

Dynamisk simulering för att förbättra hanteringen av järnvägsstörningar

Ove Hagelstedt

**Division of Risk Management and Societal Safety
Lund University, Sweden**

**Riskhantering och samhällssäkerhet
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5003, Lund 2015

**Dynamisk simulering för att förbättra hanteringen av
järnvägsstörningar**

Ove Hagelstedt

Lund 2015

Titel

Dynamisk simulering för att förbättra hanteringen av järnvägsstörningar

Title

Dynamic simulation to improve disruption management within the railway system

Författare/Author

Ove Hagelstedt

Report 5003

ISRN: LUTVDG/TVRH--5003--SE

Number of pages: 78

Illustrations: Ove Hagelstedt unless otherwise stated

Keywords: Dynamic simulation, system dynamics, discrete event simulation, agent based modelling, risk management, disruption management, railway, rail disruptions, anylogic

Sökord: Dynamisk simulering, systemdynamik, diskret händelsestyrd simulering, agentbaserad simulering, riskhantering, personpåkörning, kontaktledningsbrott, järnvägsstörningar

Abstract

Within the Swedish rail network, maximum track capacity is reached on multiple sections with costly delays as a result. Therefore minimizing the time a train is stationary after a disruption such as overhead line damage or suicide is important. Prior work has mapped stakeholders within the management of the two scenarios, but due to complexity, finding effective means of improvement is difficult. This thesis discusses the value in simulating the management using a dynamic model by studying the characteristics, strengths, weaknesses and appropriate uses for the three main dynamic simulation methods: Discrete-event simulation, system dynamics and agent-based simulation. A discrete-event based model is chosen and presented, modelling each part of the management-chain as a time delay of random length. The result shows a disseminated total time required before operations can resume as well as time required for different events. The model provides means for the user to experiment and optimize the management based on real life given circumstances.

© Copyright: Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2015.

Riskhantering och samhällssäkerhet
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

<http://www.risk.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

IV

Division of Risk Management and Societal Safety
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

<http://www.risk.lth.se>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Både gods- och persontrafik ökar kraftigt på den svenska järnvägen, men järnvägssystemet har stora kapacitetsbrister. På flera platser är kapacitetstaket nått vilket medför stor störningskänslighet med flera förseningar som följd. Förseningar som årligen kostar såväl industrin som samhället miljardbelopp. Ju längre tid ett tåg står stilla efter en störning desto större blir konsekvenserna och det är därför lika viktigt att förebygga störningen som att vara förberedd på att hantera den så snabbt som möjligt när den ändå inträffar.

Vid länsstyrelsen i Skåne pågår ett projekt som innefattar en kartläggning av aktörer i den järnvägsbundna kollektivtrafiken. Inom ramen för projektet genomfördes vid Lunds Universitet en fallstudie av hanteringen av scenarierna personpåkörning och kontaktledningsbrott. Hanteringen involverar aktörer från flera olika instanser och i studien kartlades de händelser som behöver genomföras innan trafiken kan återupptas. Resultatet visade att vissa aktörers arbete generellt tar längre tid än andras och konkreta förslag till förbättringar lämnades. Återställningsarbetets komplexitet medför dock att en förändring som innebär en förkortad tid för en enskild aktör inte nödvändigtvis innebär att hanteringen som helhet går fortare.

Ett välkänt verktyg för att studera och optimera komplexa system är dynamisk simulering, och i den här rapporten diskuteras huruvida hanteringen av järnvägsstörningar kan simuleras med en dynamisk modell. Rapporten sammanfattar och diskuterar egenskaper, styrkor, svagheter och lämpliga användningsområden för de tre vanligaste dynamiska simuleringsmetoderna: Diskret-händelsestyrd simulering, systemdynamik och agentbaserad simulering.

Rapporten visar att hanteringen av järnvägsstörningar med fördel kan simuleras med en dynamisk modell. En simulering ger en bra överblick av systemet och är det enda sättet att hitta de mest effektiva åtgärderna för förbättring, eftersom förhållandena mellan händelserna förändras varje gång något ändras. Utav de tre metoderna passar en diskret händelsestyrd metod bäst, främst på grund av att hanteringen kan beskrivas som ett antal händelser som inträffar i en känd ordning samt att resultatet är baserat på mer eller mindre slumpmässiga ingångsvärden.

I rapporten presenteras en modell som simulerar respektive händelse som en slumpmässigt lång tidsfördröjning. Simuleringen upprepas många gånger och en resultatspridning med en topp kring ett medelvärde kan observeras. Simuleringen visar även vilka händelser som tar längst tid och tillåter användaren att experimentera med ingångsvärden för att finna en effektiv hantering utifrån möjliga förutsättningar.

Modellen kan även användas för att förbättra hanteringen av liknande händelser, och dynamisk simulering överhuvudtaget kan utgöra ett kraftfullt verktyg inom såväl riskhantering som andra områden. Modeller kan bidra till att identifiera kritiska faktorer och därmed ge möjligheter till att förebygga kriser och risker. De möjliggör även att förbereda hantering, lösningar och alternativa strategier i händelse av ett avbrott eller en olycka som på något sätt hindrar den normala processen.

Summary

Within Swedish rail, both freight and passenger transport is increasing rapidly. The rail network is however suffering from severe capacity shortages, with maximum track capacity reached on multiple sections causing high disturbance sensitivity with delays as a result. Delays annually cost both the industry and society billions. The longer a train is stationary after a disturbance the greater the consequences, and it is therefore just as important to prevent disturbances as it is to be prepared to deal with them as quickly as possible when they occur.

Within the county administrative board in Skåne, an ongoing project involves mapping relevant stakeholders in the rail-bound public transport. Under the project, a case study of the management of the two scenarios “person hit by train” and “overhead line damage” was conducted at Lund University. The management involves stakeholders from various agencies and the study identified the processes that must be completed before operations can resume. The results showed that the work of some stakeholders generally takes longer than others, and various improvement suggestions were suggested. The complexity of the recovery work however entails that a change shortening the work time for a single stakeholder does not necessarily mean that the management overall is faster.

A well-known tool to study and optimize complex systems is dynamic simulation, and this report discusses whether the disruption management within the railway system can be simulated with a dynamic model. The report describes and discusses the characteristics, strengths, weaknesses, and appropriate uses of the three main dynamic simulation methods: Discrete-event simulation, system dynamics and agent-based simulation.

It is shown that the disruption management within the railway system can be simulated with a dynamic model. A simulation provides a good overview of the system and is the only way to find the most effective measures for improvement, since the relationships between the events change every time something changes. Out of the three methods, discrete-event simulation suits best, mainly because the management can be described as a number of events that occur in a known order and that the results are based on random input values.

A model is presented where each event is modelled as a time delay of random length. The simulation is repeated multiple times and a dissemination of results can be observed with a peak around a mean. The simulation also shows which events that take longest time to complete and allows the user to experiment with input values in order to find an effective management on the basis of possible real life conditions.

The model can also be used to improve the management of similar events, and dynamic simulation in general can be a powerful tool in both risk management as well as other areas. Models can help to identify critical factors and thus provide opportunities to prevent risks and crises. Models also enable the preparation of management, solutions and alternative strategies in the event of a breakdown or an accident that somehow prevents the normal process.

Förord

Det här examensarbetet sätter punkt för en lång och inte alltid spikrak resa till en civilingenjörsexamen i riskhantering. Precis som jag gjort under hela utbildningen har jag valt ett brett och för mig outforskat område när jag valde ämne. Den explorativa naturen av arbetet har inneburit titelbyten, strukturella omkastningar och tankar på att ge upp och börja om. Men det har också inneburit att både arbetet såväl som jag själv utvecklats dagligen och till slut landat i något jag känner mig både nöjd och stolt över.

Arbetet har skrivits under hösten 2014 hemma i lägenheten i Lund, med främst mina två hundar som ovärderligt sällskap. Tack för att ni dagligen tvingat mig lämna datorn för en stund och gå ut i verkligheten.

Stort tack till mina handledare Alexander Cedergren och Jonas Johansson för idéer, stöttning och konstruktiva frågor.

Tack till Anylogic som bistått med programvara och ett särskilt tack till Gregory Monakhov vid Anylogics supportavdelning som svarat på frågor och till och med skrivit de mest avancerade funktionerna i modellen.

Till sist vill jag rikta ett tack till Ida för att du alltid ställt upp och lyssnat när jag behövt ventilera tankar och stöttat mig varje dag, oavsett.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Syfte.....	2
1.2	Mål.....	2
1.3	Frågeställningar	2
1.4	Målgrupp	2
1.5	Avgränsningar.....	3
2	Metod	5
2.1	Idé och bakgrund.....	5
2.2	Inledande litteraturstudie.....	6
2.3	Förändrat perspektiv	7
2.4	Modellkonstruktion och rapportskrivning.....	7
3	Dynamisk simulering av sociala system	9
3.1	Diskret händelsestyrd simulering	11
3.2	Systemdynamik.....	13
3.3	Agentbaserad simulering.....	17
3.4	Jämförelse.....	20
3.5	Sammanfattande skillnader.....	24
3.6	Hybridmodeller	24
4	Kan hanteringen av störningar i järnvägstrafiken simuleras?	27
4.1	Hantering av störningar i järnvägstrafiken.....	27
4.2	Simuleringslämplighet	30
4.3	Utgångspunkt för simulering	32
5	Val av simuleringsmetod	33
6	Modellkonstruktion	37
6.1	Avgränsningar och begränsningar.....	37
6.2	Identifiering av påverkansfaktorer	38
6.3	Översättning av verklighet till modell.....	41
6.4	Modellstruktur för hanteringen av personpåkörning.....	44
6.5	Ingångsvärden	45
6.6	Presentation och animering.....	46
7	Simuleringsresultat	49
7.1	Total tid.....	49
7.2	Tid per händelsekedja.....	51
7.3	Tid per händelse inom insatskedjan.....	53
7.4	Att använda modellen för optimering	53
8	Diskussion	57
8.1	Modellens osäkerheter	57
8.2	Dynamiska simuleringsmodellens användningsområden	59
8.3	Krav på kunskaper i java och objektorienterad programmering.....	61
9	Slutsatser	63
	Litteraturförteckning	65

1 Introduktion

Järnvägssystemet är ett kritiskt infrastruktursystem som är centralt för människors möjlighet att ta sig till jobbet och för att leveranser ska nå industrin i tid (Cedergren, 2014). Järnvägen erbjuder ett miljövänligt resealternativ och både gods- och persontrafik ökar kraftigt (Trafikverket, 2012a). Södra stambanan, som trafikerar sträckan Malmö-Stockholm, är enligt Trafikverket (2014) en av Sveriges viktigaste järnvägsförbindelser, trafikerad med över 20 procent av Sveriges totala gods- och persontrafik (Wihlborg, 2014).

Järnvägssystemet har dock stora kapacitetsbrister (Trafikverket, 2012b; Sewring & Sterky, 2011). Enligt Arvidsson Thonäng (2011) kommer drygt 20 procent av tågen inte fram i tid vilket drabbar industrin hårt i form av årliga förluster i miljardbelopp (Späns & Olsson, 2014). Förseningar i persontrafiken medförde år 2010 grovt räknat drygt fem miljarder i samhällsekonomiska kostnader (Arvidsson Thonäng, 2011). Södra stambanan är särskilt utsatt och har på flera ställen nått sitt kapacitetstak (Trafikverket, 2012c). Sträckan Lund-Hässleholm ligger enligt Sterky och Thurfjell (2014) nära hundra procent kapacitetsutnyttjande, vilket medför stor störningskänslighet med förseningar för flera tåg som konsekvens i händelse av att ett tåg av någon anledning tvingas stanna.

I första hand eftersträvas naturligtvis att minimera förekomsten av järnvägsstörningar, men olyckor och andra typer av störningar kommer i någon omfattning alltid att ske. Ju längre tid ett tåg står stilla efter en olycka desto större blir konsekvenserna för passagerare och övriga tåg i spårssystemet. Det är därför lika viktigt att förebygga olyckan som att vara förberedd på att hantera den så snabbt som möjligt när den ändå inträffar.

Vid samhällsbyggnadsavdelningen vid länsstyrelsen i Skåne pågår ett projekt med projekttiteln Kritiska funktionsområden som innefattar en kartläggning av huvudmän och aktörer i den järnvägsbundna kollektivtrafiken i Skåne. I en förstudie av Cedergren (2014) valdes inriktningen att identifiera beroenden mellan aktörer vid inträffade störningar eller kriser, med utgångspunkt i konsekvenser för den enskilde resenären. I en andra fas av projektet genomfördes en explorativ fallstudie av hanteringen av scenarierna personpåkörning och kontaktledningsbrott (Cedergren et al, 2014). I studien genomfördes intervjuer med aktörer som är direkt inblandade i hanteringen av nämnda scenarier och utifrån intervjuerna sammanställdes kartläggningar av processerna som återställningsarbetet innebär.

Resultatet av studien visade att vissa aktörers arbete generellt tar längre tid än andras och konkreta förslag till förbättringar lämnades. Återställningsarbetets omfattning medför dock att en förändring som innebär en förkortad tid för en enskild aktör inte nödvändigtvis innebär att hanteringen som helhet går fortare. Processen är komplex och involverar aktörer från flera olika instanser och det konstaterades att det ofta innebär problem i rollfördelning och samverkanssvårigheter. Lösningar som ett gemensamt forum för diskussion samt övningar av olika slag diskuterades.

Svårigheterna i att överblicka en komplex process är väl kända. Sterman (2001) menar att människan fattar beslut utifrån ett lokalt och kortsiktigt perspektiv, och att vår förmåga att förstå

vidden av våra beslut är liten. Sterman menar vidare att dessa beslut och åtgärder ofta är kontraproduktiva i det långa loppet eftersom de skapar nya problem i andra delar av systemet.

För att enklare kunna överblicka och analysera dynamiska komplexa system kan de med fördel återskapas i en modell. Med hjälp av modellen kan det dynamiska beteendet simuleras vilket erbjuder möjligheter att lösa problem, identifiera kritiska faktorer och testa nya strategier utan att störa pågående processer eller oavsiktligt försämra resultatet (Mojtahed et al, 2011; Pritsker, 1989; Banks et al, 2010). Simulering är enligt Banks et al (2010) ett av de mest använda och accepterade verktygen inom verksamhetsstyrning och systemanalys.

I den här rapporten diskuteras olika dynamiska simuleringsmetoder samt om någon av dessa kan vara till hjälp för att analysera och simulera återställningsarbetet efter en järnvägsstörning, som exempelvis en personpåkörning eller ett kontaktledningsbrott.

1.1 Syfte

Rapportens huvudsyfte är att undersöka möjligheten till att simulera hanteringen av järnvägsstörningar, som personpåkörning eller kontaktledningsbrott, med hjälp av en dynamisk simuleringsmodell. Utgångspunkt för simuleringen är de processbeskrivningar som tagits fram i projektet Kritiska funktionsområden vid länsstyrelsen i Skåne. Underliggande syfte är att studera och inventera tillgängliga metoder för dynamisk simulering.

1.2 Mål

Rapportens mål är att med utgångspunkt i nämnda processbeskrivning kunna välja en lämplig simuleringsmetod och genomföra en simulering. Underliggande mål är att identifiera de huvudsakligen använda dynamiska simuleringsmetoderna, och jämföra dem med varandra.

1.3 Frågeställningar

Arbetet utgår från följande övergripande frågeställningar:

- Vilka dynamiska simuleringsmetoder används huvudsakligen för analys av sociala system?
- Kan hanteringen av järnvägsstörningar simuleras med en dynamisk modell?
- Vilka utmaningar och svårigheter finns kopplade till att använda dynamisk simulering i allmänhet, och till hanteringen av järnvägsstörningar i synnerhet? Hur kan dessa beaktas i framtida arbete?

1.4 Målgrupp

Dynamisk simulering är ett välkänt verktyg inom flera branscher, men är förhållandevis sparsamt använt inom riskhanteringsområdet. Vid uppstarten av detta projekt finns ingen erfarenhet av dynamisk simulering hos författaren och utformningen av rapporten är därför anpassad för läsare utan förkunskaper inom området. Det innebär att målgruppen inte är begränsad till järnvägsbranschen eller någon särskild yrkesgrupp. Rapporten kan förhoppningsvis utgöra stöd till den som är intresserad av dynamisk simulering i allmänhet, och kopplingen till kris- och riskhantering i synnerhet.

