerade kösituationer)
5. Om det inte är möjligt p.g.a. tid eller budget att samla in data som krävs för studiens syfte och avgränsningar behöver dessa enligt ovan omdefinieras så att de överensstämmer med vad som är möjligt givet tillgängliga data.
6. Samla vid behov in kompletterande data.

Tabell 2 redovisar en sammanfattning av behovet av data för en trafiksimuleringsstudie⁶:

⁶ Baserad på Archer och Cunningham (2005)

Tabell 2 Databehov

| Datatyp | Databehov | Exempel på data |
|-------------------------------------|--|---|
| Vägnät | Vägutformning: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Länklängder ▪ Antal körfält ▪ Linjeföring ▪ Lutningar ▪ Enkelriktningar ▪ Hastighetsgränser ▪ Tillåtna körriktningar i korsningar ▪ Placering av vägmärken, markeringar, signaler, detektorer, hållplatser ▪ Siktbegränsningar ▪ Vävnings och växlingssträckor | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Planritningar ▪ Digitala kartor ▪ Flygfoto ▪ Konverteringsbara data från annan modell, t.ex. GIS |
| Trafikdata | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafikvolym ▪ Resmönster ▪ Fordonssammansättning ▪ Kollektivtrafik ▪ Gång- och cykeltrafik | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafikflöden från räkningar ▪ Origin-Destination (OD) matriser eller svängandelar med eventuell tidsuppdelning ▪ Andel av olika fordonsklasser och dess karaktäristik(längd, acceleration etc.) ▪ Kollektivtrafik – fordonstyp, tidtabeller, frekvenser, tid vid hållplats ▪ Flöden av gående och cyklister i korsningar |
| Trafikledningsdata | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Prioriteringsregler ▪ Trafiksignalers styrsätt och funktion ▪ ITS (påfartsreglering, VMS, MCS, vägtullar) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafikregler (formella och informella) som styr interaktionen mellan trafikströmmar ▪ Signalväxlingsschema och signalplan (inkl. detektorplacering) ▪ Information om funktionalitet för ITS-system |
| Förar- och fordons-egenskaper | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Förarbeteende ▪ Fordonsegenskaper | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Accepterade tidsluckor, ruttvals-beteende, accelerations- och retardationsnivåer, önskad hastighet, följandeavstånd, etc. ▪ Längd, bredd, maximal acceleration och retardation, etc. |
| Data för kalibrering och validering | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hastighet ▪ Restid ▪ Fördröjning – tid/antal stopp ▪ Kölängd ▪ Mättnadsflöde ▪ Genomströmning ▪ Körfältsfördelning ▪ Ruttval | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punkt- och sträckhastigheter ▪ Restider för rutter (separat för kollektivtrafik) ▪ Fördröjningar per länk, stopplinje, fordon, körfält, väg ▪ Kölängd enligt bestämda kriterier ▪ Maximal avvecklingstakt när köavveckling är möjlig ▪ Antal fordon som passerar t.ex. en stopp eller väjningslinje under ett visst tidsintervall ▪ Andel fordon per fordonstyp och körfält ▪ Andel fordon per fordonstyp och rutt |

Data om vägnät, trafikmängder och trafiksignaler är generellt obligatoriska indata. När det gäller beteendeparametrar ska dessa vid behov justeras under kalibreringsfasen. Beteendeparametrarna behöver dock ges rimliga startvärden för att minimera tidsåtgången för kalibreringen. Använd i möjligaste mån

1. uppmätta värden för det aktuella trafiksystemet
om uppmätta värden saknas använd
2. erfarenhetsvärden från simuleringar från liknande trafiksituationer, eller
3. 'default' värden eller rekommendationer från programtillverkaren eller erfarna användare

2.4.1 Trafikräkningar

Trafikräkningar kan komma från flera olika källor. De idag vanligaste automatiska räkningarna är gjorda med slang, videoutrustning eller kommer från detektorer i trafiksignalsanläggningar. Manuellt utförda trafikräkningar under dimensionerande timme förekommer också. Eftersom trafikräkningar utgör viktig indata måste en bedömning av deras kvalitet alltid göras och stämmas av med beställaren. Exempelvis är det vanligt att räkningar från signaldetektorer är av skiftande kvalitet. En viktig faktor är tidpunkten för räkningen, d.v.s. år, månad och veckodag samt när under dygnet som räkningen utförts. Äldre räkningar kan ibland räknas upp enligt schablonvärden för trafikökning (finns t.ex. i Effektkatalogen (Trafikverket 2009)) eller utifrån observerad trafikökning i området. Idealt är att räkningarna för studieområdet är gjorda vid samma tidpunkt, annars finns risk att räkningarna inte överensstämmer med varandra.

Aggregeringsperioden för räkningen är också viktig, en tumregel⁷ är att räkningarna bör vara uppdelade på 15-minutersintervall eller mindre. Använd om möjligt en låg aggregeringstid vid själva datainsamlingen så att variationer i trafikefterfrågan bättre kan studeras. Välj sedan aggregeringsperiod till simuleringsmodellen så att uppbyggnad och avveckling av toppar i efterfrågan fångas upp. Fordonsklasser är en annan viktig faktor för trafikräkningarna. Indata till modellen om flöden för olika fordonsklasser kan vara av olika detaljeringsgrad. En vanlig förenkling är att göra ett antagande om att samma andel tung trafik gäller inom hela studieområdet. Representativa värden för olika trafikmiljöer finns t.ex. i kapitel 3 Trafikanalys i Effektkatalogen (Trafikverket 2013). Det mest realistiska är dock att inte använda samma andel tung trafik i hela modellen utan istället använda indata baserat på observationer om resmönster separat för olika fordonsklasser.

Vid trängsel i modellområdet är det viktigt att säkerställa att de räkningar som används beskriver trafikefterfrågan och inte kapaciteten i det aktuella vägavsnittet. Om trafikräkningen är gjord vid en flaskhals är det nödvändigt att använda räkningar upp- eller nedströms under en period som börjar innan köuppbyggnaden och slutar när köerna avvecklats (Highways Agency 2007). Trafikräkningar av svängandelar ger en detaljerad bild av trafiken i en korsning. Svängandelar kan användas som indata för trafikefterfrågan i mikrosimuleringsmodeller med statistiskt ruttval. Vid modeller med dynamiskt ruttval utgör svängandelar inte indata utan kan istället användas för kalibrering.

Trafikräkningar bör genomföras samtidigt om resurserna tillåter för att säkerställa konsistens i data. Ofta tillåter inte resurserna detta och mätningarna behöver då korrigeringar för inkonsistens (utflödet från en korsning skiljer sig från inflödet till nästa korsning nedströms). Ytterligare tips om genomförande av fältmätningar finns t.ex. i

- Traffic Analysis Toolbox: Volume VI (Dowling 2007)
- Highway Capacity Manual 2010 (Transportation Research Board 2010)
- Introduction to Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis (Currin 2001).

⁷ Hämtad från Highways Agency (2007)

2.4.2 Data för kalibrering

Data för kalibrering utgörs generellt av mått på vägnätets kapacitet och prestanda som restider, fördröjningar och köer samt trafikräkningar. Det är viktigt att data om prestanda och trafikräkningar beskriver samma situation vilket gör att de bör vara insamlade vid samma tillfälle.

Platsbesök ska alltid genomföras när så är möjligt eftersom de möjliggör observation av aktuell trafiksituation. De kan också skapa förståelse för trafiksituationen utöver vad som fångas upp av trafikräkningar, t.ex. kösituation eller risk för blockering av utfarter till korsningar. Vid lite större projekt kan det vara bra att genomföra filmningar under en eller ett par maxtimmar. Videoinspelningar bör dock inte ersätta platsbesök utan snarare användas som komplement.

Restidsdata kan samlas in med så kallade "floating-car" mätningar, vilka dock ofta är relativt kostsamma. Metoden innebär att restiden längs en viss sträcka i modellområdet mäts genom att mätfordonet körs i samma tempo som övrig trafik ett antal gånger. Vid trängsel och köbildning krävs ett större antal körningar för att få pålitliga data. Antalet körningar som behövs kan beräknas med hjälp av statistiska mått på osäkerheten såsom konfidensintervall (se exempel på beräkning av antalet körningar i (Dowling et al. 2004)). Jämförelser mellan restider vid tider utan trängsel och under rusningstid ger information om fördröjningar på sträckan. Restidsmätningar kan även genomföras med registrering av nummerplåtar vid passage av utvalda snitt, antingen manuellt eller via restidskameror om sådant system finns på den aktuella sträckan.

Kölingder är ett möjligt mått för kalibrering och validering av modellen. Ett exempel på kömätning kan vara att manuellt observera kölängden exempelvis var 30:e sekund eller maxkölängd eller kösslutets position under en trafiksignals omloppstid. Definitionen på kö varierar mellan olika programvaror. Vid kölängdsmätningar bör således programvarans manual studeras för att säkerställa att ködata samlas in enligt dennas definition för att undvika onödig datainsamling eller extraarbete. En sammanställning av hur några av de vanligaste trafiksimuleringsprogrammen beräknar kölängd finns i Dowling et al. (2004).

Hastigheter kan vid förekomst av trafikledningssystem normalt hämtas från dessa avseende samtidiga mätningar av flöde och hastighet. Det är dock framförallt stadsnära motorvägar som är utrustade med trafikledningssystem med tillhörande detektorer med detektoravståndet 0.5 – 1 km. Då en hel del kan hända mellan detektorerna är det dock svårt att göra bra restidsuppskattningar under trängselförhållanden.

För andra vägtyper och korsningar är slangmätningar, videofilmning eller mätningar med hastighetskamera möjliga metoder.

Kapacitet och mätnadsflödesdata är väldigt värdefulla kalibreringsdata då de talar om när systemet går från under- till överbelastad trafiksituation. Kapacitet och mätnadsflöde är dock inte helt enkelt att mäta i fält och är inte heller direkta in- eller utdata från trafiksimuleringsmodeller.

- Kapacitet kan mätas på i en punkt på ett vägavsnitt direkt nedströms en fordonskö, d.v.s. i en så kallad flaskhals. För att få en så bra uppskattning av kapaciteten som möjligt bör kö inte avvecklas inom en timme, men accepterbara uppskattningar kan oftast fås även efter 30 minuters köbildning kontinuerlig. Kapaciteten räknas helt enkelt som antalet fordon som passerar mätpunkten över den tiden som det är kö uppströms.
- Mätnadsflödet för en signalanläggning kan definieras som det största antal fordon per gröntimme som kan passera stopplinjen under mättade, stationära förhållanden vid grön signal.

2.4.3 Trafikprognos

Vid kapacitetsberäkningar i samband med smärre förändring och korta byggtider är det ofta tillräckligt att basera trafikprognosen på trafikräkningar i befintlig trafikplanläggning. Vid större ombyggnader, projekt som ligger långt framme i tiden, långa byggtider, stora

exploateringar med mera, är det av vikt att göra en prognos av trafikefterfrågan vid färdigställd ny anläggning. De huvudsakliga metoderna listas nedan:

- Trafikräkningar samt översiktliga erfarenhetsbedömningar
- Generella trafikökningstal
- Trafikalstringstal för olika verksamheter och bostadsområden
- Prognosmodeller för efterfrågan (t.ex. Trafikverkets Sampers modell)

Trafikräkningar har kommenterats tidigare under avsnitt 2.4.1. Genom att analysera erhållna resultat och prognoser kan man göra generella bedömningar och justeringar av reseefterfrågan för ett prognosår.

I samband med de återkommande åtgärdsplaneringar som Trafikverket genomför beräknas hur trafikefterfrågan kommer att förändras i olika delar av landet utifrån ett antal förutbestämda förutsättningar. Ofta kan Trafikverket därför tillhandhålla *generella trafikökningstal* att på länsnivå baserade på generella antaganden om ekonomisk tillväxt, realinkomstökning, bränsleförbrukning, bränslepriser mm. Dessa tal är därför bra för uppräkningsav trafikflöden på platser där ingen särskild exploatering eller annan större förändring av trafiksystemet förväntas ske. Observera dock att det kan behövas olika alstringstal för tätort och landsbygd.

Vid större förändringar av markanvändningen i närheten av aktuellt analysområde behöver dock oftast prognoserna vara mer detaljerade. Vanligt är att det handlar om etablering av köpcentra, nya bostäder, nya kontorslokaler, nya godsterminaler mm. I dessa fall behöver man hitta *trafikstringstal* som är framtagna för den nya exploateringen genom analyser av tidigare exploateringar. Vid etableringar av köpcentra brukar exploatören ta fram behovet av parkeringsplatser och hur långa parkeringstider som kommer att erhållas. Med stöd av sådana utredningar kan man uppskatta trafikstringen.

Vid etablering av nya bostäder kan man utifrån mer avancerade prognosmodeller (se nedan) ta fram resegenereringstal uppdelat på färdmedel för flerbostadshus (stora/små lägenheter) eller fristående villor m.h.t. hur god tillgången på kollektivtrafik är. För etablering av mer ovanliga trafikstrare som godsterminaler behöver man göra specifika utredningar.

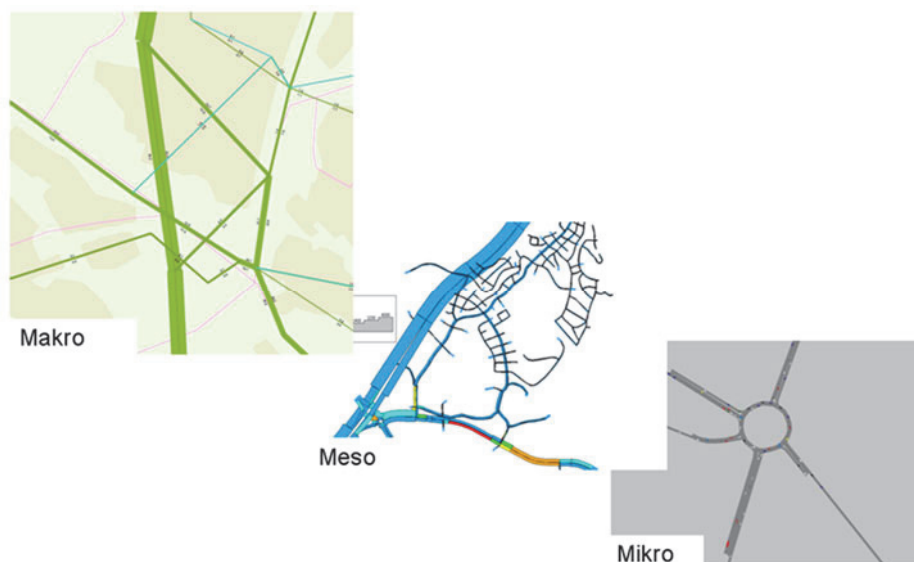
Trafikalstringstal är dock primärt avsedda för att hantera förändringar i markanvändningen och kan inte hantera effekter av stora investeringar i trafiksystemet.

Vid mer komplexa analyser med t.ex. stora förändringar i trafiksystemet som kan förändra färdmedelsval, destinationsval, resegenerering, restidpunkt och ruttval behöver avancerade och heltäckande trafikprognosmodeller användas. För detta ändamål har Trafikverket utvecklat *prognosmodellen* Sampers. Prognosmodellen kan även ibland kombineras med ovanstående metoder. Nedan beskrivs mera i detalj hur kapacitetsanalyser och simuleringar kan kombineras med prognosmodeller.

Prognosmodeller beskriver hur individer eller hushåll beter sig vid olika förutsättningar. Viktiga förutsättningar som matas in i prognosmodellerna är:

- markanvändning i form av boende och arbetsplatser
- makroekonomiska förutsättningar (realinkomstutveckling, konsumentprisindex)
- monetära reskostnader: Bränslepris, biljettpriser
- trafiksystemdata: Restider (hög/lågtrafik, bil/kollektivtrafik), avstånd, bytestider (kollektivtrafik), väntetider (kollektivtrafik), mm

Utifrån dessa indata beräknas sedan reseefterfrågan uppdelad på färdmedel, ärende och start/målpunkter. Genom att lägga ut denna reseefterfrågan i någon programvara (t.ex. EMME, VISUM) är det möjligt att beräkna ruttval. Efter detta behöver man för att genomföra simuleringar överföra efterfrågematriserna till simuleringsmodeller som oftast täcker ett mindre område än makromodellerna, se Figur 3. Därefter kalibreras efterfrågematriserna på en mer detaljerad nivå med hjälp av trafikstringstal och trafikräkningar. Beroende på hur makro- respektive mikro/mesomodellerna är uppbyggda behöver vanligtvis ett antal olika problem hanteras.



Figur 3 Illustration av olika detaljeringsgraderna makro, meso och mikro. Makromodellerna har ofta en grövre representation av såväl nätverk som områdesindelningar än mer detaljerade modeller. Detta medför att en förfining av områdesindelning behöver genomföras när efterfrågematriser flyttas från en makromodell till mer dynamiska simuleringsmodeller. Antingen görs först en förfining i makromodellen följt av nya prognoskörningar (vilket medför ett ganska omfattande arbete), eller så förfinas matrisen vid överföringen till simuleringsmodellerna genom så kallad disaggregering. Disaggregering kräver förutom att zoner/centroider (med tillhörande områdesnycklar) splittras upp, även någon metod eller antagande om hur resorna mellan de nya och mer förfinade indelningen som har samma ursprungscentroid fördelas. Denna metod kan vara grov (t.ex. om en ursprungscentroid ska delas upp på fem nya centroider så får vardera centroid 20 % av totalen) men behöver nästan alltid vara mer sofistikerad för att få full nytta av den finare områdesindelningen. Exempel på data som kan utgöra grund för fördelning av resor är boende (vid bostadsområden), arbetsplatser (rena arbetsplatsområden), antal parkeringsplatser (vid inköpcentra) eller en blandning av dessa.

Det andra problemet av vikt att hantera är *tidsprofilen* på efterfrågematriserna. Makromodellerna skapar i bästa fall en entimmesmatris medan simuleringsmodellerna minst behöver trafikefterfrågan uppdelat i 15 – 20 minutersintervall. En oftast alltför grov ansats är att trafikefterfrågan är konstant för dessa tidsperioder. Källor för detta arbete kan vara resvaneundersökningar (dessa innehåller dock stora osäkerheter), men kanske i större uträkning trafikräkningar. Resvaneundersökningar innehåller ofta information om starttidpunktsfördelningar, dvs. när resan har sin start. Detta är dock inte samma sak som tidsfördelningen i ett analysområde som ofta är ett mindre område eftersom det tar olika tid för olika resenärer att ta sig till det aktuella analysområdet. Tidsfördelningar kan därför med fördel hämtas ur resvaneundersökningar när det handlar om resor som har sin start i analysområdet. För andra resor som har sin start längre bort är det mer relevant att använda tidsfördelningar från trafikräkningar. Det vanligaste är att ansätta en eller möjligtvis två olika tidsfördelningar för de olika områdena i analysområdet, men ansatsen kan i princip vara hur avancerad som helst och ha olika fördelningar för alla centroider/områden i modellen. Eftersom detta problem är svårt att hantera helt i enlighet med verkligheten kan det vara en god idé att göra känslighetsanalyser med olika tidsprofiler.

Kunskapsluckor eller kanske framförallt forskningsbehov inom denna del handlar framförallt om att ta fram metoder/algoritmer för en fungerande matrisestimering/kalibrering mot befintliga trafikräkningar. Forskning pågår inom området, men svåra praktiska problem uppstår när man jämfört med statistiska jämviktsmodeller även måste hantera tidsdynamiken i simuleringsmodellerna. En närliggande frågeställning att ta hänsyn till i detta arbete är den definitionsmässiga skillnaden mellan trafikräkningar och verklig resefterfrågan. Trafiken som fångas upp av trafikräkningar är den del av resefterfrågan som trafiksystemet kan tillgodose.

2.5 Uppbyggnad av basmodell

Detta delkapitel behandlar själva modelluppbyggnaden, det tredje steget i arbetsprocessen (se Figur 1). Modelluppbyggnadsuppgiften består av att koda nätverket och mata in nödvändig data i det trafiksimuleringsprogram som ska användas. Hur nätverkskodningen och datainmatning ska göras rent praktiskt beror på valt trafiksimuleringsprogram. För att undvika felaktigt kodade nätverk bör alltid programmets manual studeras noggrant. Tips från användarforum och kollegor är också värdefulla men bör alltid kritiskt granskas och testas. Ändringar av vedertagna standardvärden bör alltid dokumenteras. Justeringar av parametersättningen för att uppnå bättre överensstämmelse med uppmätta data är en del av kalibreringsprocessen (se delkapitel 2.7).

Att bygga en simuleringsmodell kan liknas vid att bygga ett hus. Man startar med en ritning och bygger sedan varje element i sekventiell ordning: grund, stomme, tak, väggar och interiör. I en trafiksimuleringsstudie utgår man från en ritning och/eller ett flygfoto och kodar sedan modellen i sekventiell ordning; kodning av länkar, länkgeometrier, korsningar, trafikstyrning, trafikefterfrågan, förarbeteende och slutligen inställningar och parametrar för själva simuleringskörningarna.

Ibland kan modeller finnas klara men i andra typer av simuleringsprogram än det som är valt för den aktuella frågeställningen. Att konvertera från tidigare nät kan vara effektivt när simuleringsområdet är större. Då olika typer av simuleringar ofta kräver olika detaljeringsnivå, blir dock efterbearbetningen av automatkonverterade nätverk ofta så stor att det inte är en effektiv metod. Återvinning av OD-matriser kan dock vara av stort värde.

2.5.1 Länk-, korsnings- och zon/centroidnumrering

För att underlätta felsökning och analyser bör en strukturerad och konsekvent numrering av länkar/korsningar/zoner/centroider och andra objekt användas. En strukturerad numrering kan t.ex. baseras på vägtyp och väg/gatu- namn/nummer för att lättare kunna identifiera och analysera länkar av en viss typ eller längs med en viss vägsträckning. Exempel på schema för numrering av zoner och länkar finns i (Dowling et al. 2004).

2.5.2 Kodning av länkar och korsningar

Kodningsarbetet innebär alltid i någon mån förenklingar av verkligheten. Därför är det viktigt att tydligt redovisa de principer som kodningen av simuleringsmodellen följt. Exempelvis om hastigheten kodats enligt skyltad hastighet och att samtliga korsningar med väjningsplikt kodats enligt standardvärden. Vidare är det viktigt att kommunicera hur de förenklingar som gjorts bedöms påverka resultaten.

Länkar

Hastighetsbegränsning, antal körfält, körfältsbredd och lutning är egenskaper som är vanliga indata för enskilda länkar. Det kan även gå att ställa in vissa parametrar som styr förarbeteenden, t.ex. car-following och körfältsbyten. Följande arbetsmoment rekommenderas vid kodning av länkar:

1. Länkens sträckning kodas med hjälp av kartunderlag eller flygfoto. Vid behov läggs uppvärmningssträckor till för länkar som hanterar inkommande och utgående trafik för det studerade området.
2. Eventuella friflödes hastigheter kodas utifrån uppmätta hastigheter under frifordonsförhållanden, alternativt från skyltad hastighetsbegränsning.

3. Lutning kan behöva kodas om det bedöms påverka körbeteendet eller accelerationsförmågan hos tunga fordon. Lutningen är mycket viktigt vid starka lutningar och höga lastbilsandelar. Om inget specifikt indatafält finns för lutning kan justering av hastigheten eller andra parametrar för 'car-following' vara ett alternativ.
4. Antalet körfält kodas som faktiskt antal använda körfält snarare än antalet målade körfält. Vägavsnitt med olika antal körfält kodas lämpligen som separata länkar. Det är viktigt att även korta körfältsfickor vid korsningar kodas då dessa har stor påverkan på kapaciteten.
5. Restriktioner för länk eller för körfält kodas, t.ex. buss- eller cykelkörfält eller förbud mot tung trafik.
6. Busshållplatsers position och typ av hållplats läggs in.
7. Ev. justering av länkkopplade parametrar för förarbeteendet på den specifika länken. Ändringar av standardvärden för körbeteendet ska dock göras med försiktighet baserat på uppmätta värden eller erfarenhetsvärden.

Korsningar

Förutom korsningen geometri kodas även regleringsform (signal, cirkulation, stopp, väjning, etc.) samt konfliktmatrix, dvs. väjningsplikt/företrädesrätt mellan de olika trafikströmmarna. Följande arbetsmoment rekommenderas vid kodning av en korsning:

1. Bestäm vilken typ av korsning det handlar om (signalreglering /stopplikt/cirkulationsplats/väjning/högerregel).
2. Koda de svängrörelser som ska vara tillåtna samt eventuella restriktioner för vissa fordonsklasser.
3. Justera vid behov stopp- och väjningslinjer/punkter
4. Lägg till eventuella spärrlinjer som finns inne i korsningen
5. Gör en bedömning om körbeteendet i korsningen kan sägas vara av standardtyp eller om justeringar av parametersättningen behöver göras. Väjning är inte alltid tydligt styrd av formella regler utan beteendet kan variera mellan olika trafikmiljöer.

Anordningar för trafikstyrning

Med trafikstyrningsanordningar avses här främst trafiksignaler och andra typer av utrustning som påverkar trafiken på ett eller annat sätt. Det kan exempelvis handla om s.k. ramp metering som reglerar flödet i påfartsramper, variabla hastighetsgränssystem på trafikleder, variabla meddelandeskyltar eller detektorbaserade varningssystem för trafikincidenter. Beroende på vad man kommit fram till i databehovsarbetet bör ett antal beslut fattas under modellbyggandet. Nedan sammanfattas de aspekter som bör beaktas vad gäller trafikkontroller (detaljerad information finns i respektive anläggningskapitel, ex. kapitel 4 Motorvägar med trafikplatser och kapitel 6 Signalreglerade korsningar):

1. *Identifiera trafikstyrningsanordningar som påverkar trafiken.*
Som första steg i modellbyggandet är det viktigt att identifiera trafikkontroller som troligen påverkar trafiksystemet som ska studeras.
2. *Kontrollera underlag för trafikstyrningsanordningar.*
Nästa steg är att undersöka om det finns tillräckligt med underlag i form av signalritningar, funktions- och algoritmbeskrivningar eller dylikt som beskriver hur trafikstyrningsanordningen fungerar. Det är också viktigt att undersöka om eventuella samordningar finns mellan signalkorsningar. För simulering av alternativa trafikutformningar och/eller trafikefterfrågeperioder saknas ibland nödvändigt underlag avseende vilka förändringar av trafikstyrningen som kan förväntas i samband med förändrad utformning eller trafikefterfrågan.

3. *Kan och bör förenklingar göras?*
När det gäller trafiksignalskorsningar kan ambitionsnivån för simulering av signalfunktionerna variera stort. I en del fall kan det vara befogat att endast schematiskt koda in faser och gröntider medan det i andra fall bör hanteras noggrant. Oftast är det ambitionsnivån/budgeten som styr detta men framförallt bör det återkopplas med vad syftet med simuleringen är. Utförligare information finns i kapitel 6 Signalreglerade korsningar.
4. *Rätt simuleringsprogram?*
Om förenklingar inte kan göras och om trafikkontroller som påverkar trafiken är komplexa bör man även fundera på om trafiksimuleringsprogrammet som används är tillräckligt flexibelt. Vid en sådan situation kan det vara läge att komplettera med en annan modell som skulle kunna begränsas till det kritiska området. I andra fall kan det vara bättre att helt byta simuleringsprogram.

2.5.3 Kodning av centroider/zoner och trafikefterfrågan

Centroider/zoner är de platser där trafik läggs till eller tas bort från simuleringen, och representerar modellens avgränsning i rummet. De kan representera specifika bostadsområden, arbetsplatsområden, parkeringsplatser eller handelsområden. Eftersom trafiksimuleringsmodeller ofta avgränsas till mindre områden kommer centroiderna/zonerna behöva representera "resten" av trafiksystemet i en specifik riktning/väderstreck. En centroid/zon kan kopplas till en eller flera in- eller utlänkar i modellen. Vid koppling till mer än en in- eller utlänk behöver fördelningen över hur mycket trafik som anländer från en specifik centroid/zon till varje inlänk specificeras.

2.5.4 Kodning av ruttval

Ruttvalsmodelleringen är framförallt viktig för trafiknätverk med flera vägval mellan start och slutpunkter. Beroende på programvara kan olika alternativ finnas. Nedan presenteras ett sätt att kategorisera olika ruttvalsprinciper.

Ruttval baserat på svängandelar

- Ruttvalet är ett resultat av slumpdragningar som görs för varje fordon och korsning för att bestämma om fordonet ska svänga höger, vänster eller köra rakt fram. En av nackdelarna är att fordon får samma ruttvalsbeteende oavsett startpunkt, exempelvis går det inte att fånga att insvägande fordon från sidogator gör andra ruttval jämfört med fordon längs huvudvägen i en korridor. Ruttvalsmodellering med svängandelar kan också medföra "rundkörning" i nätverket. Svängandelar bör i princip endast användas för simulering av isolerade korsningar.

Ruttval baserat på fördefinierade rutter

- Användaren definierar vilka rutter som ska användas mellan två punkter i nätverket samt hur stor del av trafiken som använder respektive rutt. Punkterna kan antingen vara start och slutpunkt för fordonens resa men kan även vara punkter längs vägen.

Ruttval baserat på en OD-matris och en ruttvalsmodell

- Fixerat/Statiskt ruttval: ruttvalet förändras inte över simuleringsperioden. De rutter som används från en startpunkt till en slutpunkt utgör kortaste eller snabbaste väg baserat på hastighetsgränser eller uppvärmningssimuleringar.

- Dynamiskt ruttval: ruttvalet kan variera mellan förare och över tiden för en specifik OD-relation. För dynamiskt ruttval kan det även finnas möjlighet att modellera enbart ruttvalsbeslut före avresa eller ändring av ruttval under färd.

Dynamiskt ruttval är framförallt kopplat till dynamisk nätutläggning (*eng. Dynamic Traffic Assignment*). Dynamisk nätutläggning kan vara intressant vid användning av mikroskopisk trafiksimulering av större trafiknätverk, men genomförs oftast med en mesoskopisk trafiksimuleringsmodell. Dynamiskt ruttval kan dock vara lämpligast att använda om de alternativa utformningarna eller trafikefterfrågeperioderna som ska studeras förväntas påverka förarnas ruttval inom det studera området. Ruttvalsmodellering kan i vissa program specificeras på körfältnivå vilket kan användas för att tvinga fordon att välja en specifikt körfält beroende på dess destination.

2.6 Verifiering/kontroll/felsökning

Verifiering är den del av projektet där den skapade basmodellen kontrolleras för logiska fel, d.v.s. trafikanalytikern verifierar att basmodellen fungerar som den är avsedd att fungera. Verifiering genomförs enligt följande procedur⁸:

1. Undersökning av kända buggar och lösningar för aktuell programvara (Avsnitt 2.6.1)
2. Granskning av indata och kodning (Avsnitt 2.6.2)
3. Granskning av animering (Avsnitt 2.6.3)

Om det är ekonomiskt och resursmässigt möjligt kan det vara bra att dela upp kodningsarbetet och granskningsarbetet på två olika personer.

2.6.1 Mjukvarukontroll

Trafikanalytikern ska ha vetskap om kända buggar och lösningar för den valda programvaran/verktyget.

- Installera och använd den senaste stabila versionen med de senaste buggfixarna av programvaran/verktyget.
- Studera tillverkarens hemsida och användarforum för att få reda på de senast kända ”buggarna”, genvägar och knep.

2.6.2 Granskning av indata och kodning

Följande checklista⁹ är lämplig att använda för att verifiera inmatade data:

1. **Länkar och korsningar:**
 - a. Kontrollera kopplingar mellan länkar och noder (är alla kopplingar och tillåtna svängrelationer inlagda?).
 - b. Kontrollera länkgeometrier (stämmer längder, antal körfält, körfältsbredder, hastighetsgränser, vägtyp, etc.?).

⁸ baserad på Dowling et al. (2004) och Highways Agency (2007)

⁹ baserad på Dowling et al. (2004) och Highways Agency (2007)

- c. Kontrollera korsningsregleringar (stämmer typ av reglering (stopp, väjning, cirkulation, trafiksignal, samt data för regleringen, placering av stopplinje, signalinställningar, etc.?).
- d. Kontrollera att förbjudna svängrelationer, u-svängar, körfältsslut, körfältsavstängningar, körfältsbegränsningar är korrekt inmatade.

2. Kollektivtrafik:

- a. Kontrollera att alla busshållplatser är rätt placerade dvs. och av rätt typ (bussficka, körbanehallplats, klackhallplats, etc.).
- b. Kontrollera att alla busslinjer som ska tas med i modellen har rätt start och slutpunkt, kör rätt linjesträckning, stannar vid rätt hållplatser och kör enligt rätt tidtabell.
- c. Kontrollera att eventuell bussprioritering i signalreglerade korsningar fungerar som i verkligheten.

3. Trafikefterfrågan:

- a. Kontrollera placeringen av samtliga trafikgenererings- och destinationspunkter.
- b. Kontrollera fördelningen av fordonstyper vid varje genereringspunkt (centroid/nod/zon).
- c. Verifiera att totala zon/centroid trafikflöden stämmer.
- d. Kontrollera svängandelar (om sådana angetts).
- e. Kontrollera att de OD-flöden som modellen ger efter simulering stämmer med de tilltänkta och de inmatade OD-flödena.