1.5 Avgränsningar

Underlag för simulering kommer endast att utgöras av de processbeskrivningar som tagits fram i projektet Kritiska funktionsområden vid länsstyrelsen i Skåne, samt en olycksutredning av en personpåkörning i Arlöv 2012. I de fall information eller mätdata visar sig saknas kommer detta nämnas, men inte vidare sökas. Redovisade resultat bör därför inte tolkas blint, utan snarare ses som ett exempel på hur dynamisk simulering kan användas som verktyg för att effektivisera hanteringen av järnvägsstörningar och liknande händelser.

2 Metod

2.1 Idé och bakgrund

Idén till detta examensarbete härstammar från resultat i projektet Kritiska funktionsområden som rör koordineringen av aktörer för att återställa järnvägstrafiken efter störningar, som exempelvis personpåkörning eller kontaktledningsbrott. Det visade sig vara uppenbart att berörda aktörer kommer från olika instanser och att ett flertal frågetecken fanns kring effektiviteten i koordineringen av dessa i ett skarpt läge. Det fanns däremot ingen konkret frågeställning kring vilken angreppsvinkel ett examensarbete skulle kunna anta för att eventuellt kunna bidra till en mer effektiv koordinering.

Flera olika idéer diskuterades med de blivande handledarna, tillika parter i projektet Kritiska funktionsområden. Exempelvis nämndes hanteringsjämförelser och olika typer av intervjubaserade studier. En idé som stack ut och skiljde sig från de andra var att undersöka huruvida hanteringen och koordineringen av berörda aktörer kunde simuleras i ett datorprogram.

I gruppen fanns inga erfarenheter från liknande simuleringar och från författarens sida var användandet av simuleringsverktyg begränsade till flödessimuleringar med FDS¹ och statistiska sannolikhetssimuleringar i @Risk². Från handledarhåll fanns en tanke om att simuleringen bör ta ett holistiskt perspektiv och viss grundläggande kunskap om dynamisk simulering fanns. Ett lämpligt verktyg antogs inledningsvis vara ”System Dynamics”, vilket är en holistisk metod som bygger på påverkansrelationer. Den praktiska erfarenheten var dock begränsad, vilket innebar att det inte på förhand gick att säga om system dynamics skulle vara användbart i just den här kontexten. Det stod därmed redan från början klart att det skulle bli ett explorativt arbete med frågeställningar och utmaningar som förmodligen skulle förändras över arbetets gång. Resultatet skulle i sämsta fall bli ett konstaterande att system dynamics inte är en lämplig metod för att simulera hanteringen av järnvägsstörningar. I bästa fall skulle kanske problematiken tydligt kunna illustreras och konkreta förbättringsförslag kunna lämnas.

I det här skedet var det inte känt att det kunde finnas andra dynamiska simuleringsmetoder som potentiellt skulle passa bättre än system dynamics. Utgångspunkt för arbetet var därför initialt att undersöka huruvida system dynamics kan användas för att analysera hanteringen av järnvägsstörningar.

Eftersom dynamisk simulering för författaren var ett fullständigt blankt begrepp var den preliminära planen för arbetet att inleda med en litteraturstudie. Denna skulle leda till ett omfattande teorikapitel där system dynamics bakgrund, användningsområden, eventuella brister med mera presenterades. Därefter skulle befintlig mjukvara inventeras och jämföras, förmodligen med förhållandevis omfattande tester av flera program. Slutligen skulle förhoppningsvis en simulering utföras med processbeskrivningarna sammanställda av Cedergren et al (2014) som ingångsdata och dess resultat diskuteras.

¹ Fire dynamics simulator (FDS) är en CFD-modell för brandsimulering utgiven av Nist

² @Risk är en plugin till Microsoft Excel som utför statistiska probabilistiska monte-carlo simuleringar. @Risk är utgivet av Palisade corporation

2.2 Inledande litteraturstudie

Litteraturstudien inleddes med att studera abstracts (sammanfattningar) i vetenskapliga artiklar med titlar som antydde att de handlade om system dynamics och simulering. Sökningarna gjordes i Lunds Universitets bibliotek med hjälp av onlineverktyget LUBsearch.

Ganska snabbt insågs att system dynamics var betydligt mer känt och välanvänt än först befarat. En sökning i LUBsearch på titlar som innehåller ”system dynamics” ger drygt 8 500 träffar och i keywords nästan 2 miljoner. En sökning på system dynamics via Googles sökmotor ger drygt 3,5 miljoner träffar, men en översättning av begreppet till svenska; systemdynamik, ger bara 71 900 träffar. Begränsas sökningen till endast svenska sidor faller siffran till 2 100 träffar, vilket beror på att begreppet är detsamma på tyska. Tolkningen av detta är att metoden inte är särskilt känd på den svenska marknaden. I alla fall inte tillräckligt omfattande för att en svensk översättning fått fäste.

Förhållandevis mycket tid lades på att läsa vetenskapliga artiklar funna via LUBsearch, med ett generellt fokus på metoden i stort samt dess bakgrund. I varje intressant artikel användes en korsreferensmetod där artikelns referenser följdes upp till en punkt där samma referenser återkom och de centrala publikationerna och begreppen ringats in. Det innebar att en litteraturbas på 4-5 böcker och ett tiotal vetenskapliga artiklar och andra publikationer byggts upp.

Inte en enda gång under denna fas fanns någon tanke på att det kunde finnas andra potentiellt användbara simuleringsmetoder. Systemdynamikmetoden verkade dessutom vara unisont hyllad och en simulering kändes genomförbar. Teorikapitlet började ta form och parallellt inleddes nästa fas; att inventera och testköra mjukvara.

2.2.1 Mjukvara

En Google-sökning på ”system dynamics software” ledde till en lista på cirka 25 programvaror vilket fick utgöra utgångspunkt. Programmen började följas upp via nya sökningar och det visade sig ganska snabbt att vissa program kräver kunskaper i programmering och/eller licenser. Eftersom författaren saknar programmeringskunskaper koncentrerades sökningarna till mjukvara med grafiskt gränssnitt som antingen var gratis eller erbjöd en tidsbegränsad testversion.

Ett av de mest kända programmen verkade vara Stella och de erbjöd en gratis 30-dagarversion på deras hemsida³. Med hjälp av en steg-för-steg guide⁴ konstruerades en enkel modell som simulerade hur befolkningens mängden ökar över tid. Programmet var lätt att hantera men det var svårt att se hur det skulle användas för att simulera hanteringen av järnvägsstörningar.

I ett försök att finna ett fall där systemdynamik har använts för att simulera ett liknande system vändes fokus åter till litteraturen. Där upptäcktes för första gången att det under begreppet dynamisk simulering för sociala system finns ytterligare två metoder. Utöver systemdynamik finns även agentbaserad och diskret händelsestyrd simulering.

³ <http://www.iseesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx>

⁴ <http://www.iseesystems.com/community/downloads/tutorials/ModelBuilding.aspx>

2.3 Förändrat perspektiv

Upptäckten av att det utöver systemdynamik finns ytterligare två potentiellt intressanta simuleringsmetoder förändrade naturligtvis hela arbetet. Direkt insågs att även de två ”nya” metoderna måste inkluderas på något sätt. Titel, frågeställning och genomgående tankesätt behövde förändras. Att helt enkelt lägga till ytterligare två metoder och göra ytterligare två teorikapitel och mjukvaruinventeringar kändes för stort och ohanterligt. Därför beslutades en ny inriktning där den grundliga jämförelsen av olika mjukvaror ströks och fokus lades istället på att diskutera och jämföra de tre olika metoderna, för att därefter bestämma vilken av dem som passar bäst för den aktuella problemställningen.

Tillbaka till ruta ett. Nya litteratursökningar gjordes på agentbaserad och diskret-händelsestyrd simulering och på motsvarande sätt som tidigare byggdes en samling bestående av ett antal böcker, artiklar och andra publikationer. Dessutom hittades ett antal artiklar som jämför olika metoder samt ett par som diskuterar kombinationer.

Vid sökningen av den nya litteraturen upptäcktes att det finns mjukvara som stödjer alla tre metoderna, och även kombinationer av dem. Eftersom det i det här skedet var okänt vilken metod som skulle passa problemställningen bäst kändes en sådan mjukvara som ett naturligt val. Programmet Anylogic⁵ erbjöd en gratis 30-dagarsversion, med vilket exempelmodeller för diskret-händelsestyrd respektive agentbaserad simulering konstruerades utifrån steg-för-steg handledning i programmets hjälpaavsnitt.

De båda ”nya” metoderna var mer omfattande och exempelmodellerna var svårare att skapa än den systemdynamikmodell som tidigare byggts i Stella, och det stod tidigt klart att framförallt agentbaserad simulering kräver kunskaper i objektorienterad programmering (java). Under antagandet att det inte skulle bli lättare i någon annan mjukvara kontaktades Anylogics europakontor, där arbetets syfte förklarades och en förlängning av de 30 dagarna efterfrågades. Svaret blev positivt och de 30 dagarna förlängdes med ytterligare 90, vilket satte punkt för vilken mjukvara som fortsättningsvis skulle användas i arbetet.

2.4 Modellkonstruktion och rapportskrivning

Nu stod det klart vilka potentiella metoder som fanns och vilken mjukvara som skulle användas. Det var däremot okänt vilken metod som skulle användas för att simulera hanteringen av järnvägsstörningar. Det första steget i rapporten blev därför att studera de tre metoderna grundligt. Dels studerades respektive metod för sig och dels tillsammans för att kunna avgöra vilka skillnader, likheter och potentiella unika respektive kompletterande egenskaper som finns. För att förstå så mycket som möjligt om metodernas praktiska användning konstruerades även enkla modeller inom respektive metod i olika mjukvaror. Detta arbete finns redovisat i kapitel 3.

Arbetets utgångspunkt och en av dess grundläggande frågeställningar är huruvida hanteringen av järnvägsstörningar kan simuleras med en dynamisk modell. För att kunna besvara den frågan har kunskaperna från litteraturstudien kopplats samman med kunskaperna om hanteringen av järnvägsstörningar. Resultatet blev en diskussion kring simuleringslämplighet samt en definierad utgångspunkt för simulering, redovisat i kapitel 4.

⁵ <http://www.anylogic.com>

För att kunna gå vidare och göra en ansats till att konstruera en modell var nästa steg var att välja metod. Utgångspunkten för simulering som definierades tidigare användes för att matcha respektive metods egenskaper med verkligheten, och på så sätt kunde ett metodval göras. Se kapitel 5.

Därefter konstruerades modellen stegvis; först i enklaste möjliga form för att därefter utvecklas i takt med att nya idéer dök upp och förståelsen för programmet ökade. En del av konstruktionen rörde struktur och ingångsvärden, medan en annan fokuserade på vilka resultat som skulle presenteras, och hur de skulle presenteras. Modellens konstruktion beskrivs i kapitel 6 och resultatet i kapitel 0.

Slutligen samlades alla uppkomna oklarheter och viktiga poänger i en diskussion, vilken i sin tur ledde till ett antal slutsatser. Se diskussionen i kapitel 8 och slutsatserna i kapitel 9.

3 Dynamisk simulering av sociala system

Ett system, som exempelvis en verksamhet eller en process, är uppbyggt av flera olika komponenter som samverkar med varandra för att nå ett gemensamt mål (Mojtahed et al, 2011; Banks et al, 2010). Ju fler komponenter som är involverade, desto svårare blir det att överblicka och identifiera systemets styrkor och svagheter. Försök till förbättringar görs ofta lokalt utan att en analys först görs hur de påverkar systemet som helhet. Det kan leda till suboptimering och rent av en försämring av systemet (Lane, 2007; Forrester, 1998; Mojtahed et al, 2011; Sterman, 2000; Cedergren, 2014).

Människor tenderar att agera utifrån en uppfattning om att orsak och verkan ligger nära varandra i tid och rum. Vi öppnar fönstret när det är varmt, vi tänder lampor när det är mörkt, vi köper billigare varor om vi har ont om pengar och så vidare. I komplexa system är relationen mellan orsak och verkan sällan lika tydlig. En förändring kan initialt verka fungera tillfredställande men över tid orsaka oväntade konsekvenser i en annan del av systemet, vilket kan innebära att förändringen blir ineffektiv eller rent av kontraproduktiv. En analys av systemets komplexitet kan visa vilka förändringar som är effektiva, kanske är till och med en kortsiktig försämring rätt lösning (Lane, 2007; Sterman, 2000).

Forrester (1991) menar att det finns en stor skillnad i konstruerandet av tekniska kontra sociala system. Inför byggandet av tekniska och potentiellt allmänfarliga verksamheter, som exempelvis en kemfabrik, inses att det dynamiska beteendet hos kemiska reaktioner är komplext, och att fabriken design därför inte enbart kan baseras på erfarenhet och tumregler. Omfattande studier kring säkerhet och kontroll över processerna genomförs och det sker simuleringar och byggs pilotmodeller för småskaliga tester. Konstruktion av sociala system däremot, som nya lagar, policys och krishantering har historiskt sin grund i diskussioner och erfarenheter, vilket enligt Forrester är en förklaring till varför det ofta uppstår oväntade konsekvenser.

Precis som ett tekniskt system kan ett socialt system återskapas i en modell. Systemets konstruktion och relationerna mellan dess komponenter fastställs och därefter simuleras det dynamiska beteendet. Med en simuleringsmodell kan policys och strategier testas, kritiska faktorer identifieras och problem lösas. Banks et al (2010) lyfter fram följande användningsområden då en simuleringsmodell kan vara till hjälp:

- För att studera och experimentera med interaktioner inom ett komplext system.
- För att studera effekter av förändringar i information, organisation eller omgivningen.
- För att öka den holistiska kunskapen om systemet.
- För att skaffa kunskap om olika variablers betydelse för systemet genom att variera ingångsvärden. Dessutom kan ramar sättas för exempelvis tillåtna maxvärden.
- För att användas som ett pedagogiskt verktyg för att exempelvis ge en ny aktör en insikt i systemets struktur och beteende.
- För att testa och analysera hypoteser kring ett visst beteende eller fenomen i ett system.
- För att identifiera flaskhalsar där information eller material blir fördröjt.
- För att besvara så kallade ”What-if?”-frågor vid design av ett nytt system.

- För att optimera ett system innan det implementeras.

Banks et al (2010) diskuterar även nackdelar med simuleringsmodeller:

- Det krävs särskild träning för att kunna konstruera modeller, och för att bli riktigt duktig krävs tid och erfarenhet.
- Att bygga en modell är ingen exakt vetenskap. Det innebär att även om två kompetenta modellskapare får i uppgift att modellera samma system kommer modellerna sannolikt se olika ut.
- Simuleringsresultat är direkt beroende av ingångsdata, vilken sällan är helt känd eller fullständig.
- Simuleringsmodeller kan vara tid- och resurskrävande.
- En otillräcklig modell kan resultera i felaktiga resultat, vilka riskerar att tolkas som sanningar.

Fördelarna överväger oftast nackdelarna och i takt med att utvecklingen går framåt blir simuleringsprogram allt bättre på att hantera nackdelarna. De grafiska gränssnitten blir exempelvis tydligare vilket förenklar konstruerandet och särskild mjukvara utformas för särskilda ändamål vilket minskar risken för fel och ökar möjligheterna att jämföra och tolka resultat. Det finns dock alltid skillnader mellan modell och verklighet och en simuleringsmodell bör därför aldrig tolkas som en absolut sanning, utan snarare fungera som ett av flera beslutsstöd.

Problemlösning och strategiförändringar kräver beslutsfattande och varje beslut bygger på olika grund. En simuleringsmodell kan därför konstrueras annorlunda beroende på vilken typ av beslut den ska utgöra stöd åt. Pritsker (1989) diskuterar hur modellens konstruktion kan skilja sig beroende på olika syften:

- En simuleringsmodell kan bidra till en beslutsfattares förståelse för ett system. I de fall förståelse är simuleringens huvudsyfte kan fokus läggas vid grafisk presentation och animeringar.
- En simuleringsmodells syfte kan vara att jämföra olika scenarier eller lösningar. Fokus bör då läggas på att skapa jämförbara resultat och att enkelt kunna ändra ingångsparametrar eller struktur.
- En simuleringsmodell kan användas för att identifiera ett perfekt scenario och på så sätt visa potentialen i ett system. I dessa fall bör fokus läggas på att samtliga prestationspåverkande faktorer är involverade och korrekt inlagda i modellen.
- En simuleringsmodell kan användas för att identifiera förmodade resultat och dess sannolika spridning genom att ta hänsyn till stokastiska variabler. Den här typen av insikt kan användas för att planera och kontrollera en process eller en verksamhet och modellens fokus bör då ligga på att fånga spridningar och möjliga händelser snarare än detaljer.

Inom dynamisk simulering för sociala system finns huvudsakligen tre olika metoder: Diskret händelsestyrd simulering, systemdynamik och agentbaserad simulering (Behdani, 2012; Mojtahed et al, 2011; Maidstone, 2012; Borshchev & Filippov, 2004; Heath et al, 2011).

3.1 Diskret händelsestyrd simulering

Diskret händelsestyrd simulering, här förkortat DE efter engelskans ”Discrete Event”, är en metod utvecklad under 60-talet där modellens tillstånd ändras i diskreta tidssteg. Ett tidssteg där minst ett tillstånd eller en variabel ändras kallas händelse, och metoden modellerar hur enheter rör sig genom en serie händelser som tar viss tid, vanligtvis slumpmässigt lång (stokastisk). Ett system kan bestå av flera händelseserier och enheterna rör sig normalt helt eller delvis stokastiskt genom dem (Maidstone, 2012; Heath et al, 2011; Behdani, 2012).

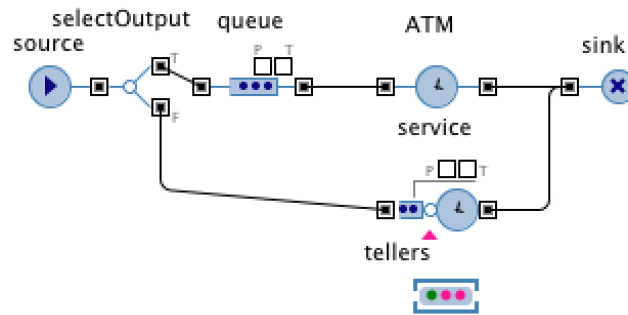
Enheter i en DE-modell är passiva objekt utan någon typ av eget beteende som representerar till exempel människor, komponenter, dokument eller uppgifter (Borshchev & Filippov, 2004).

Enheter som rör sig genom systemet stannar i köer, blir fördröjda, tar eller ger resurser, delas, kombineras och så vidare. En enhets flöde genom systemet beror på regler som tilldelats olika delar av systemet i ett flödesschema (Borshchev & Filippov, 2004). Reglerna kan inkludera probabilistiska och villkorsstyrda beslut, men beror inte på någon beslutsprocess i själva enheterna (Heath et al., 2011; Banks et al, 2004; Borshchev & Filippov, 2004).

Beskrivningen av DE-metoden ovan är gjord ur ett processcentrerat perspektiv. Det finns även ett händelsecentrerat perspektiv, som utgår från varje händelse och fokuserar på hur de påverkar systemet. Det processcentrerade synsättet, som utgår från livscykeln av en enhet, är dock det vanligaste och är dessutom det synsätt som dominerar tillgänglig mjukvara (Heath et al, 2011). Livscykeln består av olika händelser och aktiviteter som tvingar enheten att interagera. Det enklaste exemplet är att tvingas köa eftersom resursen den behöver är upptagen (Heath et al, 2011). Enligt Behdani (2012) är det processcentrerade synsättet så pass vanligt att diskret händelsestyrd simulering ofta kallas för processcentrerad simulering.

Kommersiell mjukvara har vanligtvis ett grafiskt gränssnitt som tillåter användaren att se hur systemet arbetar på skärmen. Det finns egentligen ingen gräns för hur detaljrik illustrationen kan vara och det kan därför vara ett kraftfullt verktyg i kommunikationsprocessen, särskilt vid presentation för icke-tekniska grupper (Heath et al, 2011). DE-metoden erbjuder ett enkelt sätt att illustrera systemet vilket underlättar att kunna identifiera flaskhalsar och kritiska områden. En DE-modell kan exempelvis användas för att avgöra hur många kassor som bör vara öppna i ett kassasystem, eller hur många sjukhussängar kontra antal läkare som behövs på en sjukhusavdelning (Maidstone, 2012).

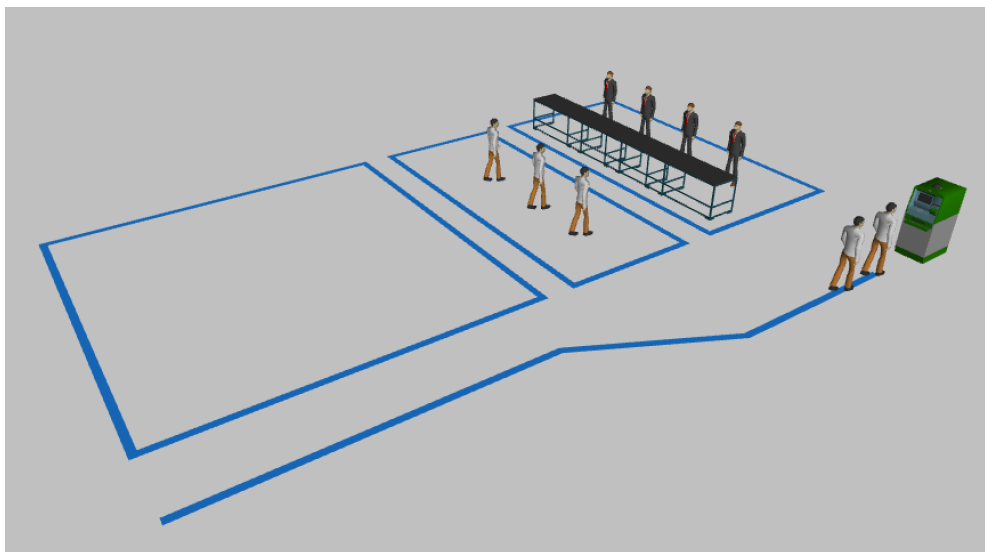
Figur 3-1 nedan visar ett exempel på en DE-modell av en bank, där kunder kommer in och väljer att antingen gå till en uttagsautomat eller till ett kassabiträde. Enheterna i systemet genereras i ”source”, vilket i det här fallet alltså representerar människor som kommer in på banken. Vid ”selectOutput” sker en probabilistisk händelse där det är 50 procent sannolikhet att enheten tar vägen mot uttagsautomaten och 50 procent sannolikhet att den går till kassorna.



Figur 3-1: Exempel på en DE-modell, skapad i Anylogic utifrån programmets hjälpsnitt

Uttagsautomaten modelleras i det här fallet som en fördröjning som uppehåller enheten stokastiskt länge. Om det redan finns en enhet i fördröjningen när en ny kommer dit, det vill säga om uttagsautomaten är upptagen, väntar den nya enheten i kö till dess att automaten är ledig. Kassabiträdena är modellerade som en resurs som kan hantera ett bestämt antal enheter under en stokastiskt lång tid. Ankommer fler än det maximala antalet hamnar de i kö, vilket är en inbyggd funktion i händelsen ”service”. Processen slutar i händelsen ”sink”, vilket motsvarar att kunden lämnar banken.

Många mjukvaror stödjer 3D-illustrationer av processen. Figur 3-2 visar en ögonblicksbild mitt i simuleringen av modellen ovan där tre kunder betjänas av kassabiträden och två personer står vid uttagsautomaten.



Figur 3-2: 3D-illustration av DE-modellen i Figur 3-1, skapad i Anylogic utifrån programmets hjälpsnitt

Eftersom DE-metoden bygger på stokastisk indata krävs flera simuleringar för att få användbara resultat. I det här fallet genereras en ny enhet ungefär varannan minut, vid uttagsautomaten fördröjs varje enhet mellan en till tre minuter och vid kassorna uppehålls varje enhet i mellan två och tio minuter.

Resultaten av en simulering lik denna kan till exempel visa hur många kassabiträden som är optimalt givet ett visst kundflöde, hur lång den genomsnittliga kön till uttagsautomaten är, hur

mycket tid en enhet i genomsnitt spenderar i kö och hur stor andel av den totala tiden som automaten används.

Diskret händelsestyrd simulering är en mycket flexibel metod eftersom i princip vad som helst som är process- eller händelsestyrt kan simuleras, och möjligheterna till att fånga små detaljer är stor (Heath et al, 2011). Metoden lämpar sig särskilt bra för att simulera kösystem eller komplexa nätverk av köer och händelser där processen tydligt kan definieras och dess fokus ligger på att representera osäkerhet genom stokastiska fördelningar (Siebers et al, 2010)

3.2 Systemdynamik

Systemdynamik (SD) är ett koncept utvecklat av Forrester (1958, 1961, 1969) för att analysera komplexa icke-linjära system. Trots att Forresters tidiga verk var banbrytande och mycket uppmärksammade dröjde det ändå en bit in på 90-talet innan SD började sprida sig på allvar. Under 70- och 80-talen var termerna simulering och händelsestyrd simulering enligt Heath et al (2011) i princip synonyma. Idag är systemdynamik ett väl använt och erkänt verktyg för att studera beteenden hos komplexa system, se exempelvis (Hsieh, 2012; Crookes & De Wit, 2014; Mansourian & Abdolmajidi, 2011; Iyer & Balamurugan, 2006; Xu & Wu, 2010; Saidimu, 2012; Forrester, 1998).

Systemdynamik tittar inte på enskilda enheter och händelser utan tar ett övergripande perspektiv och koncentrerar sig på styrande riktlinjer och hur förändringar påverkar system i helhet. En SD-modell kräver därför att modellskaparen har god kunskap om systemet som ska modelleras och kan tänka i termer av globala strukturberoenden. Alla faktorer som påverkar systemet måste identifieras och kvantifieras, vilket innebär att modellkonstruktionen med fördel görs i samråd med personer som har god kunskap om verksamheten (Borshchev & Filippov, 2004; Mojtahed et al, 2011).

Systemdynamikmetoden kan delas i två delar; en kvalitativ och en kvantitativ. Den kvalitativa delen utgår från att ett systems beteende över tid uppkommer från separata komponenters interaktioner med varandra (Borshchev & Filippov, 2004, Heath et al, 2011; Sumari et al, 2013). Den kvalitativa feedbackbaserade beskrivningen av systemet måste därefter konverteras till en kvantitativ beskrivning för att kunna hanteras digitalt. Den kvantitativa beskrivningen representerar systemet i termer av lager (eng. stocks), flöden mellan dessa, information som bestämmer värdet av dessa flöden samt tidsfördröjningar i systemet (Borshchev & Filippov, 2004). Innehållet i ett lager är en mängd aggregerade homogena värden, som exempelvis antal patienter på en sjukhusavdelning. Flödet representerar patienter som kommer in respektive lämnar och tidsfördröjningarna motsvarar tidsskillnaden mellan att något förändras i systemet och att något annat reagerar på förändringen (Maidstone, 2012).

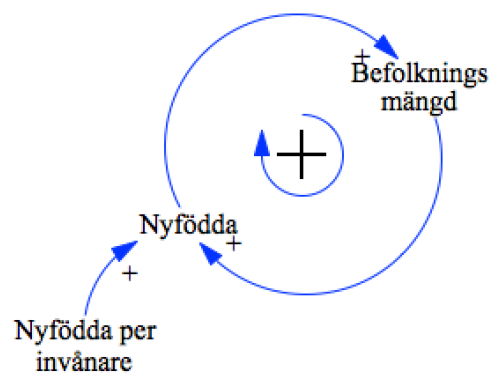
3.2.1 Kausalt påverkansdiagram

Den kvalitativa beskrivningen av systemet görs genom att konstruera så kallade kausala påverkansdiagram, vilket görs i en iterativ process tillsammans med de som har god kunskap om systemet. Ett kausalt påverkansdiagram skapas genom att identifiera relevanta systemvariabler och förhållanden dem emellan. Dessa avbildas grafiskt i ett system av noder och bågformade pilar. Varje båge är antingen positiv eller negativ, vilket indikerar påverkansriktningen: En positiv

båge mellan nod a och b innebär att om a ökar så ökar även b, medan en negativ påverkan innebär att om a ökar så minskar b. Plus och minustecken innebär således inte nödvändigtvis att något ökar eller minskar, utan beskriver endast relationen mellan noderna (Heath et al, 2011; Mojtahed et al, 2011).

Målet är att identifiera feedbackloopar, det vill säga när påverkan direkt eller indirekt återkommer till ursprungsnoden. Feedbackloopar kan antingen vara balanserande (ojämt antal negativa pilar) eller växande (jämt antal negativa pilar). Balanserande feedbackloopar bibehåller ett jämligt tillstånd och växande loopar leder till okontrollerad tillväxt. Samtliga identifierade feedbackloopar bildar tillsammans ett kausalt påverkansdiagram (Heath et al, 2011; Mojtahed et al, 2011; Sterman, 2000).

Figur 3-3 nedan visar ett enkelt exempel på en okontrollerad befolkningsökning. Variablerna, det vill säga noderna i systemet, är antal nyfödda och befolkningsmängd. Antalet nyfödda påverkas av konstanten nyfödda per invånare samt variabeln befolkningsmängd. Om befolkningsmängden ökar så ökar antalet nyfödda. Om antalet nyfödda ökar så ökar befolkningsmängden. Det innebär att en positiv feedbackloop identifierats.

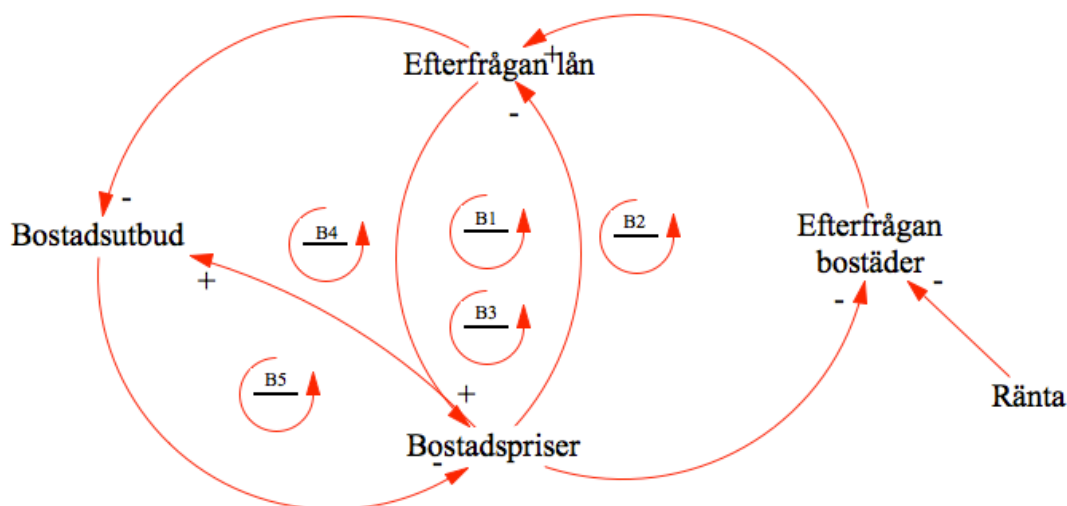


Figur 3-3: Ett kausalt påverkansdiagram som beskriver okontrollerad befolkningsökning, skapat i Vensim⁶, inspirerat av isee systems⁷.

Exemplet ovan är naturligtvis bara en del av hur ett fullständigt påverkansdiagram skulle se ut. Det mest uppenbara är att ingen hänsyn har tagits till faktumet att befolkningsmängden minskar genom att människor dör. I Figur 3-4 visas ytterligare ett exempel som illustrerar hur ett till synes förhållandevis enkelt system snabbt blir allt för komplicerat för att kunna förstås intuitivt.

⁶ <http://vensim.com>

⁷ <http://www.iseesystems.com/community/downloads/tutorials/ModelBuilding.aspx>



Figur 3-4: Ett kausalt påverkansdiagram som beskriver en självbalanserande bostadsmarknad, skapat i Vensim, inspirerat av isee systems⁸.

Modellens syfte är att simulera hur en förändring av räntan påverkar bostadsmarknaden. Men diagrammet i sig kan också illustrera anledningarna till att en viss variabel som exempelvis bostadspriser ökar eller minskar, utan att någon simulering behöver köras. En lämplig metod för att förstå ett påverkansdiagram är att utgå från en variabel och därefter följa påverkansrelationerna steg för steg. Eftersom just den här modellens syfte är att analysera följderna av en förändring i räntan är just räntan en lämplig variabel att utgå från. Resultatet blir dock detsamma var man än börjar.

En minskning av räntan innebär att efterfrågan på bostadsrätter ökar. En ökad efterfrågan på bostadsrätter innebär en ökad efterfrågan på bostadslån. Fler ansökningar om bostadslån bör innebära fler beviljade lån och därmed fler bostadsköp vilket innebär ett minskat bostadsutbud. Ett minskat bostadsutbud innebär att priserna ökar, vilket i sin tur minskar efterfrågan igen. Detta blir den första kompletta feedbackloopen, märkt B1, som alltså är balanserande.