4. Felloggar

- a. Följ alltid upp eventuella felmeddelanden och annan information som ges i dialogrutor eller loggfönster.
- b. Om verktyget har en funktion för att kontrollera nätverkskodningen, så använd den.

Följande procedur¹⁰ kan vara användbar för att strukturera och öka effektiviteten i felsökningsprocessen¹¹:

1. Jämför det kodade nätverket och flyg/satellit-foton över det studerade området för att översiktligt verifiera nätverkets geometri.
2. Vid stora nätverk bör en sammanställning av länkattribut göras så att dessa enkelt kan granskas.
3. Använd färgkodning för att identifiera länkar med speciella attribut (t.ex. färgkodningen efter hastighetsgräns, vägtyp, etc.). Extrema attributvärden kan enkelt identifieras om dessa ges en specifik färg. Avbrott i kontinuitet kan också identifieras enkelt (t.ex. en länk med 40 km/h i hastighetsgräns i en serie med länkar med 50 km/h i hastighetsgräns).

2.6.3 Granskning av animering

Animering ger analytikern möjlighet att studera det förar/fordonsbeteende som programvarans underliggande beteendemodeller ger och på sätt bedöma dess rimligheten och därmed programvarans användbarhet för den aktuella studien. Att köra simuleringsmodellen och studera animeringen, även med artificiell trafikefterfrågan, är ofta

¹⁰ baserad på Dowling et al. (2004) och Highways Agency (2007)

¹¹ En del av de föreslagna metoderna kanske inte är genomförbara eller inte är nödvändiga för vissa verktyg/programvaror.

ett bra sätt för att hitta kodningsfel. Följande tvåstegsprocedure¹² kan vara lämplig att använda för att strukturera arbetet

1. Kör simuleringsmodellen med extremt låg trafikefterfrågan (utan större köbildningar och trängsel). Spåra enskilda fordon från start- till slutpunkt och kolla om och var de eventuellt oväntat sänker hastigheten. Detta sker vanligen vid platser där det finns mindre kodningsfel som hindrar fordonen på sin väg över länkar och genom korsningar. Proceduren återupprepas helst för samtliga reserelationer.
2. När testerna med extremt låg trafikefterfrågan har genomförts så gör nya körningar med en trafikefterfrågan motsvarande 50 procent av den faktiska trafikefterfrågan. Vid denna trafikbelastning är efterfrågan normalt sett ännu inte så hög att den skapar trängsel. Om trängsel ändå uppstår i simuleringsmodellen kan det vara tecken på mer svårupptäckta kodningsfel som påverkar fördelningen av fordon mellan körfält eller fördelning av tidluckor mellan fordonen. Kontrollera in- och utlänkar för att verifiera att all efterfrågan laddas in och tas bort korrekt i modellen.

Animeringen ska granskas vid kända köbildnings- och trängselplatser för att bedöma om fordonens beteende verkar rimliga. Om fordonens beteende bedöms som oralistiskt eller orimligt ska analytikern beakta följande möjliga orsaker:

1. **Felaktiga förväntningar:** Analytikern ska först verifiera i fält att simuleringsmodellen ger oralistiskt beteende för den aktuella platsen och tidsperioden. Många gånger stämmer inte analytikerns förväntningar på fordonens beteende med hur de beter sig i det verkliga trafiksystemet. Studier på plats vid det verkliga trafiksystemet kan också ge svar på orsaker till förar/fordonsbeteende som inte ges intuitivt från kartor eller flygfoton. Dessa orsaker behöver förstås inkluderas i modellen om programvaran ska kunna producera realistiskt fordonsbeteende.
2. **Felkodning av analytikern:** Analytikern ska leta efter kodningsfel som orsaker det orimliga fordonsbeteendet. Subtila kodningsfel är den vanligaste orsaken till orimligt beteende. Subtila kodningsfel inkluderar vid första intrycket korrekt kodning av indata men som beroende på hur modellen använder det specifika indatavärdet för att beräkna fordonens beteende kan vara felaktig inmatad. Till exempel: en informationsskylt om nästa avfart från motorvägen står i verkligheten 500 meter uppströms avfarten. Programmet använder dock skyltens placering som den plats där förarna börjar anpassa hastighet och körfältsval för den kommande avfarten. Skylten måste då kanske placeras på en annan plats i simuleringsmodellen (förslagsvis på den plats i det verkliga trafiksystemet där förarna påbörjar sin anpassning till avfarten).

2.6.4 Kvarstående fel

Om simuleringen fortfarande inte beter sig som förväntat (efter fältverifiering av förväntningar och undanröjande av eventuella felkodningar) finns ytterligare möjligheter. Det önskade beteendet kanske inte går att återskapa med den valda programvaran eller kan bero på fel i denna. Begränsningar i programvaran kan identifieras genom noggrann genomläsning av manualer och andra dokument kopplade till den aktuella programvaran. Om begränsningar i programvaran är ett problem måste analytikern hitta en lösning genom att arbeta runt problemet och "tvinga" fram rätt beteende. Om begränsningarna är för stora måste kanske ett alternativt program användas. En annan lösning kan vara att skriva egen programkod via mjukvaru-interface (så kallade "Application Program Interface" API) som de flesta program tillhandahåller. Programfel kan undersökas genom att skapa små testmodeller

¹² baserad på Dowling et al. (2004) och Highways Agency (2007)

(till exempel en länk eller en korsning) där resultatet kan beräknas manuellt och jämföras med simuleringsresultatet. Programfel kan endast lösas genom kontakt och samarbete med programvaruutvecklaren.

2.7 Kalibrering

Kalibrering är nödvändig då ingen enskild programvara kan förväntas ge en helt korrekt beskrivning av alla möjliga trafiksituationer. Syftet med kalibreringen är att hitta den uppsättning av parametervärden som gör att modellen stämmer bäst överens med de lokala trafikförhållandena.

Vid simulering av *Nybyggnadsåtgärder* ska kalibrering genomföras med hjälp av data från simuleringar och analytiska beräkningar av jämförbara trafikanläggningar (den högra vägen i Figur 2). Detta på grund av att det inte finns något nuläge att simulera och därmed inga lokala trafikförhållanden att kalibrera modellen för. Det innebär att den högra vägen i Figur 2 som går via data från jämförbara studier och analytiska modeller användas.

Vid simulering av *Förbättringsåtgärder* ska kalibrering genomföras med hjälp av insamlade data för den nuvarande anläggningen.

För samtliga vägavsnitt ska, oberoende av datatillgång, en rimlighetsbedömning och trafikteknisk verifiering genomföras. Dvs en kontroll av att ex. restider, hastigheter, kölängder är rimliga i förhållande till vägtyp, hastighetsgräns och trafikflöde.

2.7.1 Rekommenderad arbetsprocess

Kalibrering kan vara en mycket tidskrävande uppgift och för att undvika att tappa kontrollen över vilka parametrar som justerats och hur de påverkar resultaten behövs en kalibreringsstrategi och ett systematiskt arbetssätt som inkluderar noteringar i en "kalibreringsloggbok". Följande övergripande kalibreringsstrategi rekommenderas¹³:

1. Bestäm vilka av parametrarna för den aktuella tillämpningen som är viktiga (läs mer under kalibrering för respektive anläggningskapitel).
2. Bestäm vilka parametrar som det finns "säkra" värden för samt vilka parametrar det inte finns "säkra" värden för och som därför kan behöva justeras.
3. Specificera lägsta och högsta tillåtna/lämpliga värde för varje parameter utifrån en trafikteknisk bedömning.
4. Verifiera att alla parametervärden är korrekt inmatade.
5. Justera globala och länkspecifika kapacitetspåverkande parametrar.
6. Justera globala och länkspecifika ruttvalspåverkande parametrar.
7. Finjustera parametrar för bättre överensstämmelse med avseende på hastigheter, restider, kölängder, etc.

Steg 5, 6 och 7 ovan är iterativa processer där:

1. simuleringsmodellen körs,
2. resultaten från simuleringskörningarna jämförs med data från
 - trafikmätningar i det verkliga trafiksystemet
 - skattningar från andra typer av trafikanalysverktyg (t.ex. analytiska modeller)
 - värden från jämförbara studier,
3. notering om hur bra överensstämmelsen är skrivs in i "kalibreringsloggboken" tillsammans med värden på överensstämmelsemått samt eventuella grafer och tabeller,
4. modellens parametrar justeras för att öka överensstämmelsen mellan simuleringsresultaten och det tillgängliga datamaterialet. Grundregeln är att endast en parameter justeras åt gången,

¹³ Baserad på Smith och Blewitt (2010) och Dowling et al. (2004)

5. vilken parameter som ändrats och dess nya värde skrivs in i "kalibreringsloggbooken",
6. simuleringsid/utdataid uppdateras.

2.7.2 Kalibreringsparametrar

En lista över i trafiksimuleringsprogram vanligt förekommande parametrar finns i avsnitt **Fel! Hittar inte referensälla**. Det finns ett par olika rapporter som ger förslag på ungefärliga parametervärden som kan användas för att specificera lägsta och högsta tillåtna/lämpliga värden.

- (Highways Agency 2007)¹⁴ presenterar förslag på värden och grafer för tidsavstånd, kritisk tidlucka, önskad och maximal retardation och acceleration för personbil och lastbil/buss, reaktionstid, minsta avstånd mellan stillastående fordon.
- (Archer et al. 2008)¹⁵ presenterar värden för accepterad tidlucka och minsta avstånd mellan stillastående fordon.
- (Vejdirektoratet 2010)¹⁶ presenterar förslag på värden för minsta avstånd mellan stillastående fordon, önskad tidlucka, parametrar kopplade till Vissim:s (PTV 2012) version av Wiedemanns car-following model (Wiedemann 1974, Wiedemann och Reiter 1992), kritisk tidlucka i korsningar och cirkulationsplatser, önskad hastighet, retardations- och accelerationsnivåer.

Kontrollera även om programvarans manual innehåller förslag på parametervärden och inom vilka gränser som parametervärden bör sättas enligt programtillverkaren.

Vilken eller vilka parametrar som är viktigast att justera beror på vilken(a) vägtrafikanläggning(ar) som studeras. Läs vidare om de viktigaste parametrarna för de olika vägtrafikanläggningarna under respektive anläggningsspecifikt kapitel (se ytterligare information om dessa under avsnitt **Fel! Hittar inte referensälla**.)

2.7.3 Jämförelse av resultat

Det finns en mängd olika mått och metoder som kan användas för att skatta hur bra resultaten från en trafiksimuleringsmodell stämmer med verkligheten. Vilken metod och vilket överensstämmelsemått som bör användas beror till stor del på antal mättillfällen i det dataset som används för kalibrering. Ytterligare en anledning till att det finns flera lämpliga mått och metoder är variationen/spridningen i mät- och simuleringsdata. I kalibreringsprocessen gäller det att ha förståelse och kunskap om att det finns

- variation mellan individuella fordon – ex. reshastigheten på en viss vägsträcka varierar mellan fordon – vilket ofta tas hänsyn till genom beräkning av genomsnittlig reshastighet (för samtliga fordonstyper eller per fordonstyp),
- variation över det studerade området – t.ex. den genomsnittliga reshastigheten kan variera längs med en viss vägsträcka,
- variation över den studerade tidsperioden – t.ex. den genomsnittliga reshastigheten på en viss vägsträcka varierar över den studerade

¹⁴

www.highways.gov.uk/knowledge_compendium/assets/documents/Portfolio/Guidelines-901.pdf

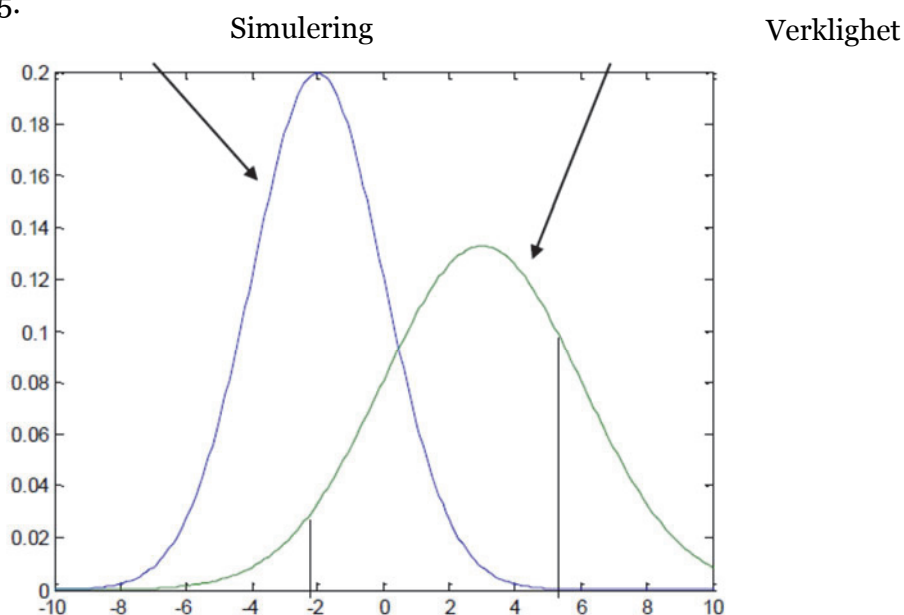
¹⁵ www.trafikanalysforum.se/sites/default/files/bibliotek/2010-01-13_115929_parametersattning.pdf

¹⁶ <http://vejregler.lovportaler.dk/showdoc.aspx?schultzlink=vd-20101203132000185>

tidsperioden – vilket vid stora variationer kan medföra ett behov av tidsserieanalyser

- variation mellan simuleringsupprepningar – t.ex. den genomsnittliga reshastigheten på en viss vägsträcka och tidsperiod varierar mellan simuleringsupprepningar med olika slumpfrön – vilket gör att utdata fås i form av observationer från en statistisk fördelning.
- variation mellan mättillfällena – ex. den genomsnittliga reshastigheten på en viss vägsträcka och tidsperiod varierar mellan olika mättillfällen – vilket gör att jämförelsedata fås i form av observationer från en statistisk fördelning.

Jämförelsen av resultaten från simuleringsmodellen och datasetet handlar i grund och botten om att avgöra huruvida observationerna från simuleringsmodellen följer samma statistiska fördelning som observationerna av verkligheten gör. Till exempel: följer medelrestiden från simuleringarna och datasetet på en specifik länk och tidsperiod samma fördelning (samma medelvärde och standardavvikelse). För att få en bra skattning av en fördelning krävs många observationer. För simuleringsmodellen är det antalet upprepningar som är antalet observationer och dessa kan enkelt ökas till en ringa kostnad i form av ökad exekveringstid (läs vidare om antal upprepningar under avsnitt 2.7.4). Kostnaden för att göra mätningar i fält är ofta relativt hög i förhållande till den totala kostnaden för ett simuleringsprojekt varvid antalet mätningar ofta är begränsat (i många fall till endast en eller ett par observationstillfällen). Jämförelsen blir då istället mellan en statistisk fördelning från simuleringarna och en eller ett par enskilda observationer, se illustration i Figur 4 och Figur 5.



Figur 4 Illustration av jämförelse av resultat från en simuleringsmodell (många observationer) och observationer av verkligheten (i detta fall två observationer)



Figur 5 Illustration av jämförelse av resultat från en simuleringsmodell (I detta fall tio upprepningar) och observationer av verkligheten (i detta fall två observationer)
 Figur 5 illustrerar aggregeringen av data från flera observationstillfällen/replikationer. Först beräknas medelvärden för varje replikation, t.ex. medelhastighet beräknat över de individuella fordonshastigheterna, och sedan beräknas medelvärdet över replikationsmedelvärdena, t.ex. medelhastighet beräknat över de tio replikationerna i exemplet ovan. Det viktigt att tänka på att spridningen/standardavvikelsen mellan replikationer inte är lika med spridningen mellan individuella fordon. Även spridningen mellan individuella fordon (t.ex. spridningen i hastighet) bör jämföras mellan simulerade och observerade dataset (Variansanalys). Först beräknas spridningen/standardavvikelsen per upprepning eller mätning, sedan beräknas medelspridningen över de simulerade upprepningarna och medelspridningen över mättillfällena.

Datakvalitet

Det är av största vikt att säkerställa kvaliteten i insamlade kalibreringsdata. Om kalibreringsdata innehåller felaktigheter är kalibreringsprocessen meningslös. Det är därför viktigt att kontrollera att trafikförhållanden vid mättillfället inte påverkats av följande faktorer:

- Dåligt väder
- Vägarbeten
- Incidenter eller olyckor
- Speciella evenemang

Det är således viktigt att säkerställa att trafikförhållandena vid insamlingstillfället stämmer överens med de trafikförhållanden som modellen är tänkt användas för.

Val av jämförelsemått

Följande saker är viktiga att tänka vid valet av jämförelsemått¹⁷

- Undvik jämförelsemått som låter fel med liknade storlek men med olika tecken balansera ut varandra (ex. percent error (PE), mean error (ME), mean normalized error (MNE)).

¹⁷ Baserat på Hollander och LiU (2008)

- Använd istället jämförelsemått där felet kvadreras (ex squared error (SE), root mean squared error (RMSE), root mean squared normalized error (RMSNE)). Använd en konsistent metod för att para ihop simulerade och observerade värden.
- Alternativt jämför fördelningar (t.ex. med hjälp av Kolmogorov–Smirnov test, t-test eller andra två-sampel test) för att undvika behovet av ihopparning och oönskad effekt av små fel.
- Om simuleringsmodellen är tänkt att användas för variansstudier bör jämförelsemåttet ta hänsyn till variationen i modellutdata.

Många observationer i datasetet

Om datasetet innehåller många observationer (flera mättillfällen) så att det är möjligt att med tillräcklig säkerhet uttala sig om medelvärdet, kan jämförelsemått såsom "Squared Error" (SE), "Root Mean Squared Error (RMSE)" eller "Root Mean Squared Normalized Error" (RMSNE) användas, se definitioner nedan.

$$SE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}$$

$$RMSNE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - y_i}{y_i}\right)^2}$$

där x_i är simulerad värde, y_i är observerat värde och N är antalet observationer. Indexet i kan användas i fler olika dimensioner. Den vanligaste dimensionen¹⁸ är tiden (dvs. om tiden är uppdelad i tidsperioder så avser x_i det simulerade medelvärdet för tidsperiod i). En annan möjlighet är att låta index i motsvara olika vägsträckor, detektorer eller mätplatser. Det är viktigt att observera att x_i är medelvärdet över flera simuleringsupprepningar och att y_i är medelvärdet över flera mättillfällen och att jämförelsemåtten ovan inte tar hänsyn till osäkerheten i medelvärdesskattningarna.

Ett alternativt och ofta använt mått som kan användas som systemindikator för aggregerade data är GEH-index, som kan användas precis som SE, RMSE och RMSNE beräknas det för N stycken par (simulering-observation). GEH beräknas som (<5 indikerar en god överensstämmelse). GEH-index har dock inte någon statistik koppling.

$$GEH_i = \sqrt{\left(\frac{2(x_i - y_i)^2}{(x_i + y_i)}\right)}$$

För att ta hänsyn till osäkerheten i medelvärdesskattningarna rekommenderas att "squared error"-jämförelserna kompletteras med ett två-sampel test, ex t-test eller Kolmogorov–Smirnov test. Ett t-test förutsätter att testvariabeln följer en normalfördelning medan Kolmogorov–Smirnov test inte har några underliggande antagande om testvariabelns fördelning.

Jämförelsemåtten SE, RMSE och RMSNE ger endast information om hur stort felet mellan de simulerade och observerade värdena är. Ett jämförelsemått som även ger information om hur väl variationen över tiden stämmer överens mellan de simulerade och observerade data är Theil's U , som kan delas upp i U_M , U_S och U_C .

¹⁸ Enligt Hollander och LiU (2008)

$$\left. \begin{aligned} U_M &= \frac{N(\bar{y} - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \\ U_S &= \frac{N(s_y - s_x)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \\ U_C &= \frac{2(1 - \rho)s_x s_y}{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \end{aligned} \right\} \rightarrow U_M + U_S + U_C = 1$$

där \bar{x} och \bar{y} är medelvärdet över tiden för de simulerade och observerade data, s_x och s_y är standardavvikelsen och ρ är korrelationskoefficienten. U_M är en uppskattning på felets storlek medan U_S är skattning av hur väl variationen i de båda mätserierna stämmer överens. Det sista måttet U_C beskriver hur väl de båda mätserierna samvarierar. För U_M och U_S önskas ett nollresultat medan U_C bör ligga så nära 1 som möjligt.

Få observationer i datasetet

Om vi endast har få observationer i datasetet är det svårt att göra parade jämförelser. Frågeställning blir då snarare är det troligt att modellen kan generera resultat liknande de observerade värdena? Detta kan studeras med hjälp av ett prediktionsintervall som beskriver det intervall inom vilket en ny observation kan förväntas hamna. Ett 95-procentigt prediktionsintervall beskriver alltså inom vilket område som en ny observation med 95-procents säkerhet kommer att hamna i. Om de observerade mätvärdena ligger utanför intervallet behöver kalibreringsåtgärder vidtas, annars kan modellen med relativt stor säkerhet generera resultat som motsvarar de observerade värden (därmed dock inte sagt att det finns en god överensstämmelse). Då de observerade datasetet är begränsat finns väldigt lite information om t.ex. de observerade mätvärdena ligger under eller över det sanna medelvärdet. Ett prediktionsintervall för medelvärdet av en normalfördelad variabel beräknas som

$$\bar{x} \pm t_{N-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right) s \sqrt{1 + \frac{1}{N}}$$

där \bar{x} och s är medelvärdet respektive standaravvikelsen för de genomförda simuleringsupprepningarna, N är antalet simuleringsupprepningar och $t_{N-1} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$ är värdet från student t-fördelningen för konfidensnivån $\alpha/2$ med $N - 1$ frihetsgrader.

Exempel på beräkning av prediktionsintervall i Excel :

```
MEDEL(data) ± T.INV(1-alpha/2; ANTAL(data) - 1) * STDAV.S(data) * ROT(1+1/ANTAL(data))
```

2.7.4 Beräkning av antal simuleringsupprepningar

För att öka säkerheten i de resultat som simuleringsmodellen ger behöver flera upprepningar genomföras. Hur många upprepningar som behöver genomföras beror på vilken konfidensnivå och felmarginal som önskas. Ett sätt att uppskatta nödvändigt antal upprepningar är

$$n = \left(\frac{s \cdot t_{\alpha/2}}{\bar{x} \cdot \epsilon} \right)^2$$

där n är nödvändigt antal upprepningar, s är standardavvikelsen för det studerade trafikmättet, \bar{x} är medelvärdet för det studerade trafikmättet, ϵ är tillåten felmarginal uttryckt i procent av medelvärdet och $t_{\alpha/2}$ är värdet från student t-fördelningen för konfidensnivån $\alpha/2$. Standardavvikelsen s och medelvärdet \bar{x} är okända men kan skattas genom att ett antal (ex. 4-6) test simuleringsupprepningar körs. Ofta är det tänkt att flera

trafikmått ska studeras i flera tidsintervall. Beräkningen av nödvändigt antal upprepningar behöver då genomföras för samtliga trafikmått, intervall och mätplatser. Den kombination av trafikmått, tidsintervall och mätplats kräver flest antal upprepningar bestämmer antalet upprepningar som behöver genomföras.

Exempel på beräkning av minsta antal upprepningar i Excel :

```
((STDAV.S(data)*T.INV(1-alpha/2;ANTAL(data)-1))/(MEDEL(data)*epsilon))^2
```

2.7.5 Upplösningens påverkan på resultaten

Upplösningen är måttet på antal beräkningar som en trafiksimuleringsmodell gör per sekund, dvs. 1 / simuleringsstidssteget. Detta har betydelse då ett fordon t ex söker en tidlucka för att väva in i en cirkulationsplats. De flesta trafiksimuleringsprogram tillåter tidssteg på 0,1 sekunder och uppåt. Upplösningen bör hållas hög (dvs. ett kort tidssteg) men en anledning till att använda en lägre upplösning är att beräkningarna blir betydligt snabbare vilket framförallt är intressant vid simulering av större trafiksystem. Tabell 3 visar ett exempel på hur kapaciteten kan påverkas vid simuleringar av en typkorsning med olika upplösningar. Som synes i tabellen ger en högre upplösning i detta fall en lägre kapacitet. Kapaciteten skiljer sig ca 5-procent mellan den lägsta och högsta upplösningen. Upplösningen i sig bör inte användas som en kalibreringsparameter men det är viktigt att vara medveten om att vald upplösning påverkar simuleringsresultaten.

Tabell 3 Exempel på hur upplösningen i ett simuleringsprogram kan påverka kapacitet i en cirkulationsplats

| Upplösning | 60 min | 10 min | 2 min |
|-------------------|--------|--------|-------|
| 1 tidssteg / sek | 1235 | 1254 | 1312 |
| 3 tidssteg / sek | 1222 | 1236 | 1320 |
| 5 tidssteg / sek | 1184 | 1212 | 1267 |
| 7 tidssteg / sek | 1175 | 1207 | 1245 |
| 10 tidssteg / sek | 1174 | 1204 | 1305 |

2.7.6 Ruttkalibrering

Ruttkalibrering är precis som ruttvalsmodelleringen framförallt viktig för trafiknätverk med flera vägval mellan start och slutpunkter. Ruttkalibreringen handlar i övergripande drag om att justera parametrar kopplade till förarnas ruttval så att fördelningen av trafikflödet på rutter och länkar har god överensstämmelse med verkliga rutt- och länkflöden. Oftast finns dock endast mätningar på länkflöden vilket försvårar ruttkalibreringen. Ruttkalibreringen försvåras ytterligare av att OD-matriserna oftast innehåller stora osäkerheter. Läs vidare om ruttkalibrering i kapitlet 15 *Simulering i projekteringsprocessen* och i Chiu et al. (2010)

2.7.7 ”Kalibrering” av alternativa utformningar och trafikefterfrågan

Beroende på vilka alternativa analyser och/eller framtida trafikefterfrågan som ska genomföras så ställs olika krav på kalibreringen. Parametervärdena ska inte enbart ge en bra

överensstämmelse för nuläget utan måste även vara giltiga för de alternativa analyser och framtida flöden som ska studeras. Detta är förstås svårt att säkerställa då de alternativa utformningarna och trafikefterfrågenivåerna oftast inte finns i verkligheten. Här får istället erfarenheter och simuleringar från liknande vägtrafikanläggningar användas. Granskning av animeringen är ett annat viktigt verktyg i detta steg.

2.8 Validering och känslighetsanalys

I valideringsfasen kontrolleras att modellen är representativ, inte enbart för de trafikmätningar som användes under kalibreringsprocessen utan även, i mer generella termer, för det trafiksystem som studeras. Om oacceptabla skillnader mellan modellresultat och valideringsdata upptäcks är det nödvändigt att gå tillbaka till modelluppbyggnadssteget eller kalibreringssteget för att modifiera modellen eller justera dess parametrar.

Validering av en trafiksimuleringsmodell är endast möjligt i det fall att flera dataset finns, se Figur 2 med tillhörande diskussion under avsnitt 2.2. Tyvärr har ofta uppdragsgivarna inte de nödvändiga ekonomiska resurserna för att samla in och genomföra tillräckligt med trafikmätningar för att möjliggöra validering. En modell som enbart är kalibrerad är inte oanvändbar men då den inte är validerad finns osäkerhetsfaktorer som gör att slutsatser och diskussion kring resultat måste göras med största försiktighet.

När ett andra dataset finns och validering kan genomföras, används samma typ av metoder för jämförelse av simuleringsresultat och observationer som under kalibreringsprocessen (se avsnitt 2.7.3). Validering handlar således om att göra om jämförelseproceduren som användes i kalibreringsfasen med ett nytt dataset för att säkerställa att modellen inte enbart ställts in för att passa det dataset som användes under kalibreringen.

Vid simulering av *Bygg Nytt-åtgärder*

- kan ingen validering genomgöras då inget nuläge existerar och det därmed inte finns några mätdata finns för validering. Validering ersätts av högre krav på känslighetsanalyser enligt avsnitt **Fel! Hittar inte referenskölla..**

Vid simulering av *Bygg Om-åtgärder* ska

- validering genomföras med hjälp av insamlade data om kraven på tillförlitlighet i resultat är höga. Kraven på hög tillförlitlighet i resultat kan t.ex. vara systemkritiska trafikanläggningar eller högbelastade trafikanläggningar.

Som komplement till beräkningen av jämförelsemått ska alltid en **känslighetsanalys** genomföras. Syftet med känslighetsanalysen är att studera hur känsligt modellresultaten är för förändringar i parametervärden och indata. Om små förändringar i något parametervärde leder till stora förändringar i simuleringsresultatet är det viktigt att ta en extra fundering kring hur säkert det valda parametervärdet är. För de parametrar som uppvisar stor påverkan vid liten förändring och där det dessutom finns osäkerhet i valet av parametervärde bör flera parametervärden testas vid simulering och jämförelse av de alternativa utformningarna och trafikefterfrågeperioderna. Det är viktigt att observera att resultatet från känslighetsanalysen endast är giltigt med utgångspunkt från de startvärden som används och att känslighetsanalysen därför måste genomföras efter genomförd kalibrering och validering.

Vid simulering av *Bygg Nytt-åtgärder* ska

- känslighetsanalyser genomföras genom att ändra trafikefterfrågan i flera steg (både minskning och ökning) för att studera hur de för trafikanläggningen relevanta effektmåtten påverkas. Detta avser t.ex. flöde, svängandelar, fordonssammansättning. Känslighetsanalyser bör genomföras avseende kalibreringsparametrar med stor osäkerhet.

Vid simulering av *Bygg Om-åtgärder* bör

- känslighetsanalyser genomförs genom att ändra trafikefterfrågan i flera steg (både minskning och ökning) för att studera hur de för trafikanläggningen relevanta effektmåten påverkas. Detta avser t.ex. flöde, svängandelar, fordonssammansättning. Känslighetsanalyser bör genomföras avseende kalibreringsparametrar med stor osäkerhet.

2.9 Analys av olika alternativ/scenarier

Vid simulering av *Nybyggnadsåtgärder* och *Förbättringsåtgärder* ska

- den analysmetod som använts redovisas.
- om och hur visuell bedömning genomförts redovisas.
- en bedömning av säkerheten i analysen görs.
- relevanta statistiska metoder användas för effektmått som kan kvantifieras från simuleringsmodellen (se vidare under 2.9.3).

2.9.1 Rekommenderad arbetsgång:

Följande arbetsgång rekommenderas för jämförelse mellan de alternativa utformningarna och/eller trafikefterfrågeperioderna

1. Utifrån syfte och problembeskrivning (se avsnitt 2.3.1) definiera lämpligt antal scenarier.
2. För varje scenario ta fram och dokumentera frågeställningar och hypoteser (Det är rekommenderat att detta görs redan under syfte och problembeskrivning, se avsnitt 2.3.1 och att detta steg endast är en genomgång och revidering)
3. Skapa en jämförelsehierarki. Om det finns flera alternativ som ska studeras välj ut vilka jämförelser som ska genomföras. Undvik att jämföra allt mot allt.
4. Bestäm vilka effektmått som ska användas för att besvara hypoteserna och säkerställ att nödvändig data för beräkning av dessa effektmått finns tillgängliga och sparas från simuleringen.
5. Bestäm konfidensnivå och beräkna antal upprepningar som behövs (se avsnitt 2.7.4)
6. Koda de alternativa utformningarna och trafikefterfrågeperioderna (se avsnitt 2.5 Uppbyggnad av basmodell).
7. Genomför verifiering och "kalibrering" (se avsnitt 2.7.7) för de alternativa utformningarna och trafikefterfrågeperioderna.
8. Kör simuleringar
9. Genomför statistisk hypotesprövning (läs vidare under avsnitt 2.9.3)
10. Genomför känslighetsanalys (se avsnitt **Fel! Hittar inte referensälla.**)

2.9.2 Beräkning av effektmått

Olika trafiksimuleringsprogramvaror beräknar inte alltid effektmått på samma sätt. Dowling (2007) presenterar en sammanställning över hur några av de vanligaste trafiksimuleringsprogramvarorna beräknar de vanligaste effektmåtten såsom restid, fördröjning, hastighet, densitet, etc.

Vad det gäller hastighet är det viktigt att observera att en del programvaror redovisar både time mean speed och space mean speed¹⁹. För att undvika bias vid beräkning av reshastighet ska alltid space mean speed (dvs. harmonisk medelvärde över enskilda hastighetsobservationer) användas.

Fördröjning beräknas som aktuell restid i förhållande till en ostörd restid. Hur denna ostörda restid beräknas varierar. Det är önskvärt att den ostörda restiden beräknas individuellt för varje fordon utifrån fordonens önskade hastighetsprofil.

Beräkningen av kölängd varierar mellan olika programvaror. Vissa programvaror tillåter dessutom att användaren själv sätter villkoren för när ett fordon ska räknas som köande eller inte. Detsamma gäller definition och beräkning av antalet fordon som stannar "helt" (*eng. stopped vehicles*).