Det finns dock, som figuren visar, fler påverkansrelationer i systemet. Det finns en positiv koppling mellan efterfrågan på bostadslån och bostadspriser, vilket skapar ännu en balanserande feedbackloop (B2), eftersom ökad efterfrågan på bostadslån leder till ökade bostadspriser, vilket i sin tur leder till minskad efterfrågan både på bostadsrätter och bostadslån. En minskad efterfrågan på lån leder dock till ökande priser och därmed skapas ytterligare två balanserande feedbackloopar. B3 är efterfrågan på lån och dess påverkan på och av bostadspriserna och B4 bildas då ökade bostadspriser leder till en minskad efterfrågan på lån, vilket i sin tur leder till att färre bostäder säljs (utbudet ökar) och priserna minskar. En femte och sista feedbackloop skapas mellan bostadsutbud och bostadspriser: När priserna går upp blir det mer attraktivt att sälja vilket ökar utbudet. Men eftersom större utbud tenderar att leda till sjunkande priser balanseras även denna loop.

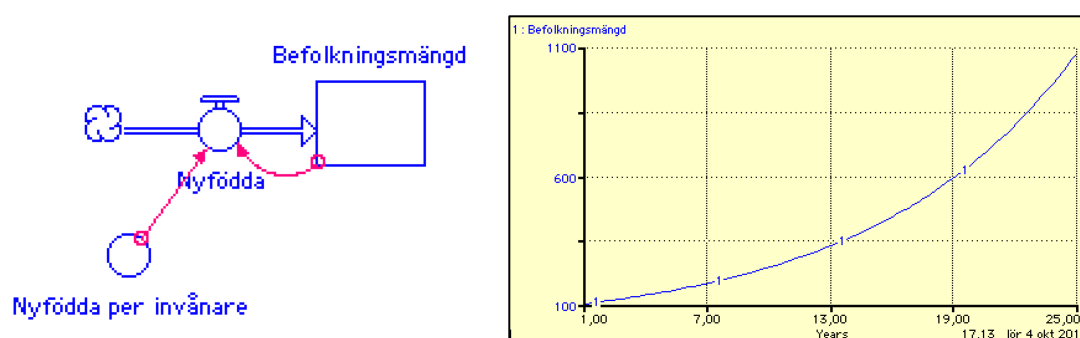
⁸ <http://blog.iseesystems.com/stella-ithink/insight-based-model-investigates-the-housing-crisis/>

Komplexiteten i ett system härrör således enligt systemdynamikkonceptet från påverkansrelationer mellan relevanta variabler. I ett system som innehåller flera feedbackloopar där flera variabler, som i exemplet ovan, tillhör flera av dem räcker dock inte en figur för att avgöra beteendet. Ibland tillhör en variabel både balanserande och förstärkande loopar och för att kunna avgöra vilken feedbackloop som är dominerande måste variabler och flöden kvantifieras och analyseras (Heath et al, 2011; Behdani, 2012).

3.2.2 Lager och flöden

Kvantifieringen av ett kausalt påverkansdiagram sker genom att göra om det till ett lager-flödesdiagram (eng. Stocks and flows diagram). Som namnet antyder är lager och flöden diagrammets huvudsakliga variabler. Lager är ackumuleringar av flöden, vilka i sin tur är resultat av olika beslutsregler. Rent matematiskt beräknas flöden med differentialekvationer i olika tidssteg och ackumuleringsprocessen beräknas genom att integrera nettoskillnaden mellan ett in- respektive utflöde över tid. Det innebär att ett systems tillstånd vid en given tidpunkt kan beskrivas enbart med lagervärden och att systemdynamikmetoden därmed alltid uttrycker systembeteendets medelvärde (Mojtahed et al, 2011; Borschev & Filippov, 2004; Behdani, 2012; Sterman, 2000; Heath et al, 2011).

Figur 3-5 nedan visar det kausala påverkansdiagrammet som beskrev okontrollerad befolkningsökning i Figur 3-3, översatt till ett lager-flödesdiagram. Befolkningsmängden är modellerad som ett lager som påverkas av flödet nyfödda, vilket i sin tur beror av konstanten nyfödda per invånare samt befolkningsmängden.



Figur 3-5: Lager-flödesdiagram av påverkansdiagrammet i Figur 3-3, skapat i Stella, inspirerat av isec systems.

Modellen tilldelas kvantitativa värden som i det här fallet att det ursprungligen finns 100 invånare, nyfödda per invånare (och år) är 0,1 och antalet nyfödda är befolkningsmängd multiplicerat med nyfödda per invånare. Resultatet blir en exponentiellt växande kurva enligt ovan.

Exemplet med bostadsmarknaden fungerar på samma sätt, men blir betydligt mer avancerat eftersom det är svårare att kvantifiera alla variabler. Dessutom behöver ett annat viktigt verktyg användas: Tidsfördröjningar. Varje förändring av en variabel som sker på grund av påverkan av en annan variabel är förknippat med en viss fördröjning, vilket har påverkan på systemets holistiska beteende (Borschev & Filippov, 2004; Maidstone, 2012). Exempelvis nämndes att höjda bostadspriser leder till ett ökat utbud i och med att fler vill sälja och att fler bostäder byggs. Det görs naturligtvis inte på nolltid och innan utbudet faktiskt ökat och därmed pressat ner

priserna igen har de höga priserna hunnit minska efterfrågan eller kanske påverkat systemet på annat sätt.

Exakt hur alla variabler och tidsfördröjningar påverkar varandra är mycket svårt att identifiera, vilket är en av nackdelarna med systemdynamik. Samtliga påverkansfaktorer måste identifieras och korrekt återskapas och kvantifieras i modellen. Vissa variabler är kvantitativa i sin natur, som exempelvis bostadspriser eller befolkningsmängd, men andra är kvalitativa är därmed betydligt svårare att kvantifiera. Variabler som oro eller trygghet är av kvalitativ karaktär, men har definitivt sin plats i påverkansrelationerna. För att vara säker på att en modell är korrekt måste den därför kunna återskapa åtminstone ett känt verkligt beteende. Det innebär att systemdynamik är en bra metod för att belysa avgörande och vitala komponenter eller relationer i ett system, eller för att förutse beteende till följd av en förändring inom systemet. Det är däremot inte en lämplig metod för att modellera ett nytt och okänt system.

3.3 Agentbaserad simulering

Agentbaserad simulering (AB), ibland kallad individuellt baserad simulering, är i jämförelse med DE och SD en förhållandevis ny simuleringsmetod som växt i popularitet under de senaste två decennierna. Sumari et al (2013) menar att det är först under 2000-talet som metoden börjat användas kommersiellt. Att det är en nyare metod beror dock inte på att den är nyupptäckt utan snarare på att det är först nu som dagens datorkraft kunnat hantera den. Agentbaserad simulering är den mest naturliga och intuitivt lättaste metoden att förstå av de tre, eftersom den utgår från individuella enheters beteende snarare än globala strukturer. Inom agentbaserad simulering uppkommer ett komplext systems beteende från diversiteten i individuella enheters handlingar och interaktioner. Varje enhet tilldelas individuella attribut och beteenderegler kring interaktion med andra enheter och dess omgivning vilket skapar en helt decentraliserad metod. AB-simulering kallas ibland ”bottom-up modeling” eftersom det holistiska systembeteendet inte kan definieras (Heath et al, 2011; Behani, 2012; Maidstone, 2012; Borshchev & Filippov, 2004).

Agentbaserad simulering erbjuder möjlighet att representera enskilt agerande, vilket kan vara viktigt för att kunna analysera systembeteende inom exempelvis utrymning, trafikhantering, internationella konflikter, epidemier, konsumentbeteende, aktiemarknader, ekonomi, flockbeteende hos fåglar eller spridning av cancerceller (Behdani, 2012; Maidstone, 2012). Att utgå från enskilda enheter innebär dessutom att en modell kan konstrueras även om systemets komplexitet är okänd, som exempelvis i mycket stora eller ännu icke-existerande system. Metoden är mycket flexibel i och med att det är enkelt att ta bort eller lägga till agenter eller att finjustera detaljer och på så sätt iterativt förbättra modellen (Behdani, 2012; Borshchev & Filippov, 2004; Siebers et al, 2010; Wagner & Agrawal 2014).

Macal och North (2009) menar att AB behövs eftersom de system som är föremål för analys idag blir allt mer komplexa och att konventionella metoder inte räcker till. Individuer får allt större valfrihet vilket försvårar definierandet av en fast systemstruktur. AB erbjuder dessutom simuleringsmöjligheter som tidigare inte funnits, exempelvis för att analysera konsumentmarknader där tidigare grova antaganden som perfekt konkurrens varit nödvändiga. En ytterligare unik egenskap hos AB modeller är att de kan utveckla sig själva, exempelvis i form av ett kontaktnätverk som växer tack vare interaktioner mellan agenter.

En agent kan vara allt från en cell till ett företag och det finns ingen universell definition. Generell konsensus råder kring att en agent är autonom, men därefter beror mycket på vilka egenskaper som är viktiga i olika discipliner och tillämpningsområden (Heath et al, 2011; Borshchev & Filippov, 2004). Att agenten är autonom innebär att den är kapabel att fatta egna beslut, vilket möjliggörs genom att den tilldelas olika beteenderegler. Beteenden kan representeras av enkla deterministiska beslutsträd och "if-then"-regler, men kan även vara mer abstrakta och stokastiska (Heath et al, 2011).

Flera författare är utöver den autonoma egenskapen överens om följande ytterligare fyra generella egenskaper hos en agent (Heath et al, 2011; Lätilä et al, 2010; Macal & North, 2009):

- **Reaktiv:** Agenter har förmågan att uppfatta förändringar i dess omgivning och hos andra agenter, och sedan reagera utifrån dem vid behov.
- **Pro-aktiv:** Agenter agerar utifrån egna målsättningar.
- **Social:** Agenter kan interagera och kommunicera med varandra.
- **Adaptiv:** Agenter kan lära sig och anpassa sitt beteende baserat på erfarenhet

En typiskt agentbaserad modell innehåller enligt Heath et al (2011) tre huvudsakliga element: Agenter, dess omgivning och en beskrivning av relationer och hur interaktioner äger rum. När dessa är definierade och programmerade körs modellen och resultatet av agenternas beteende och interaktioner över tid observeras. Men eftersom en agent kan vara näst intill vad som helst är det svårt att visa ett exempel på en "typisk" agentbaserad modell.

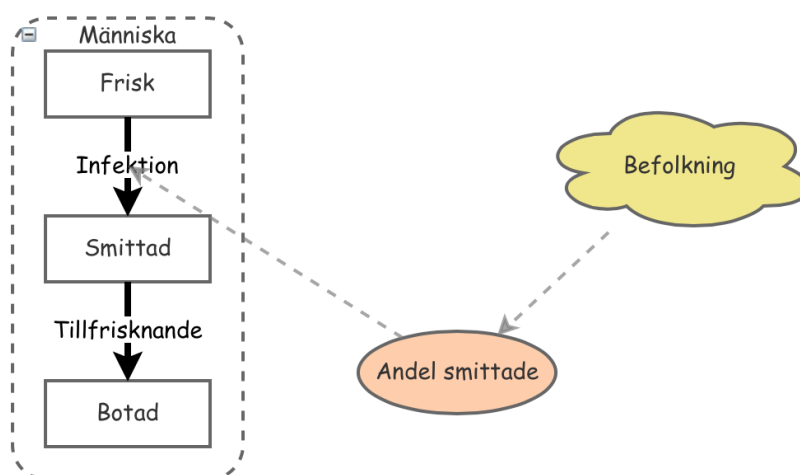
Agenter beskrivs vanligtvis genom dess interna tillstånd, vilket definierar dess aktuella situation i modellen (Heath et al, 2011). Agenten kan anta ett antal fördefinierade tillstånd, som ändras beroende på olika händelser eller situationer i modellen. Ofta utnyttjas dessutom att agenter kan röra sig fritt i ett definierat utrymme och interagera med varandra och omgivningen. Ett enkelt exempel beskrivs av Macal och North (2010) där enheter som kan anta tillstånden människa, infekterad eller zombie rör sig över samma yta. Zombies jagar människor som försöker fly. Om en zombie kommer i kontakt med en människa byter den senare tillstånd till infekterad i nästa tidssteg, för att i ett eller flera tidssteg senare förvandlas till zombie.

Ett annat exempel är en modell som simulerar hur ett servicecenter serverar ett antal vindkraftverk som kan anta tillstånden fungerande, i behov av service eller trasiga. En ögonblicksbild av modellen ses i Figur 3-6 nedan där två vindkraftverk ska servas (gulmarkerade) och ett har gått sönder (rödmarkerat). I servicecentret finns fem lastbilar och två helikoptrar. Helikoptrarna, som rör sig betydligt fortare än lastbilarna, skickas till de trasiga och lastbilarna till de som behöver servas.



Figur 3-6: Modell över hur ett servicecenter serverar vindkraftverk. Skapad i Anylogic utifrån en guide i programmets hjälpsnitt

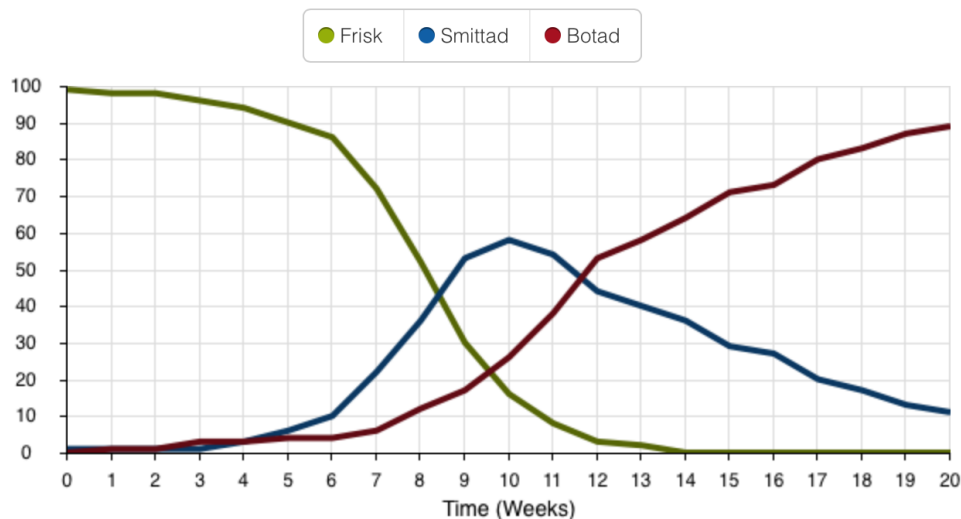
Vindkraftsmodellen är ett bra exempel på en modell som i första hand visar hur agenter rör sig spatialt, men en agentbaserad modell måste inte ha spatiala egenskaper. I Figur 3-7 nedan visas ett annat exempel av en agentbaserad modell. Modellen illustrerar tillståndsändringar hos agenter (i detta fall människor) i en population genom att simulera hur en smitta sprids över tid samt att människor tillfrisknar (och blir immuna mot att åter bli smittade). Modellen visar hur en människa kan befinna sig i tillstånden frisk, smittad eller botad. För att byta tillstånd krävs en övergång i form av en infektion alternativt ett tillfrisknande. Övergången ”Tillfrisknande” är i det här fallet en simpel sannolikhetskvation. I varje tidssteg av simuleringen har en smittad människa en viss sannolikhet att byta tillstånd till botad, i det här fallet 0,2.



Figur 3-7: Exempel på en AB-modell, skapad i Insightmaker utifrån handledning på deras hemsida⁹.

⁹ <https://insightmaker.com/node/3790>

Den molnliknande figuren till höger är en agentpopulation som i det här fallet består av 100 människor av typen specificerad till vänster i figuren. I ”Andel smittade” beskrivs beteendet, som i det här fallet är en ekvation som identifierar alla människor i befolkningen som är i smittat tillstånd. Därefter divideras antalet smittade med det totala antalet i befolkningen. Denna ekvation beräknas i varje tidssteg av simuleringen. Om exempelvis 1 av 100 är smittad ger ekvationen svaret 0,01 vilket alltså är sannolikheten att en frisk människa blir smittad i det aktuella tidssteget. I Figur 3-8 visas ett resultat av en simulering över 20 veckor, där varje tidssteg är en vecka.



Figur 3-8: Exempel på simuleringsresultat av modellen i Figur 3-7

Resultatet i figuren är alltså bara resultatet av *en* simulering och eftersom modellen är stokastisk kommer den att ge annorlunda resultat varje gång. För att få ett representativt resultat behöver därför simuleringen köras flera gånger.

Det sista exemplet är förhållandevis enkelt och till största del skapat genom ”drag and drop” i Insightmakers användarvänliga grafiska gränssnitt. Men precis som i alla andra agentbaserade modeller krävs att beteenden och regler anges på något objektorienterat programmeringsspråk, vanligtvis java (Macal & North, 2010). Vindkraftsexemplet är betydligt mer komplicerat och är utöver 3D-objekten i princip helt och hållet byggt i källkod. Det är en uppenbar nackdel med agentbaserade modeller och innebär, i alla fall i dagsläget, att konstruerandet av en AB modell ställer högre krav på specialistkunskaper än en DE eller SD. Reservation lämnas för att det kan finnas ny mjukvara på marknaden som för författaren är okänd.

3.4 Jämförelse

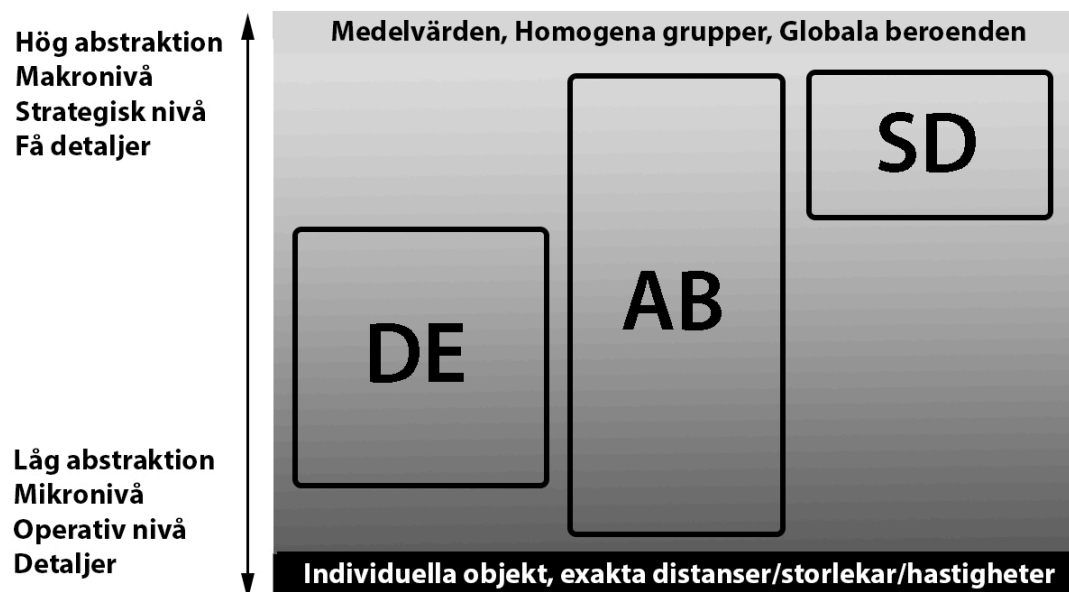
Simuleringsmodeller kan vara till hjälp inom i princip alla branscher och områden. Ibland rör det sig om att hantera problem eller oönskat beteende och ibland handlar det om att skapa bättre förståelse för ett system eller att välja rätt strategi vid uppstarten av ett projekt. Figur 3-9 visar exempel på olika områden sorterade utifrån deras abstraktion. Högst upp finns områden med hög abstraktion, aggregerade värden och generella frågeställningar som till exempel kan handla om att ”om antalet jobb ökar så ökar inflyttningen”, eller ”om mindre resurser satsas på marknadsföring ökar kapitalet på kort sikt, men minskar kanske intäkterna på längre sikt.” Längst

ner i figuren är detaljnivån hög och abstraktionen låg. Enskilda element som komponenter, produkter, människor eller fordon återfinns alltid långt ner, tillsammans med objekt i definitiva storlekar, bestämda hastigheter, given timing och så vidare (Borshchev & Filippov, 2004).



Figur 3-9: Områden där simulering kan lösa problem placerade på en abstraktionsskala. Inspirerad av Borshchev och Filippov (2004)

Ett annat sätt att skilja på verksamheter med hög eller låg abstraktion är att tala om strategisk eller operativ nivå. På strategisk nivå diskuteras ofta visioner och långsiktiga utmaningar. På operativ nivå handlar det snarare om vem som ska göra vad, när och hur (Borshchev & Filippov, 2004). I Figur 3-10 nedan har de tre diskuterade simuleringsparadigmen placerats på samma skala som i Figur 3-9.



Figur 3-10: De tre simuleringsparadigmen placerade på en abstraktionsskala. Inspirerad av Borshchev och Filippov (2004)

Systemdynamik arbetar med flöden till och från homogena grupper och aggregerade värden och hamnar därför högt upp på abstraktionsaxeln. Diskret-händelsemetoden används vanligtvis för att modellera strukturella kedjor med generaliserade individuella enheter som rör sig mellan bestämda platser eller händelser, och hamnar därför längre ner på skalan. Den agentbaserade metoden lämpar sig väl över hela spannet eftersom en agent kan vara allt från exempelvis individer eller komponenter (längst ner) till kunder (medel) eller företag (högst upp) (Borshchev & Filippov, 2004).

Grundläggande för agentbaserade modeller är att systemets beteende skapas av aktiva enheter på komponentnivå. I SD och DE definieras systemets beteende centralt; i SD genom definiera flöden mellan homogena grupper och i DE genom att enskilda enheter förflyttar sig, visserligen ofta stokastiskt, men ändå genom ett fördefinierat händelseschema. Det innebär att modellskaparen kan konstruera ett agentbaserat system som utvecklar sig själv som kanske ger ett helt oväntat resultat, medan skaparen av en SD- eller DE-modell alltid har fullständigt makt över resultatet.

3.4.1 Är agentbaserad simulering framtiden?

Agentbaserad simulering kan alltså användas i alla sammanhang och det är dessutom det mest naturliga sättet att modellera verklighetens system. Det förefaller finnas anledning att diskutera huruvida DE och SD överhuvudtaget har någon plats i framtidens simuleringar av sociala system?

AB är mer kraftfull och verklighetstrogen än DE och SD eftersom den kan återskapa eller förutse beteende i mer komplexa strukturer genom att ta hänsyn till detaljer. Den möjliggör dessutom konstruktion av en modell utan att modellskaparen behöver ha någon vetskap om systemets beteende eller globala beroenden och relationer. Möjligheten att studera systembeteende utan att på förhand ha någon vetskap om det innebär att även om en SD-modell kan lösa ett visst problem så är det, givet att de rent tekniska kunskaperna finns, på ett sätt lättare att bygga en AB-modell (Borshchev & Filippov, 2004). Resonemanget styrks av Macal (2010) som menar att varje välformulerad SD-modell även kan konstrueras som en AB-modell. Ytterligare en styrka med AB-modeller är att de generellt är lättare att underhålla och ändra eftersom justeringar sker på väldigt lokal nivå (Borshchev & Filippov, 2004).

AB-modeller är dock förbundna med vissa nackdelar, vilket öppnar upp för att SD eller DE i många situationer är ett bättre val. AB-modeller kan i vissa fall vara mindre effektiva, svårare att konstruera eller matchar helt enkelt inte problemet bäst. Eftersom AB är mer krävande gällande både konstruktion- och simuleringstid bör AB endast användas när SD eller DE inte räcker till, vilket vanligtvis är när problemet innehåller aktiva objekt och individuellt beteende (Borshchev & Filippov, 2004; Maidstone, 2012).

3.4.2 DE eller SD

SD och DE används traditionellt av olika yrkesgrupper där DE är vanligare i ingenjörsyrken, industri, produktion, logistik med mera, och SD har sin bas i samhällsvetenskap, ekonomi och management (Borshchev & Filippov, 2004). Det har medfört att SD- respektive DE-modellskapare har annorlunda synsätt, vilket påverkar hur de angriper problem. En SD-

modellskapare har ett holistiskt synsätt där komponenter är dynamiskt sammanbundna, medan DE-byggare ser detaljer och skillnader mellan individuella komponenter (Heath et al, 2011). En annan rent filosofisk skillnad är att SD i första hand inte handlar om att förutse beteende, utan att bidra till att förstå varför ett beteende ser ut som det gör (Ford, 1999). Frågeställningar som föranleder en SD-modell rör ofta en situation eller ett beteende som är svårt att förstå, eller en strävan efter att förändra ett oönskat beteende (Forrester, 1991).

En annan fundamental skillnad mellan SD och DE är att SD är en deterministisk metod och DE är stokastisk. I en SD modell blir alltså resultatet detsamma varje gång simuleringen körs, medan resultatet av en DE-simulering skiljer sig från gång till gång. Det beror på att SD aggregerar variabler kontinuerligt över tid, och resultatet blir därmed ett medelvärde, medan DE arbetar i diskreta tidssteg där variabler antar ett stokastiskt värde enligt en given sannolikhetsfördelning. Anledningen går att härleda till de olika synsätten: Inom SD söks globala beroenden och generella påverkansrelationer, till skillnad från DE som utgår från individuella enheter som i verkligheten skiljer sig beroende på person, tillfälle och situation. För att få ett hanterbart resultat måste därför en DE-simulering upprepas tillräckligt många gånger för att resultatets spridningsmönster tydligt ska visa sig. I en verklig situation körs sannolikt även SD-simuleringen upprepade gånger, men syftet är då snarare att ändra parametrar i en iterativ process till dess att resultatet antas vara korrekt.

SD har sina styrkor i att förhållandevis enkelt illustrera påverkansrelationer och tydliggöra komplexitet i ett system. Dess svaghet är att hantera individuella skillnader eftersom det är nödvändigt att aggregera enheter och använda genomsnittliga värden. DE är en mer flexibel metod eftersom den kan fånga detaljer, men i mer omfattande modeller krävs betydligt mer data än om samma modell konstrueras med SD (Heath et al, 2011). DE passar system som på ett naturligt sätt involverar köer eller där enheter på något sätt kräver resurser, som exempelvis internetshopping som kan liknas vid ett system där det i varje given tidpunkt finns exakt ett kassabiträde per kund. SD passar system som naturligt skapar flöden, som till exempel avloppshantering eller när ett större system kan förenklas till att exempelvis röra genomsnittligt antal patienter per dag vid en sjukhusavdelning (Maidstone, 2012).

3.5 Sammanfattande skillnader

I Tabell 3-1 sammanfattas respektive simuleringsmetods mest utmärkande egenskaper.

Tabell 3-1: Utmärkande egenskaper för respektive simuleringsmetod

DE	SD	AB
<ul style="list-style-type: none">• Diskret tidshantering• Stokastisk• Processororienterad• Top-down• Sekvens av händelser• Fast systemstruktur• Passiva enheter rör sig i en fördefinierad process• Enheter hanteras av resurser eller fördröjs• Bra på att hantera kösystem• Kan fånga detaljer i system men inte i enheter• Indata ofta baserad på uppmätt data• Heterogena enheter möjligt• Lätt att justera ingångsvärden• Intuitivt lätt att förstå	<ul style="list-style-type: none">• Kontinuerlig tidshantering• Deterministisk• Top-down• Systemorienterad• Aggregerade värden• Fast systemstruktur• Homogena grupper och flöden• Medelvärden• Bra för att söka orsak till visst beteende• Kan inte hantera spatiala situationer• Centralstyrd• Strategisk nivå• Övergripande• Påverkansrelationer mellan komponenter	<ul style="list-style-type: none">• Diskret tidshantering• Stokastisk• Bottom-up• Mest verklighetstrogen• Flexibel systemstruktur• Kan fånga detaljer i system och enheter• Heterogena agenter• Aktiva enheter• Agenter interaktioner med varandra och omgivning ger upphov till dynamiskt beteende• Lätt att ändra agenter beteenderegler• Indata ofta baserad på teorier och subjektivitet• Decentraliserad• Resurskrävande• Bra vid problem med spatial komponent• Kan simulera utveckling av t ex nätverk• Passar då individuella enheter har inverkan i olika situationer• Kräver ingen kunskap om systemet på högre nivå• Kräver programmeringskunskaper

3.6 Hybridmodeller

I verkliga situationer är det ofta svårt att dra en systemgräns och vara säker på att ingenting utanför systemet påverkar insidan. I andra sammanhang är det tvärtom kanske så att vissa små detaljer kan ha stor inverkan på ett globalt system. En optimal modell skulle alltså både sakna gränsdragningar och samtidigt innehålla alla detaljer. En SD-modell kan inte ta hänsyn till individuella detaljer, och en gränslös DE eller AB-modell skulle bli enorm och praktiskt omöjlig att konstruera. Därför är i många fall en kombination av olika metoder det bästa alternativet.

Maidstone (2012) ger ett exempel på när en hybridmodell av DE och SD kan vara lämplig: Patienter som kommer in till en sjukhusavdelning tas emot och fördelas till olika rum och läkare i en DE-process. Men i takt med att patienter ändrar tillstånd förflyttas de kanske till andra

avdelningar, vilket alltså skapar ett flöde av patienter mellan avdelningar, som med fördel återges i en SD modell.

Ett exempel på SD-modeller inom en AB-modell ges av Schieritz och Größler (2003) som beskriver en modell av en försörjningskedja (eng. supply-chain) där respektive företags interna beslutsprocess representeras i SD-modeller, och relationerna mellan företagen med en AB-modell. SD och AB kan också kombineras på motsatt sätt; att modellera individuellt beteende inom olika grupper vars dynamiska relationer beskrivs med systemdynamik.

Exempel på tillfällen då hybrider av AB och DE kan vara önskvärdt kan vara en situation med en given kedja av händelser som bäst illustreras med DE-metoden. Men enheterna är aktiva, heterogena objekt vars agerande har inverkan i olika situationer och bör därmed modelleras som agenter.

Dessvärre är det inte helt oproblematiskt att konstruera hybridmodeller eftersom de fundamentala skillnaderna krockar, även om flera likheter finns. DE och AB har till exempel likheter i att båda hanterar stokastiska element och kan användas på förhållandevis detaljrik nivå i systemet. Enheterna i DE är individuella vilket intuitivt borde innebära att de enkelt kan göras om till agenter. DE använder dock regler på systemnivå för att styra rörelse och beteende hos enheter medan AB har regler inom varje enhet.

Problematiken i stycket ovan kan enligt Borschev & Filippov (2004) lösas genom att delvis decentralisera ett DE systems beteenderegler. Liknande lösningar finns även för övriga kombinationer och det finns kommersiell mjukvara som stödjer kombinationer av olika metoder i samma modell, som exempelvis tidigare nämnda Insightmaker och Anylogic. Det finns dock ingen mjukvara som helt integrerar och lyckas ta vara på respektive metods styrkor (Heath et al, 2011; Maidstone, 2012). Hybridmodellerna arbetar snarare med att lägga till exempelvis stokastiska funktioner i en SD-modell eller kontinuerliga i en DE-modell. Svårigheten ligger enligt Heath et al (2011) inte i att utveckla mjukvara utan i att rent filosofiskt lösa hur en modell både ska kunna arbeta i till exempel generella, homogena flöden och samtidigt ta hänsyn till de individuella skillnaderna på detaljnivå som kan ha påverkan på makronivå.

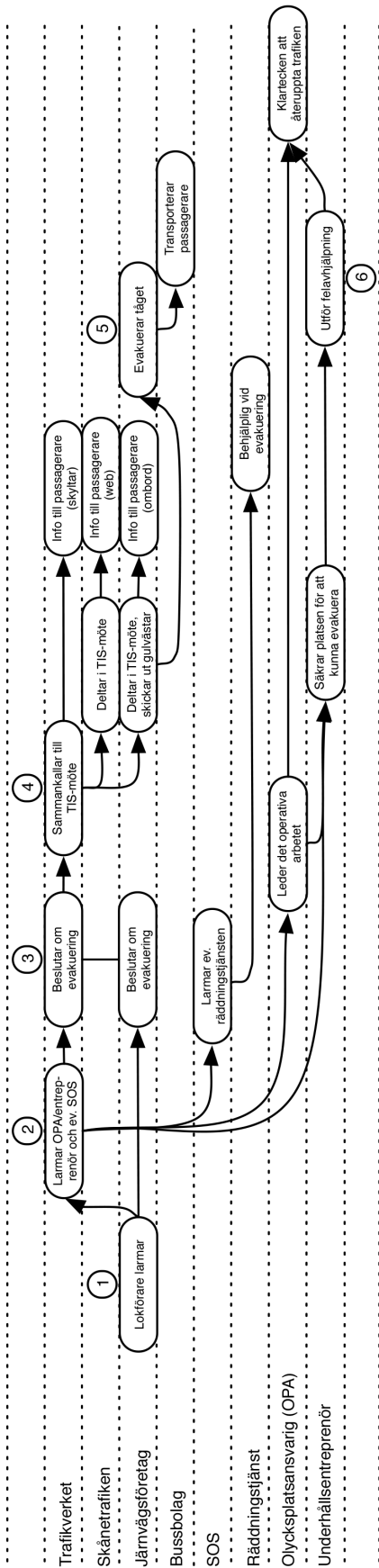
4 Kan hanteringen av störningar i järnvägstrafiken simuleras?