För att komma tillrätta med problemen med olika definitioner av effektmått i olika programvaror och mellan modelltyper presenterades i kapitel 7 & 24 i HCM 2010 (Transportation Research Board 2010) en analysmetod baserad på fordonstrajektorer från trafiksimuleringsmodeller. Istället för att använda de inbyggda statistikberäkningarna i trafiksimuleringsprogramvaran sparas istället varje enskilt fordonens körförlopp (trajektor). Ett separat trajektoranalysverktyg används sedan för att beräkna effektmåtten enligt en gemensam definition. Det verktyg (VTAPE) som utvecklats inom HCM 2010 projektet är dock tyvärr inte publikt tillgängligt ännu. Nackdelen med trajektoranalys är att det trajektordatafilerna ofta blir stora då det handlar om att spara data om varje enskild fordon åtminstone en gång i sekunden (helst oftare än så).

Modells kattning av kapacitet

Trafiksimuleringsmodeller ger inte kapacitet som utdata utan ger antal fordon som passerat en given punkt per tidsenhet. För att få en modells kattning av kapacitet måste därför användaren modifiera trafikefterfrågan för att skapa en kö uppströms den plats där kapaciteten ska skattas.

För ej signalreglerade vägsträckor (såsom motorvägar och landsvägar) bör det vara stadigvarande köbildning i samtliga körfält under åtminstone 15 minuter. Kapaciteten kan då skattas som medelflödet beräknat över samtliga körfält vid en detektorstation vid mätplatsen. För signalreglerade korsningar bör kapaciteten istället skattas per körfält genom att beräkna medelflödet per körfält som passerar stopplinjen vid stadigvarande köbildning. För att få en kapacitetss kattning liknande den kapacitetsberäkning som analytiska modeller såsom exempelvis CAPCAL ger:

- bör, för stopp/väjning och cirkulationsplats, flödet endast ökas för den korsningstillfart som kapaciteten ska beräknas för.
- bör, för signalreglerade korsningar, flödet ökas så att gröntidsandelarna och mätnadsflödena inte förändras efter flödesökningen.

Som alternativ till beräkning av kapacitet för en given punkt kan även ett systemövergripande kapacitetsmått för hela det simulerade nätverket beräknas. Detta kan till exempel göras genom att gradvis öka trafikefterfrågan till dess att antalet fordon som passerar igenom trafiksystemet under en timme är lägre än trafikefterfrågan.²⁰

Modells kattning av belastningsgrad

¹⁹ För definition av time mean och space mean speed se del I av metodbeskrivningarna

²⁰ Baserat på opublicerad metod utvecklad av Henki Refsnes och Tobias Thorsson

Belastningsgraden för en given punkt skattas lämpligen genom att dividera aktuellt flöde förbi punkten med modellskattad kapacitet. Som alternativ till beräkning av belastningsgrad för en given punkt kan även ett systemövergripande belastningsgradsmått för hela det simulerade nätverket beräknas. Belastningsgraden skattas då som antalet fordon som passerar igenom systemet under en timme dividerat med en skattning av den systemövergripande kapaciteten enligt ovan.²¹

2.9.3 Jämförelse och hypotesprövning

Precis som i kalibreringen handlar jämförelse av resultat från simuleringar av två olika utformningsalternativ eller trafikefterfrågeperioder om att jämföra två olika fördelningar. Jämförelsen kan delas upp i två delar:

1. är det någon skillnad mellan alternativen?
2. hur stor verkar skillnaden vara?

För att bedöma om det är någon skillnad mellan alternativen bör en statistisk hypotesprövning genomföras. Den görs lämpligen både för medelvärden och standardavvikelse genom ett två-sampel test. I Bilaga A - Hypotesprövning finns en sammanfattad beskrivning av hypotesprövning, för ytterligare information om hypotesprövning se exempelvis Grandin (2003).

Som komplement till hypotesprövningen bör skillnad i absoluta och relativa tal också redovisas, antingen i tabellform eller i form av diagram.

2.10 Dokumentation

En strukturerad och utförlig dokumentation är viktig ur såväl uppdragsgivarens som utförarens perspektiv (för kunskapsöverföring mellan kollegor, vid tilläggsbeställningar, som referensmaterial, etc.).

Dokumentationsfasen startar med genomgång och eventuell renskrivning av loggboken. De i loggboken nedskrivna antaganden, förenklingar, oklarheter, etc. skrivs rent och lyfts in i en slutrapport. Innehåll och omfattning på dokumentationen kan variera beroende projektets storlek. Dokumentationen bör tydligt redovisa

- Bakgrund inklusive beskrivning av studieområdet och eventuella alternativa utformningar
- I vilket syfte en simulering har gjorts
- Vilka avgränsningar som gjorts
- Vilka indata som använts och hur dessa har kvalitetssäkrats
- Vilka antaganden som gjorts och motiv till varför de gjorts (exempelvis antagande om resefterfrågan)
- Information om använd programvara/or, version, motivering av val av modelltyper och programvaror
- Information om modellen är kalibrerad, kalibreringens omfattning och utfall
- Information om modellen är validerad, valideringens omfattning och utfall
- Slutsatser underbyggda med tabeller/grafar samt statistisk analys.
- Information och diskussion kring osäkerhetsfaktorer och hur dessa kan tänkas påverka resultatet av simuleringen.

Ett förslag till dokumentmall för dokumentation av trafiksimuleringsuppdrag finns i Bilaga B - Dokumentationsmall

Vid simulering av *Nybyggnadsåtgärder* och *Förbättringsåtgärder* ska

²¹ Baserat på opublicerad metod utvecklad av Henki Refsnes och Tobias Thorsson

- dokumentation, indata, modell och annat beräkningsunderlag levereras till beställaren i enlighet med ABK09 (Byggandets kontraktskommitté 2010).

2.11 Litteraturreferenser

Se kapitel 1 Inledning avsnitt 1.5.

Bilaga A - Hypotesprövning

För att bedöma om det är någon skillnad mellan alternativen bör en statistisk hypotesprövning genomföras. Den görs lämpligen med ett två-sampel test. För **normalfördelade** effektmått används lämpligen ett mellangrups t-test. Observera att det är medelvärdena från upprepade simuleringar respektive mätningar som behöver vara normalfördelade, detta krav är i allmänhet uppfyllt om antalet upprepningar är tillräckligt stort (centrala gränsvärdessatsen). Antingen används nollhypotesen ingen skillnad och alternativa hypotesen att det är skillnad, ex: $H_0: \mu_x - \mu_y = 0$

$$H_a: \mu_x - \mu_y \neq 0$$

där μ_x och μ_y är genomsnittligt värde för det effektmått som studeras för alternativ x och y . Detta är ett tvåsidigt t-test där det endast undersöks om det finns någon skillnad. I trafiksimuleringsanalyser finns oftast underliggande hypoteser om att alternativ A är bättre än alternativ B, ex kortare restid, och ibland även kvantifierat, t.ex. 5 % kortare restid. Det är då bättre att genomföra ett ensidigt t-test med

$$H_0: \mu_x - \mu_y \geq \Delta\mu$$

$$H_a: \mu_x - \mu_y < \Delta\mu$$

eller tvärtom beroende på om hypotesen gäller större eller lägre värde på effektmåttet i fråga. Nollhypotesen förkastas om

$$t^* > t_{n_x - n_y - 2}(\alpha)$$

där $t_{n_x - n_y - 2}(\alpha)$ är värdet från student t-fördelningen för konfidensnivån α med $n_x - n_y - 2$ frihetsgrader och t^* beräknas som

$$t^* = \frac{(\bar{x} - \bar{y}) - \Delta\mu}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_x} + \frac{s_p^2}{n_y}}}$$

där s_p^2 är den så kallade poolade variansen och beräknas som

$$s_p^2 = \frac{(n_x - 1) \cdot s_x^2 + (n_y - 1) \cdot s_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

där s_x^2 och s_y^2 är variansen för x respektive y . Statistisk hypotesprövning med exempelvis t-test kan med fördel genomföras med hjälp av något datorhjälpmedel såsom Excel, MATLAB/Octave, SPSS, SAS, etc.

A1 Exempel på t-test beräkningar i Excel

Exempel på beräkning av poolad varians s_p^2 i Excel:

```
((ANTAL(data1)-1)*STDAV.S(data1)^2+(ANTAL(data2)-1)*STDAV.S(data2)^2)/(ANTAL(data1)+ANTAL(data2)-2)
```

Exempel på beräkning av t-statistikvariabeln t^* i Excel:

```
(MEDEL(data1)-MEDEL(data2))/ROT(SP2/ANTAL(data1)+SP2/ANTAL(data2))
```

Exempel på beräkning av student t-värde $t_{n_x-n_y-2}(\alpha)$ i Excel:

```
T.INV(alpha;frihetsgrader)
```

Exempel på beräkning av sannolikhet att förkasta nollhypotesen fast den är sann (p-värdet) i Excel:

```
T.TEST(data1;data2;1=ensidigt;2=tvåsample test med lika varians)
```

Bilaga B - Dokumentationsmall

- 1. Bakgrund**

Beskrivning av bakgrunden till den aktuella studien. Beskrivning av studieområdet och eventuella alternativa utformningar som är tänkta att utvärderas
- 2. Syfte och avgränsningar**

Beskriv syftet med studien samt vilka frågeställningar och hypoteser studien svarar på. Presentera vilka geografiska och andra typer av avgränsningar som har gjorts.
- 3. Antaganden och förenklingar**

Beskriv de antagande och förenklingar (inklusive motivering) gällande exempelvis, trafikprognoser, andel tung trafik, signalreglering, etc. som har gjorts.
- 4. Indata**

Information om använd indata, speciellt trafikefterfrågan men även förarparametrar. Information om hur datainsamling genomförts och hur indata har kvalitetssäkrats.
- 5. Programvaror/modeller**

Beskriv kort de modelltyper och programvaror som använts. Vilka versioner av programvarorna har använts och varför har dessa modellertyper och programvaror valts för denna analys.
- 6. Kalibrering**

Beskriv den kalibrering som genomförts, beskriv kalibreringens omfattning och utfall.
- 7. Validering**

Beskriv om modellen genomgått någon validering och i så fall beskriv valideringens omfattning och utfall.
- 8. Känslighetsanalys**

Beskriv den känslighetsanalys med avseende på resultatens känslighet för förändringar i trafikflöde och/eller kalibreringsparametrar som genomförts.
- 9. Analys/Slutsatser**

Beskriv vilka analyser som genomförts samt hur de har genomförts. Presentera analyser och slutsatser underbyggda med tabeller/grafier samt statistisk analys.
- 10. Osäkerhetsfaktorer**

Beskriv de viktigaste osäkerhetsfaktorerna för denna studie. Presentera en diskussion kring hur dessa kan tänkas påverka resultatet av den aktuella simuleringsstudien.

Innehåll

Kapitel 3 Simulering i projekteringsprocessen

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3 | Simulering i projekteringsprocessen | 52 |
| 3.1 | Planering i projekteringsprocessen | 52 |
| 3.1.1 | Planprocessen före och efter 2013-01-01..... | 52 |
| 3.1.2 | Simulering i planprocessen t.o.m. 2012..... | 53 |
| 3.2 | Krav på kapacitetsanalyser | 54 |
| 3.3 | Ny planeringsprocess och nya entreprenadformer | 55 |
| 3.4 | Prognos | 56 |
| 3.5 | Beroende mellan teknikområden | 57 |
| 3.6 | Vägutformning och simulering | 58 |
| 3.7 | Brister och utvecklingspotential | 59 |
| 3.8 | Litteraturreferens | 59 |

3 Simulering i projekteringsprocessen

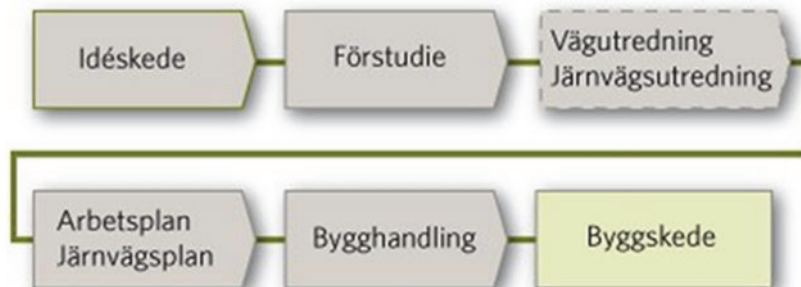
Författare: Joakim Köhler

Granskare: Jeffery Archer; Benny Bergstrand; Kristina Schmidt

3.1 Planering i projekteringsprocessen

3.1.1 Planprocessen före och efter 2013-01-01

När Trafikverket planerar och bygger väg och järnväg börjar arbetet med en omfattande planeringsprocess. Den bestod t.o.m. 2012 av idéskede, förstudie, väg- och järnvägsutredning och arbets- eller järnvägsplan enligt figur 1 nedan. Planeringen enligt denna process blev successivt allt mer detaljerad. Kommuner var dock inte bundna lika strikt av denna process men principen var likartad.



Figur 1 Skeden i planeringsprocessen t.o.m. 2012

En ny planprocessen infördes den 1 jan 2013 och används i den 2013 pågående åtgärdsvalsprocessen, se figur 2 nedan.



Figur 2 Skeden i planeringsprocessen fr.o.m. 2013

Åtgärdsvalsstudie

Planeringen av en väg eller järnväg börjar när brister i transportsystemet har identifierats med en *åtgärdsvalsstudie* ska behandla vilka typer av åtgärder som är möjliga för att lösa ett transportproblem. Studien bedrivs enligt *fyrstegsprincipen* som stegvis analyserar vilka typer av åtgärder som behövs:

1. **Tänk om.** Kan transportbehoven minskas eller andra transportsätt användas, kan behovet av resande påverkas, kan viss trafik som i dag går på väg flyttas över till järnväg eller kan kollektivtrafiken utvecklas?
2. **Optimera.** Kan väg- eller järnvägsnätet utnyttjas effektivare, till exempel genom hastighetsanpassning, variabla hastigheter eller trafikreglering?
3. **Bygg om.** Går det att lösa problemen genom förbättringar och mindre ombyggnader, till exempel breddning, förlängning av plattformar vid stationer, rätning av kurvor eller förstärkning?
4. **Bygg nytt.** Krävs nyinvesteringar eller större ombyggnader, till exempel en ny trafikplats, en ny mötesstation eller en helt ny väg eller järnväg?

I åtgärdsvalsstudien utreds först om det är möjligt att lösa problemet genom åtgärder enligt steg 1 och 2. Om det inte är möjligt går vi vidare till en konkret byggåtgärd, steg 3 och 4. Åtgärdsvalsstudien svarar således på frågan *varför* ett väg- eller järnvägsprojekt behövs. Detta ska sedan planeras enligt en särskild process som styrs av lagar och som slutligen leder fram till en *vägplan* eller *järnvägsplan*. Processen kallas *planläggningsprocess* och arbetet med att ta fram en väg- eller järnvägsplan kallas *planläggning*. I planläggningsprocessen utreds *var* och *hur* vägen eller järnvägen ska byggas. Hur lång tid det tar att få fram svaren beror på projektets storlek, hur många undersökningar som krävs, om det finns alternativa sträckningar, vilken budget som finns och vad de berörda tycker.

Resultatet av planläggningsprocessen och utformningen av vägen eller järnvägen beskrivs och redovisas i en väg- eller järnvägsplan. I början av planläggningen tar vi fram ett underlag som beskriver hur projektet kan påverka miljön. Länsstyrelsen beslutar sedan om projektet kan antas medföra en betydande miljöpåverkan. I så fall ska en *miljökonsekvensbeskrivning* tas fram till väg- eller järnvägsplanen, där vi beskriver projektets miljöpåverkan och föreslår försiktighets- och skyddsåtgärder.

3.1.2 Simulering i planprocessen t.o.m. 2012

I denna publikation är det för tidigt att redogöra för hur simulering ska göras enligt den nya planprocessen. Beskrivningen nedan redovisar därför den tidigare planeringsprocessen samt användning av simulering i dess olika skeden. I och med att fokus i den nya planprocessen ligger på fler åtgärder av typ 1 och 2 enligt 4-stegsprincipen kan det antagas att studier med mikro-/mesosimulering får en större betydelse än tidigare.

I en **förstudie** identifieras och analyseras brister och möjligheter för att hitta tänkbara lösningar. Idéer som inte bedöms genomförbara sorteras bort. En öppen dialog med omvärlden är en viktig förutsättning för att kunna finna bra alternativ. Förstudien innehåller en översiktlig beskrivning av de olika förslagets förmodade miljöpåverkan. De lösningar som av någon anledning anses vara omöjliga att genomföra väljs bort. Om man inte kan välja ett

alternativ efter förstudien, och/eller om projektet ska tillåtlighetsprövas av regeringen, genomförs en väg- eller järnvägsutredning, annars följer planarbetet direkt efter förstudien. Projekt som inte är av någon större omfattning kan direkt gå vidare från förstudie till planering, utan att ansöka om regeringens tillåtlighet. Byggnad av motortrafikleder, motorvägar samt fyrfältsvägar som är längre än 10 km har generellt en betydande miljöpåverkan och måste därför alltid tillåtlighetsprövas.

I arbetet med **väg- och järnvägsutredning** prövar, analyserar och utvärderar man de återstående lösningarna med syfte att ta fram underlag för val av alternativ. Till denna utredning hör en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) som ska vara godkänd av länsstyrelsen. Den lösning som väljs i väg- och järnvägsutredningen ska ha regeringens tillåtlighet innan arbetet med nästa steg, arbets- och järnvägsplan, kan påbörjas. Om endast ett alternativ finns kan projektet gå direkt från förstudie till arbets- eller järnvägsplan.

I planarbetet - **arbets- och järnvägsplan** - färdigställs utformning och slutgiltig sträckning, samt vilken mark och vilka fastigheter som berörs. Länsstyrelsen ska godkänna den miljökonsekvensbeskrivning som ingår i arbetet. Fokus på dialog och samråd med sakägare, kommuner, och övriga myndigheter och intressenter är fortfarande stark. När planen är fastställd följer en överklagandetid innan planen vinner laga kraft. Först efter detta kan bygghandlingar tas fram.

I **bygghandlingen** tas den slutgiltiga bygghandlingen och projektets slutgiltiga tekniska utformning fram. Denna måste överensstämma med arbets- och järnvägsplanen, endast obetydliga avvikelser tillåts. Om större avvikelser eller förändringar görs i projektet kan det bli nödvändigt att ändra planen eller att upprätta en ny. För miljöledningsarbetet upprättar Trafikverket en miljöledningsplan som sedan styr verksamheten.

3.2 Krav på kapacitetsanalyser

Kraven på kapacitetsanalyser och simuleringar är olika i de olika planeringsskedena. I förstudier är överslagsanalyser viktigast, medan det längre fram i processen som t.ex. i arbetsplaner behövs mer noggranna trafikanalyser med avseende på utformning och detaljkrav. Exakt vilka typer av analyser som sker i olika skeden varierar mellan olika projekt eftersom frågeställningarna är olika. Nedan ges en översiktlig bild av trafikanalysernas roll i olika planeringskedan med inriktningen mot vägprojekt.

I **förstudier** är trafikanalyserna i första hand till för att ge information om den totala trafikefterfrågan i dagsläget och för ett prognosår. Arbetet karaktäriseras av att ta fram alternativa lösningar som är rimliga att gå vidare med till nästa skede. Man ska således detta skede inte välja det alternativ man ska gå vidare med till nästa skede annat än valet är uppenbart. Det är i detta skede inte intressant att göra detaljerade studier av hur trafikflödet och kapaciteten blir för olika alternativ. Detta gör att tonvikten ligger på trafikräkningar och prognosmodeller i kombination av statistiska jämviktsmodeller för att kunna göra samhällsekonomiska analyser eller bedömningar. Syftet är således att få en så god grund till de bedömningar som behöver göras i en förstudie där fokus ligger på att ta fram möjliga lösningar och till viss del avföra lösningar som inte är genomförbara.

I en **vägutredning** är syftet att ta fram underlag för att peka ut det bästa utredningsalternativet att gå vidare med. Trafikanalyserna får i detta skede en mer komplex roll. Analyserna ska utgöra indata till samhällsekonomiska analyser/bedömningar, miljökonsekvensbeskrivningar samt ibland till rena kapacitetsanalyser. För de samhällsekonomiska analyserna behöver t.ex. restidsvinster för ett nuläge och ett framtidsår beräknas så att de kan ställas mot miljökostnader, investeringskostnader mm. Till miljökonsekvensbeskrivningarna behöver man kunna räkna ut miljöpåverkan i form av t.ex. utsläpp, och buller. För detta syfte är statiska nätutläggningsmodeller (t.ex. Emme) tillsammans med prognosmodeller fullgoda verktyg i detta skede. I vissa fall kan till och med enklare modeller som prognoser utgående från trafik tillväxttal användas. Dessa räknar upp trafikräkningar till ett prognosår samtidigt som ruttvalsanalyser görs genom bedömningar. Trafikverket har för detta senare exempel utvecklat EVA-modellen. I utredningsskedet är både analytiska modeller och simuleringsmodeller aktuella, speciellt modeller som avser belysa kapacitetsfrågor. Syftet är att belysa vilket utredningsalternativ som bäst löser de kapacitetsproblem som ingår i målformuleringen för projektet. För att genomföra denna typ av utredningar tillämpas metodbeskrivningarna för kapacitetsberäkningar med analytiska modeller i TRV2013/64343, samt råden angående kapacitetsanalys med hjälp av simulering i handboken TRV2013/79994.

I **arbetsplaneskedet** fortskrider arbetet baserat på det alternativ som i utredningen fastställts som det bästa. I detta skede bestäms detaljutformningen av det valda alternativet som utgör underlag till samråd, slutliga miljökonsekvensbeskrivningar, måluppfyllnad mm. De detaljerade modellerna hamnar därför här än mer i fokus än i tidigare planeringsskeden. Alla typer av kapacitetsmodeller används - såväl analytiska som simuleringar av olika slag. Metodbeskrivningar för analytiska kapacitetsmodeller och handböcker angående trafiksimulering är viktiga verktyg i detta skede. I ett tidigt skede i arbetsplanen tas de huvudsakliga utformningarna fram vilket gör kapacitetsanalyserna centrala, medan de i ett senare projekteringskede mer utgör möjligheter till avstämningar och förnyade analyser om problem uppstår i projekteringen.

I **bygghandlingsskedet** produceras de olika ritningar som krävs som underlag när entreprenörer ska ta fram anbud samt för genomförande av själva byggandet. I detta skede har kapacitets- och trafikanalys i ett historiskt perspektiv spelat en mycket liten roll. I större projekt med långa byggtider i komplicerade tätortsmiljöer har man dock i större utsträckning börjat använda analytiska modeller och simuleringsmodeller för att analysera och utforma olika temporära trafiklösningar under byggskedets olika etapper. Detta eftersom byggtiderna kan vara långa och därför påverka trafiken under lång tid. Det är då även under byggskedet viktigt att utforma goda lösningar. I dessa fall används modellerna på samma sätt som under arbetsplaneskedet.

3.3 Ny planeringsprocess och nya entreprenadformer

Ovan har en schabloniserad planeringsprocess beskrivits där en utförandeentreprenad upphandlas för genomförandet av bygget. Som ovan beskrivits trädde en ny planeringsprocess i kraft i januari 2013. Denna

planeringsprocess innebär bland annat mindre tydliga indelningar i olika planeringsskeden och därmed blir det svårare att beskriva när i planeringsskedet olika typer av modeller ska användas. Huvudinriktningen som beskrivits ovan bör dock fortfarande gälla.

Trafikverket har pekat ut totalentreprenader som en växande och större andel av de vägar som kommer att byggas i en framtid. En viktig del i totalentreprenaderna är att huvudmannen (Trafikverket i detta fall) i så stor utsträckning som möjligt ska ställa funktionella krav snarare än att tala om exakt hur en väg ska utformas. Detta för att möjliggöra en större kreativitet i det resurskrävande byggskedet och därmed kunna öppna upp för en effektivare byggprocess. Hur detta påverkar t.ex. kapacitetsanalyser är i dagläget oklart och bör vara föremål för ytterligare utvecklingsarbete. Att ta fram funktionskrav för kapacitet bör vara ett prioriterat område för utveckling.

3.4 Prognoser

Prognoser används i samtliga planeringsskeden. Eftersom planeringsprocessen för större projekt där ny trafikanläggning som ska projekteras tar lång tid och byggandet dessutom kanske ligger långt i framtiden så får prognoserna en viktig roll. I tidiga skeden är det dessutom viktigt med prognoser när man räknar samhällsekonomi på olika huvudalternativ. Allt eftersom arbetet kommer till senare och mer detaljerade skeden utgör prognoserna indata till kapacitetsanalyser i form av simuleringar och analytiska metoder.

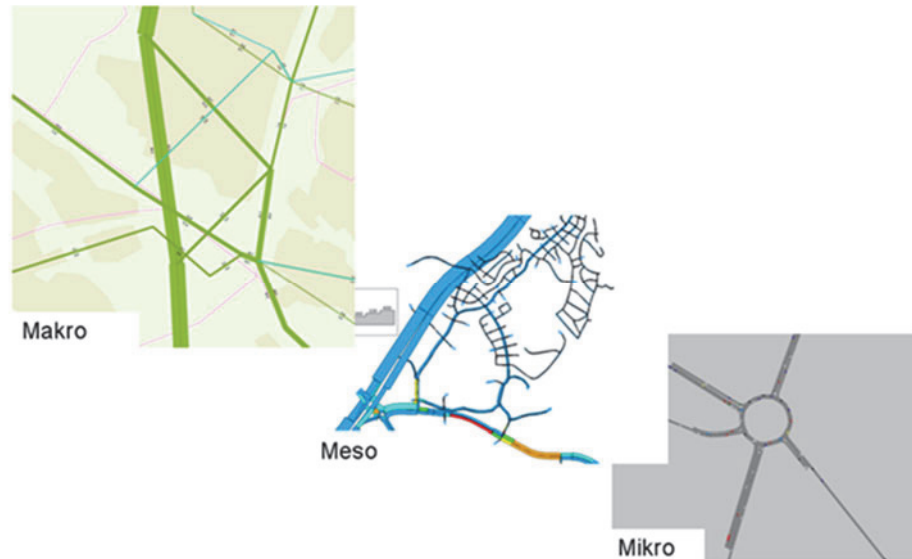
Förutsättningarna för prognoserna har osäkerheter i flera dimensioner t.ex.:

- Markanvändning
- Realinkomstutveckling
- Bränslekostnad
- Bilinnehav
- Antal förvärvsarbetande

Ett sätt att hantera dessa osäkerheter är att göra känslighetsanalyser så att de lägsta, högsta och mest troliga prognoserna för reseefterfrågan tas fram och bearbetas i samtliga planeringsskeden. När det kommer till ett mer detaljerat planeringssteg är ett vanligt arbetssätt att använda sig av en makroprognos i grunden som har kalibrerats mot ett antal trafikräkningar. En vanlig makromodell är Sampers i kombination med en statisk ruttvalsprogramvara som Emme. Efterfrågematriserna från dessa modeller överförs till simuleringsmodeller – som oftast täcker ett mindre område än makromodellerna. Därefter justeras/kalibreras efterfrågematriserna på en mer detaljerad nivå med hjälp av trafikalstringstal och trafikräkningar. Beroende på hur makro- respektive mikro/mesomodellerna är uppbyggda behöver man vanligtvis hantera ett antal olika problem.

Makromodellerna har ofta en grövre representation av såväl nätverk som områdesindelningar än vad mer detaljerade modeller har, särskilt när det gäller trafikplatser med närliggande handels och bostadsområden. Detta medför att en förfining av områdesindelning behövs när efterfrågematriser flyttas från en statisk makroskopisk modell till mer dynamiska simuleringsmodeller. Detta kan i princip göras på två olika sätt. Antingen görs en förfining i makromodellen med efterföljande nya prognoser vilket medför

ett ganska omfattande arbete. Eller så förfinas matrisen vid överföringen till simuleringsmodellerna genom så kallad disaggregering. Disaggregering kräver förutom en uppsplittring av centroider (med tillhörande områdesnycklar) även någon princip för hur resorna fördelas mellan de nya och mer förfinade indelningen som har samma ursprungscentroid.



Figur 3 Illustration av val av simuleringsmodell för tillämpningar med olika detaljeringsgrad

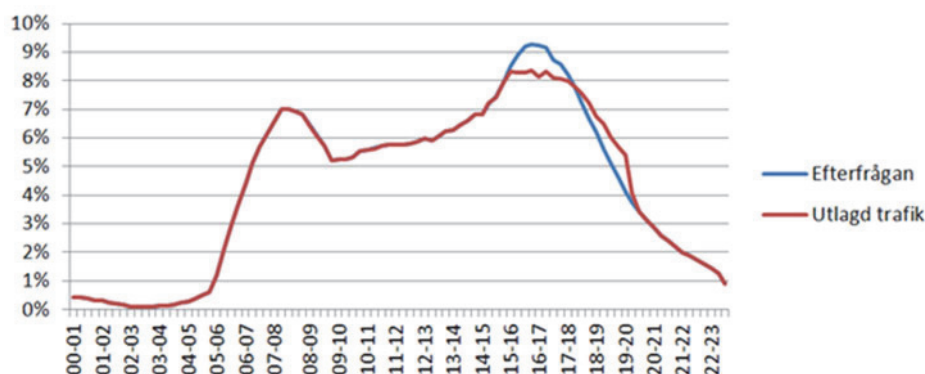
Det andra problemet av vikt att hantera är tidsprofilen på efterfrågematriserna. Makromodellerna har i bästa fall entimmesmatris medan simuleringsmodellerna minst vill ha 15 – 20 minutersintervall på matriserna. Till dessa matriser behöver en tidsprofil kopplas. En oftast alltför grov ansats är att alla tidsperioder är lika stora. För mer korrekta resultat behövs istället en annan ansats.

3.5 Beroende mellan teknikområden

Trafikprognoser och trafiksimuleringar är inte bara viktiga för mer trafikrelaterade områden som kapacitetsanalyser, trafiksäkerhet osv utan utgör också viktiga indata till bullerkalkyler, luftföroreningsberäkningar, riskkalkyler mm. Alla dessa områden har olika krav på upplösning. Uppdelning på personbilar och tung trafik är viktigt för t.ex. bulleranalyser. Vissa teknikområden vill ha dygnsflöden och andra vill ha timflöden. Detta innebär krav på konsistenta resultat mellan olika teknikområden. Kraven förekommer i samma dokument som läses av lekmän på området, vilket gör att det är viktigt hur olika simuleringsresultat hanteras.

Det är väsentligt att tidigt bestämma sig för hur konsistenta resultat mellan simuleringar med dynamisk karaktär och statisk jämviktsskarakär ska uppnås. Det är t.ex. farligt att räkna upp en timsimulering till dygnsnivå. T.ex. kan trängseffekter under en maxtimme fortplanta sig till dygnsnivå vid en uppräknig trots att stora delar av dygnet inte har trängsel. Ett bättre alternativ kan i dessa fall vara att köra en simulering för hela dygnet. Detta ställer dock andra krav på indata till simuleringsmodellen. I figur 3 nedan

visualiseras detta med simuleringsresultat från projekteringen av Skurubron, där vägavgifter är en del av lösningen.



Figur 4 Exempel på hur trafikefterfrågan kan fördela sig över dygnet.

På x-axeln är det dygnets 24 timmar och på y-axeln visas andelen av dygnsflödet för en viss tidsperiod

3.6 Vägutformning och simulering

VGU (Vägars och Gators Utformning, Trafikverket 2012:179) ger riktlinjer för att utforma standardiserade trafikanläggningar. Vid projektering av enklare projekt används dessa riktlinjer av projektörer och vägutformare med gott resultat.

Vid trafikanläggningar med t.ex. hög belastning, trafikstyrningsutrusning, närliggande trafikanläggningar, etc. ger dock VGU ofta mindre god vägledning om hur den aktuella trafikanläggningen ska utformas. Simuleringsmodeller i kombination med analytiska modeller ger en möjlighet för trafikanalytiker att tillsammans med en vägutformare diskutera sig fram till en god lösning.

Vägutformaren/projektören har ofta god kunskap kring de tekniska delarna i utformningen och ibland även en god kostnadsbild. Trafikanalytikern har ofta god kunskap kring hur olika lösningar påverkar framkomligheten. Simuleringar med tillhörande visualisering ger en möjlighet för dessa olika teknikområden att föra en konstruktiv dialog som gör att goda och kostnadseffektiva lösningar kan tas fram. En översiktlig arbetsordning för denna dialog kan ske enligt nedanstående förslag:

1. Ett par förslag till lösningar tas fram med t.ex. med VGU som grund
2. Simulering och analys genomförs
3. Dialog mellan utformare och analytiker
4. Nya förslag till lösningar
5. Steg 2 till 4 itereras fram till dess att ett bästa förslag tagits fram
6. Detaljprojektering sker.

3.7 **Brister och utvecklingspotential**

Utvecklingen av modeller kommer sällan in i stora projekteringar, och omvänt kommer projekteringsprocessens behov sällan in i modellutvecklingen. Ett gott samarbete mellan de olika skedena torde vara en av de viktigaste faktorerna för att långsiktigt och strategiskt utveckla trafikanalysmetoder som är väl avpassade till planeringsprocessen.

Andra mer konkreta delar som har identifierats som viktiga att utveckla är bland annat:

- Nyckeltal för eller kartläggningar av tung trafik.
- Nyckeltal för hur mycket resor olika etableringar genererar. Det finns vissa sådana försök i Sverige och andra länder.

3.8 **Litteraturreferenser**

Se kapitel 1.4 i denna handbok samt TRV2013/64343 kapitel 1.6

Innehåll

Kapitel 4 Trafikplatser och motorvägar

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4 | Trafikplatser och motorvägar | 61 |
| 4.1 | Syfte och avgränsningar | 61 |
| 4.1.1 | Problembeskrivning | 61 |
| 4.1.2 | Avgränsning i tid och rum | 62 |
| 4.1.3 | Val av analysmetod | 64 |
| 4.1.4 | Simulering av vävning/växling | 64 |
| 4.2 | Datainsamling | 65 |
| 4.2.1 | Trafikräkningar | 65 |
| 4.2.2 | Data för kalibrering | 65 |
| 4.2.3 | Prognos | 65 |
| 4.3 | Uppbyggnad av basmodell | 67 |
| 4.3.1 | Länk-, korsnings- och zon/centridornumrering | 67 |
| 4.3.2 | Kodning av länkar och korsningar | 67 |
| 4.4 | Verifiering/kontroll/felsökning | 68 |
| 4.4.1 | Mjukvarukontroll | 68 |
| 4.4.2 | Granskning av indata och kodning | 69 |
| 4.4.3 | Granskning av animering | 69 |
| 4.4.4 | Kvarstående fel | 69 |
| 4.5 | Kalibrering | 69 |
| 4.6 | Validering och känslighetsanalys | 70 |
| 4.7 | Analys av olika alternativ/scenarier | 70 |
| 4.8 | Dokumentation | 70 |
| 4.9 | Litteraturreferenser | 70 |

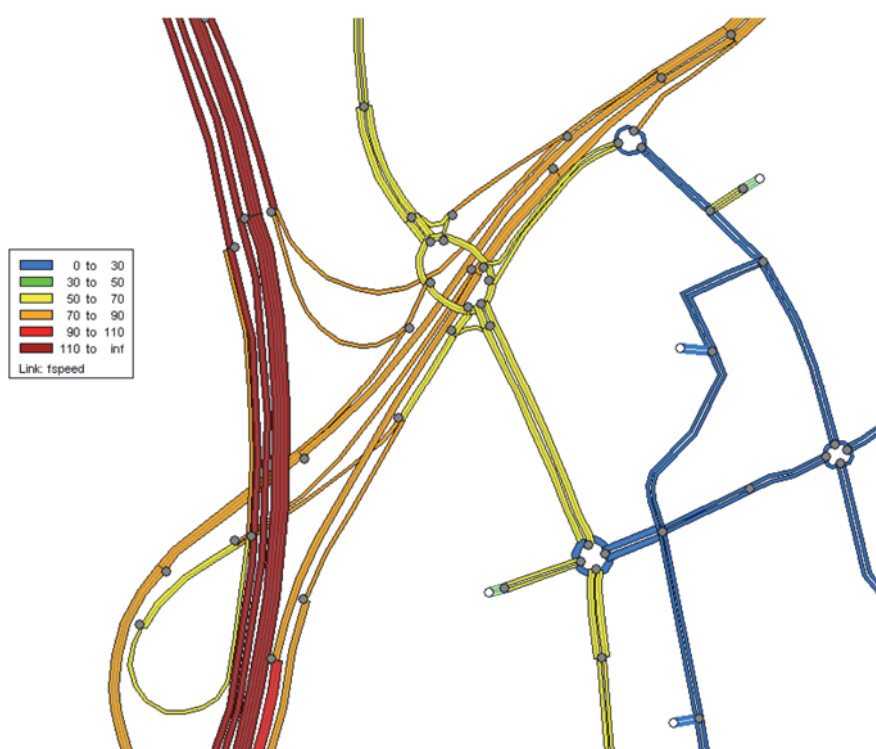
4 Trafikplatser och motorvägar

Författare: Joakim Köhler Granskare: Benny Bergstrand

4.1 Syfte och avgränsningar

4.1.1 Problembeskrivning

Innan arbetet med kapacitetsanalys av trafikplatser och motorvägar påbörjas är det viktigt att klargöra vad uppdragsgivare, projektledare och utförare förväntar sig att studien ska ge svar på. Vid framtagning av projektbeskrivningen bör därför information om bakgrund, syfte och analysbehov beaktas förutom de generella riktlinjerna i kapitel 2.



Figur 1 Exempel på trafikplats för simulering

Bakgrund

Omfattningen av omliggande trafiknät behöver definieras så att hänsyn tas till köer på avfarts- och tillfartsramper mm. Dessutom måste klargöras om hänsyn behöver tas till eventuella alternativa vägval i det omliggande trafiknätet. Om så är fallet blir ökas storleken av det valda analysområdet.

I trafikplatsen eller i dess närhet kan det finnas andra anläggningar som cirkulationsplatser, påfartsramper med rampstyrningar eller signalreglerade korsningar som bör tas med i nätverket för att analyserna ska bli rättvisande.

Olika ITS-funktioner kan finnas i såväl trafikplatser som på motorvägar, antingen i ett nuläge eller i ett framtida scenario. Detta kan i vissa fall påverka valet av såväl modell som nätverkets storlek. I detta sammanhang bör man även fundera på om funktionen hos trafikstyrutrustningar förändras över dygnet eller med trafikflödet, och hur det i så fall påverkar analyserna.

Exploateringar är vanliga i samband med analyser av såväl motorvägar som trafikplatser i urbana miljöer. I sådana fall bör extra vikt läggas vid t.ex. avgränsningen av nätverkets storlek samt vilka metoder som ska användas för att räkna ut hur exploateringen påverkar trafikflödet. Exempel på metoder är trafikgenereringstal eller prognosmodeller. Underlag behöver även tas fram för när på dygnet som exploateringar påverkar trafikflödet.

Syfte

Motorvägar med tillhörande trafikplatser är ofta dyra anläggningar varför en huvudfrågeställning ofta är hur hög kapacitet, trafiksäkerhet m.m. som är rimlig i förhållande till kostnaden. Mycket av syftet är därför förknippat med antal körfält på huvudväg och ramper, längd på växlingsfiler samt dimensioner på närliggande korsningar och cirkulationsplatser. Vanliga frågeställningar vid analys av närliggande trafikplatser är om samtliga trafikplatser ska vara fullständiga, d.v.s. med av- och påfartsramper i huvudvägens båda riktningar, eller om man kan tänka sig av- och påfartsramper i endast den ena riktningen. Valet av utformning enligt ovan styr till stor del vilka alternativ som ska jämföras med varandra. Detta påverkar även val av programvara för simuleringar. Ofta behöver också simuleringarna kompletteras med analytiska beräkningar. Simuleringsmodeller har t.ex. ofta svagheter när det gäller byte av körfält i samband med trafikplatser, samt med bestämning av kapacitet.

Analysbehov

Analysbehoven för trafikplatser innefattar ofta en kombination av framkomlighet, kapacitet, trafiksäkerhet och miljö. Ofta behövs därför såväl timupplösning av resultaten för kapacitetsanalyserna och dygnssiffror för miljökonsekvensbeskrivningarna. Det är viktigt att tänka igenom hur man säkerställer konsistenta resultat mellan dygns- och timsiffror eftersom detta ofta är en utmaning. Avstämningar mot trafikräkningar är om sådana finns tillgängliga är därför viktiga.

4.1.2 Avgränsning i tid och rum

För att avgränsa simuleringar i tid och rum behöver nedan behandlade frågeställningar beaktas i tillägg till de anvisningar som anges i den generella metodbeskrivningen i kapitel 2.

- Tänk igenom inom vilket område och under hur lång tid som det pågår trängsel och köutbredning kopplat till studieobjektet/området. Är det t.ex. trängsel i det kringliggande trafiknätet omkring trafikplatserna och motorvägarna? Hur påverkar detta avgränsningen?
- Exploateringar i närheten av trafikplatser och motorvägar gör ofta att ett större område behöver studeras på grund av omfördelning av trafik.
- Även de studerade tidsperioderna kan påverkas av den omliggande markanvändningen. Arbetsplatser genererar trafik kopplat till hur arbetstiderna är förlagda för just den specifika näringen. Bostäder kan generera trafik kopplat till arbetstider för de boende, men också trafik andra tider på dygnet för fritidsresor, inköp mm. Om någon slags

evenemangsarena ligger i närheten kan denna skapa trafiktoppar i anknytning till tidpunkten stora evenemang.

- Kommer de alternativa trafikefterfrågeperioderna som studeras att påverka ett större område (pga. nya eller längre köer, omfördelning av trafik på nya rutter) än det som behövs modelleras för den nuvarande utformningen?

Samma process som beskrivits i kapitel 3.1 gäller för att skapa en lämplig avgränsning i tid och rum, dvs.

5. Markera på en karta eller ett flygfoto det område som behöver modelleras för att ta hänsyn till nulägets trängsel- och köutbredning. I vissa fall kan dwg eller andra ritningsfiler förekomma.
6. Markera de områden som de alternativa utformningarna kan tänkas påverka. I urbana miljöer behöver man för trafikplatser ofta ta hänsyn till om det finns närliggande trafikplatser som inverkar på varandra.
7. Markera de områden som de alternativa trafikefterfrågeperioderna kan tänkas påverka.
8. Kan någon av de alternativa utformningarna tänkas påverka trafikanternas startpunkter, destinationer eller ruttval? Sådan påverkan kan avse nyalstring av trafik till eller från det studerade området, eller ökad eller minskad trafik på rutter som går igenom området pga. förbättrad eller försämrad framkomlighet. Kan modellen utökas för att ta hänsyn till dessa effekter eller krävs att kompletterande analyser med verktyg som bättre hanterar stora nät och ruttval? Mesoskopiska trafiksimuleringsmodeller med dynamisk nätutläggning eller makroskopiska modeller med statisk nätutläggning är exempel på dylika verktyg.
9. Resefterfrågan tas från antingen trafikräkningar och/eller prognosmodeller.

Det finns en risk att ovan beskrivna procedur resulterar i att studieområdet hela tiden utökas. Det gäller således att göra en avvägning mellan syftet med studien och de tillgängliga resurserna. Om studieområdet riskerar att bli för stort för en analys med mikroskopisk trafiksimulering är det ett tecken på att studien eventuellt behöver kompletteras med analyser med verktyg som bättre hanterar stora nät och ruttval såsom mesoskopiska trafiksimuleringsmodeller med dynamisk nätutläggning eller makroskopiska modeller med statisk nätutläggning.

4.1.3 Val av analysmetod

Det finns inga självklara svar på frågan om vilken programvara som bör väljas för simulering av trafikplatser och motorvägar. Vissa tumregler ges dock nedan i tillägg till de generella i kapitel 3.1.1. (undvik att välja modellverktyg enbart baserat på egen tillgång eller kompetensbegränsning).

Om **ruttval** är viktigt för analysen så pekar det i praktiken mot att en mesosimuleringsmodell ska användas. Mikrosimuleringsmodeller kan i vissa fall även hantera ruttval, men med de i Sverige existerande modellerna har det visat sig svårt att i praktiken på ett kvalitetssäkert sätt hantera detta.

För att i detalj studera hur **växlingssträckor** fungerar är mikrosimulering ofta bättre för att både modellera och framförallt presentera hur det i praktiken fungerar. Simuleringsmodeller behöver ofta i dessa sammanhang kompletteras med analytiska modeller för att kvalitetssäkra resultaten.

Storleken på nätverket har ofta en avgörande betydelse. Eftersom mikrosimuleringsmodeller är mer indatakrävande än mesosimuleringsmodeller är oftast mesomodeller mer lämpade för större simulering av större nätverk .

Studier av **ITS-applikationer** ger inte lika entydiga riktlinjer för val av modell. Vissa programvaror har stöd för att analysera vissa specifika ITS-funktioner medan andra har mera generella funktioner som kan användas för att studera dessa. Det är således av stor vikt att man i val av modelltyp är påläst och kunnig om olika modellers styrkor och svagheter. Ofta behöver även programvarans modellering av förarnas interaktion med ITS-funktioner utökas för att fullt ut ta hänsyn till hur ITS-systemet påverkar förarbeteendet och trafikprocessen.

4.1.4 Simulering av vävning/växling

Simuleringsmodeller har generellt vissa problem att hantera vävning och växlingsproblematiken. Det är ofta lämpligt att komplettera simuleringar med analyser med hjälp av analytiska modeller.

Den generella principen vid vävning och växling är att fordon kör i sitt förstahandsval av fil fram till en punkt där köbildning skapar fördröjning, och att då byta till en fil med lägre fördröjning. Filbytet sker vanligtvis på länken och inte specifikt vid dess början eller slut. När växlingarna ger upphov till fördröjningar kommer dock bakomvarande fordon att byta fil tidigare för att undvika fördröjningar. Filbyten sker därmed längre och längre uppströms då fördröjningarna sprider sig bakåt. Om vävnings-/växlingssträckans kapacitet överskrids kommer köer med låga hastigheter att sprida sig bakåt från sträckans startnod. Trafiken nedströms sträckan med trängsel kommer att accelerera från sitt kötillstånd och hålla en högre hastighet.

Beroende på simuleringsverktyg kan olika metoder användas för att kalibrera körbeteendet vid vävning och växling. En möjlig metod i VISSIM för indirekt kalibrera effekten av växlingssträckans längd kan vara att kalibrera kapaciteten med hjälp av länkattributet *response-time factor*. Analytiska modeller utgör vid sidan av detaljerade trafikmätningar indata för denna typ av kalibrering.

4.2 Datainsamling

Datainsamling utgör andra steget i arbetsprocessen för simuleringar enligt kapitel 2.2. I detta steg fastställs behovet av data för att bygga simuleringsmodellen samt för att senare kunna kalibrera och validera denna. Databehovet styrs främst av studiens syfte och avgränsningar. De frågeställningar som studien söker svara på är alltså vägledande för vilka krav som ska ställas på data och dess noggrannhet.

På övergripande nivå är det inget som skiljer simuleringar av trafikplatser från de generella riktlinjerna för simulering. Till viss del finns ett större inslag av trafikstyrutrustningar varför insamling av data avseende dessas funktion kan vara viktig. Förutom de mer generella svårigheterna att samla in mätdata så ställer trafikplatser särskilda krav på upplösning när det gäller t.ex. vävningar och ruttval. I praktiken innebär dessa svårigheter ofta att det inte går att få tillgång till relevanta mätningar varför utföraren är hänvisad till bedömningar baserat på fältstudier. De stora kostnader som är förknippade med analys av olika utformningsalternativ gör också att en samverkan med vägutformare/projektörer är av stor vikt.

4.2.1 Trafikräkningar

Se kapitel 2.2

4.2.2 Data för kalibrering

Se kapitel 2.2

4.2.3 Prognos

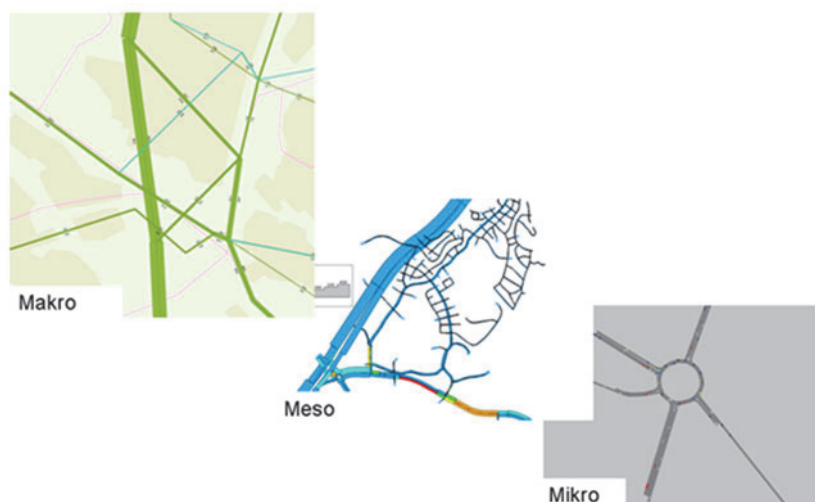
I samband med analyser av trafikplatser och motorvägar handlar det ofta om en helt ny trafikaneläggning eller ombyggnader som ligger några år fram i tiden. Det finns då ett behov att använda sig av prognosmodeller.

För att bedöma rimlig trafikmängd för inmatning i trafikmodellen krävs det kunskap om reseefterfrågan. När det gäller simuleringsuppdrag som involverar motorvägar och trafikplatser finns det oftast trafikräkningar att hämta från Trafikverket. En annan källa kan vara en makroprognos där det går att ta ut en traversalmatrix (d.v.s. en efterfrågematrix uttagen ur ett större trafiknät) för aktuellt område.

Sammanfattningsvis kan sägas att det finns tre olika sätt att uppskatta reseefterfrågan som kan användas var för sig eller kombineras:

- Makroprognos t.ex. Sampers
- Trafikalstringstal för olika verksamheter och bostadsområden
- Trafikräkningar/filmning

Ett vanligt arbetssätt är att utgå från en makroprognos som har kalibrerats mot ett antal trafikräkningar. Efterfrågematriserna överförs sedan till simuleringsmodeller som oftast täcker ett mindre område än makromodellerna. Därefter justeras/kalibreras efterfrågematriserna på en mer detaljerad nivå med hjälp av trafikalstringstal och trafikräkningar. Beroende på hur makro- respektive mikro/mesomodellerna är uppbyggda behöver vanligtvis ett antal olika problem hanteras.



Figur 2 Illustration av detaljeringsgrad för olika typer av simuleringsmodeller

Makromodellerna har ofta en grövre representation av såväl nätverk som områdesindelningar än vad mer detaljerade modeller har, särskilt när det gäller trafikplatser med närliggande handels- och bostadsområden. Detta medför att områdesindelning ofta behöver förfinas när efterfrågematriser flyttas från makro till mer dynamiska simuleringsmodeller. Detta kan i princip göras på två olika sätt. Antingen görs en förfining i makromodellen med efterföljande nya prognoser vilket medför ett ganska omfattande arbete, eller så förfinas matrisen vid överföringen till simuleringsmodellerna genom så kallad disaggregering. Disaggregering kräver förutom att en uppsplittring av områden (med tillhörande områdesnycklar) även någon princip för hur resorna fördelas mellan de nya och mer förfinade indelningen som har samma ursprungsområde. Denna princip kan vara grov (t.ex. om ett ursprungsområde ska delas upp på fem nya områden så får vardera centroid 20 % av totalen) men behöver nästan alltid vara mer sofistikerad för att få full nytta av den finare områdesindelningen. Exempel på data som kan utgöra grund för fördelning av resor är boende (vid bostadsområden), arbetsplatser (rena arbetsplatsområden), antal parkeringsplatser (vid inköpcentra) eller en blandning av dessa. Områdets karaktär och problemformuleringen är styrande för valet. Den områdesnyckel som etableras för att genomföra disaggregeringen innehåller data i enlighet med Tabell 4.

Tabell 4 Exempel på områdesnyckel för disaggregering

| Område (grov makro indelning) | | Område (fin indelning) | Disaggregeringsandel |
|-------------------------------|----|------------------------|----------------------|
| 1 | 10 | 25 % | |
| 1 | 11 | 25 % | |
| 1 | 12 | 50 % | |
| 2 | 13 | 33 % | |
| 2 | 14 | 67 % | |

I exemplet ovan disaggregeras en två gånger två matris till en fem gånger fem matris för reseefterfrågan.

Det andra problemet av vikt att hantera är tidsprofilen på efterfrågematriserna. Makromodellerna har i bästa fall en timmatris medan simuleringsmodellerna minst behöver trafikefterfrågan uppdelat i 15 – 20 minutersintervall. Till dessa matriser behöver en tidsprofil kopplas. En oftast alltför grov ansats är att alla tidsperioder är lika stora. För mer korrekta resultat behövs istället en annan ansats. Förutom att man behöver en uppvärmningsperiod för nätverket behöver man därför fastställa dessa tidsprofiler. Källor för detta arbete kan vara resvaneundersökningar (dessa innehåller dock stora osäkerheter), men kanske i större uträkning trafikräkningar. Resvaneundersökningar är bra på

starttidpunktsfördelningar, dvs. när resan har sin start. Detta är dock inte samma sak som tidsfördelningen i ett analysområde som ofta är ett mindre område eftersom det tar olika tid för olika resenärer att ta sig till det aktuella analysområdet. Tidsfördelningar kan därför med fördel hämtas ur resvaneundersökningar när det handlar om resor som har sin start i analysområdet. För andra resor som har sin start längre bort är det mer relevant att använda tidsfördelningar från trafikräkningar.

Det vanligaste är att man ansätter en eller möjligtvis två olika tidsfördelningar för de olika områdena i analysområdet, men ansatsen kan i princip vara hur avancerad som helst och ha olika fördelningar för alla centroider/områden i modellen. Eftersom detta problem är svårt att hantera helt i enlighet med verkligheten kan det vara en god idé att göra känslighetsanalyser med olika tidsprofiler.

En närliggande frågeställning att beakta vid analyser är att det är en definitionsmissig skillnad mellan trafikräkningar och den verkliga reseefterfrågan. Trafikräkningar är ju en mix av reseefterfrågan, kapacitet m.m. Detta är viktigt att ha med sig vid matriskalibreringar.

4.3 Uppbyggnad av basmodell

Detta avsnitt behandlar själva modellupbyggnaden, det tredje steget i arbetsprocessen för simuleringar enligt kapitel 2.2. Uppgiften består av att koda nätverket och mata in nödvändig data i det trafiksimuleringsprogram som ska användas. Hur nätverkskodningen och datainmatning ska göras rent praktiskt beror på valt trafiksimuleringsprogram. För att undvika felaktigt kodade nätverk bör alltid programmets manual studeras noggrant. Tips från användarforum och kollegor är också värdefulla men bör alltid kritiskt granskas och testas. Ändringar av vedertagna standardvärden bör alltid dokumenteras.

4.3.1 Länk-, korsnings- och zon/centroidnumrering

De generella riktlinjerna enligt kapitel 2 gäller även för analyser av trafikplatser och motorvägar men med följande tillägg. Ofta finns vid simulering av trafikplatser en koppling till en prognosmodell som ofta har en makroskopisk nätutläggningsprogramvara. Det är då en god vana att numrera centroider på ett sådant sätt att det i simuleringsmodellen lätt går att hitta motsvarande centroider i makromodellen. Detta kan ske genom att ha samma centroidnumrering som i makromodellen med en underindelning (en extra siffra) om centroidindelningen förfinats. Dessa bör ha en numrering som är tydligt skild från övriga centroider eftersom deras funktion är vitt skild från de övriga centroiderna.

Skapade centroider – för att släppa på trafik i skapade snitt i makromodellen – kallas ofta portzoner.

4.3.2 Kodning av länkar och korsningar

Kodningsarbetet innebär alltid i någon mån förenklingar av verkligheten. Därför är det viktigt att tydligt redovisa de principer som kodningen av simuleringsmodellen följt.

Länkar

Hastighetsbegränsning, antal körfält, körfältsbredd och lutning är egenskaper som är vanliga och viktiga indata för enskilda länkar. Det kan även gå att ställa in vissa parametrar som styr förarbeteenden, t.ex. car-following och körfältsbyten. Följande principer rekommenderas vid kodning av länkar:

- För motorvägar är det viktigt att studera valt simuleringsverktygs egenskaper eftersom detta är av extra vikt i dessa anläggningar.
- För trafikplatser bör – utöver de generella riktlinjerna – extra vikt läggas på vävnings och växlingssträckor eftersom dessa är centrala för analysernas utfall. Samtidigt är detta en känd svaghet hos många simuleringsmodeller.
- Komplettering med analytiska modeller och trafikmätningar är av vikt för att säkerställa kvaliteten i hur bra simuleringsmodellen beskriver vävningsbeteendet.

Korsningar och cirkulationsplatser

Samma riktlinjer som för de generella riktlinjerna gäller för analyser av trafikplatser och motorvägar. I trafikplatser är det ofta vanligt att både korsningar och cirkulationsplatser ligger i så nära anslutning att de kan anses vara en del av trafikaneläggningen. Både utformningen och funktionen hos dessa bör säkerställas eftersom det kan påverka kapaciteten på hela trafikplatsen.

Kodning av trafikstyrningsfunktioner

Här avses främst trafiksignaler och andra typer av trafikstyrningsutrustning som påverkar trafikprocessen. För trafikplatser är detta en viktig del av skapandet av simuleringsmodeller. Som första steg i modellbyggandet är det viktigt att identifiera vilka dylika installationer som måste beaktas. För motorvägar och trafikplatser ingår system för reglering (*Eng. ramp metering*) av flödet hos påfartsramper, VMS-skyltar samt varningssystem för incidenter. Tyvärr saknas det ofta stöd i simuleringsmodeller för att lätt återskapa funktionen hos dessa typer av trafikstyrning. Oftast får standardfunktioner hos simuleringsverktygen kombineras för att återskapa deras funktioner. Vanligt är att använda sig av kodning av vanliga trafiksignaler i kombination av andra funktioner. Ibland kan även ändringar av trafikefterfrågematriser mitt under simuleringsperioden behövas för att t.ex. återskapa VMS-funktioner som fördelar trafik på andra rutter.

Förenklingar behöver ofta göras utifrån en noggrann kartläggning av trafikstyrningsutrustningens verkliga funktion. Ibland är möjligheterna att återskapa trafikstyrningsfunktioner så viktiga att de även bör påverka valet av simuleringsverktyg.

4.4 Verifiering/kontroll/felsökning

De generella riktlinjerna i kapitel 2 gäller även för analyser av trafikplatser och motorvägar.

4.4.1 Mjukvarukontroll

De generella riktlinjerna i avsnitt 2.6.1 gäller även för analyser av trafikplatser och motorvägar.

4.4.2 Granskning av indata och kodning

Riktlinjerna i avsnitt 2.6.2 gäller med följande tillägg:

Länkar och korsningar

Eftersom ruttval ofta har stor påverkan på analysarbetet för trafikplatser är det av stor vikt att kontrollera att förbjudna svängrörelser är rätt kodade. Ett bra sätt att kontrollera detta är att titta på det specifika flödet som passerar en viss länk eller som åker mellan utvalda start- och målpunkter. Genom detta kan eventuella konstiga ruttval upptäckas.

Kollektivtrafik

Precis som i de generella riktlinjerna är kodningen av bussarnas rutter viktig för utfallet av analyserna. För hårt belastade och/eller komplicerade trafikplatser kan särskilda bussramper vara viktiga att studera som alternativa utformningar eftersom bussarna rutter skiljer sig mycket från bilarnas. Bussarna ska ofta svänga av motorvägen för att stanna och hämta upp passagerare för att sedan åter fortsätta ut på motorvägen. För bilar är detta beteende mycket ovanligt med undantag för besök på rastplatser och servicestationer.

Av extra vikt för denna typ av anläggningar är att hantera bussarnas retardations- och accelerationsprestanda på ett korrekt sätt, särskilt om busstrafiken är tät.

Trafikefterfrågan

På samma sätt som påpekades i avsnitt 4.1.2 angående avgränsning är exploateringar i närheten av trafikplatser och motorvägar av stor vikt att hantera eftersom de är vanliga och samtidigt påverkar analyserna mycket. Analytikern behöver hitta generella tal (vanligast) eller prognoser (ovanligt) för att beskriva hur mycket resor som genereras för arbetsplatser, stormarknader, bostäder mm. Man behöver även statistik för den specifika exploaterings påverkan på trafikefterfrågan över dygnet. Eftersom trafiknäten för att simulera motorvägare med tillhörande trafikplatser ofta är stora är kopplingen mellan OD-matriser och rutter extra viktig att hantera noggrant.

Fellopp

Samma riktlinjer som för de generella riktlinjerna gäller för analyser av trafikplatser och motorvägar.

4.4.3 Granskning av animering

För denna typ av trafikanläggningar är det av extra vikt att animering används för att kvalitetsäkra vävnings- och växlingsbeteende mot verkligt observerat beteende.

4.4.4 Kvarstående fel

De generella riktlinjerna i avsnitt 2.6.4 för hantering av kvarstående fel gäller även för analyser av trafikplatser och motorvägar.

4.5 Kalibrering

Riktlinjerna i avsnitt 2.7 angående kalibrering av simuleringsmodeller gäller också trafikplatser och motorvägar, men större tonvikt kan ligga på hur dynamiska ruttval ska kalibreras. Ofta behövs en simultan kalibrering för reseefterfrågan, resbeteende och ruttval vilket gör denna typ av kalibrering mycket komplex. Detta är ett svårt kalibreringsarbete då

dessa dimensioner är svåra att skilja åt. Utveckling inom detta område pågår internationellt men bra metoder saknas ännu.

Förslaget är att så långt möjligt arbeta sekventiellt, dvs. i följande steg.

1. Reseefterfrågen
2. Trafikbeteendeparametrar
3. Ruttval

Problemet som uppstår är att ruttvalet är beroende av de föregående stegen och att det enda som finns att kalibrera mot när det handlar om ruttval är (förutom felrättningar i kodning) hanteringen av tidsvärden hos resenärer. Det handlar om att dela in resenärerna i rätt tidsvärdesklasser och dessutom välja rätt tidsvärden.

Kalibrering av rutter är i dagsläget ett kompetensområde som behöver mer forskning och utveckling. En del har gjorts på området men avvägningen mellan vetenskaplighet och lättanvända ansatser har ännu inte resulterat i väletablerade metoder på området. Viss vägledning kan fås i HCM 2010 i kapitel 6 samt i DTA Primer.

4.6 Validering och känslighetsanalys

Se avsnitt 2.8.

4.7 Analys av olika alternativ/scenarier

Se avsnitt 2.9.

4.8 Dokumentation

Se avsnitt 2.10.

4.9 Litteraturreferenser

Se avsnitt 1.5

Innehåll

Kapitel 5 Landsvägar och landsvägskorsningar

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 5 | Landsvägar och landsvägskorsningar | 72 |
| 5.1 | Inledning | 72 |
| 5.2 | Genomförandeprocessen | 72 |
| 5.3 | Syfte och avgränsningar | 72 |
| 5.3.1 | Syfte och problembeskrivning | 72 |
| 5.3.2 | Avgränsning i tid och rum..... | 73 |
| 5.3.3 | Val av analysmetod..... | 73 |
| 5.4 | Datainsamling | 73 |
| 5.4.1 | Trafikräkningar | 74 |
| 5.4.2 | Data för kalibrering..... | 74 |
| 5.4.3 | Prognos | 74 |
| 5.5 | Uppbyggnad av basmodell | 75 |
| 5.5.1 | Länk-, korsnings- och zon/centroidnumrering..... | 75 |
| 5.5.2 | Kodning av länkar och korsningar | 75 |
| 5.5.3 | Kodning av centroider/zoner och trafikefterfrågan | 76 |
| 5.6 | Verifiering/kontroll/felsökning | 76 |
| 5.7 | Kalibrering | 76 |
| 5.7.1 | Kalibreringsparametrar..... | 77 |
| 5.8 | Validering | 77 |
| 5.9 | Analys av olika alternativ/scenarier | 77 |
| 5.10 | Dokumentation | 77 |
| 5.11 | Litteraturreferenser | 77 |

5 Landsvägar och landsvägs-korsningar

Huvudförfattare: Johan Olstam; Delförfattare: Andreas Tapani
Granskare: Benny Bergstrand

5.1 Inledning

Simulering av landsvägar skiljer sig till viss del från simulering av andra vägtrafikanläggningar. En del av skillnaden ligger i behovet av att simulera omkörningar på tvåfältsvägar där omkörande fordon interagerar med fordon i den motriktade körriktningen. En annan stor skillnad är effekter av geometrisk fördröjning. Vid simulering av landsvägar påverkas fordonens önskade hastighet i stor utsträckning av vägens geometri såsom vägbredd, kurvatur och lutning.

Med undantag för den senaste versionen av CORSIM¹ (Li och Washburn 2011) så inkluderar ingen av de stora kommersiella trafiksimuleringsprogrammen (VISSIM, AIMSUN, PARAMICS, etc.) möjligheten att simulera denna vägtyp. Det har dock utvecklats ett antal trafiksimuleringsmodeller specifikt för landsvägar, varav de mest välkända är den australienska modellen TRARR (Hoban, o.a. 1991), den amerikanske modellen TWOPAS (Leiman, Archilla och May 1998) och den svenska modellen RuTsim (Tapani 2005a, Tapani 2005b). Den enda modell som är utvecklad och kalibrerad baserad på mätdata för svenska förhållanden är RuTsim.

Detta kapitel handlar om simulering av tvåfältiga landsvägar samt mötesseparerade vägar som mötesfri motortrafikled eller mötesfri landsväg. Andelen omkörbar längd varierar vanligen mellan 15-40% för så kallade 2+1 utformningar och ligger på ca 85 % för 2+2 utformning på länk men med ett körfält genom korsningar.

5.2 Genomförandeprocessen

Se kapitel 2.2

5.3 Syfte och avgränsningar

5.3.1 Syfte och problembeskrivning

Bakgrunden till en kapacitetsanalys av en landsväg med hjälp av trafiksimulering är ofta ombyggnation av en tvåfältig landsväg till någon typ av mötesseparerad landsväg.