En av de huvudsakliga frågeställningarna i den här rapporten är om dynamisk simulering kan användas för att analysera hanteringen av järnvägsstörningar. För att kunna besvara den behövs kunskap dels om tillgängliga simuleringsmetoder, men även om hanteringen i sig. I föregående kapitel har simulering av sociala system diskuterats generellt och en omfattande beskrivning av de tre huvudsakliga dynamiska simuleringsmetoderna har getts. Dessutom diskuterades likheter, skillnader, utmärkande egenskaper och kombinationer.

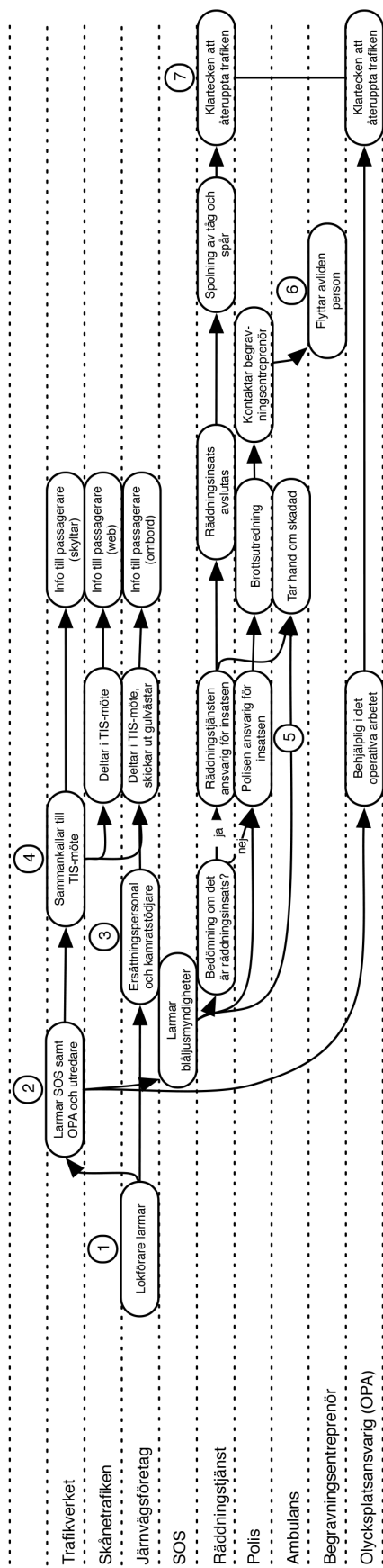
I detta kapitel beskrivs inledningsvis hanteringen av järnvägsstörningarna kontaktledningsbrott respektive personpåkörning och därefter diskuteras lämpligheten i att simulera hanteringen med en dynamisk simuleringsmodell.

4.1 Hantering av störningar i järnvägstrafiken

När en händelse som föranleder ett tågstopp inträffar behöver olika moment utföras innan trafiken kan återupptas. Cedergren et al (2014) har studerat två sådana händelser; personpåkörning och kontaktledningsbrott. Vid båda dessa händelser dras en kedja av händelser igång och ett flertal aktörer från olika instanser involveras i processen. Resultatet av studien ses i Figur 4-1 och Figur 4-2 på nästa sida, som visar en processbeskrivning av hanteringen av kontaktledningsbrott respektive personpåkörning. Processerna förklaras i avsnitt 4.1.1 och 4.1.2 där samtlig data och information kommer från Cedergren et al (2014) om inte annat anges.



Figur 4-1: Processbeskrivning kontaktledningsbrott, hämtad från Cedergren et al (2014) med tillstånd



Figur 4-2: Processbeskrivning personpåkörning, hämtad från Cedergren et al (2014) med tillstånd

Processbeskrivningarna illustrerar hur olika aktörer kallas in för att genomföra sin del av processen. Händelsekedjan delar sig i flera mindre händelsekedjor för att slutligen nå längst till höger i figuren där klartecken lämnas för att återuppta trafik. Respektive process förklaras ingående nedan, med hänvisningar till sifferangivelserna i respektive figur på förgående sida.

4.1.1 Kontaktledningsbrott

Givet att det är föraren som upptäcker felet inleds processen med att denne larmar Trafikverkets trafikcentral samt sin arbetsgivare på järnvägsföretaget (1). Trafikverket kontaktar entreprenör för felavhjälpning, olycksplatsansvarig (OPA) som leder det operativa arbetet, samt SOS Alarm givet att beslut om evakuering fattats i samråd med föraren och järnvägsföretaget (3). Evakuering är i princip alltid nödvändigt vid kontaktledningsbrott. Så snart som möjligt sammankallar Trafikverket ett trafikinformationssamordningsmöte (TIS) med Skånetrafiken samt järnvägsföretagen (4). Vid TIS-mötet bedöms störningens omfattning, beslut om information till passagerare tas, eventuella bussar beställs med mera. Om tåget ska evakueras säkras platsen av entreprenör och räddningstjänst och evakueringen genomförs (5). Slutligen kan entreprenören genomföra felavhjälpning och klartecken för att återuppta trafik lämnas (6).

Flera faktorer påverkar hur lång tid processen tar, men normalt kan trafiken återupptas efter cirka fem till sex timmar efter ett kontaktledningsbrott. Nedan redovisas identifierade faktorer som har inverkan på den totala tiden.

- Inställelsetiden för OPA respektive entreprenören är normalt mellan 30 och 120 minuter, beroende på bland annat var felet inträffat samt vilken tid på dygnet det är.
- Evakuering är i princip alltid nödvändigt och innan den kan inledas måste platsen säkras av underhållsentreprenören och/eller räddningstjänsten.
- Beroende på tillgång till lediga bussar och chaufförer vid olyckstillfället kan det dröja innan ersättningsbussar finns på plats för samtliga resenärer.
- Rollfördelningen mellan aktörer på olycksplatsen är ofta otydlig beroende på olyckans omfattning och personen som företräder en viss instans erfarenhet.
- Kommunikationsmedel mellan olika aktörer är inte centralt samordnat och är därmed ofta begränsat till mobiltelefoni, vilket i vissa fall kan innebära fördröjningar.
- Tågen är i regel inte utrustade med GPS vilket kan medföra att olycksplatsens position ibland kan vara svår att hitta.

4.1.2 Personpåkörning

Vid personpåkörning larmar föraren Trafikverket samt sin arbetsgivare vid järnvägsföretaget (1). Trafikverket tillkallar en olycksplatsansvarig (OPA) samt larmar SOS Alarm, vilka i sin tur larmar blåljusinstanserna (2). Järnvägsföretaget kallar in ersättningspersonal samt skickar ut kamratstöd till olycksplatsen (3). Så snart som möjligt kallar Trafikverket till trafikinformationssamordningsmöte (TIS) med järnvägsföretaget och Skånetrafiken (4). Vid TIS-mötet bedöms störningens omfattning, beslut om information till passagerare tas, eventuella bussar beställs med mera. På olycksplatsen konstateras om personen ifråga är avliden eller om det rör sig om räddningstjänst. Om personen är avliden utreder polisen om något brott begåtts och en begravningsentreprenör tillkallas för att ta hand om den avlidne (5). När

begravningsentreprenörens arbete är avslutat saneras tåg och spår av räddningstjänsten (6) som därefter tillsammans med OPA lämnar klartecken för att återuppta trafik.

I gynnsamma fall kan trafiken återupptas efter cirka en och en halv till två timmar efter en personpåkörning. Nedan redovisas identifierade faktorer som har inverkan på den totala tiden.

- Inställelsetiden för OPA respektive entreprenören är normalt mellan 30 och 120 minuter, beroende på bland annat var felet inträffat samt vilken tid på dygnet det är
- Inställelsetiden för begravningsentreprenören är normalt 60 minuter. Arbetet med att ta hand om den avlidne kan dessutom ta förhållandevis lång tid beroende på olyckans karaktär.
- Tiden för att få fram ersättningspersonal beror på tillgång till ledig personal samt dess möjligheter att snabbt ta sig till platsen vid det aktuella tillfället.
- Inför sanering av tåg och spår sker en säkring av platsen. I vissa fall innebär det tidskrävande elarbete som exempelvis skyddsjordning eller att strömmen bryts. En räddningsfrånkoppling påverkar dessutom andra tåg på samma sträcka vilket leder till omfattande förseningar.
- Rollfördelningen mellan aktörer på olycksplatsen är ofta otydlig beroende på olyckans omfattning och personen som företräder en viss instans erfarenhet.
- Kommunikationsmedel mellan olika aktörer är inte centralt samordnat och är därmed ofta begränsat till mobiltelefoni, vilket i vissa fall kan innebära fördröjningar.
- Tågen är i regel inte utrustade med GPS vilket kan medföra att olycksplatsens position ibland kan vara svår att hitta.

Evakuering kan bli aktuellt vilket naturligtvis ytterligare fördröjer tiden innan trafiken kan återupptas. I de fall evakuering sker behöver ersättningsbussar beställas vilket kan ta olika lång tid beroende på tillgång på lediga bussar och chaufförer vid det aktuella tillfället.

Vid en situation där personen som blir träffad av tåget fortfarande är vid liv betecknas insatsen som räddningstjänst, vilket förändrar processen något. Det är dock förhållandevis ovanligt. En studie av Rådbo (2008) visade att utav 192 dödsfall till följd av personpåkörning av tåg kategoriserades 145 som självmord, 15 som olycksfall och 32 som oklara. I en tysk studie om självmordsbeteende inom järnvägstrafiken hävdas att endast cirka 10 procent av de som försöker begå självmord genom att bli påkörda av ett tåg överlever (Schmidtke, 1994). Att personen avlider utgör därför normalt händelseförlopp i det aktuella scenariot.

4.2 Simuleringslämplighet

I inledningen av kapitel 3 listades ett antal användningsområden då en simuleringsmodell kan vara till hjälp. Dessa upprepas nedan i fet text tillsammans med kommentarer kring huruvida de är applicerbara på hanteringen av järnvägsstörningar.

- **För att studera och experimentera med interaktioner inom ett komplext system.** Hanteringen av järnvägsstörningarna består av händelsekedjor, där respektive händelse innebär mer eller mindre tidskrävande handlingar. Eftersom händelserna och länkarna dem emellan präglas av interaktioner mellan människor är det sannolikt att eventuella förändringar och analyser av dessa är intressanta i en simuleringsmodell.

- **För att studera effekter av förändringar i information, organisation eller omgivningen.**
Den här punkten är kanske den viktigaste anledningen till att upprätta en modell av den aktuella processen. Hur stor inverkan har respektive aktör? Vad händer om en viss aktör kallas in tidigare? Hur stor är vinsten av att en enskild aktör utför sin uppgift snabbare?
- **För att öka den holistiska kunskapen om systemet.**
Även denna punkt är mycket viktig, särskilt med tanke på att ett centralt övergripande organ saknas. En illustration av systemet ger varje aktör en chans att se och förstå sin plats i processen.
- **För att skaffa kunskap om olika variabelers betydelse för systemet genom att variera ingångsvärden. Dessutom kan ramar sättas för exempelvis tillåtna maxvärden.**
Detta hänger ihop med att studera effekten av förändringar. Eftersom det är ackumulerad tid som i första hand är intressant är kvantitativa ingångsvärden och resultat avgörande. Huruvida det går att sätta en maximalt tillåten tid är dock osäkert i det här fallet på grund av anledningar som etik eller yttre omständigheter.
- **För att användas som ett pedagogiskt verktyg för att exempelvis ge en ny aktör en insikt i systemets struktur och beteende.**
Den här punkten är i det aktuella fallet en vidareutveckling av punkten om att öka den holistiska kunskapen om systemet, och är i högsta grad relevant.
- **För att testa och analysera hypoteser kring ett visst beteende eller fenomen i ett system.**
Utifrån den information som presenterats om hanteringen i detta kapitel är systemets beteende känt och visar inte upp några särskilt intressanta fenomen eller oförklarliga effekter.
- **För att identifiera flaskhalsar där information eller material blir fördröjt.**
Denna punkt hänger ihop med punkterna om att kvantifierade värden och att studera effekten av förändringar. Det kan även vara intressant att studera orsaker till en eventuellt identifierad flaskhals eller lång fördröjning.
- **För att besvara så kallade ”What-if?”-frågor vid design av ett nytt system.**
Den här punkten belyser motsatsen till punkt två som berörde effekter av förändringar i information eller organisation. Har någon aktör utrymme för att ta längre tid på sig för att utföra sin del i kedjan utan att det påverkar den totala tiden? Om inte, finns någon beredskap för att hantera förseningar av en enskild händelse?
- **För att optimera ett system innan det implementeras.**
Den här punkten är inte aktuell eftersom systemet redan är i bruk. Däremot är det sannolikt att processen på något eller flera sätt kommer att förändras i framtiden, och då kan en simuleringsmodell vara ett kraftfullt verktyg för att studera effekterna av de potentiella förändringarna innan de implementeras.

Genomgången visar att flera punkter är högst relevanta för hanteringen av järnvägsstörningar och en simulering verkar således vara mycket lämplig. I kapitel 3 listades utöver lämpliga

användningsområden även ett par nackdelar med simuleringsmodeller. Dessa berörde främst krav på resurser med särskild teknisk kompetens och risk för fel- eller övertolkning av resultat. Huruvida dessa utgör ett problem eller inte i det aktuella fallet diskuteras i kapitel 8.

4.3 Utgångspunkt för simulering

I inledningen av kapitel 3 diskuterades hur konstruktionen av en simuleringsmodell kan skilja sig beroende på modellens syfte. Utifrån beskrivningarna av hanteringen av kontaktledningsbrott respektive personpåkörning uppkommer flera aspekter som skulle kunna utgöra intressanta utgångspunkter för en simuleringsmodell: Rollfördelningar, kommunikationseffektivitet, evakueringshantering, informationshantering och inte minst konsekvenser för andra tåg och samhället i stort.

Det övergripande målet med att simulera hanteringen av järnvägsstörningar är att finna sätt att minimera den totala tiden innan trafiken kan återupptas för att minimera förseningar och väntetid för passagerare. Även om många av aspekterna i stycket ovan direkt eller indirekt har inverkan på den totala tiden till dess att trafiken kan återupptas efter en störning ligger den här rapportens fokus på processen i stort. Konstruerandet av en simuleringsmodell kommer därför ta ett holistiskt perspektiv och enbart inkludera händelser och faktorer som har inverkan på den totala tiden. Det innebär att händelser som rör information till passagerare och liknande lämnas utanför.

Scenarierna kontaktledningsbrott och personpåkörning skiljer sig något men är ur ett helhetsperspektiv mycket lika. Eftersom huvudsyftet med den här rapporten inte är att presentera detaljerade resultat och förbättringsförslag, utan snarare undersöka möjligheterna till simulering, väljs endast ett av dem ut för att utgöra simuleringsunderlag i den här rapporten. Scenariot personpåkörning involverar något fler aktörer och ansatsen för konstruerandet av en simuleringsmodell blir därför att återskapa processbeskrivningen för personpåkörning med fokus på variabeln tid.

Eftersom involverade aktörer kommer från olika instanser och kanske därmed har förhållandevis dålig kunskap om dess plats i systemet i stort är det viktigt att modellen grafiskt illustrerar systemet på ett så enkelt sätt som möjligt. För att ge stöd åt ett beslut om exempelvis evakuering eller andra åtgärder bör spridning mellan bästa och sämsta sannolika tid tydliggöras och förklaras. Modellen bör dessutom tydligt belysa de områden där effekten av förändringar är störst.

5 Val av simuleringsmetod

I förgående kapitel tydliggjordes lämpligheten i att konstruera en modell för att simulera hanteringen av järnvägsstörningar och scenariot personpåkörning valdes att utgöra modellutgångspunkt. Nästa steg är att välja en lämplig metod utifrån de som presenterats i kapitel 3.

I Figur 3-9 presenterades en abstraktionsaxel där olika verksamheter och potentiella problemställningar placerades. Ett första steg mot att välja lämplig modell tas genom att försöka placera hanteringen av en personpåkörning någonstans på denna skala. Det finns inte direkt några globala påverkansrelationer eller aggregerade grupper, och det är inte en detaljrik process på mikronivå eftersom varje aktörs arbete skiljer sig från gång till gång. Hanteringen av en personpåkörning hamnar därför sannolikt någonstans i mitten och det förefaller därmed redan tydligt att systemdynamik inte är rätt metod för att modellera problemformuleringen. Däremot kan både AB och DE vara lämpliga.