¹ <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/>

5.3.2 Avgränsning i tid och rum

Simulering av landsvägar avgränsas vanligen till simulering av en landsvägssträcka. Simulering av nätverk av landsvägar inklusive ruttval är ovanligt.

Vid simulering av landsvägar är det viktigt att ta hänsyn till vilken typ av vägtyp som förekommer uppströms av den studerade sträckan. Ofta behövs en uppvärmningssträcka för att skapa rätt fördelning av tidsavstånd och kolonnbildning vid studiesträckans start.

5.3.3 Val av analysmetod

De analytiska metoder som redovisas i TRV2013/64343 kapitel 4 för beräkning av framkomlighet på landsvägar kan användas för att beräkna frifordons hastighet, kapacitet och medelhastighet vid ett givet flöde för en genomsnittlig landsväg med en viss vägbredd och hastighetsgräns. De analytiska metoderna tar dock i mycket begränsat omfattning hänsyn till vägens linjeföring, siktbegränsningar och omkörningsmöjligheter. De ger heller inte någon information om spridning i hastighet. För detaljerade analyser av en specifik väg med en specifik linjeföring, siktprofil och omkörningsrestriktioner bör en landsvägssimulering genomföras.

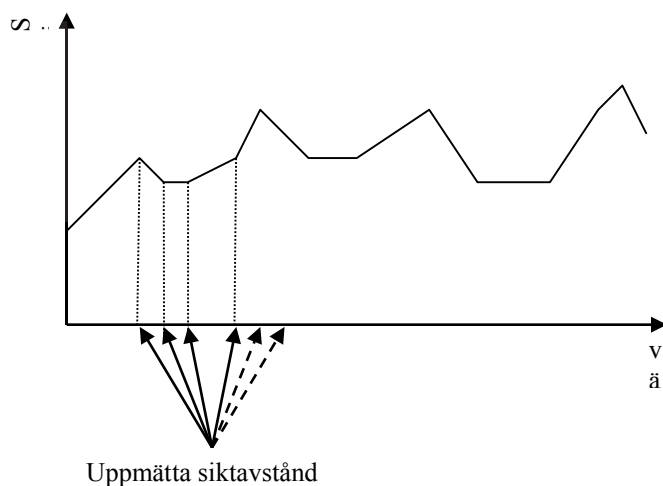
5.4 Datainsamling

De viktigaste indata vid simulering av landsvägar uppräknas nedan:

- Trafikflöde uppdelat per fordonstyp, exempelvis personbil, lastbil, buss, lastbil med (semi)trailer eller släp.
- Siktavstånd längs med vägen – viktig indata för att beräkna var det finns siktmax som tillsammans med siktavståndet används i omkörningsmodeller.
- Kurvatur – viktig input till modeller som beskriver önskad hastighet. Kurvaturen är betydligt oftare en begränsande faktor på landsvägar än på motorvägar och tätortsvägar/gator.
- Omkörningsrestriktioner (linjer och skyltar).
- Vägbredd – på landsväg påverkar vägbredden till viss del fordonens önskade hastighet.
- Vägrensbredd – påverkar möjligheten att gå ut i vägrenen för att låta bakomvarande fordon passera.
- Vägens lutning och fordonens effekt/massa tal (accelerationsmöjligheter) är ofta viktigare på landsväg än på motorväg på grund av mer variation i vägens vertikala linjeföring.
- Förekomst av stigningsfält samt längd på dessa.
- Längd på enfältiga och tvåfältiga sträckor samt vävningssträckornas längd på mötesseparerade vägar (2+1, 2+2 med 1 körfält genom korsningar)
- Placering av eventuella ATK-kameror.

Den mest problematiska indatan är vanligen siktavstånd som sällan finns uppmätt och dokumenterat. Siktavstånd kan uppskattas genom en mätmetod där en bil utrustad med datalogger körs längs den aktuella vägsträckan och där en medpassagerare knappar in separata ”koder” i dataloggern för var siktmax

startar och slutar samt var det finns siktmin. Denna information kan sedan användas för att skapa en styckvis linjär siktprofil, se exempel på siktprofil i Figur 1.



Figur 1 Exempel på siktavståndprofil

5.4.1 Trafikräkningar

Se Kapitel 2.4.1

5.4.2 Data för kalibrering

Följande kalibreringsdata behövs för simulering av landsvägar:

- Hastighet, medel och variation i reshastighet vid olika snitt.
- Restid för delsträckor och eller mellan respektive start och slutpunkt.
- Tidsavståndsfördelningar.
- Omkörningsfrekvenser.

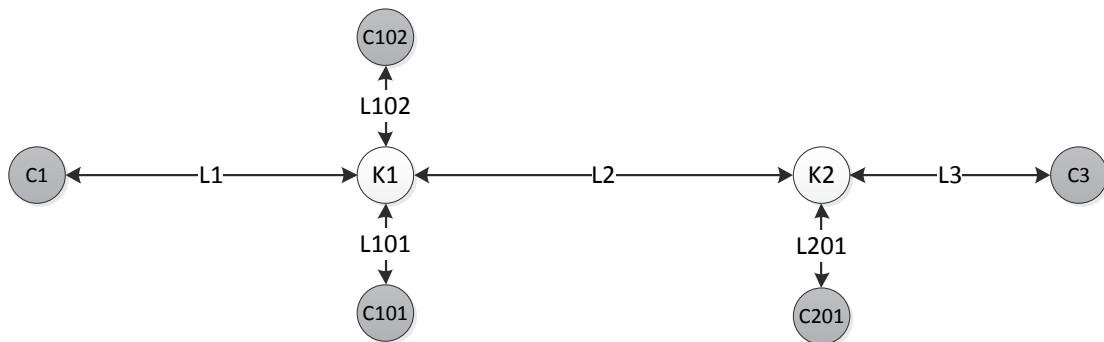
5.4.3 Prognos

Prognoser för framtida trafiksituationer görs även för landsvägar enligt beskrivningen i Kapitel 2.4. Prognoseerna finns ibland endast i form av ÅDT-flöden. Vid omräkning till timflöden för en landsväg måste antaganden om hur riktningsfördelningen ser ut göras. I bästa fall finns information om riktningsfördelningen i nuläget och då gäller antagandet snarare om riktningsfördelningen i nuläget kommer att förändras eller inte.

5.5 Uppbyggnad av basmodell

5.5.1 Länk-, korsnings- och zon/centroidnumrering

Då det vid simulering av landsvägar nästan uteslutande handlar om simulering av en vägsträcka kan en stigande länknumrering längs med denna sträcka användas. Anslutande sekundärvägar ges lämpligen ett länknummer kopplat till länknumret på huvudvägen, se exempel i Figur 2. På samma sätt numreras förslagsvis korsningarna längs med vägsträckan med en stigande numrering. Zoner/centroider ges lämpligen nummer motsvarande det vägnummer som den ansluter till.



Figur 2 Exempel på länk-, centroid- och korsningsnumrering för en landsväg med sex dubbelriktade länkar, fem centroider och två korsningar.

5.5.2 Kodning av länkar och korsningar

Länkar

Kodning av landsvägslänkar sker genom inmatning av

- Kurvaturprofiler
- Lutningsprofiler
- Väg- och körfältsbreddsprofiler
- Hastighetsgränsprofiler
- Siktavståndsprofiler
- Omkörningsrestriktioner, skyltar och linjer

Korsningar

Även för landsvägssimuleringar är det viktigt att ta med effekten av avsvängande och insvängande fordon i samband med korsningar. Korsningar påverkar ett avsvängande fordons geometriska fördröjning samt andra fordons interaktionsfördröjning, t.ex. om det avsvängande fordonet inte går att passera förrän det svängt av. Påsvängande fordon påverkar först och främst fördröjningen för andra påsvängande fordon, men även hastigheten på huvudvägen på grund av ökat flöde och densitet.

Vid kodning av landsvägskorsningar är det viktigt att koda vägrensbredder och ytterkanternas linjeföring. Breda vägrenar eller breddning av tillfarter (*eng. flare*) kan ha stor påverkan på om väntande eller avsvängande fordon kan passeras och därigenom snabba upp köavvecklingen. Liksom vid simulering av andra typer av korsningar är det förstås viktigt att koda antalet körfält, tillåtna svängriktningar per körfält samt längder på eventuella korta körfält.

Kodning av anordningar för trafikstyrning

Det finns landsvägsträckor med variabla hastighetssystem. Vanligare är dock att landsvägar är utrustade med ATK (Automatisk TrafiksäkerhetsKontroll). Vid simulering av sådana landsvägar behöver ATK-kamerornas placering vara kända. Vidare behöver modellen för att beräkna fordonens önskade hastighet vid en viss utformning och hastighetsgräns uppdateras m.h.t. effekten på den önskade hastigheten av ATK. Variabla hastighetssystem hanteras på motsvarande sätt genom att ta hänsyn till den variabla hastighetsgränsens påverkan på önskad hastighet.

5.5.3 Kodning av centroider/zoner och trafikefterfrågan

För landsvägar används lämpligen en OD-matris som beskriver reseefterfrågan för respektive fordonstyp mellan varje start (*eng. origin*) och slutpunkt (*eng. destination*).

5.6 Verifiering/kontroll/felsökning

Förutom verifiering enligt proceduren som beskrivs i kapitel 2.1.6 är det vid simulering av tvåfältiga landsvägar även viktigt att verifiera omkörningsbeteendet. Kontrollera så att omkörningar inte genomförs där det ska finnas kodade omkörningsförbud. Gör även en visuell bedömning av omkörningsbeteende och kolonnbildning i förhållande till trafikflöde, riktningsfördelning och siktprofil. Vid simulering av mötesseparerad landsväg är det istället för omkörningsbeteende viktigt att kontrollera vävningsbeteendet vid övergång från två till ett körfält.

5.7 Kalibrering

De viktigaste kalibreringsmått på landsväg är

- Hastighet, medel och variation i reshastighet vid olika snitt
- Restid för delsträckor och eller från respektive start och slutpunkt
- Tidsavståndsfördelningar
- Omkörningsfrekvenser

5.7.1 Kalibreringsparametrar

De viktigaste parametrarna för kalibrering av simuleringsmodeller för landsvägar är:

- Maximal önskad hastighet – önskad hastighet vid ideala förhållanden utan hastighetsgräns
- Reaktionsid
- Önskat följandeavstånd

Accelerations och retardationsparametrar behöver vanligen inte justeras. För RuTSim finns väl underbyggda värden för fördelning av effekt/massa tal för olika fordonstyper, så dessa bör endast i undantagsfall justeras. Fordonens effekt/massa tal används för att beräkna den maximala accelerationen som ett fordon kan använda givet en viss hastighet, väglutning och aerodynamisk utformning.

Omkörningsparametrarna i RuTSim är baserade på ett omfattande datamaterial och bör endast justeras i undantagsfall. Om någon annan simuleringsmodell används bör dock parametrar kopplade till omkörningsbenägenhet kalibreras för svenska förhållanden.

5.8 Validering

Se kapitel 2.8.

5.8.1 Analys av olika alternativ/scenarier

De viktigaste effektmåten att studera vid simulering av landsvägar är

- Reshastighet
- Fördröjning
- Omkörningsfrekvens
- Andel tid som hindrad
- Kölängd vid slutet på enfältiga avsnitt utan omkörningsmöjlighet

5.9 Dokumentation

Se kapitel 2.10

5.10 Litteraturreferenser

Se kapitel 1.4.

Innehåll

Kapitel 6 Signalreglerade korsningar

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 6 | Signalregerade korsningar | 79 |
| 6.1 | Introduktion | 79 |
| 6.1.1 | Trafiksimulering | 79 |
| 6.1.2 | Trafiksignaler..... | 79 |
| 6.1.3 | Trafiksignalterminologi | 79 |
| 6.1.4 | Säkerhetsbidsberäkning..... | 80 |
| 6.1.5 | Regleringsformer..... | 80 |
| 6.1.6 | Signallyktor..... | 80 |
| 6.1.7 | Signalreglering i simulering | 80 |
| 6.2 | Genomförandeprocessen | 81 |
| 6.3 | Syfte och avgränsningar | 81 |
| 6.4 | Databehov | 83 |
| 6.5 | Uppbyggnad av basmodell | 84 |
| 6.5.1 | Korsningsgeometri, trafikmängder och rutter | 84 |
| 6.5.2 | Påverkan på mättnadsflöde..... | 85 |
| 6.5.3 | Styrapparat och signalväxling | 87 |
| 6.5.4 | Signallyktor och detektorer..... | 92 |
| 6.6 | Verifiering, kontroll och felsökning | 93 |
| 6.7 | Kalibrering | 94 |
| 6.8 | Validering | 94 |
| 6.9 | Analys av olika alternativ/scenarier | 94 |
| 6.10 | Dokumentation | 94 |
| 6.11 | Litteraturreferenser | 95 |

6 Signalregerade korsningar

Huvudförfattare: Johan Wahlstedt

Granskare: Jeffery Archer, Johan Olstam, Benny Bergstrand

6.1 Introduktion

6.1.1 Trafiksimulering

Trafiksimulering används i dag för att studera mer komplexa trafiksystem med flera samverkande korsningar eller olika korsningstyper som är svåra att analysera på annat sätt. För övergripande analyser av trafiksystemet kan makro- eller mesoskopiska modeller användas, men för detaljerade studier används mikroskopiska modeller. Det idag mest använda programmet i Sverige för simuleringar på mikroskopisk nivå är VISSIM (se www.ptvag.com).

6.1.2 Trafiksignaler

Trafikstyrda signaler och trafiksignaler med bussprioritering är svåra att analysera med analytiska metoder, t.ex. p.g.a. brister i modellering av tidsdynamik eller realtidsstyrda trafikstyrningsanordningar. Ett annat skäl kan vara att andra korsningar med andra regleringsformer ligger så nära den studerade korsningen att ankomstfördelningen inte kan antas vara slumpmässig. Ett exempel är en cirkulationsplats med signalreglerat övergångsställe eller två närliggande trafiksignaler som inte är samordnade. I dessa fall kan mikrosimulering vara en lämplig metod för analys av kapacitet, fördröjning mm. Effekterna av samordnade trafiksignaler utan trafikstyrning går att beräkna analytiskt, men varken den i TRV2013/64343 kapitel 6 beskrivna beräkningsmetoden eller datorprogrammet CAPCAL (Linse 2013, Hagström och Allström 2010) kan hantera dessa styrmetoder. Simulering kan i vissa fall vara ett alternativ till att använda speciell programvara för optimering och beräkning av signalsamordningar som TRANSYT (se <https://www.trlsoftware.co.uk>), eller båda i kombination för att även optimera samordningen.

6.1.3 Trafiksignalterminologi

Trafiksignaler och deras funktion beskrivs närmare i VGU (Trafikverket och SKL 2012). I TRV2013/64343 kapitel 6 *Signalregerade korsningar* beskrivs styrsätt (avsnitt 6.1.1); signalbegrepp (6.1.2) samt termer och beteckningar (6.15) som också är tillämpbara i detta kapitel.

6.1.4 Säkerhetstidsberäkning

Metodik för beräkning av säkerhetstider beskrivs i TRV2013/64343 avsnitt 6.6.1. Säkerhetstid beräknas i form av en konfliktmatris där säkerhetstiden mellan alla kombinationer av konflikterande signalgrupper anges.

Säkerhetstid anges endast för de konflikter som inte tillåts med den valda regleringsformen. Vid blandfasreglering får sekundärkonflikt förekomma, men inte vid separatreglering.

| Spärrmatriser för ANL: 226-14, Lännavägen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Datum: 2 | |
|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|--|
| TILL FRAMRYCKANDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| F R A M R Y C K A N D E | 1 | | | | 0,1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | 0,3 | 2,6 | | 1,0 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | | | | | | | | | |
| | 3 | 0,8 | 0,1 | | 0,1 | 0,5 | | | | | 0,1 | 0,1 | 3,8 | 3,8 | 0,1 | 0,1 | | | | |
| | 4 | | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | | | 2,8 | 2,8 | | | | | | | | 0,1 | 0,1 | |
| | 5 | 0,4 | | 0,1 | | | 0,1 | | | | | | 4,0 | 4,0 | 0,1 | | 0,1 | | | |
| | 6 | 0,1 | 0,1 | | 1,6 | 0,2 | | | | | 3,8 | 3,8 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | | | | |
| | 7 | 0,1 | | | | | | | | | | | 0,8 | 0,8 | 0,1 | | | | | |
| | 8 | 3,5 | 3,5 | | 0,8 | | | | | | | | | | 0,1 | 0,1 | | | | |

Figur 1 Exempel på konfliktmatris för beräkning av säkerhetstider.

6.1.5 Regleringsformer

Se TRV2013/64343 avsnitt 6.5.3.

6.1.6 Signallyktor

Se TRV2013/64343 avsnitt 6.1.2

6.1.7 Signalreglering i simulering

En fördel med simulering är det möjliggör ”kontrollerade experiment” i datormiljö för att testa alternativa styrmetoder, signalanordningar, geometrisk utformning mm. Dessa alternativ behöver inte vara beskrivna i varje detalj men vara möjliga att implementera. Värt att tänka på i dessa sammanhang är följande:

- Deltillfarter reglerade med pilsignaler får aldrig ha sekundärkonflikt
- Dubbla svängande körfält får av säkerhetsskäl inte ha sekundärkonflikt
- Om en vänstersväng är separatreglerad (pilsignal) måste även mötande vänstersväng vara separatreglerad (av säkerhetsskäl)
- Ökat antal körfält ger ökade säkerhetstider samt mintider för gående

För en överslagsmässig uppskattning av signaltidsättning kan följande approximationer användas:

- Gröntidsbehovet vid trafikavveckling utan sekundärkonflikter är $c:a$ 2 sekunder per bil och körfält.
- Allrödtiden mellan konflikterande grupper i en mindre korsning är normalt 1-2 sekunder, och ökar för större korsningar pga längre utrymningssträckor.
- Mintider för övergångsställen bör beräknas; $L/v_{g\ddot{a}ng}$ där L = hela övergångsställets längd i meter och $v_{g\ddot{a}ng}$ gånghastighet 1,2-1,4 m/sek
- Utrymningstider för övergångsställen bör beräknas: $Lu/1,4$ där Lu = längden mellan kantsten och refug/kantsten, se vidare TRV2013/64343 avsnitt 66.1.4.

Signaltidsättningen kan sedan justeras utifrån simuleringen. CAPCAL kan även användas för att få en gröntidsfördelning och omloppstid att utgå ifrån. För samordnade signaler kan TRANSYT eller liknande program användas.

6.2 Genomförandeprocessen

Se kapitel 2.2

6.3 Syfte och avgränsningar

Simulering är en lämplig metod för kapacitetsanalys om överslagsberäkning eller analytiska beräkningar inte är tillräckliga, samt om en visualisering av resultaten önskas för presentation för allmänhet, beslutsfattare m.fl.

Syftet med simuleringen och frågeställningen som ska besvaras avgör hur detaljerat trafiksignalerna behöver modelleras. En simuleringsmodell är naturligtvis en förenkling av verkligheten, och beroende på syftet kan förenklingen drivas olika långt. Valet av styrsätt i simuleringsmodellen beror även på hur signalen styrs i verkligheten. Samordnade signaler är huvudsakligen tidstyrda och kan modelleras som fast tidstyrda (men hänsyn kan behöva tas till ev. bussprioritering eller specialfunktioner) medan oberoende trafikstyrda liksom länkade signaler i vissa fall kan modelleras förenklat som fast tidstyrda, men i andra fall bör modelleras som trafikstyrda. I de fall trafiksignalen i sig inte är intressant, men ligger så nära det studerade objektet att den påverkar ankomstfördelningen betydligt, kan signalen modelleras förenklat.

Signaltidsättningen för fast tidstyrda signaler optimeras med metoden i TRV2013/64343 avsnitt 66.1.4 enligt kriteriet lägsta medelfördröjning. Optimering kan också ske för andra kriterier med inbyggda eller externa optimeringsalgoritmer. För att optimera en signalsamordning kan t.ex. TRANSYT kopplas till simuleringsmodellen.

Metoderna att styra signalerna i en trafiksimuleringsmodell på mikronivå kan med stigande detaljeringsgrad delas in i:

- Förenklade signaler
- Tidstyrda signaler
- Trafikstyrda signaler med VAP styrning eller motsvarande
- Extern styrapparatssimulator

Förenklade signaler

För att skapa kolonner i den ankommande trafiken kan en förenklad signal kodas. Endast en, eller vid behov flera, inkommande tillfarter kodas och förses med signal/stopplinje, i övrigt behöver inget av korsningen kodas. Signalen modelleras tidstyrt utifrån sin signalplan eller observerad, alternativt uppskattad, gröntid och omloppstid för den aktuella tillfarten. Detta kan vara lämpligt t.ex. om en cirkulationsplats eller påfartsramp ligger så nära en signal att ankomstfördelningen inte kan antas vara slumpmässig, men signalen i sig inte är intressant för den aktuella studien.

Tidstyrda signaler

Fast tidstyrda signaler är enklast att koda in i modellen och ger i många fall tillräcklig detaljeringsgrad. Kapaciteten underskattas i vissa fall något medan fördröjning och kölängd överskattas om signalen i verkligheten är trafikstyrd. Simulering med fast tidstyrda signaler är normalt tillräckligt detaljerad för att avgöra om en föreslagen lösning har tillräcklig kapacitet eftersom en trafikstyrd signal beter sig som en tidstyrd vid hög belastning. Om signalerna i verkligheten är samordnade går de normalt bra att simulera dem som fast tidstyrda.

Trafikstyrda signaler med VAP styrning eller motsvarande

Många trafiksimuleringsprogram ger möjlighet att modellera trafiksignaler med en förenklad trafikstyrning. I VISSIM går det att programmera önskade signalfunktioner mm med det grafiska programmeringsverktyget ViSVAP, i andra programvaror finns liknande möjligheter. Trafikstyrda signaler går härigenom att programmera något förenklat liksom kollektivtrafikprioritering, bomfällning vid järnvägsövergångar mm. Detta ger normalt tillräcklig detaljeringsgrad för att studera fördröjning, kölängd mm, och för att jämföra en trafikstyrd signal med andra regleringsformer (väjning, cirkulationsplats osv).

Extern styrapparatssimulator

För att få en exaktare modellering av signalstyrningen kan en extern styrapparatssimulator som använder samma programkod och signalprogrammering som den riktiga styrapparaten på gatan användas. Alternativt kan en styrapparatsemulator som efterliknar en riktig styrapparat och använder samma signalprogrammering kopplas till trafiksimuleringsmodellen. Om styrapparatssimulatorprogrammeringen från gatan inte finns tillgänglig krävs ett omfattande arbete för att programmera upp denna. Simulatorer finns endast för vissa styrapparatstyper och tillhandahålls av dessas tillverkare. En extern styrapparatssimulator eller styrapparatsemulator är lämplig för att studera effekterna av olika former av signalstyrning, men kan även vara ett effektivt arbetssätt om signalprogrammeringen från signalerna på gatan finns tillgänglig.

6.4 Databehov

Platsbesök bör göras vid korsningen eller området som simuleras. De indata som huvudsakligen behövs för simulering av signalreglerade korsningar är:

- Trafikflöden
- Korsningsgeometri
- Funktionsbeskrivning och kabel/detektorplan för signalen
- Hastighet i svängande rörelser
- Hastighetsspridning (samordnade signaler)
- Väjningsbeteende
- Körfältsutnyttjande

Trafikflöden på minst timnivå med andel svängande trafik samt tung trafik behövs för alla trafikströmmar. Ungefärligt antal gående per övergångsställe uppskattas om räkningar inte finns tillgängliga. En kortvarig räkning i samband med platsbesök kan ge betydande insikt.

Geometrin behöver främst visa antal körfält och deras längd (t.ex. längd på vänstersvängficka). Därutöver behövs information om stopplinjernas placering och möjlighet att magasinera svängande fordon som väjer mot mötande, fotgängare mm) i korsningen utan att blockera bakomvarande fordon. Busshållplatser nära korsningen har också betydelse om inte antalet bussar är försumbart.

Funktionsbeskrivningen för en befintlig signalanläggning visar hur signalen växlar och hur detektorerna fungerar. Stopplinjer och detektorers placering (trafikstyrd signal) fås från kabel/detektorplan. Finns ingen dokumentation för signalanläggningen (t.ex. inte byggd ännu) får en rimlig funktion skissas upp för simuleringen, se ovan. Noggrannheten vid bestämning av kapacitet, fördröjning mm. blir naturligtvis beroende av kvaliteten på dessa antaganden.

Hastigheten i svängande rörelser har stor betydelse för mättandsflödet och därmed kapaciteten i korsningen. Om möjligt bör hastigheten i de svängande rörelserna mätas upp stickprovsmässigt, annars uppskattas de utifrån radierna/körgeometrin.

Hastighetsspridningen har betydelse för kolonnspridningen mellan samordnade signaler. Om signalsamordningens funktion studeras i simuleringen bör hastighetsfördelningen på sträckan mellan signalerna mätas upp och läggas in i simuleringsmodellen.

Väjningsbeteendet vid sekundärkonflikter (mot mötande fordon, gående och cyklister etc.) är platsberoende och bör om möjligt studeras genom platsbesök. Om den simulerade korsningen inte går att studera (ännu inte byggd etc.) kan beteendet i en annan korsning i området studeras. Väjningsbeteendet har en avgörande betydelse för mättandsflödet och därmed kapaciteten i korsningen.

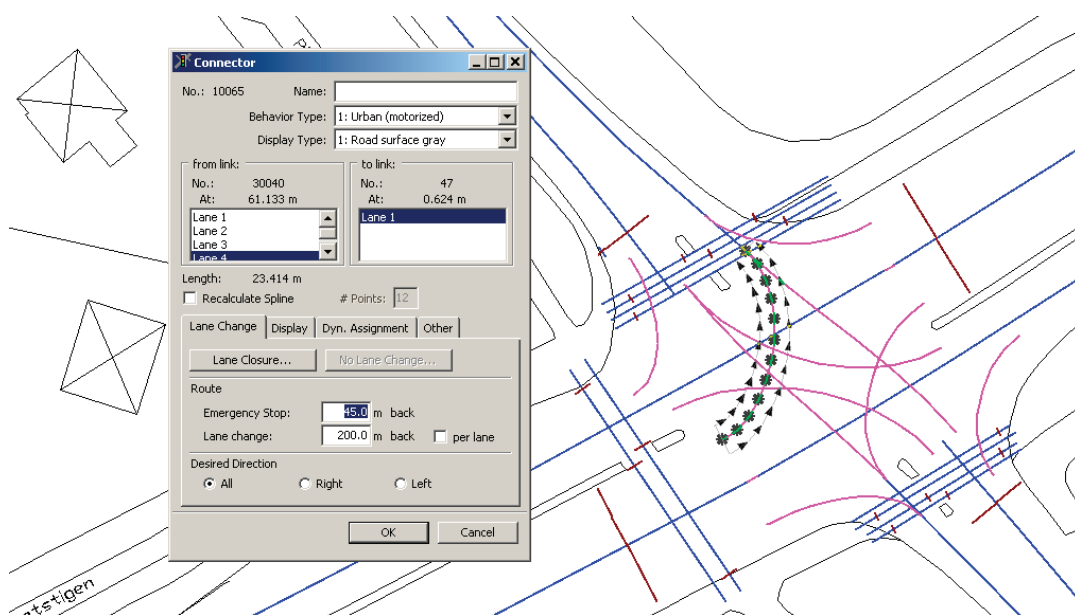
Körfältsutnyttjandet för parallella körfält har betydelse för kapaciteten och beror på närliggande korsningar, ändrat antal körfält mm och varierar därför från plats till plats.

6.5 Uppbyggnad av basmodell

Följande tillämpningsexempel är utfört med simuleringsprogramvaran VISSIM. Exemplet visar främst hur en modell med trafiksignaler kan byggas upp, inte hur man använder VISSIM i allmänhet.

6.5.1 Korsningsgeometri, trafikmängder och rutter

Korsningen byggs upp efter grundkarta eller signalanläggningsplan, en karta/plan i .dwg format är att föredra. I brist på karta kan flygfoto användas, men dessa är sällan fullt skalnligena och viss information saknas. Längden på eventuella svängfält fås normalt från grundkarta men den längd som i praktiken används, mht. busshållplatser, parkerade bilar mm. kan behöva stämmas av vid platsbesök. Geometrin utformas så att magasinsutrymme för svängande bilar stämmer med observerat beteende. Övergångsställen och separata cykelbanor bör i förekommande fall läggas in. I den mån det går bör överlappande länkar/konnektorer undvikas.



Figur 2 Exempel på parametrar för konnektor

För konnektorerna kan "Emergency stop distance" anges, detta är avståndet till den punkt där ett fordon som ska byta till ett körfält som leder till den aktuella konnektorn slutar försöka byta körfält och stannar för att invänta en lucka. Genom att ange en punkt uppströms signalens stopplinje motsvarande den heldragna körfältsmarkeringen undviks orealistiska körfältsbyten nära stopplinjen, samt säkerställs att fordonen passerar "signal head"/stopplinjen för det aktuella körfältet om länken uppströms har flera körfält.

Parametern "Lane change" anger hur långt uppströms fordonen "får reda på" att de ska till den aktuella konnektorn för att följa sin rutt och därmed var körfältsbyte i riktning mot konnektorn påbörjas. För att detta ska ha effekt måste ruttvalet ligga uppströms om den angivna punkten om "static routing" används. Dessa båda parametrar påverkar körfältsbytena och bör kalibreras mot observerat trafikantbeteende.

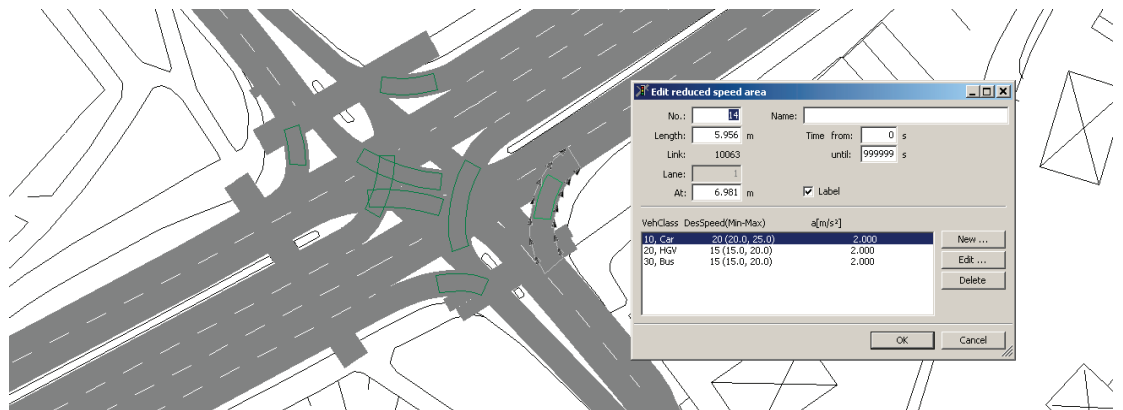
I VISSIM kan ruttvalet göras statiskt eller dynamiskt. Med ”static routing” skapas trafiken i ”vehicle inputs” och leds genom modellen via statistiska rutter som anges av användaren. Med ”dynamic assignment” genereras trafiken med en OD matris och ruttvalet genom nätet väljs med en iterativ process av VISSIM. ”Dynamic assignment” kräver mer arbete och är endast meningsfullt vid större modeller där det finns flera möjliga vägar genom nätverket. Nedan beskrivs tillvägagångssätt med ”static routing”.

Trafikmängder läggs in för alla tillfarter, i förekommande fall med olika andel tung trafik mm. Beroende på hur väl trafikmängderna är kända kan de läggas in som timtrafik under hela simuleringsperioden eller varierande över t.ex. 15 minuters intervall för att kunna ta hänsyn till effekterna av kortsiktiga flödesvariationer.

Rutter läggs in genom korsningarna. Om det finns flera körfält i samma riktning mellan närliggande korsningar och korsningsavståndet är kort kan rutternas behöva göras genomgående för flera korsningar. Detta rekommenderas för att körfältsbyten ska kunna ske på ett korrekt sätt, se parametern ”Lane change” för konnektorer ovan.

6.5.2 Påverkan på mättnadsflöde

Ett av de mest betydelsefulla effektmått för trafiksignaler är mättnadsflöde, det största antal fordon per gröntimme som kan passera stopplinjen vid mättade förhållanden. I en trafiksimuleringsmodell på mikronivå är mättnadsflöde inte indata som kan anges explicit, utan ett resultat. Mättnadsflöde enligt gängse definition är dock sällan enkelt att ta ut som utdata ur simuleringsmodeller på mikronivå. Mättnadsflödet beror främst på indata avseende car-followingparametrar, hastighet genom korsningen samt väjning vid sekundärkonflikt. VISSIM har med standardparametrar en tendens att ge något för höga mättnadsflöden.



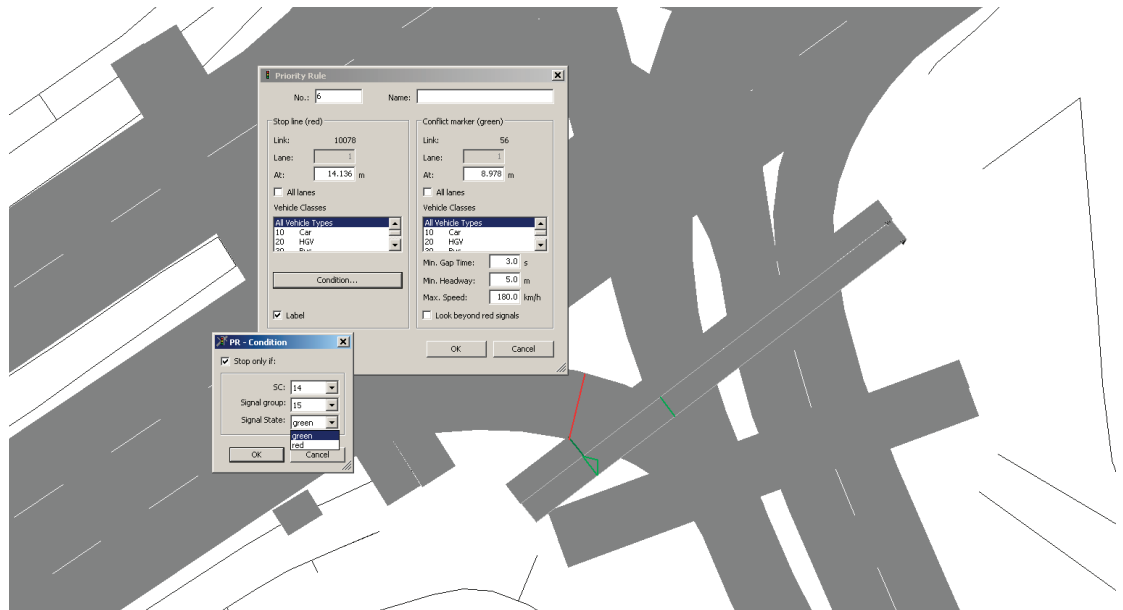
Figur 3 Exempel på hastighetsreduktion för svängande fordon

Hastigheten i svängande rörelser minskas med ”reduced speed areas”, en ”desired speed distribution” per fordonsslag anges för det angivna området. Fordonen anpassar hastigheten innan de når en ”reduced speed area” och accelererar åter till ”desired speed” efter att ha lämnat den. Den valda hastigheten har stor påverkan på mättnadsflödet, om mättnadsflödet blir för högt kan en ”reduced speed area” läggas in även i genomgående körfält.

Primärkonflikter regleras alltid av trafiksignalen medan sekundärkonflikter i de flesta fall regleras av väjningsregler i trafiklagstiftningen, se kapitel 8.1.

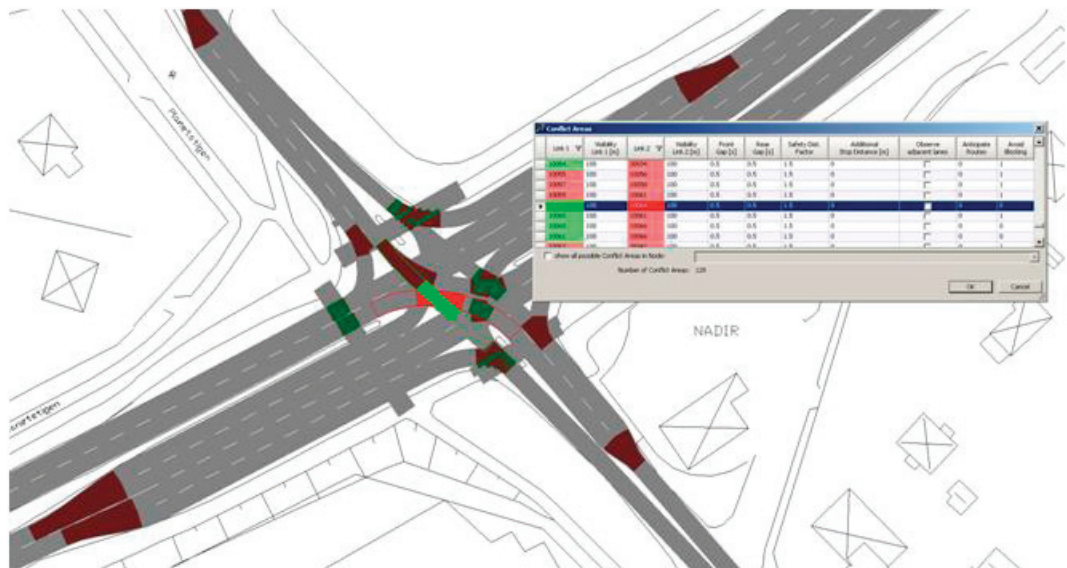
Väjning kodas i VISSIM antingen med "priority rules" eller "conflict areas". Att koda väjningar med "priority rules" kräver mer arbete men ger större flexibilitet än med "conflict areas". Båda typerna kan kombineras efter behov.

Väjningsregler i alla sekundärkonflikter behöver läggas in i VISSIM modellen, och om tillbakablockering ska kunna hanteras även primärkonflikter. Var fordonen stannar för att väja har betydelse för korsningens kapacitet, det påverkar om bakomvarande fordon blockeras när ett eller flera svängande fordon väjer mot gående eller mötande trafik och om fordon magasineras i korsningen. Detta bör om möjligt studeras vid platsbesök.



Figur 4 Exempel på väjning med "priority rules"

Med "priority rules" anges den punkt där fordonen stannar (röd linje) samt en eller flera konfliktpunkter (grön linje) där den angivna tids- och avståndsluckan ska vara uppfylld för att stoppunkten ska passeras, se Figur . Både stopp- och konfliktpunkter kan göras fordonsslagsberoende. Väjningen kan även villkoras med att en viss signalgrupp är röd eller grön. Antalet "priority rules" som behöver kodas blir snart stort, men det finns stora möjligheter att anpassa modellens beteende till observerat beteende.



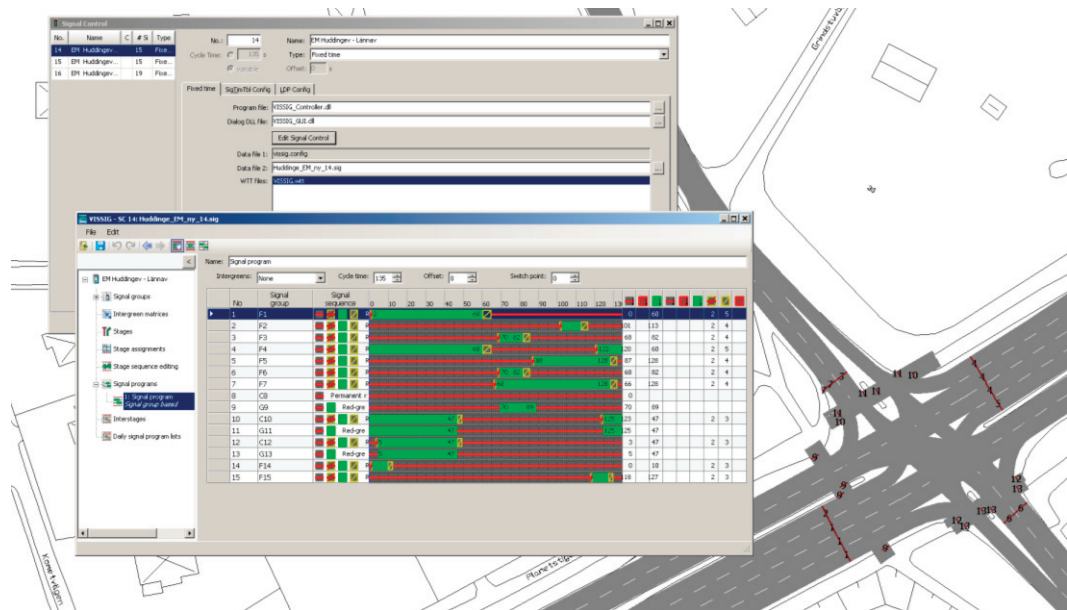
Figur 5 Exempel på väjning med "conflict areas"

Med "conflict areas" behöver mindre information matas in, VISSIM beräknar automatiskt vilket område som två länkar/konnektorer överlappar varandra och trafikanalytikern anger endast vilken länk som ska väja. Kritisk tidlucka och -avstånd tas från car-following modellen och multipliceras med en justerbar multippel som kan göras fordonsslagsberoende. En "conflict area" innehåller en dubbelsidig väjning, ett fordon med företräde kommer inte att köra in i ett fordon som borde ha väjtt men som kört in och blivit stående på konfliktytan. Fordonen kommer också att undvika att köra in på konfliktytan om det inte finns plats på andra sidan så att konfliktytan kan passeras helt. Detta kan medföra ett orealistiskt försiktigt körbeteende i vissa fall. Stoppunkten som VISSIM beräknar kan i vissa fall hamna väl långt ifrån den verkliga konfliktpunkten vilket leder till ett för litet magasinsutrymme.

6.5.3 Styrapparat och signalväxling

Trafiksignalerna styrs såväl i verkligheten som i VISSIM av en styrapparat, i VISSIM definieras en "signal controller" och till den kopplas "signal heads"/stopplinjer, detektorer mm. I styrapparaten definieras ett antal signalgrupper som styr tillhörande "signal heads". Signalgrupperna bör om möjligt följa de verkliga, deras indelning fås från signalväxlingsschema, se fFigur och 8, och signalplan fFigur 3. För respektive signalgrupp anges i VISSIM växlingssekvens samt rödgult och gultid (grönblink). OBS att VISSIMs standardvärden för gult och rödgult avviker från svenska regler, se TRV2013/64343 kapitel 6.

Styrapparaten kan styras på olika sätt, de vanligaste är fast tidsstyrd, "fixed time", trafikstyrd med VISSIMs VAP/VisVAP logik eller med extern styrapparatssimulator se även avsnitt 6.3. ovan. Här behandlas främst fast tidsstyrda signaler vilket är det enklaste fallet.

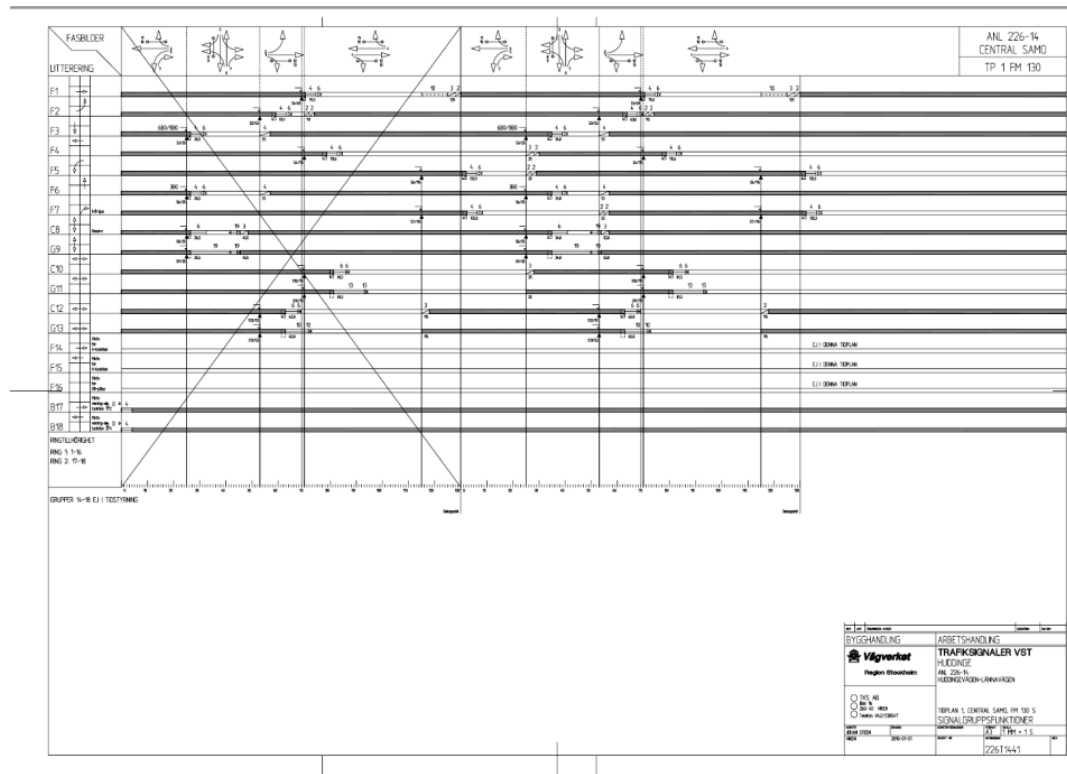


Figur 1 Exempel på signaltidsättning i VISSIM

I VISSIMs ”signal controller” skapas ett eller flera ”program”, för dessa anges omloppstid samt grönslut i form av rödslut och grönslut för respektive signalgrupp. Dessa tider fås från signalväxlingsschemat, se exempel i figur. Finns inte signalen i verkligheten, eller om signaldokumentationen inte är tillgänglig får en rimlig signaltidsättning och tillhörande körfältsindelning som uppfyller gällande regler ansättas, se även avsnitt TRV2013/64343 kapitel 6.1. En signaltidsättning och/eller körfältsindelning (samt annan geometrisk utformning) som inte uppfyller gällande regler ger ett ogiltigt simuleringsresultat.

Tidsstyrda samordnade signaler

Som beskrivits i TRV2013/64343 kapitel 6.1. kan signalens styrform vara (oberoende) trafikstyrd eller (samordnad) tidsstyrd, i de flesta fall finns minst en tidplan för oberoende styrning och i den finns grunddata såsom mintider mm. Är signalen samordnad finns ofta flera tidstyrda program för olika trafikfall/tidsperioder på dagen. Vid simuleringen väljs den tidplan som motsvarar det studerade trafikfallet. Simuleras flera tidsperioder, t.ex. förmiddagens och eftermiddagens maxtimme, behövs normalt olika signaltidsättning för dessa tidsperioder. Om framtida fall med ändrade trafikflöden och/eller geometri studeras kan signaltidsättning och körfältsindelning (geometri) behöva ändras motsvarande vad som kan antas ske i verkligheten vid ändrade trafikförhållanden.



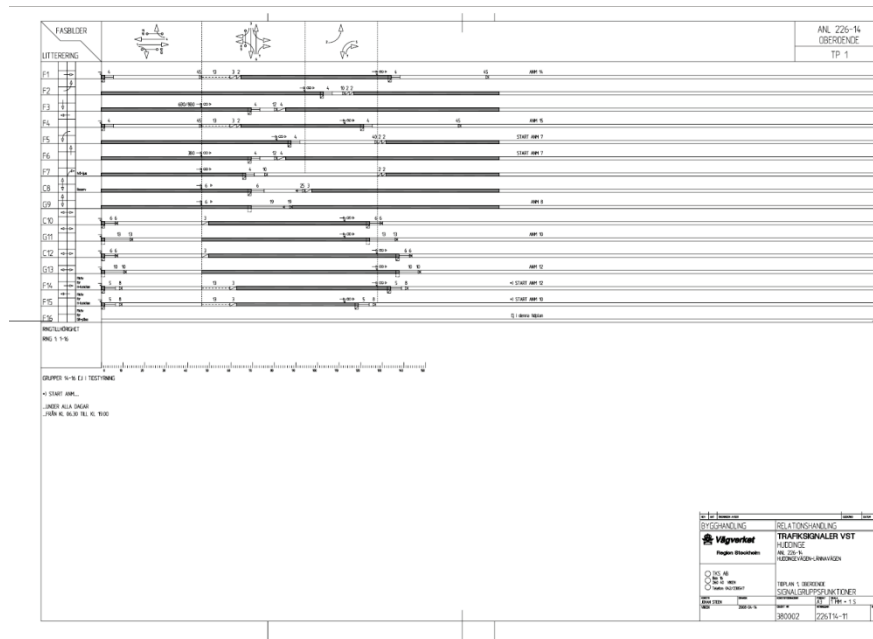
Figur 7 Exempel på signalväxlingsschema för samordnad styrning

Ett samordnat program är normalt huvudsakligen fast tidstyrt, men kan ha viss lokal anpassning i form av signalgrupper som endast går till grönt efter anmälan, trafikstyrd framtid mm. Signalväxlingsschemat visar signalväxlingen när alla signalgrupper går in och tar ut full förlängning av trafikstyrda tider, se exempel i Figur 7 ovan. Detta ger normalt högst kapacitet, men kan resultera i något för hög fördröjning, och är normalt en lämplig utgångspunkt vid simuleringen. I exemplet ovan visas ett startomlopp (överkryssat) och ett normalt omlopp där det senare ska användas.

För en samordnad (fast tidstyrd) signal kan omloppstid och gröntider från signalväxlingsschemat i de flesta fall mer eller mindre direkt sättas in i VISSIM om framtider mm. förutsätts tas ut helt.

Trafikstyrda oberoende signaler

Om en (oberoende) trafikstyrd signal ska modelleras som fast tidstyrd behöver vissa antaganden och förenklingar göras. Effekterna av signalen blir annorlunda än med korrekt signalstyrning, åtminstone om det inte är kö i alla tillfarter. Beroende på simuleringens syfte kan detta i alla fall vara en fullt tillräcklig approximation, se kapitel 6.3 ovan.



Figur 8 Exempel på signalväxlingsschema för oberoende styrning

Signalväxlingsschemat visar hur signalen växlar om den startar från allrött om alla detektorer är belagda och därmed alla signaler anmäler grönbehov och förlänger alla trafikstyrda tider fullt ut, se exempel i Figur **Fel! Hättar inte eferenskälla..** Observera att signalväxlingsschemat inte alltid är skalenligt och att den verkliga växlingen enligt de i signalväxlingsschemat angivna funktionerna kan se annorlunda ut. Signalen startar normalt inte heller från allrött under de förhållanden som simuleras, så det går inte att rakt av sätta in de tider som visas i signalväxlingsschemat i VISSIM.

Vanligtvis är det rimligt att anta att alla grupper alltid har grönbehov och att all trafikstyrd grön- och gultid tas ut. Om max- och/eller fråntiderna är långa i förhållande till den simulerade trafikbelastningen kan en mindre del användas, t.ex. 75% av maxtid och 50% av fråntid, detta måste bedömas från fall till fall. Det är också troligt att sidotillfarterna tar ut en mindre del av max gröntid än huvudvägen. Variabel gultid kan antas tas ut fullt. Variabel rödtid kan användas för rödkörningskontroll (R-funktion i LHOVRA) eller för att fordon som magasinerats i korsningen ska hinna lämna denna innan nästa grupp får grönt. Om den variabla rödtiden används för rödkörningskontroll kan det antas att den inte tas ut, medan en lämplig del av den variabla rödtiden för att utrymma magasinerade fordon bör tas med.

För att förenkla den trafikstyrda signalstyrningen till fast tidsstyrd görs en delvis iterativ genomgång av signalväxlingen enligt följande:

1. Välj en lämplig fasbild att börja med som har en enkel inväxling
2. Bestäm gröntider genom att kontrollera mintid och trafikstyrd maxtid för de grupper som har gemensamma fientligheter mot grupp(er) i nästa fasbild. Grupper med gemensamma fientligheter har samma frånväxlingspunkt, den längsta tiden väljs.
3. Addera trafikstyrd fråntid och grönblink efter växlingspunkten för de grupper som har det, individuellt för varje grupp.
4. Addera eventuell trafikstyrd rödtid.
5. Bestäm grönstart för grupper i nästa fasbild genom att kontrollera säkerhetstider mot frånväxlande grupper i spärrmatrix, se exempel i

6. Figur 2 nedan, och eventuell trafikstyrd rödtid om denna är längre än säkerhetstiderna. Grupper med samma fientligheter kan ha olika inväxlingspunkt beroende på olika säkerhetstider.
7. Bestäm gröntider genom att upprepa från 2 ovan tills alla grupper fått grönt.
8. Kontrollera att växlingen till den första fasbilden fortfarande stämmer efter att frånväxling i sista fasbilden bestämts, justera vid behov efterföljande signalväxlingar genom att upprepa från 2 till 6.
9. Beräkna omloppstid för signalväxlingen

När signalväxling bestämts enligt ovan kan den sättas in i VISSIM som fast tidsstyrd. Om signaltidsättningen inte stämmer med de simulerade trafikförhållandena kan de uttagna max- och fråntiderna justeras utifrån simuleringens animering.

Spärrmatriser för ANL: 226-14, Lännavägen Datum: 2010-02-24 Ritn nr: 226T14-81

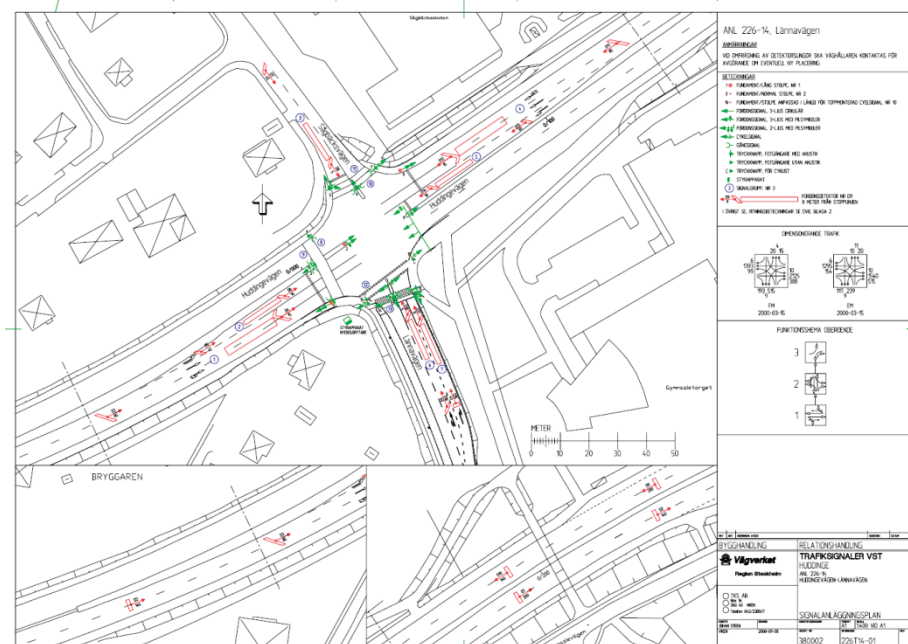
| TILL FRAMRYCKANDE | | RÖTTID | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | | | | | |
| F | 1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | 0.3 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 4 | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | 0.4 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 7 | | | | | | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| TILL FRAMRYCKANDE | | SPÄRRTID | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | FAST GULTID | | | | |
|-------------------|----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|--|--|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | | | | |
| F | 1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 2 | | 0.3 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.5 |
| | 3 | | | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.5 |
| A | 4 | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 5 | | | | | 0.4 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.5 |
| | 6 | | | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.5 |
| U | 7 | | | | | | | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 8 | | | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 | |
| | 9 | | | | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 | |
| M | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| A | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| U | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| M | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| A | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| M | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| A | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 |

SPÄRRTID i matrisen ovan = RÖTTID + FRAM-gruppens sista gultid (gröntblik) + 0,5 s \square = Teknisk fentlighet

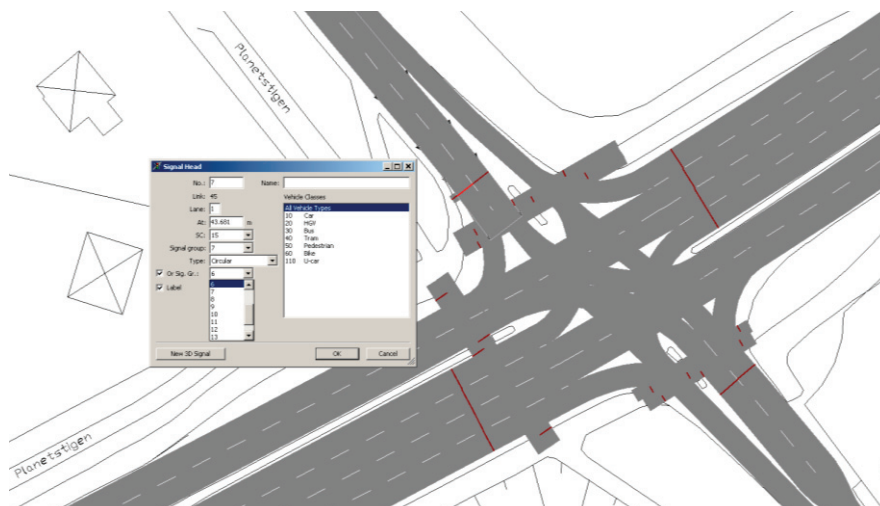
Figur 2 Exempel på konfliktmatris/spärrmatris som anger rödtid respektive spärrtid

6.5.4 Signallykter och detektorer



Figur 3 Exempel på signalanläggningsplan

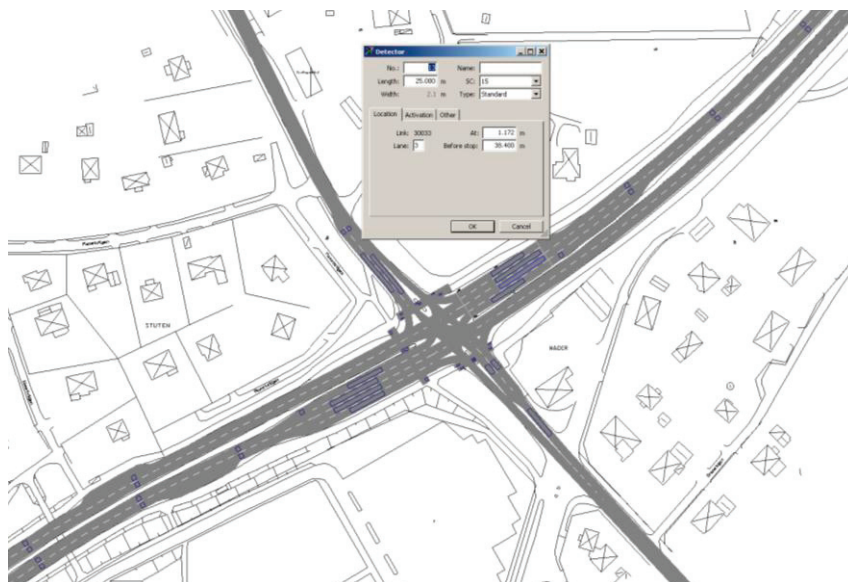
Körfältsindelning, stopplinjer (målning) och signalernas placering fås från signalanläggningsplanen (ibland kombinerad med kabelplan), se figur 10. Stopplinjernas placering/målning bör stämmas av vid platsbesök då denna mer eller mindre avsiktligt kan ha ändrats vid asfalterings/målningsarbeten. Om den simulerade korsningen inte finns i verkligheten eller om dess utformning ska ändras ansätts en rimlig körfältsindelning, denna måste stämma med den regleringsform och signaltidsättning som används för att uppfylla gällande regler (se vidare TRV2013/64343 kapitel 6.1) för att simuleringsresultatet ska vara användbart.



Figur 11 Exempel på "signal heads" i VISSIM

I VISSIM modelleras signallykter och stopplinjer med en "signal head" per körfält placerad vid stopplinjen, se Figur 11. Denna kopplas till en "signal controller" och en signalgrupp i denna, om "Or Sig. Group" används blir signallyktan grön om någon av de angivna grupperna är grön. Detta används

om ett körfält ska regleras med flera signalgrupper, t.ex. om tvåskens undantagssignal för högersväng finns. I detta fall anges både signalgruppen för cirkulärt sken och för högersvängspilen. För gående läggs "signal heads" ut vid kantstenen samt vid refug om gående i verkligheten stannar på refugen när signalen slår om till rött, annars inte.



Figur 4 Exempel på detektorer i VISSIM

I VISSIM kan detektorer läggas in, läge och numrering för dessa fås från signalanläggningsplanen, se Figur 4. Även tryckknappar för gående och cyklister modelleras som detektorer liksom radiodetekteringspunkter för bussprioritering. Detektorer behövs inte för tidstyrda signaler utan endast i kombination med VAP styrning eller extern styrapparatssimulator.

6.6 Verifiering, kontroll och felsökning

Efter att simuleringsmodellen byggts upp och trafiksignalen kodats in bör en visuell kontroll av signalens funktion göras genom animering:

- Är stopplinjerna korrekt placerade, stannar alla fordon där de ska?
- Har konflikterande grupper grönt samtidigt?
- Har någon signal rött tillsynes omotiverat?
- Är undantagssignaler korrekt kodade?
- Verkar säkerhetstiderna rimliga eller tenderar fordonen att "krocka"?
- Uppstår köer i någon tillfart som kan antas ha tillräcklig kapacitet?
- Uppstår köer i tillfarer som antas vara högt belastade?

Om något verkar konstigt, kontrollera mot funktionsbeskrivningen.

Kontrollera även att:

- hastighetsbegränsningar finns i alla svängande rörelser,
- väjningar är kodade för alla sekundärkonflikter och vid behov även för primärkonflikter om tillbakablockering riskeras
- Vid trafikstyrda signaler; använd "test mode" för att kontrollera att detektorerna anmäler och förlänger rätt signalgrupp

6.7 Kalibrering

Kalibrering kan göras mot uppmätta värden i den mån de finns tillgängliga och/eller är mätbara samt visuellt så att modellbeteendet stämmer överens med hur trafikanterna beter sig i verkligheten. Vid platsbesök studeras de beteenden som ska kalibreras, den som utför den visuella kalibreringen behöver skaffa sig en "känsla" av trafikantbeteendet på den aktuella platsen.

De viktigaste kalibreringsmått på signalreglerade korsningar är

- Genomströmning (uppmätta trafikflöden som går genom korsningen)
- Fördröjning/restid
- Kölängd
- Mättnadsflöde (vilket i en mikroskopisk simuleringsmodell ges indirekt av ett antal parametrar)

Parametrar som bör kalibreras är:

- Magasinering i korsningen
- Hastigheter i svängande rörelser
- Väjningsbeteende vid sekundärkonflikter
- Körfältsanvändning och körfältsbyten
- (Acceleration)
- (Tidsavstånd vid köavveckling)

Kontrollera hur den valda programvaran definierar kölängd innan kölängder mäts upp i fält för att om möjligt anpassa mätningarna så att jämförbarhet mellan data uppnås.

Se i övrigt kapitel 2.7 om kalibrering.

6.8 Validering

Se kapitel 2.8 om validering.

6.9 Analys av olika alternativ/scenarier

Obs! För att resultaten ska vara giltiga kan tidsättningen av signalerna behöva ändras om trafikflödena förändras i alternativa utformningar av vägnätet eller med förändrad trafikefterfrågan.

Frågeställningen och syftet med simuleringen styr vilka utdata som väljs för analys. Ofta är trafikflöde (genomflöde) kölängd och restid eller fördröjning lämpliga utdata.

Se i övrigt kapitel 2.9 om analys av olika alternativ/scenarier.

6.10 Dokumentation

Innan simuleringsprojektet avslutas bör det dokumenteras för att man i efterhand ska kunna värdera resultaten och de slutsatser som dragits, samt för att den framtagna modellen i ett senare skede ska kunna användas vidare på ett adekvat sätt. Det som åtminstone bör dokumenteras är använda indata i form av trafikmängder och vilka signalplaner (eller motsvarande) som

använts, hur signalerna styrts samt vika förenklingar som gjorts. Kända brister och osäkerheter i modellen bör även dokumenteras.

Se i övrigt kapitel 2.10 om dokumentation.

6.11 Litteraturreferenser

Se avsnitt 1.4 samt TRV2013/64343 avsnitt 1.6.

Innehåll

Kapitel 7 Cirkulationsplatser

| | | |
|-------------|--|------------|
| 7 | Cirkulationsplatser | 97 |
| 7.1 | Introduktion..... | 97 |
| 7.1.1 | Trafiksimulering | 97 |
| 7.1.2 | Cirkulationsplatser | 97 |
| 7.2 | Genomförandeprocessen | 98 |
| 7.3 | Syfte och avgränsningar..... | 98 |
| 7.4 | Databehov | 98 |
| 7.5 | Utveckling av basmodell..... | 102 |
| 7.5.1 | Korsningsgeometri, trafikmängder och rutter..... | 103 |
| 7.6 | Verifiering, modellkontroll och felsökning..... | 116 |
| 7.7 | Kalibrering..... | 116 |
| 7.8 | Validering | 117 |
| 7.9 | Analys av olika alternativ/scenarier..... | 117 |
| 7.10 | Dokumentation | 117 |
| 7.11 | Referenser..... | 118 |

7 Cirkulationsplatser

Huvudförfattare: Jonas Andersson

Granskare: Johan Olstam, Jeffery Archer, Benny Bergstrand

7.1 Introduktion

7.1.1 Trafiksimulering

Trafiksimuleringar används i dag för att studera mer komplexa trafiksystem med flera samverkande korsningar eller olika korsningstyper som är svåra att analysera på annat sätt. För övergripande analyser av trafiksystemet kan mesoskopiska modeller användas, men för detaljerade studier används mikroskopiska modeller. Det idag mest använda programmet i Sverige för simuleringar på mikroskopisk nivå är VISSIM (se www.ptvag.com).

7.1.2 Cirkulationsplatser

I detta delkapitel ges en grundlig förklaring hur mikrosimulering föreslås användas vid analyser av cirkulationsplatser. Metoden och samtliga illustrationer utgår från en simulering med VISSIM men är applicerbart oavsett programvara.