Eftersom hanteringen av en personpåkörning är en kedja av händelser som inträffar i en känd ordning förefaller den diskret händelsestyrda metoden vara ett bra val. Det går dock inte att enbart utifrån detta utesluta att processen bäst återskapas i en agentbaserad modell. Det är trots allt mänskligt agerande och beslutsfattande som ligger till grund för att processen ska gå framåt.

I Tabell 3-1 sammanfattades respektive metods utmärkande egenskaper. Med kunskapen om hanteringen av en personpåkörning som getts i kapitel 4 kan denna tabell utgöra ytterligare ett verktyg för att välja simuleringsmetod. Tabell 5-1 på nästa sida är samma tabell, men den här gången med de egenskaper som stämmer överens med hanteringen av en personpåkörning i fet text. Egenskaper som inte passar in är rödmarkerade och de egenskaper som inte spelar någon roll i valet av simuleringsmodell är gråtonade.

Tabell 5-1: Återkoppling till utmärkande egenskaper för respektive simuleringsmetod

DE	SD	AB
<ul style="list-style-type: none"> • Diskret tidshantering • Stokastisk • Processorienterad • Top-down • Sekvens av händelser • Fast systemstruktur • Passiva enheter rör sig i en fördefinierad process • Enheter hanteras av resurser eller fördröjs • Bra på att hantera kösystem • Kan fånga detaljer i system men inte i enheter • Indata ofta baserad på uppmätt data • Heterogena enheter möjligt • Lätt att justera ingångsvärden • Intuitivt lätt att förstå 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuerlig tidshantering • Deterministisk • Top-down • Systemorienterad • Aggregerade värden • Fast systemstruktur • Homogena grupper och flöden • Medelvärden • Bra för att söka orsak till visst beteende • Kan inte hantera spatiala situationer • Centralstyrd • Strategisk nivå • Övergripande • Påverkansrelationer mellan komponenter 	<ul style="list-style-type: none"> • Diskret tidshantering • Stokastisk • Bottom-up • Mest verklighetstrogen • Flexibel systemstruktur • Kan fånga detaljer i system och enheter • Heterogena agenter • Aktiva enheter • Agenter interaktioner med varandra och omgivning ger upphov till dynamiskt beteende • Lätt att ändra agenter beteenderegler • Indata ofta baserad på teorier och subjektivitet • Decentraliserad • Resurskrävande • Bra vid problem med spatial komponent • Kan simulera utveckling av ett kontaktnätverk • Passar då individuella enheter har inverkan i olika situationer • Kräver ingen kunskap om systemet på högre nivå • Kräver programmeringskunskaper

Den första stora skillnaden har berörts flera gånger tidigare i rapporten. En systemdynamikmodell är systemorienterad och arbetar på strategisk och övergripande nivå, vilket i sig är bra. Men det innebär också att detaljer inte kan återskapas och ändras, vilket är anledningen till att de övergripande och generaliserande egenskaperna är rödmarkerade i tabellen.

Nästa skillnad berör tidshandlingen. I verkligheten är all tid kontinuerlig, men eftersom en modell begränsar sig till en eller flera variabler som förändras över tid går det att ställa sig frågan om förändringarna sker kontinuerligt eller i diskreta tidssteg. Ett exempel på en kontinuerlig förändring är hur variabeln vattenmängd ökar i ett badkar när kranen står öppen. Ett exempel på en diskret förändring är hur variabeln antal människor i ett rum endast förändras då någon går in eller ut ur rummet. I problemformuleringen för den här rapporten förändras visserligen variabeln tid kontinuerligt, men det är inte förändringen i sig som är intressant, utan snarare ackumuleringen. Den ackumulerade tiden blir i slutändan densamma oavsett om modellen hanterar förändringarna diskret eller kontinuerligt, och det spelar därför sannolikt ingen roll för det aktuella problemet.

Om modellen är stokastisk eller deterministisk spelar däremot roll. Eftersom den intressanta variabeln är tid, och varje händelse i processkedjan tar olika lång tid varje gång en personpåkörning inträffar, skulle en deterministisk modell endast motsvara ett specifikt alternativt ett genomsnittligt fall. Simuleringsmodellen måste därför kunna hantera stokastiska ingångsvärden.

Systemstrukturen är känd och det finns en fördel i att illustrera den likt i processbeskrivningarna i Figur 4-1 och Figur 4-2. Det ger en överblick över vilka händelser som kommer att inträffa och det är lätt att se vilka händelser som är beroende av varandra och vilka som sker självständigt. Därför är en top-down modell och en fast systemstruktur ett bättre val än en bottom-up modell med flexibel systemstruktur.

Nästa fråga är huruvida enheterna som rör sig i systemet behöver vara aktiva eller inte. För att kunna besvara den måste först enheterna i processen identifieras. Även om det är människor som utför uppgifter i respektive händelse går det inte att säga att enheterna som rör sig genom systemet är människor. En enkel liknelse kan göras vid en kedja av människor som förflyttar hinkar med vatten mellan sig för att släcka en brand. Människorna är vitala och centrala, men det är inte de själva som förflyttar sig genom processen, utan ett objekt. I fallet hantering av personpåkörning är det dock varken människor eller objekt som förflyttas, utan snarare en form av klartecken; ”Vi är klara med vårt jobb, nu kan ni påbörja ert.” Enheterna som rör sig i systemet liknas därför bäst vid just klartecken, vilka inte behöver vara förknippade med något internt individuellt beteende. Enheterna på systemnivå kan därmed vara passiva.

Enheterna inom respektive händelse är däremot människor vilka med fördel kanske skulle kunna återskapas som aktiva agenter. I verkligheten är det troligtvis så att det individuella beteendet hos varje brandman, polis, begravningsentreprenör, OPA och så vidare är högst relevant för hur lång tid dess arbetsuppgift tar. Men att bryta ner beteendet i ett antal olika tillstånd eller regler blir sannolikt praktiskt ogenomförbart. Den metod som passar bäst för att simulera hanteringen av en personpåkörning är således en diskret händelsestyrd modell.

6 Modellkonstruktion

I förgående kapitel diskuterades hur väl de tre olika simuleringsmetoderna passar för att återskapa och simulera hanteringen av en personpåkörning. Resultatet pekade tydligt mot en diskret händelsestyrd modell, främst på grund av att processbeskrivningen beskriver ett antal händelser som inträffar i en känd ordning samt att resultatet är baserat på stokastiska ingångsvärden. I detta kapitel diskuteras nödvändiga avgränsningar och begränsningar, vilka faktorer som kan påverka den totala tiden, hur den praktiska översättningen av verklighet till modell ska göras och slutligen presenteras modellen och dess ingångsvärden.

6.1 Avgränsningar och begränsningar

När en modell ska konstrueras är det viktigt att vara tydlig med vilka systemgränser som dras och vilken betydelse de har. Ett system är sällan helt fristående utan det påverkas oftast av förändringar och faktorer även utanför systemet, även kallat systemets omgivning (Gordon, 1978, hänvisad hos Banks et al, 2010). Det är inte alltid självklart var gränsen mellan systemet och dess omgivning ska dras och det måste avgöras från fall till fall utifrån den aktuella studiens syfte (Banks et al, 2010; Heath et al, 2011).

I det aktuella fallet är gränserna redan dragna i studien av Cedergren et al (2014) men det finns ändå en poäng i att diskutera dem. Processbeskrivningen av hanteringen av en personpåkörning är framtagen utifrån intervjuer med berörda aktörer. Trafikverkets föreskrift (BVF 1906) ger direktiv kring hanteringen av olyckor i järnvägstrafiken och det finns även störningsplaner som ytterligare konkretiserar¹⁰, men dess detaljnivå och i vilken omfattning de används är okänt. Klart är dock att intervjuer bygger på subjektiva uppfattningar, och att hanteringen inte är centralt koordinerad blir särskilt tydligt vid händelser som vid kontaktledningsbrottet i Flackarp i mars 2014. Strömkvist (2014) skriver i Sydsvenskan att passagerare tvingades vänta i flera timmar längre än nödvändigt innan de kunde evakueras på grund av att Trafikverket inte förrän efter lång tid kom på att de kunde ringa räddningstjänsten, trots att det finns ett skrivet avtal. Studien av Cedergren et al (2014) antyder dessutom att det finns skillnader i arbetssätt beroende på i vilken kommun olyckan inträffar eller vilken individ som fyller respektive roll i ett verkligt fall.

Mänskligt agerande innebär oändligt antal möjligheter och att fånga in alla i en modell är naturligtvis inte genomförbart. Det gäller särskilt för den DE-modell som ska konstrueras, men även AB-modeller bygger på ett antal givna beslutsregler. Istället söks ett normalfall, vilket således innebär ett antagande om att händelsekedjorna ser likadana ut vid varje tillfälle. Modellen tar dock i så stor utsträckning som möjligt hänsyn till att avvikelser eller individuella misstag sker, i form av att en handling kan ta kortare eller längre tid att utföra.

En avgränsning som görs är att lämna fall där evakuering genomförs utanför modellen. Anledningen är dels att ett beslut om evakuering fattas utifrån en mängd faktorer, där förhållanden på olycksplatsen kanske är allra mest avgörande. Dessa är svåra att lägga in i en modell, särskilt i en modell som saknar omgivningsberoende agerande vilket är sant för en DE-

¹⁰ Alexander Cedergren, LUCRAM, E-post 2014-11-15

modell. Evakueringsbeslutet skulle kanske kunna modelleras i en SD- eller AB-modell som sedan integreras i DE-modellen, men det förutsätter att alla faktorer som kan påverka beslutet identifieras och kvantifieras samtidigt som hänsyn tas till att beslutsfattaren kan vara olika individer vid varje tillfälle. Huruvida det är praktiskt genomförbart är en diskussion som inte förs vidare inom ramen för denna rapport men som kanske kan vara intressant vid ett annat tillfälle.

Vid en personpåkörning, vilket är det scenario som ska simuleras, är det dock sannolikt förhållandevis ovanligt att tåget evakueras. En evakuering kan nämligen normalt inte genomföras förrän platsen är säkrad och eventuella kvarlevor är omhändertagna. En evakuering kan med andra ord inte genomföras förrän hanteringen av olyckan är slutförd, vilket gör den helt onödig givet att tåget inte åsamkats skador som förhindrar det från att köras vidare. Notera att detta endast gäller för personpåkörning. Vid ett kontaktledningsbrott förekommer inte samma etiska aspekter och en evakuering kan därför genomföras så fort platsen är säkrad samtidigt som reparation av felet kan fortsätta parallellt. Evakuering vid ett kontaktledningsbrott är betydligt vanligare och skulle enkelt kunna modelleras som en slumpmässigt lång tidsfördröjning i DE-modellen.

En annan avgränsning som måste göras är påverkansrelationer med järnvägssystemet i stort. Som nämndes i introduktionen i kapitel 1 är kapacitetsutnyttjandet på Södra stambanan mycket högt. Det medför att ett tåg som plötsligt stannar mitt på en sträcka naturligtvis även påverkar flera andra tåg. Det är sannolikt att vissa åtgärder vidtas för att underlätta för andra tåg vilket kan medföra förändringar i hanteringen av den lokala händelsen, och det går inte att utesluta att de kan ha inverkan på när klartecken kan ges för att återuppta det lokala tågets färd. Den här typen av eventuella påverkansrelationer inom det holistiska spårssystemet lämnas utanför konstruerandet av en simuleringsmodell i den här rapporten. Det skulle däremot kunna utgöra en mycket intressant angreppsvinkel för vidare studier.

6.2 Identifiering av påverkansfaktorer

Flera författare trycker på vikten av att förstå så mycket som möjligt av problemet innan simuleringsmodellen konstrueras (Forrester, 1991; Ford, 1999; Banks et al, 2010; Macal & North, 2006; Allen, 2011; Sterman, 2000). I det aktuella fallet är endast en variabel av intresse; tid. För att identifiera alla faktorer som kan ha inverkan på den totala tiden innan trafiken återupptas efter en personpåkörning bryts därför respektive händelse ut och diskuteras nedan. Informationen är delvis spekulativ, men kommer i så hög grad som möjligt från studien av Cedergren et al (2014) samt från en utredning av en personpåkörning i Arlövs 2012 (Trafikverket, 2012c). De tider som anges i detta avsnitt ska således inte tolkas absolut.

Föraren larmar

Förutsatt att det är uppenbart att det är en människa som träffas av tåget chockas sannolikt föraren och en viss fördröjning innan denne alternativt någon annan i personalen larmar är inte osannolik. En sådan fördröjning är för det första svår att generellt kvantifiera och är för det andra sannolikt relativt liten i sammanhanget. Den eventuella fördröjningen innan föraren larmar försummas därför.

Trafikverket larmar

Trafikverket tar emot larm om personpåkörning från föraren och larmar därefter SOS Alarm

samt kallar in en OPA (olycksplatsansvarig). Att det rör sig om en personpåkörning står sannolikt klart endast ett par sekunder efter att de tagit emot larmet och naturligtvis har de särskilda rutiner som följs vid en sådan situation. Hur dessa rutiner ser ut är dessvärre inte känt men troligtvis samlar de in relevanta uppgifter såsom tågets position samt information om hur olyckan gick till innan de kontaktar SOS Alarm och ringer efter en OPA. Inget av detta bör ta särskilt lång tid och om uppgifterna är tillräckligt tydliga är det rimligt att anta att åtminstone SOS Alarm är kontaktade inom en minut eller två. I ett fall där föraren kanske är så pass chockad att han eller hon har svårt att uttrycka sig eller om informationen av annan orsak är otydlig bedöms det ändå inte kunna ta mer än fyra-fem minuter innan Trafikverket skickat larmet vidare. Att kalla en OPA till platsen ligger förmodligen tvåa på prioriteringslistan och en uppskattning är att tiden innan OPA är larmad är cirka dubbelt så lång som för SOS Alarm. I Arlövfallet var det dock SOS Alarm som ringde Trafikverket och inte tvärtom, eftersom de fått information från ett inringande vittne. Detta gjordes cirka tre minuter efter att föraren larmat Trafikverket. Ytterligare en minut senare kontaktades OPA.

SOS Alarm larmar

SOS Alarm bedömer händelsens omfattning och kopplar in de resurser som de anser beröras. I det här fallet är det minst blåljusinstanserna räddningstjänst, ambulans och polis. I det skede då Trafikverket kontaktar SOS Alarm har de sannolikt lejonparten av den information som SOS Alarm behöver tillgänglig och hanteringen bör därför inte ta mer än högst en minut eller två. I Arlövfallet är denna händelse inte angiven, men var sannolikt mycket kort eftersom de hade information om händelsen redan innan de talat med Trafikverket.

Blåljusinstanser

Inställeasetiden för de olika blåljusinstanserna är olikt lång beroende på om kommunen som olyckan inträffat i har en brandstation som är bemannad på hel- eller deltid samt yttre faktorer som samtidiga händelser som uppehåller polis eller räddningstjänst, tid på dygnet, trafikmängd, väglag, avstånd till olycksplatsen med mera. Möjligheten att ta sig ända fram till olycksplatsen med bil är dessutom ofta begränsad vilket ytterligare förlänger framkörningstiden. Störst inverkan har sannolikt olycksplatsens position och uppskattningsvis är alla enheter på plats inom tio minuter efter att de fått larmet i ett gynnsamt fall. I ett ogynnsamt fall kan det kanske ta upp till en halvtimme. I Arlövfallet finns inga tidsangivelser för när blåljusinstanserna var på plats.

I det aktuella simuleringsscenarioet är utgångspunkten att personen som träffats av tåget avlider, och arbetet på platsen klassificeras därför inte som räddningstjänst enligt 1 kap. 2 § i lag (2003:778) om skydd mot olyckor. Det innebär att polisen har huvudansvar för insatsen och räddningstjänst och ambulanspersonal nyttjas i första hand som stöd och hjälp. Polisen utreder huruvida det finns några misstankor om brott som föranlett olyckan, främst genom att tala med föraren och eventuella vittnen, vilket av naturliga skäl är svårt att bedöma tidsomfattningen av. Enligt studien av Rådbo (2008) kunde självmord konstateras i drygt 75 % av de studerade dödsfallen vid personpåkörningar, och endast i 8 % av fallen kunde självmord avskrivas (och istället rubriceras som olycka). Resterande 17 % var oklara, men inte ett enda fall rubricerades som brott. Det är således mycket ovanligt att brott konstateras och brottsmisstankor avskrivs därför förmodligen ganska snabbt i de flesta fallen.

Blåsljusinstansernas arbete i processkedjan inklusive framkörningstid fram till dess att personen konstaterats avliden och brottstankar avskrivits bedöms ta mellan 30 och 60 minuter. Från Arlövfallet finns dessvärre ingen information som kan förbättra uppskattningen.