Cirkulationsplatser är en relativt komplex korsningstyp där utformningen till stor del styr framkomligheten. I dagsläget är det främst CAPCAL som används för att göra snabba och lite enklare analyser. Det finns dock en del begränsningar i CAPCAL som kan påverka noggrannheten i resultatet, dessutom är det svårt att analysera komplexa trafiksystem med CAPCAL varför andra metoder kan vara mer lämpliga. Se också ”*Metodbeskrivningar för beräkning av kapåacitet och framkomlighet i vägtrafikanläggningar*” kapitel 8 Cirkulationsplatser (TRV2013/64343).

Mikrosimulering kan vara en lämplig metod då metoden medger en större flexibilitet avseende utformning och trafikmiljöns komplexitet. Mikrosimulering kräver detaljerade indata som kan vara svåra eller omöjliga att inhämta, vilket om de ersätts med defaultvärden kan påverka resultatet negativt. Det är därför viktigt att t.ex. parametersättning från andra mikrosimuleringar dokumenteras på ett sådant sätt att dessa kan användas som skattningar då faktiska mätdata inte finns tillgängliga.

7.2 Genomförandeprocessen

Se kapitel 2.2

7.3 Syfte och avgränsningar

Simulering bör användas när uppdraget kräver en hög detaljeringsgrad och/eller animering för att ge svar på de frågeställningar som ställs och när andra analysmetoder som t.ex. CAPCAL inte klarar av att beräkna kapaciteten på ett tillfredställande sätt för den aktuella korsningen. Exempel på sådana situationer för cirkulationsplatser är när utformningen skiljer sig mycket från de typkorsningar som finns definierade i CAPCAL, vid stora gång- och cykelflöden, då cirkulationen är signalstyrd och då det finns närliggande korsningar.

I alla trafikanalyser är det viktigt att avgränsa det geografiska området i fråga och att sätta in detta i sitt sammanhang. Det kan finnas närliggande korsningar som kan påverkas eller påverka den korsning som analyseras. Exempelvis kommer närliggande korsningar som har trafiksignaler att påverka trafikflödet mot den aktuella korsningen i intervaller beroende på tidsättningen av signalen. Detta gör att det under korta tider kan uppstå köbildningar och fördröjningar som inte uppstår om trafikflödet varit jämt fördelat. Det är därför viktigt att ta hänsyn till sådana situationer vid kalibrering och valdering av simuleringsmodellen.

7.4 Databehov

De indata som behövs för att kunna bygga en modell av en korsning/trafiksystem är de fysiska förutsättningarna, regleringsform och uppgifter om trafiken. Man kan också behöva komplettera med mätningar i fält för att justera parametrar i modellen utifrån lokala förhållanden. Första steget är att bedöma vilka data som behöver samlas in, saknas någon data, är dessa data kritisk för simuleringen, om ja hur ska de då samlas in? Om data inte går att samla in, kan bero på flera faktorer, behöver troligen fler känslighetsanalyser göras. En annan faktor som är avgörande för indatabehovet är vilken noggrannhet som behövs, större noggrannhet kräver mer indata och mer omfattande kalibrering/validering.

Fysiska förutsättningar

För att kunna modellera de geometriska förutsättningarna krävs ritningar, för befintliga anläggningar också flygfoto för att säkerställa att cirkulationsplatsen är byggd som projektören avsett. Dessutom behövs uppgifter om trafikregleringar, eventuella busshållplatser, övergångsställen, cykelöverfarter, signaler (även tidsreglerade) fartgupp och annat som påverkar korsningen och dess kapacitet.

Trafikdata

Ett minimum för att kunna utföra en mikrosimulering av en cirkulationsplats är trafikefterfrågan på timnivå (bättre med kvartsnivå), andel tung trafik samt svängandelar för respektive tillfart. Är det flera körfält i cirkulationsplatsens tillfarter behövs uppgifter på hur trafiken fördelas mellan dessa.

Även följande indata bör finnas med få en acceptabel noggrannhet:

- Sammansättningen av fordonstyper. I vissa fall kan den tunga trafiken behöva delas upp i fler klasser beroende på fordonens längd.
- Antal gående och cyklister som passerar i något av cirkulationsplatsens ben, hur de anländer och i vilken utsträckning det sker i grupp.
- Hastighetsprofil för olika fordon.
- Tidsperiod som ska studeras. Det gäller att identifiera de tidsperioder som har störst kapacitetsbehov som då blir dimensionerande för utformningen. Vanligtvis är det under förmiddagens och eftermiddagens maxtimmar på vardagar, men maxtimmen i handelsområden kan inträffa under helgen. Utifrån hur flödet varierar under maxtimmen bestäms hur pass fin tidsindelning som ska matas in i modellen. Vanligast är på kvartsnivå.
- Finns busshållplatser behövs tidtabell för linjen och antalet på- och avstigande.
- Hastighetsanspråk vid väjning – behovet av ”reducerade hastighetsområden” i t.ex. VISSIM. Hastigheten i cirkulationen påverkas också av rondellens diameter.
- Data om kritisk tidlucka uppdelad efter olika fordonstyper samt även gång och cykel. Om sådan inte finns (t.ex. om cirkulationsplats är en nyprojektering) kan det vara nödvändigt att använda värden från liknande korsningstyper på andra platser i stället för programmets defaultvärden.

Platsbesök

Är det en befintlig korsning som ska simuleras krävs att man ”på plats” studerar trafiksituationen. När uppstår det köer och var? Hur länge är det kö och hur många bilar handlar det om? Är kön rullande hela tiden eller står den helt stilla under en viss tid? Hur sker körfältsbyten, och tas det hänsyn till andra trafikanter m.m.? Man kan även behöva observera hur förarna beter sig. Vilka tidsluckor behöver man för att köra in i cirkulationsplatsen? Varierar hastigheten i cirkulationsplatsen eller i någon anslutning? Hur fungerar interaktionen mellan bilar och gående/cyklister? Gör man körfältsbyten när det är kö i det ena körfältet? Lämnar bilisterna företräde för gång- och cykeltrafikanterna? Hur anländer gående och cyklister till övergångsstället och hur ser fördelningen ut? Detta är exempel på några frågor man bör ställa sig vid ett platsbesök. Inför detta bör man ha formulerat en checklista på vad som ska studeras. Att systematisera platsbesöken ökar simuleringens kvalitet.

Den bild som man får från animering av simuleringen bör stämma så bra som möjligt med verkligheten, vilket är en del av kalibrerings- och valideringsprocessen.

Även siktförhållanden kan påverka kapaciteten varför dessa bör studeras då de kan modelleras på olika vis i simuleringsverktyget.

Fältmätningar

Vad man ska tänka på inför en fältmätning av flöden, köbildning, mättnadsflöden, restider, fördröjningar mm:

- Det är ofta nödvändigt att studera platsen innan mätningen.
- Hur definieras det man ska mäta i programvaran? Tex för kölängd, restid eller fördröjningar är det viktigt att det görs utifrån definitionen av dessa effektmått i programvaran.
- Antalet observatörer som krävs och var dessa bäst placeras. Antalet observatörer beror på av hur stora flödena är och om en observatör kan utföra flera uppgifter.
- Vilken tid som är högtrafik.
- Var eventuella slangar och övrig utrustning bör placeras.

Vid videomätning är det viktigt att hela området som ska studeras syns bra på skärmen. Ett problem kan vara att fordon döljs bakom större fordon, eller att bilden förvrängs så att det blir svårt att se typen av fordon. En lösning kan vara att använda flera kameror för att täcka in ett större område.

Det finns fler metoder som kräver olika mängd resurser och ger olika tillförlitliga data. Kölängd är förhållandevis enkelt att mäta och mäts fördelaktigt med observatörer. Kölängd mäts under maxtimmen dvs då det är kösituation. Ett vanligt sätt är att varje 30:e sek notera hur många fordon och av vilken typ som står i kön efter det första fordonet. För trafiksignaler är det också viktigt att mäta köängden vid gröntfasens start. Det är även viktigt att veta hur fordonssammansättningen ser ut vid kösituationen då denna påverkar kölängden.

Den accepterade tidluckan som vanligen krävs som indata i mer avancerade modeller är svår och tidskrävande att mäta. Ofta räcker det dock att mäta flöden, mättnadsflöde, svängandelar och kölängd för att kalibrera och validera modellen givet att tillräckligt många mätningar genomförs.

Utformningen av formuläret har betydelse för hur pass smidig insamlingen av data blir. Exempel på formulär visas i figurerna nedan.

| datum | plats | observatör | | | |
|-----------|------------|------------------|--------------|------------------|------------|
| | | | | | |
| | inkommande | inkommande | cirkulerande | cirkulerande | |
| tid | bilar | bussar/lastbilar | bilar | bussar/lastbilar | synpunkter |
| 7.00 | | | | | |
| 7.05 | | | | | |
| 7.10 | | | | | |
| 7.15 | | | | | |
| 7.20 | | | | | |
| 7.25 paus | | | | | |
| 7.30 | | | | | |
| 7.35 | | | | | |
| 7.40 | | | | | |
| 7.45 | | | | | |
| 7.50 | | | | | |
| 7.55 paus | | | | | |
| 8.00 | | | | | |

Figur 1 Exempel på formulär för registrering av tillfartsflöde och cirkulerande flöde

Enklast för att dokumentera kölängden är att ta ett block i A5-format. På varje rad skrivs antal fordon upp vid ett givet klockslag, tex var 30 sek. I en separat kolumn noteras tung trafik.

| Datum | Notering |
|----------|--------------------|
| 57:00 | III I |
| 57:30 | III III |
| 58:00 | III III III |
| 58:30 | III III III |
| 59:00 | III III III I |
| 59:30 | - rullade på |
| 00:00:00 | III III III |
| 00:30 | III III III I |
| 01:00 | III III III |
| 01:30 | III III III I |
| 02:00 | III III IIII |
| 02:30 | III III III |
| 03:00 | - rullade på |
| 03:30 | III III III I |
| 04:00 | III III III II |
| 04:30 | III III III III |
| 05:00 | III III III IIII |
| 05:30 | III III III |
| 06:00 | III III III |
| 06:30 | - rullade på |
| 07:00 | III III III III /M |
| 07:30 | III III III IIII |

Figur 2 Exempel på hur mätning av antalet köande fordon kan registreras i fält

7.5 Utveckling av basmodell

Följande tillämpningsexempel är utfört med simuleringsprogramvaran VISSIM. Exemplet visar främst hur en cirkulationsplats kan byggas upp, inte hur man använder VISSIM i allmänhet. Den stora utmaningen när en cirkulationsplats ska modelleras är dels hur trafikanten väljer körfält under hela resan före, genom och efter cirkulationsplatsen, dels när en trafikant har möjlighet att köra in i cirkulationsplatsen baserat på den cirkulerande trafikströmmen.

Rent generellt bör man koda sina trafiklösningar på ett sätt som ger simuleringsmodellen så stora frihetsgrader som möjligt, men så styrt som behövs för att trafikantbeteendet ska stämma överens med verkligheten.

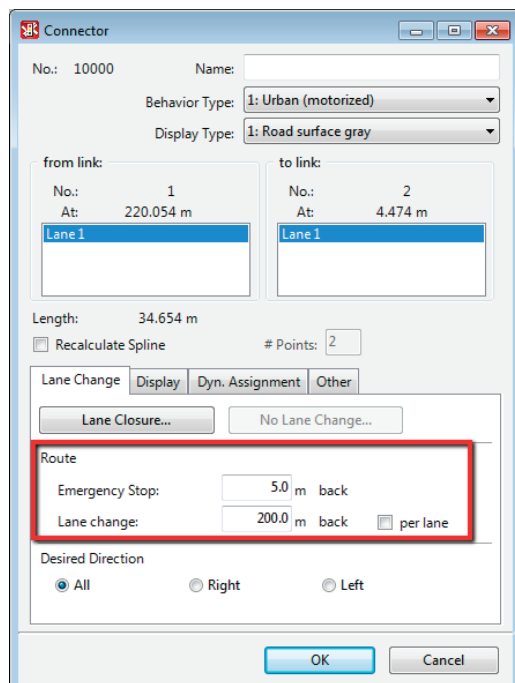
7.5.1 Korsningsgeometri, trafikmängder och rutter

Korsningen byggs upp efter engrundkarta, en karta/plan i .dwg format är att föredra då korrekt skala erhålls automatiskt. I brist på karta kan flygfoto användas, men dessa är sällan fullt skalenäliga. Viss information kan saknas, flygfotot kan vara gammalt och förändringar kan ha skett sedan fotot togs.

För att koda en trafiklösning i VISSIM används ett flertal objekt. För själva vägnätet (körytor) används länkar [Links] och konnektorer [Connectors]. Till detta läggs objekt som styr hastighet, väjningsbeteende, länkbeteende, trafikflöde mm. för olika objekttyper (t.ex. lastbilar, bussar, personbilar, cyklar och gående).

En länk kan finnas fritt utan koppling till något annat objekt, t.ex. skulle detta kunna vara ett ensamt övergångsställe. En konnektor måste vara kopplad till en länk i sin start- och slutpunkt. En konnektor kan kopplas till en och samma länk för att t.ex. styra trafiken till ett speciellt körfält.

Förutom denna skillnad mellan länk och konnektor har en konnektor två parametrar som påverkar ruttvalet som inte en länk har, se Figur 3. Parametern "Lane Change" styr hur långt innan konnektorns början som ett fordon väljer körfält för att kunna passera på den aktuella konnektorn. Parametern "Emergency Stop" styr hur långt innan konnektorns början som valet av körfält måste vara genomfört för att kunna passera på den aktuella konnektorn. Förenklat kan sägas att dessa två parametrar styr var i vägnätet en trafikant väljer väg.

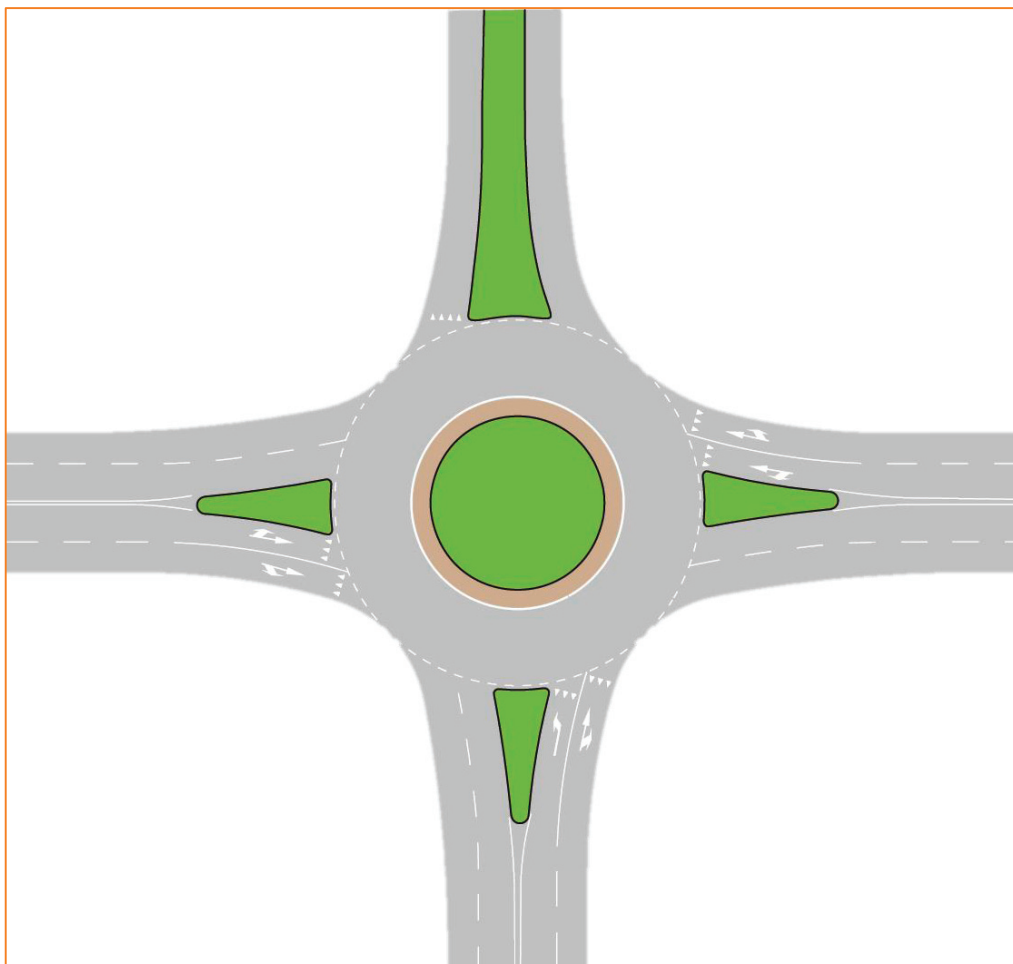


Figur 3 Parametrarna "Lane Change" och "Emergency Stop"

Dessa båda parametrar spelar en avgörande roll i hur vägvalen styrs i och inför cirkulationsplatsen. Exempel på hur dessa påverkar simuleringen beskrivs nedan.

Exempel med oregelbunden fyrvägskorsning

Korsningen på Figur 4 är en fyrvägskorsning med dubbla körfält i tre av till- och frånfarterna och med ett körfält i den fjärde tillfarten. För att visa metoder hur trafikanter kan styras till "rätt" körfält i modellen är körfältsindelning olika i de olika benen.



Figur 4 Fyrvägskorsning med dubbla körfält

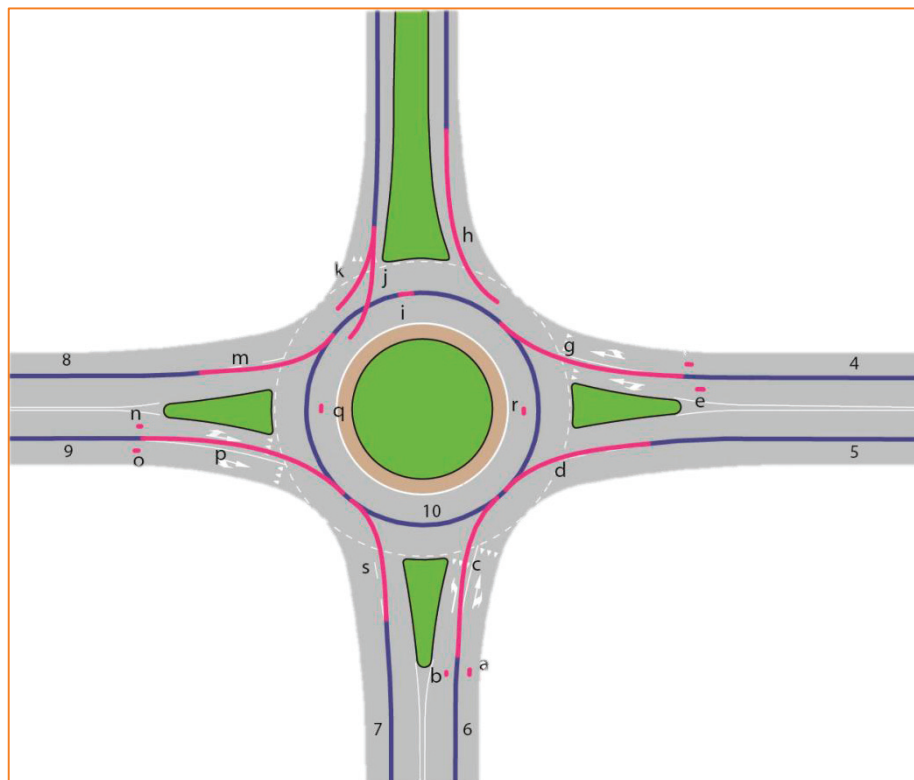
Länkar och noder

Korsningen i Figur kan kodas på ett flertal sätt, men nedan visas det sätt som är att rekommendera för att en korrekt beskrivning av körbeteendet ska kunna modelleras. Linjer i magenta representerar konnektorer och blå linjer representerar länkar. Observera att benämningarna på de ingående delarna är hämtade från VISSIM, andra program kan ha andra benämningar på motsvarande delar.

För genomgående trafik från Öster till Väster och vice versa kan trafikanten välja både körfält 1, det högra körfältet, och 2, det vänstra körfältet, medan en trafikant som kommer från Väster och ska Söder endast kan välja körfält 1 och från Väster till Norr kan endast körfält 2 väljas. För att koda detta körbeteende rekommenderas att man använder två hjälpkonnektorer, benämnda [n] och [o] i Figur i tillfarten Väster. Dessa hjälpkonnektorer har till uppgift att styra höger- respektive vänstersvängande trafik till rätt körfält innan cirkulationsplatsen. Det finns dock olika sätt att koda en cirkulationsplats för att få rätt körbeteende. Bilden visar ett exempel.

Ruttvalen som styr trafiken genom cirkulationsplatsen kopplas på ett sådant sätt att trafikströmmen från Väster till Öster inte har någon koppling till de två hjälpkonnektorerna [n] och [o], då kan programmet själv välja vilket körfält trafiken rakt fram ska välja. Det innebär att om det är många vänstersvängande fordon och detta ger upphov till en kö kommer raktframkörande trafik till största delen välja körfält 1 om här inte finns en kö, något programmet själv kan styra med detta kodningssättet. Ruttvalet för trafiken från Väster till Söder ska kopplas till hjälpkonnektorn [o], vilket innebär att denna trafik tvingas välja körfält 1. Ruttvalet från Väster till Norr kopplas på samma sätt till hjälpkonnektor [n] för att denna trafik ska välja körfält 2.

Då en tillfart med ett körfält ansluter till en cirkulationsplats med dubbla körfält bör två hjälpkonnektorer användas (t ex konnektor [k] och [j]). På så sätt styrs trafikanter till rätt körfält direkt beroende på vilken frångång som används. Med denna rekommenderade kodningsmetodik ges mikrosimuleringsmodellen frihet att välja körfält för de trafikströmmar som har flera alternativa val, medan trafiken styrs till rätt körfält då detta är tvingande. Konnektorerna [p], [c] och [g] kodas över med förbjudet körfältsbyte då detta motsvarar heldragen linje.



Figur 5 Hjälpkonnektorer för körfältsval

Körfältsbyte

För att körfältsbyten ska göras i "rätt" tid används parametern "Lane Change" på respektive konnektor. Värdet på denna parameter är platsberoende och måste därför anpassas för de lokala förhållandena. För hjälpkonnektorerna [a,b,e,f,h,n,o], som alla styr vilket körfält man väljer in i cirkulationen, bör ett ganska stort värde på [Lane Change] användas för att fordonet ska få god tid på sig att välja körfält. Om ett för lågt värde används finns risk att fordonet står i fel körfält vid en kösituation och har då mycket svårt att byta körfält då

inga naturliga tidluckor uppkommer vid köbildning. Var observant på att det kan inträffa att valet av körfält görs redan i eller innan en korsning uppströms och att värdet på "Lane Change" då kan bli högt.

Parametern "Emergency Stop" kan sättas till sitt minsta värde 5 meter, dock bör värdet på två intill liggande hjälpkonnektorer t.ex. [a och b] sättas till olika värden med minst en billängd, 7 meter, skillnad. Detta för att minimera risken att ett fordon i körfält 1 som ska byta körfält till körfält 2 stannar vid "Emergency Stop" avståndet och ett annat fordon i körfält 2 ska byta till körfält 1 och samtidigt stannar vid "Emergency Stop" avståndet för sin Konnektor. Om så sker så låser dessa två fordonen varandra och hela tillfarten blockeras. Är "Emergency Stop" avstånden olika på de två konnektorerna sker inte denna låsning och simuleringen kan fortgå.

Inne i cirkulationsplatsen är det konnektorerna i frånfarterna samt eventuella hjälpkonnektorer i själva cirkulationen som styr hur körfältsbyten görs. I exemplet i Figur 4 är det endast frånfarten Norr som har någon påverkan på körfältsvalet inne i cirkulationen eftersom denna är enfältig och fordon som kommer från väster hamnar i körfält 2 men måste byta körfält innan de kör norrut ur cirkulationen.

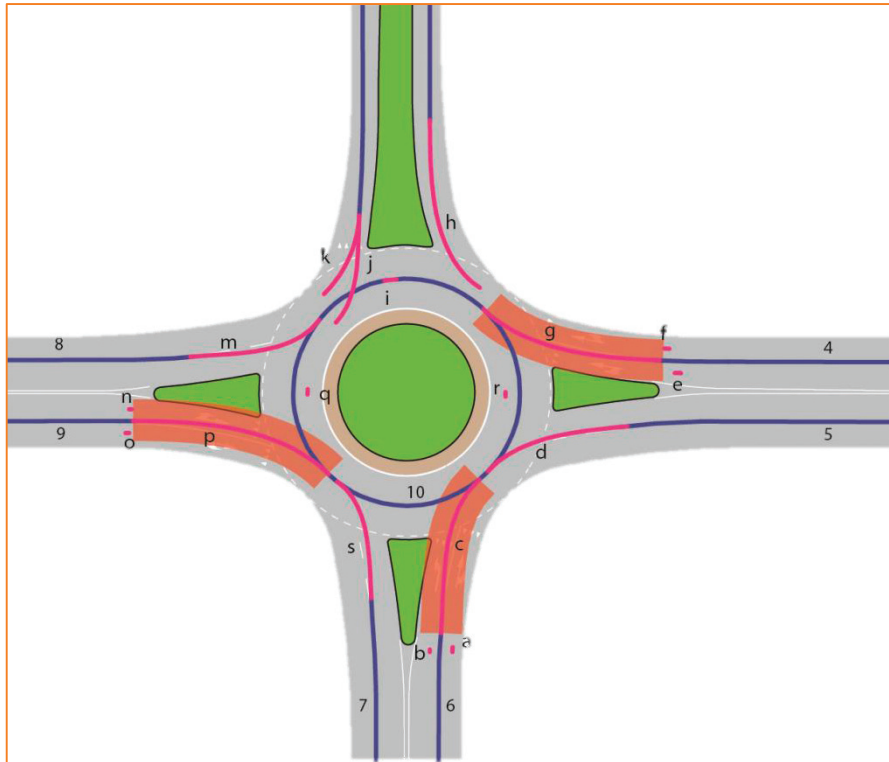
I större cirkulationsplatser kan det vara av extra vikt att se över körfältsrelaterade parametrar. De flesta trafiksimuleringsprogram har någon parameter som styr när trafikanter börjar söka sig till "rätt körfält" (ex. "lane change" i VISSIM och "distance zone" i Aimsun). Detta används t ex vid kodning av motorvägar för att ställa in när trafikanter ska börja växla körfält. I cirkulationsplatser är det av betydelse när trafikanter i inre körfältet ska växla för att ta sig till en frånfart med endast ett körfält.

I Figur 5 så kopplas den norra frånfarten från cirkulationsplatsens yttre körfält med konnektot [h]. För att trafikanter inte ska byta körfält för tidigt inne i cirkulationsplatsen bör parametern för körfältsbyte "Lane Change" motsvara avståndet mellan frånfart Öster och frånfart Norr. Det innebär att fordonen som ligger i det inre körfältet i cirkulationen och ska köra norrut kommer byta till det yttre körfältet först i höjd med frånfarten mot öster. Om [Lane Change] sätts till ett högre värde kommer fordonen ha möjlighet att byta körfält tidigare och då riskerar det yttre körfältet bli för högt belastat jämfört med verkligheten. Dock bör man beakta att denna typ av körbeteende kan förekomma och är så fallet ska såklart modellen också spegla detta.

Förbud mot körfältsbyte

För att modellera en heldragen linje kan förbud mot körfältsbyten appliceras på både länkar och konnektorer. Dock sker detta på länkens/konnektorns hela längd vilket man måste beakta då modellens vägnät kodas. Om cirkulationsplatsen kodas som föreslås i Figur 5 är det dock enkelt att modellera en heldragen linje om konnektorerna [c, g, p] startar i samma punkt som de heldragna linjerna. Då förbjuds helt enkelt körfältsbyten på dessa konnektorer.

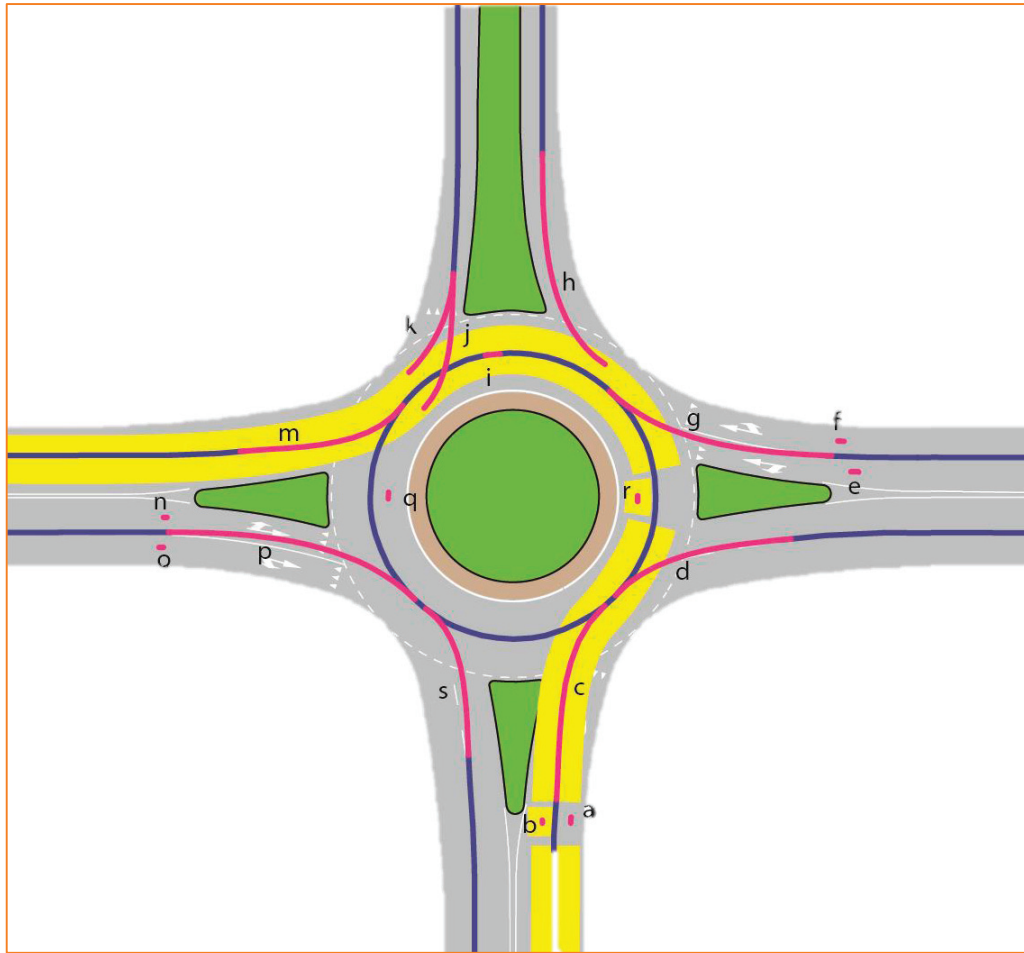
Om körfältsbyten tillåts på dessa sträckor finns risk för onaturliga körfältsbyten där fordon byter körfält ofta för att hitta en snabbare väg fram.



Figur 5 Förbud mot körfältbyte

Rutter

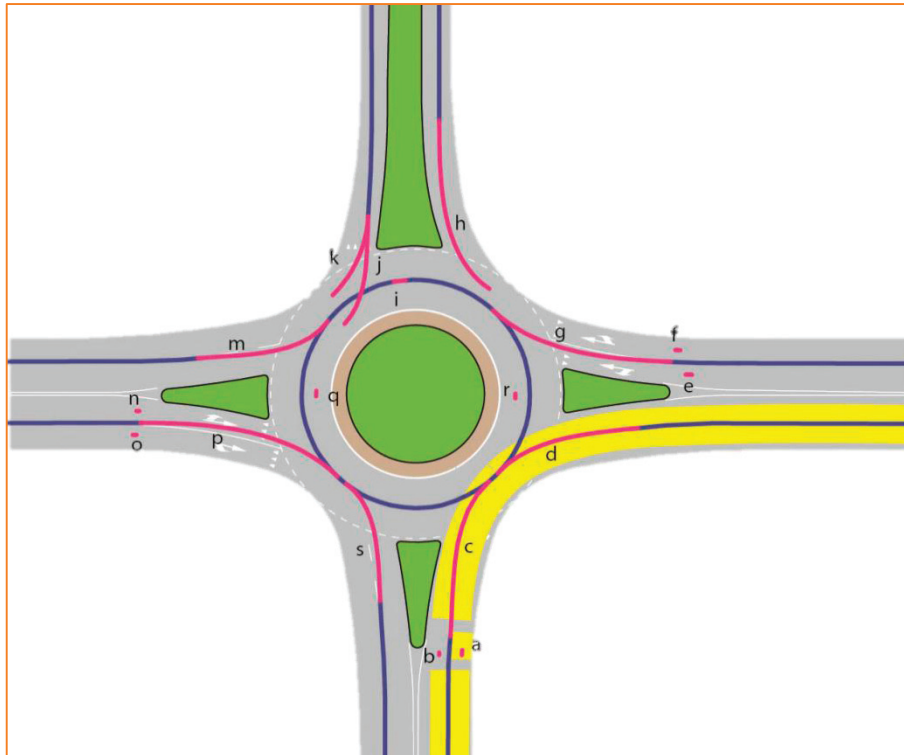
För att undvika orealistiska manövrar och resultat måste ruttvalen modelleras så verklighetstroget som möjligt. Detta görs dels genom att hjälpkonnektorer används, parametersättningen för "Lane Change" och "Emergency Stop" sätts så korrekt som möjligt, samt att ruttvalen kodas på ett sätt som leder fordonen rätt väg genom hela cirkulationsplatsen. Figur 6, Figur 7, Figur 8 och Figur 9 nedan visar ett sätt att koda ett ruttval genom en tvåfältig cirkulationsplats där trafiken styrs före och genom cirkulationsplatsen för de relationer där det behövs, och ger modellen frihet att välja ruttval där det är möjligt och önskvärt.



Figur 6 Visar relationen söder till väster

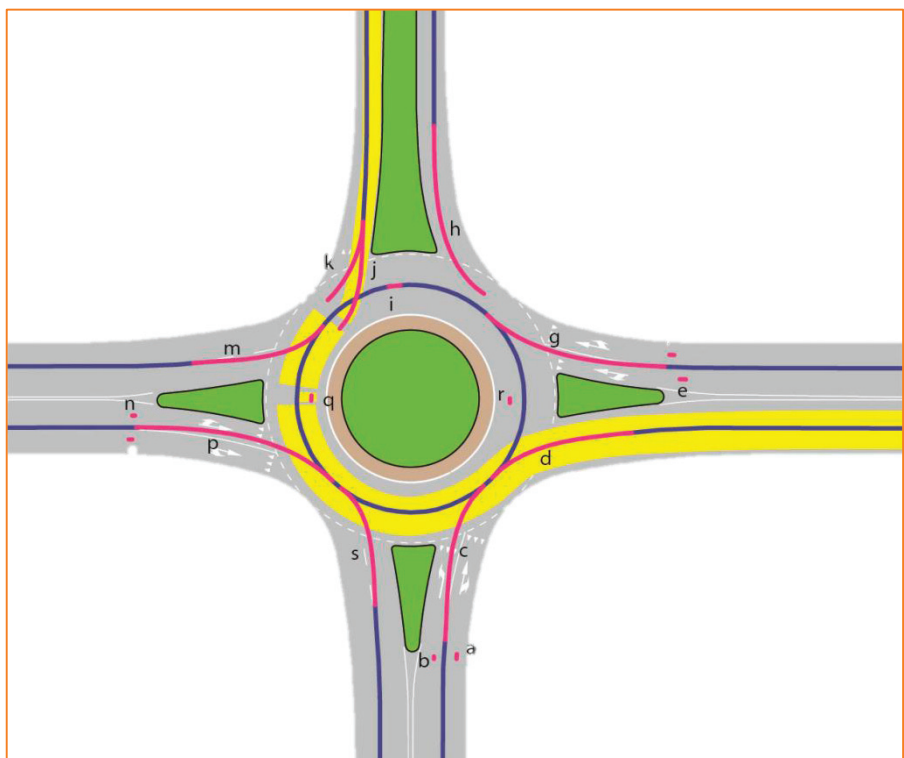
Fordonens ruttval från söder till väster går via en hjälpkonnektor [b] strax innan tillfarten, se Figur 6. Konnektorn [b] gör så att fordonen tvingas till körfält två innan de kör in i cirkulationen. Parameterns "Lane Change" på konnektorn [b] är satt till ett värde som överensstämmer med där man i verkligheten påbörjar sitt val av körfält för att vara säker på att man ligger i körfält 2 innan man kör in i cirkulationen. På konnektor [c] råder förbud mot körfältsbyte, i verkligheten är detta den sträcka som har heldragen linje mellan körfälten. För att inte trafikanter ska byta till det yttre körfädet för tidigt inne i cirkulationen leds fordonen via hjälpkonnektorn [r] för att därefter ges möjlighet att välja körfält 1 eller 2 på väg ut ur cirkulationsplatsen. Valet av körfält efter konnektorn [r] görs beroende på trafiksituationen och vart fordonet ska i en eventuell korsning nedströms.

Figur 7 visar relationen söder till öster. Trafikanterna leds via hjälpkonnektorn [a]. I och med att det råder förbud mot körfältsbyte på konnektorn [c] kommer trafikanterna tvingas till det yttre körfältet i högersvängen för att konnektor [d] ha möjlighet att fritt välja körfält.



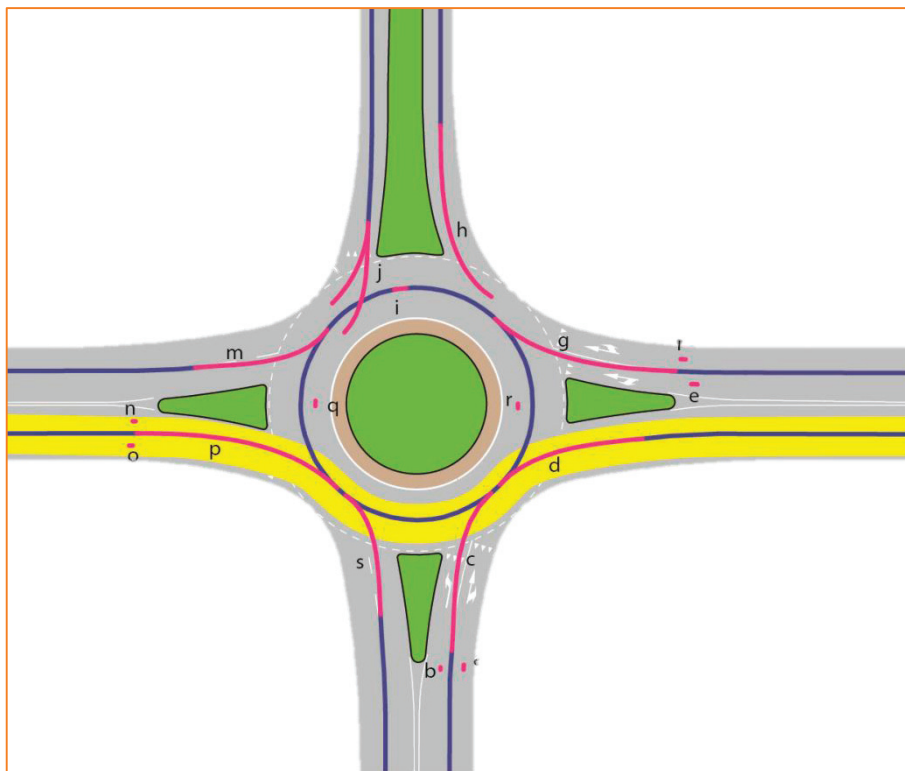
Figur 7 Visar relationen söder till öster

Figur 8 visar relationen norr till öster. Trafikanterna leds först via konnektor [j] för att direkt komma till det inre körfältet i cirkulationsplatsen. Därefter går rutten via hjälpkonnektor [q] för att tvinga trafikanterna att stanna i det inre körfältet inne i cirkulationen.



Figur 8 Visar relationen norr till öster

Figur 9 visar relationen väster till öster. I och med att trafikanterna kan använda båda körfälten i denna relation hela vägen igenom cirkulationsplatsen är det viktigt att ruttvalet inte går via hjälpkonnektor [n] eller [o]. Dessa används endast i relationerna väster till Söder och väster till Norr.



Figur 9 Visar relationen väster till öster

Då konnektor [p] har förbud mot körfältsbyten kan fordonen först byta körfält när de kommit in i cirkulationen men då frånfarten öster har dubbla körfält behöver fordonen inte byta om trafiksituationen inte tvingar dem till det. Detta motsvarar en verklig situation där cirkulationsplatsen har två genomgående körfält. Med denna kodning ger simuleringsprogrammet frihet för fordon att välja det körfält som är mest lämplig i förhållande till trafiksituationen på liknande sätt som i verkligheten.

Hastighet

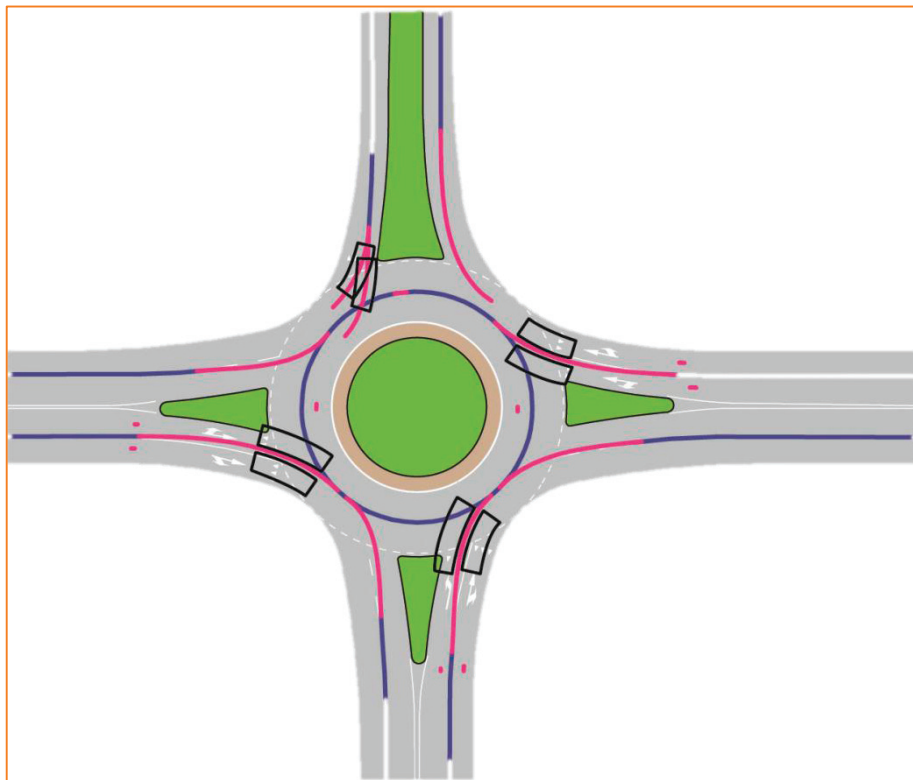
Hastighet är en faktor som påverkar mättnadsflödet och därmed även kapaciteten. I VISSIM kan hastigheten styras med två olika verktyg, "Desired Speed" och "Reduced Speed Area". Det första verktyget, "Desired Speed", motsvarar skyltad hastighet. I verkligheten kan fordon naturligtvis köra fortare än skyltad hastighet medan de i VISSIM endast maximalt kan köra så fort som den satta hastigheten medger. "Desired Speed" i VISSIM är dock en fördelning och ska kalibreras utifrån mätdata, vilket innebär att en väg skyltad 50 km/h inte medför att maxhastigheten är 50 km/h, det är hastighetsprofilen från mätdata som gäller.

Med "Desired Speed" verktyget kan man båda skylta upp och ner hastigheten. Det andra verktyget "Reduced Speed Area" motsvarar den reducering av hastigheten varje trafikant gör på grund av väggeometrin. Som namnet på verktyget antyder kan endast hastighetsnedsättningar göras. I båda verktygen sätts en hastighetsprofil som kan vara olika för personbilar, lastbilar och

bussar. Om hastighetsmätningar är genomförda kan dessa hastighetsprofiler läggas in och användas.

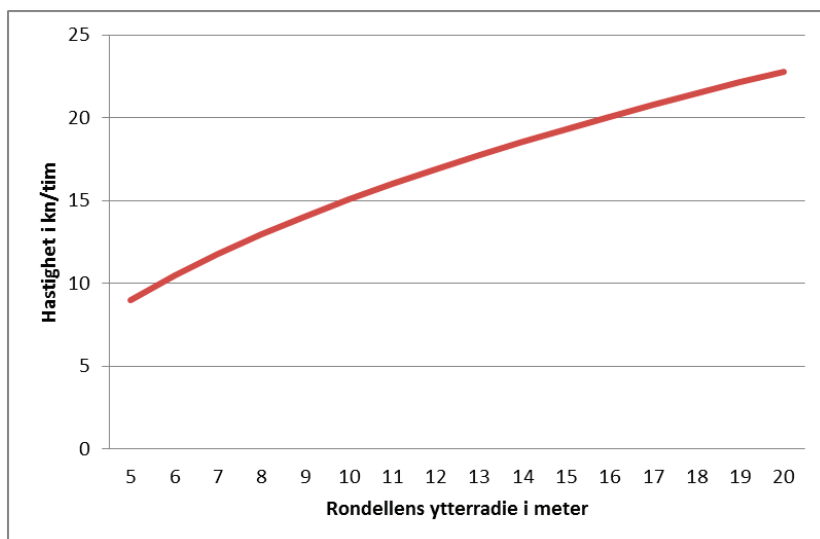
Då trafikanter närmar sig en cirkulationsplats kan hastigheten minska, dels på grund av en väjningssituation, dels på grund av väggeometrin. I modellen efterliknas detta beteende. I Figur 10 nedan syns "Reduced Speed Area" som boxar med svarta ramar i varje tillfart. En "Reduced Speed Area" parametersätts och placeras där hastigheten är som lägst om en sådan sträcka kan identifieras. Alternativt placeras boxen strax före väjningslinjen med en längd motsvarande en personbil. Inne i cirkulationsplatsen sätts hastighetsprofilen så att den stämmer överens med den verkliga. Om det inte finns några uppmätta värden kan t.ex. hastigheterna enligt Figur 11 användas.

På sträckan där en "Reduced Speed Area" är placerad kommer fordonen att köra med den bestämda hastigheten. Innan området kommer fordonen att retardera, om det behövs, så att fordonet håller korrekt hastighet då det når området. Efter området kommer fordonen att accelerera till den önskade hastigheten om det är möjligt beroende på trafiksituationen,.



Figur 10 Visar hur hastigheten kan koda

För att kapaciteten ska bli så korrekt som möjlig måste hastigheten innan och i cirkulationsplatsen stämma bra överens med den verkliga situationen. I en befintlig cirkulationsplats kan fältstudier göras för att samla in hastighetsdata som kan användas för att kalibrera modellen. Om det är en ny cirkulationsplats som ska analyseras kan antingen hastighetsdata från befintliga, liknande cirkulationsplatser användas. Alternativt kan uppgifter liknande de i Figur 11 användas.

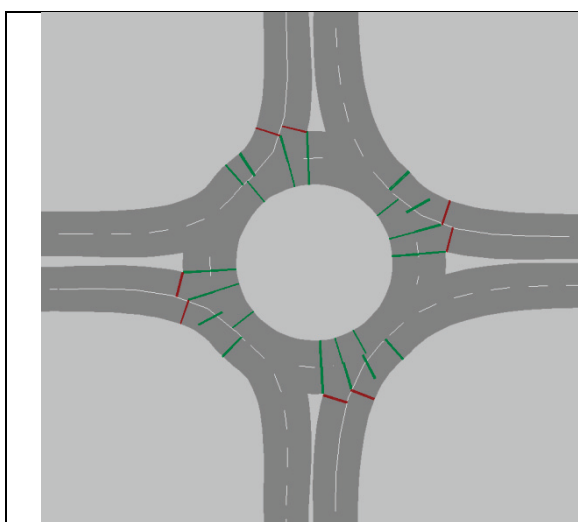


Figur 11 Samband mellan hastigheten för cirkulerande fordon i en rondell och rondellens radie. .

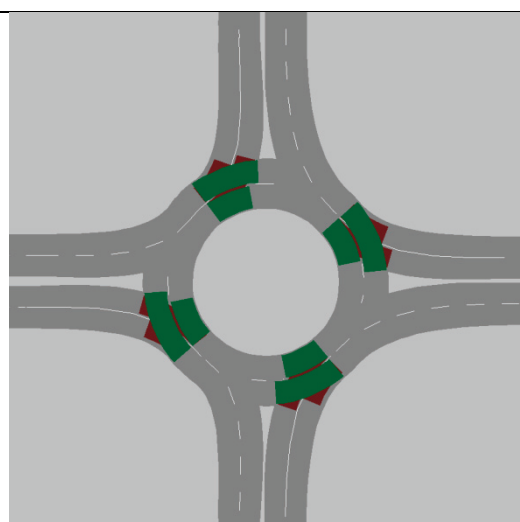
Figuren ovan ska endast användas om inga andra data finns eftersom den endast visar en generell hastighet på för de cirkulerande fordonen. Grafen är beräknad ur formeln **Fel! Bokmärket är inte definierat.** $v = \sqrt{127 * R * (q + f_t)}$, där R = Radien minus halva körfältsbredden, q= 0 och $f_t=0,23$

Prioriteringsregel – Väjningsplikt samt konfliktzon

I VISSIM finns det två metoder att koda väjningsplikter, "Priority Rules" och "Conflict Areas".

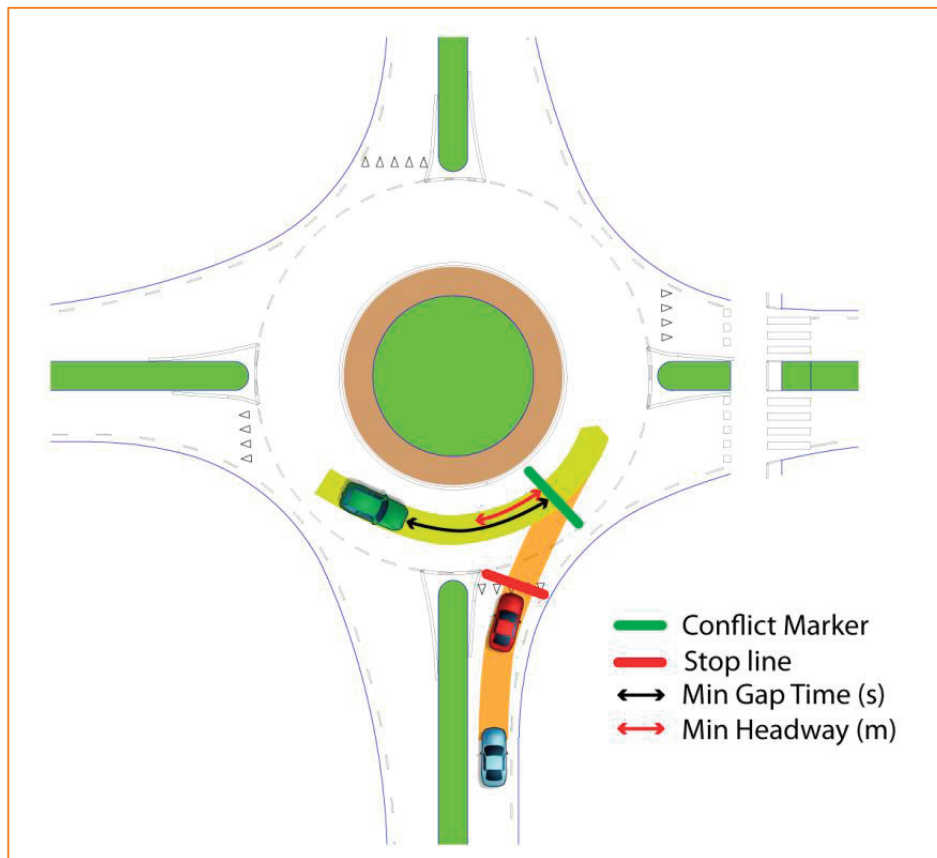


Figur 12 Prioriteringsregler



Figur 13 Konfliktzon

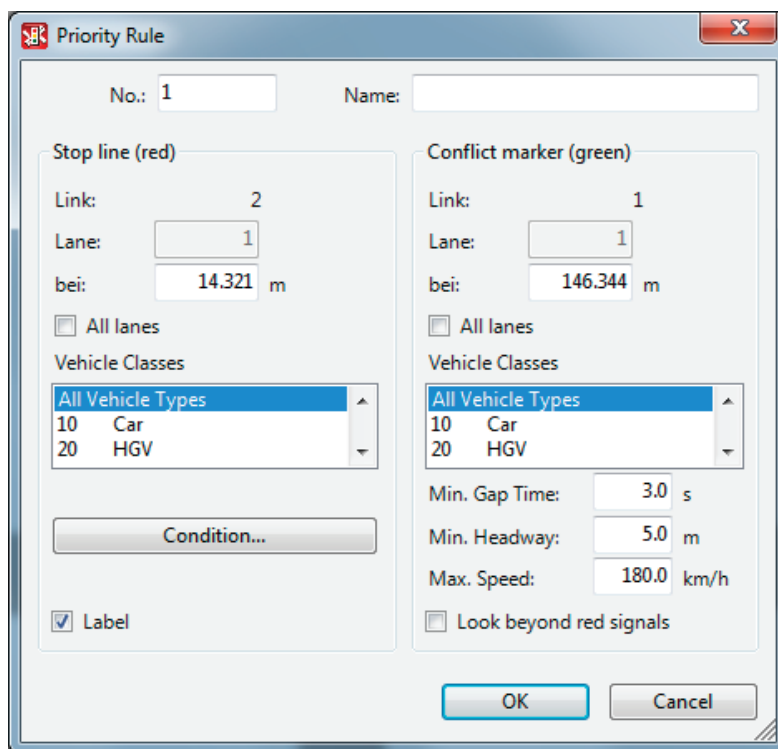
Figur 15 visar viktiga begrepp då väjningsregeln, "Priority Rules", används för att reglera när ett fordon får köra in i cirkulationsplatsen. Begreppen nedan kan ha annan benämning i andra programvaror än exemplet från VISSIM som visas nedan men principerna är liknande i andra programvaror.



Figur 14 Visar hur konflikter och tidluckor definieras i VISSIM då väjningsregeln används

För att ett fordon ska kunna köra in i cirkulationsplatsen måste ett antal villkor vara uppfyllda. Det får inte finnas något fordon på sträckan Min Headway och tidluckan mellan cirkulerande fordon måste vara större än värdet på Min Gap Time. Först när dessa villkor är uppfyllda kan ett fordon köra in i cirkulationsplatsen. I VISSIM kan man ha olika värden för olika fordonstyper, t.ex. kan ett tungt fordon som ska köra in i cirkulationsplatsen behöva ett större värde på Min Gap Time än för en personbil.

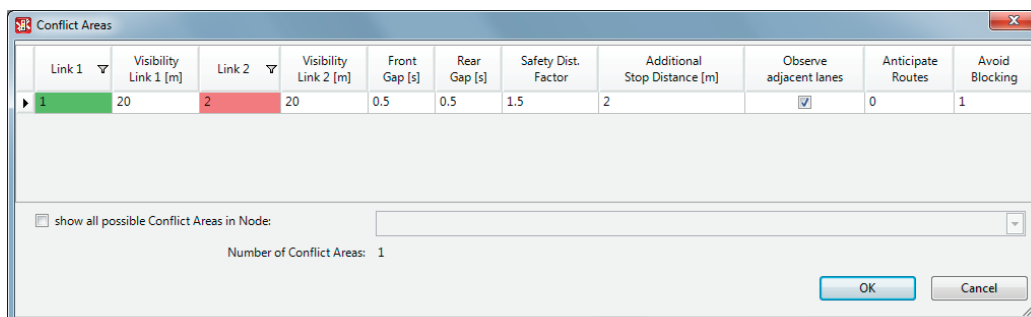
Figur 16 visar dialogrutan för regeln Priority Rule och vilka parametrar som kan justeras för att få ett så korrekt väjningsbeteenden som möjligt.



Figur 15. Dialogruta för regeln Priority Rule

Den andra metoden för att modellera en väjningssituation är ”Conflict Areas”. I en cirkulationsplats är det väjningssträckan som utgör själva ”Conflict Area”, alltså där körfältet för inkommande trafik vävs ihop med körfältet för cirkulerande trafik.

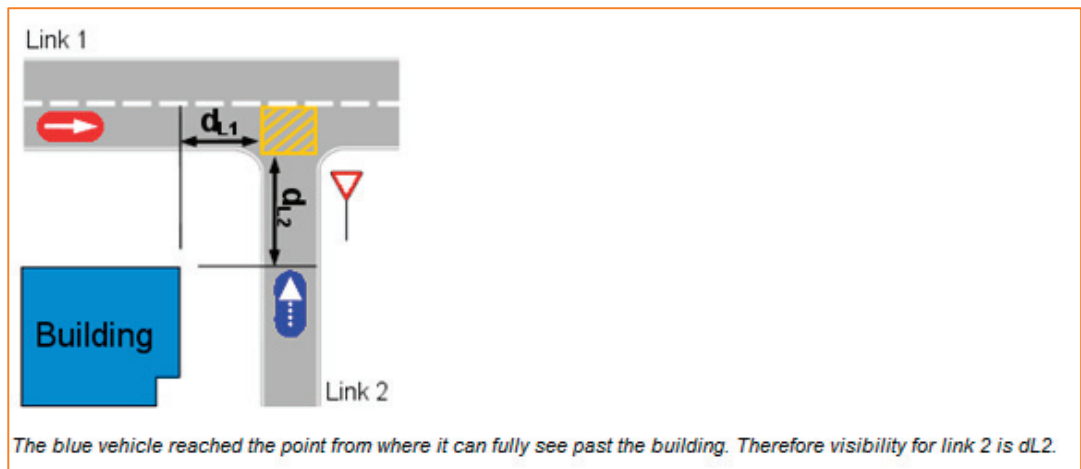
I figur 17 nedan visas parametrarna för Conflict Areas som reglerar när ett fordon får köra in i cirkulationsplatsen. Conflict Areas är en relativt snabbt och effektivt metod att koda reglerna för när ett fordon får köra in i cirkulationsplatsen.



Figur 16 Parametrar för Conflict Areas

Då en Conflict Area används i en cirkulationsplats är parametrarna Front Gap och Rear Gap inte relevanta och bör sättas till noll för att inte påverka resultatet. Dessa parametrar används för korsande flöden, i en cirkulation är det en väjning som ska beskrivas och regleras.

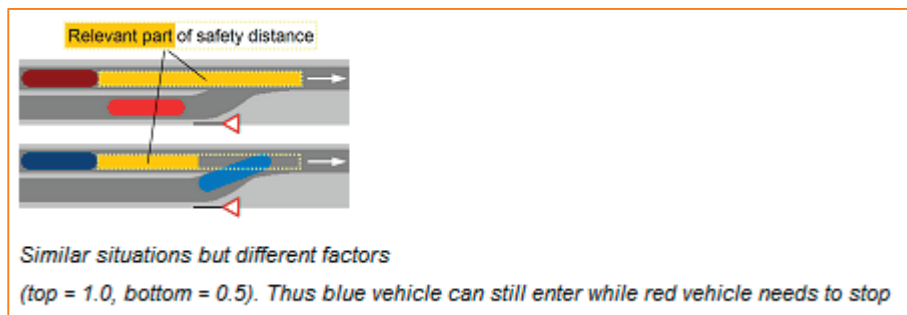
Parameterns Visibility beskrivs i figur 18 nedan.



Figur 17 Beskrivning av parametern Visibility

Sträckan d_{L2} beskriver det avstånd från korsningen där föraren av fordonet kan se hela länk 1, och sträckan d_{L1} beskriver motsvarande sträcka för det röda fordonet. Med denna parameter kan dåliga siktförhållande i en cirkulationsplats beskrivas och effekten härav modelleras. Denna parameter gäller för samtliga fordonstyper vilket kanske inte alltid är fallet i verkligheten. Ett räcke kan påverka siktförhållanden för en personbil men inte för en lastbil då föraren i detta fordon sitter högre upp. Denna skillnad kan dock inte beskrivas med detta verktyg.

Parameterns Safety Distance Factor (se figur nedan) används endast då en väjning ska modelleras, som i fallet är i en cirkulationsplats. Denna parameter kan ha olika värden för olika fordonstyper, och är en faktor av det önskade säkerhetsavståndet för en viss fordonstyp som finns definierat i parametrarna för körbeteendet.



Figur 18 Beskrivning av parameter Safety Distance Factor

Övriga parametrar som kan användas vid kodning av cirkulationsplatser är Additional Stop Distance som beskriver sträckan för hur långt tillbaka väjningslinjen befinner sig. Observe adjacent lanes kan användas vid tvåfältiga cirkulationsplatser för att det väjande fordonet ska ta hänsyn till cirkulerande fordon som eventuell kan byta körfält och då påverka möjligheten att köra in i cirkulationsplatsen

Prioriteringsregel, "Priority Rules" är mer tidskrävande att koda men mer flexibel. Konfliktzonen, "Conflict Areas" har inte lika stora möjligheter att

anpassas men går snabbt att koda och har vissa fördelar då den tar hänsyn till fordonstyp på ett bättre sätt än prioriteringsregeln. Observera att de inte ger exakt lika resultat.

Erfarenheter visar att "Priority Rules" ger ett mer korrekt resultat än "Conflict Areas" vid högt belastade cirkulationsplatser, det är därför som denna metod rekommenderas. Dock kan "Conflict Areas" med fördel användas för omkringliggande korsningar om dessa inte är så högt belastade men tas med i modellen för att ankomsten av fordon till den studerade korsningen ska bli så korrekt som möjligt.

7.6 Verifiering, modellkontroll och felsökning

Verifiering innebär att resultat från modellen jämförs med uppmätta data, och om dessa stämmer överens anses modellen verifierad. Dock är det viktigt att de data som verifieringen sker mot inte använts vid kalibreringen. Förslagsvis bör data som beskriver effekten i ett trafiksystem som kölängd, restid, medelhastighet användas jämfört med data som fordonsflöde och svängandelar.

När man verifierar och kontrollerar en modell för en tvåfältig cirkulationsplats är det viktigt att systematiskt titta på körfältsbyten både innan och inne i cirkulationsplatsen. Hur ser väjningsbeteendet ut, kör fordonen in i cirkulationsplatsen på korrekt sätt? Återkopplingen till fältbesöket, om det är en befintlig anläggning man analyser, är viktig. Vid riktigt högt belastade cirkulationsplatser kan beteendet bli sådant att inkommande trafik måste tränga sig in så att den cirkulerande trafiken bromsas upp. Detta är något som påverkar kapaciteten och denna effekt kan endast ses vid ett fältbesök.

Efter att simuleringsmodellen byggts upp och cirkulationsplatsen kodats in bör en visuell kontroll av cirkulationsplatsens funktion göras:

- Är väjningslinjerna korrekt placerade, stannar alla fordon där de ska?
- Kör inkommande trafik in i cirkulationsplatsen korrekt beroende på den cirkulerande trafiken?
- Väjer fordonen för gående och cyklister på ett korrekt sätt?
- Uppstår köer i någon tillfart som kan antas ha tillräcklig kapacitet?
- Uppstår köer i tillfarter som antas vara högt belastade?
- Stämmer ruttvalen inne i cirkulationen med hur man kör i verkligheten?
- Finns hastighetsreduceringar i alla tillfarter och vid eventuella fartgupp?

7.7 Kalibrering

Kalibrering kan göras mot uppmätta värden i den mån de finns tillgängliga och/eller är mätbara. Kalibrering kan också ske visuellt så att modellbeteendet stämmer överens med hur trafikanterna beter sig i verkligheten. Vid

platsbesök studeras de beteenden som ska kalibreras eftersom den som utför den visuella kalibreringen behöver skaffa sig en "känsla" av trafikantbeteendet på den aktuella platsen.

Parametrar som bör kalibreras är:

- Magasinering i korsningen
- Hastigheter för den cirkulerande trafiken
- Väjningsbeteende vid tillfarterna
- Körfältsanvändning och körfältsbyten
- Kölängd, viktigt att ta reda på hur en kö är definierad i analysprogrammet och hur en rullande kö ska analyseras
- (Acceleration)
- (Tidsavstånd vid köavveckling)

Se i övrigt kapitel 2.7 om kalibrering.

7.8 Validering

Lämpliga parametrar för validering kan vara genomströmning (av uppmätta trafikflöden som går genom korsningen) samt fördröjning/restider och kölängder. Kontrollera hur den valda programvaran definierar kölängd innan kölängder mäts upp i fält för att om möjligt anpassa mätningarna så att jämförbarhet mellan data uppnås.

Se i övrigt kapitel 2.8 om validering.

7.9 Analys av olika alternativ/scenarier

Om signalreglerad korsning ska analyseras som alternativ till cirkulationsplats kan tidsättningen av signalerna behöva ändras om trafikflödena förändras i alternativa utformningar av vägnätet eller med förändrad trafikefterfrågan.

Frågeställningen och syftet med simuleringen styr vilka utdata som väljs för analys. Ofta är trafikflöde (genomflöde) kölängd och restid eller fördröjning lämpliga utdata.

Se i övrigt kapitel 2.9 om analys av olika alternativ/scenarier.

7.10 Dokumentation

Innan simuleringsprojektet avslutas bör det dokumenteras för att man i efterhand ska kunna värdera resultaten och de slutsatser som dragits, samt för att den framtagna modellen i ett senare skede ska kunna användas vidare på ett adekvat sätt. Alla använda indata i form av trafikmängder, andel svängande trafik, geometrisk utformning mm skall därför dokumenteras liksom vilka

förenklingar som gjorts. Kända brister och osäkerheter i modellen bör även dokumenteras.

Se i övrigt kapitel 2.10 om dokumentation.

7.11 Referenser

Se kapitel 1.4 i denna handbok.



Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.
Telefon: 0771-921 921. Texttelefon: 010-123 50 00.

www.trafikverket.se