Begravningsentreprenör

När brottsmisstankar avskrivits kontakter polisen en begravningsentreprenör för att föra bort den avlidne från olycksplatsen. Inställelsetiden för begravningsentreprenören är normalt en timme, men det betyder naturligtvis inte att det inte kan gå fortare. Yttre faktorer som trafikmängd och väglag har sannolikt en inverkan, men i förhållande till andra faktorer som avstånd till olycksplats och entreprenörens möjlighet att genast bege sig iväg efter att ha tagit emot samtalet bedöms de ha försumbart stor inverkan på inställelsetiden.

Själva arbetet på platsen är mycket svårt att tidsbedöma eftersom varje fall är unikt. Ett skyndsamt agerande är dessutom behäftat med etiska aspekter. En uppskattning är att det i gynnsamma fall tar åtminstone en kvart från det att entreprenören anlant till platsen, och i ogynnsamma fall upp till 45 minuter.

Saneringsförberedelser

Innan saneringsarbetet kan påbörjas försäkrar sig räddningstjänsten om att spolning kan ske på ett säkert sätt. Det innebär vanligtvis att en skyddsjordning utförs och ibland även att strömmen bryts. I vissa fall har räddningstjänsten själva kompetens och möjlighet att säkra platsen, och ibland tar de hjälp av en elarbetsansvarig. Osäkerheten ökar ytterligare i och med att det inte finns en given plats i kedjan då en elarbetsansvarig kallas in om så anses nödvändigt. I Arlövfallet skedde det i samband med att OPA kallades till platsen och uppskattningsvis görs det som senast i samband med att blåsljusinstanserna bedömer läget på platsen, det vill säga innan begravningsentreprenören kallas in. För modellen innebär detta att ett antagande om att elarbetsansvarig inte kallas in alternativt redan finns på plats vid det tillfälle då begravningsentreprenören tillkallas. Det medför att arbetet med att säkra platsen sker parallellt med att begravningsentreprenören inställer sig och utför sitt arbete

Eftersom strömmen inte alltid bryts, och eftersom skyddsjordningsarbete och säkring av platsen i vissa fall görs av räddningstjänsten och i andra fall av en elarbetsansvarig är tiden för detta arbete särskilt svår att uppskatta. I Arlövfallet lämnades klartecken för spolning först efter nästan två och en halv timme. Det innehöll dock cirka två timmars fördröjning på grund av kommunikationsmissar samt jordningen tog längre tid än väntat på grund av att området var särskilt tekniskt komplicerat. Tiden i Arlövfallet bedöms därför utgöra en rimlig maxgräns. I utredningen nämns att elarbetsansvarig uppgett att skyddsjordningsarbetet skulle ta 30 – 60 minuter, vilket därmed tolkas som tiden som krävs i ett normalfall. I vissa fall säkras förmodligen platsen mycket tidigt i processen, förmodligen parallellt med exempelvis polisens utredning och tiden för händelsen som enskild händelse i processen blir därmed i ett bästa fall noll.

Yttre faktorer som exempelvis innebär svårigheter eller tidsfördröjningar för en eventuell elarbetsentreprenör att ta sig till platsen bedöms rymmas inom maxtiden.

Sanering

När kroppen förts bort från platsen saneras spår och tåg av räddningstjänsten. Detta arbete tar olika lång tid beroende på förhållanden på platsen samt erfarenhet hos brandmännen.

I Arlövfallet krävdes ett omfattande saneringsarbete på en sträcka om cirka 500 meter och räddningsledaren bedömde att det skulle ta cirka 20 minuter från det att de fått klartecken. När klartecken lämnats inleddes spolningen och var klar efter cirka 30 minuter.

I ett gynnsamt fall där exempelvis ett kraftigt regn redan spolat bort mycket samtidigt som tåg och spår som behöver saneras är lättåtkomliga och utom synhåll för passagerare eller andra vittnen bedöms saneringsarbetet kunna vara klart på 10 minuter.

Ersättningspersonal

Föraren larmar utöver Trafikverket dessutom sin arbetsgivare vilka kallar in ersättningspersonal och kamratstöd. Hur lång tid det tar för ersättningspersonal att komma på plats beror på flera faktorer. De mest uppenbara rör tillgång till ledig personal med rätt kompetens, vilket i sin tur beror på veckodag, tid på dygnet, sjukskrivningar och liknande yttre faktorer. Därefter ska ersättningspersonalen ta sig från den plats de befinner sig på till tågets position. Vissa tar kanske egen bil, andra åker kollektivt. Vissa har nära, andra har längre att åka. I ett bästa fall tar det förmodligen åtminstone en timme innan all personal är på plats och är redo för att framföra tåget, och ett normalfall ligger kanske på två timmar. I Arlövfallet framgår inte hur lång tid det tog att få ersättningspersonalen på plats, men det nämns i ett samtal drygt fyra timmar efter att olyckan inträffat att det tog lång tid att få ersättningsföraren på plats. Utifrån detta görs bedömningen att det i ett sämsta troliga fall tar ersättningspersonalen upp till tre eller till och med fyra timmar att inställa sig och vara redo att framföra tåget.

Huruvida det existerar någon typ av jouravtal som reglerar en maximal inställetid eller liknande är okänt och kvantifieringen blir därför mycket spekulativ. Detta bör vid tillfälle utredas vidare tillsammans med uppmätta tider från tidigare inträffade händelser givet att sådana data finns tillgänglig.

OPA

Den person som innehar rollen olycksplatsansvarig ansvarar för att leda arbetet på platsen. En stor del av OPAs arbete är därför kommunikationsrelaterat och inte nödvändigtvis tidskrävande i sig. OPA behöver dock enligt Trafikverket (BVF 1906) vara på plats innan trafiken återupptas eftersom det åligger denne att lämna röjningstillstånd. En direkt påverkande faktor för den totala tiden innan trafiken återupptas blir därför OPAs inställetid. Precis som för ersättningspersonalen beror längden på denna på ett flertal yttre faktorer, men enligt Cedergren et al (2014) finns uppgifter om avtal innehållande inställetid mellan Trafikverket och den underhållsentreprise som tillhandahåller OPA. Inställetiden varierar mellan 30 – 120 minuter beroende på vilken bansträckning olyckan inträffat på. I Arlövfallet var OPA på plats redan efter 25 minuter och det är naturligtvis möjligt att det kan gå ännu fortare än så.

6.3 Översättning av verklighet till modell

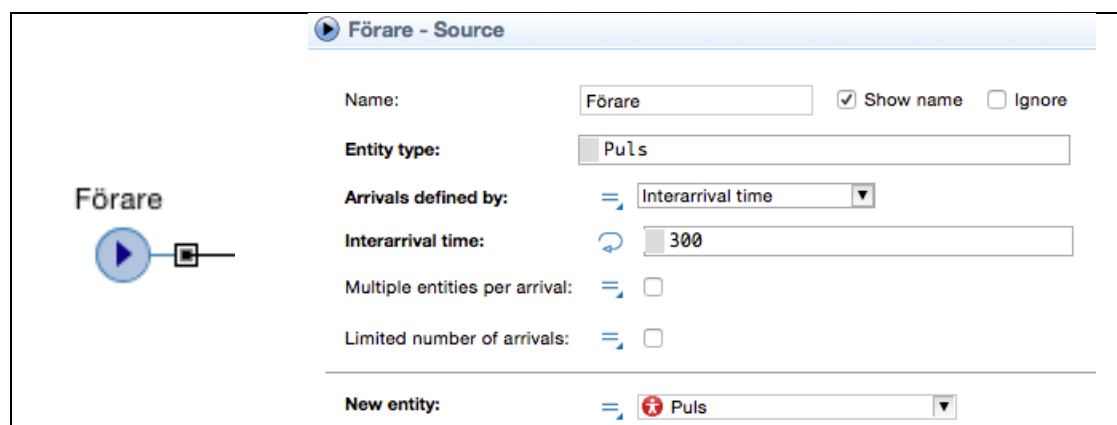
Som tidigare analyser och diskussioner visat är en diskret händelsestyrd metod mest fördelaktig för att återskapa hanteringen av en personpåkörning. I detta avsnitt presenteras hur respektive händelse i hanteringen modellerats i programmet Anylogic. Notera att författaren inte har några förkunskaper i programmet i fråga och heller inte inom programmering. Modellen är konstruerad med hjälp av programmets hjälpsnitt och företagets supportavdelning.

6.3.1 Enheter som rör sig genom systemet

I kapitel 5 konstaterades att enheterna som rör sig i systemet kan liknas vid ett klartecken. Eller rättare sagt; enheten i singular. Processen som ska återskapas kan inte liknas vid ett flöde av kunder som kommer i en affär och bildar köer. I den aktuella processbeskrivningen larmar föraren bara en gång, vilket innebär att endast en enhet – ett klartecken – kan inleda processen. Längre fram i kedjan delas visserligen klartecknet i olika kedjor, men det slås ihop igen till en enhet innan det lämnar systemet i form av ett ”OK att återuppta trafik”. När ett klartecken lämnats vid en viss händelse har den händelsen inte längre någon funktion i processen. Systemet släcks ner bakom klartecknet och det enda som är intressant är hur lång tid det tar på sig att förflytta sig från start- till slutpunkt.

Den beskrivna processen simulerar dock bara hanteringen av en olycka, och eftersom processen bygger på stokastiska ingångsvärden måste simuleringen köras många gånger. Detta löses genom att lägga in en funktion i startpunkten som genererar en ny enhet i ett bestämt tidsintervall. Längden på tidsintervallet måste vara längre än den maximalt möjliga tiden en enhet behöver för att förflytta sig genom hela systemet, så att det aldrig kan finnas mer än ett klartecken åt gången. Simuleringen kan därefter köras i hög hastighet för att på så sätt få ett representativt resultat.

I mjukvaran modelleras startpunkten som en ”source” likt i exemplet i Figur 3-1. Den döps om till ”Förare”, eftersom den motsvarar att föraren larmar. I händelsens egenskaper sätts att händelsen ska generera en ny enhet av typen ”Puls” var 300:e minut, vilket med aktuella övriga ingångsvärden är cirka 60 minuter längre än den maximalt möjliga tiden. Enheten ”Puls” representerar klartecknet som ska förflytta sig genom systemet. Till vänster i Figur 6-1 nedan ses händelsen i det grafiska gränssnittet och till höger ses händelsens egenskaper.



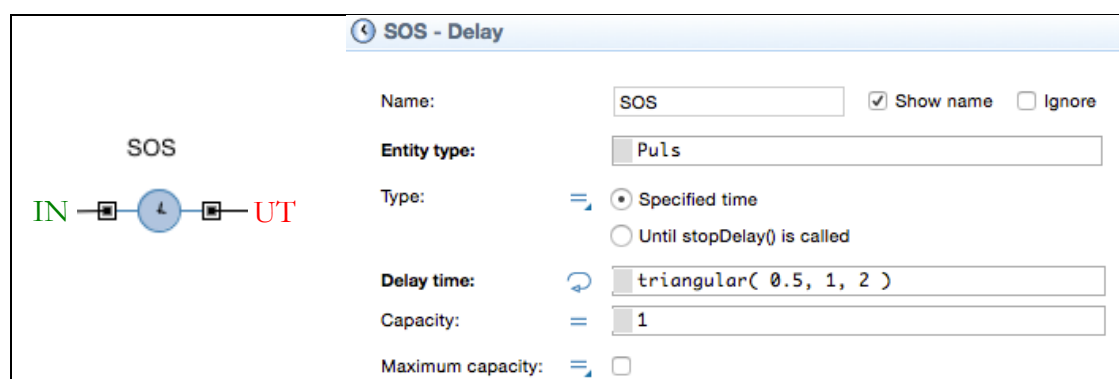
Figur 6-1: Händelsen ”Förare” och dess egenskaper

Sist i processen sitter likt i exemplet i Figur 3-1 en ”sink”, vilket är där enheten tas ur systemet. Den har inga särskilda egenskaper utan markerar bara slutet på enhetens resa genom processen.

6.3.2 Händelser

Alla händelser i systemet, som exempelvis att Trafikverket larmar OPA och SOS Alarm, eller att räddningstjänsten sanerar spår och tåg, modelleras som en fördröjning vars längd avgörs av en sannolikhetsfördelning. Det innebär att när pulsen som genererades i ”Förare” når fördröjningen så stannar den där stokastiskt länge innan den fortsätter genom systemet. Det är alltså i

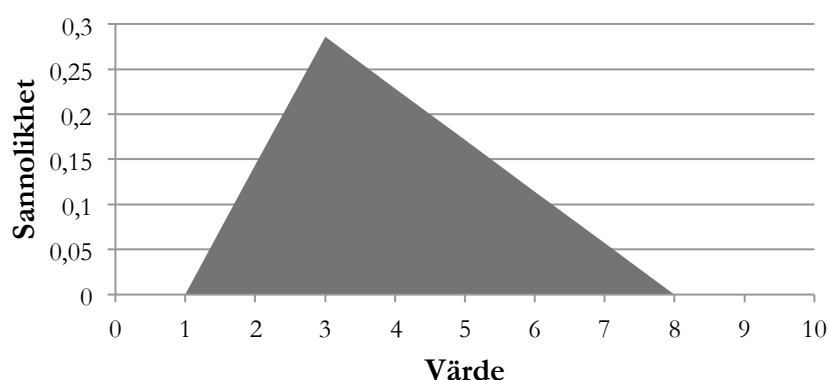
fördröjningarna som all tidsackumulering sker i systemet. Figur 6-2 visar händelsen ”SOS”, som återskapar den tid SOS Alarm upptar för att larma blåljusinstanserna.



Figur 6-2: Fördröjningen ”SOS” och dess egenskaper

I fördröjningens egenskaper anges den sannolikhetsfördelning man vill att tiden ska ha. Programmet kan hantera alla vanliga sannolikhetsfördelningar som till exempel en uniform-, poisson-, exponential-, triangelformad- eller normalfördelning. För den aktuella modellen söks en spridning mellan ett minsta och ett högsta värde som ska motsvara ett bästa och ett sämsta fall. Till detta kan exempelvis en normalfördelning användas, men i en normalfördelning blir alltid det mest sannolika värdet automatiskt precis mellan det bästa och det sämsta. Så ser sällan verkligheten ut och istället bör en fördelning som kan ta hänsyn till sällan inträffande extremvärden och en huvudsaklig koncentration kring ett mest förekommande värden väljas. En sådan fördelning kan till exempel vara en gumbel-, weibull- eller en triangelformad fördelning.

Eftersom modellens ingångsvärden till stor del baseras på uppskattningar och att de potentiellt starkt avvikande extremvärdena lämnas utanför modellen väljs den enklare triangelformade fördelningen. I en triangelformad fördelning anges ett minsta, ett högsta och ett mest troligt värde. Om det mest troliga värdet på en skala 1 - 10 är 3, det lägsta möjliga är 1 och det högsta 8, ger det en sannolikhetsfördelning enligt Figur 6-3.



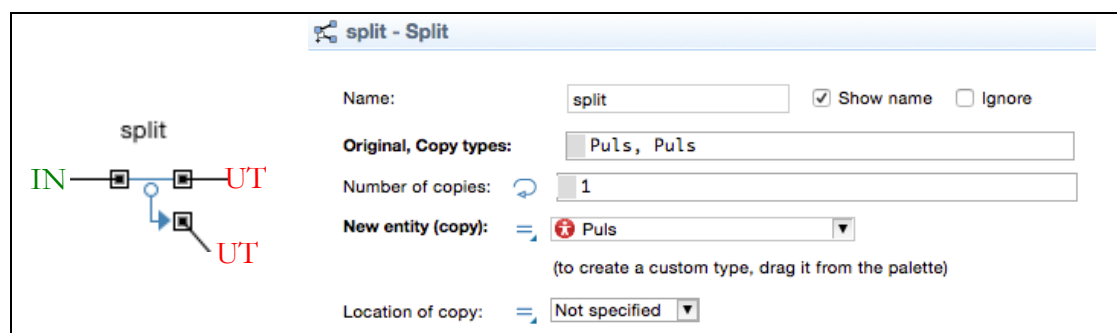
Figur 6-3: Exempel på en triangelformad fördelning

Fördelningen i figuren ovan innebär att ett slumpmässigt värde alltid kommer att anta ett värde mellan 1 och 8. Störst är sannolikheten att det blir 3 och därifrån faller sannolikheten linjärt till respektive min- och maxvärde. I egenskaperna för händelsen SOS i Figur 6-2 ovan har alltså bedömningen gjorts att SOS Alarm larmar blåljusinstanserna inom maximalt två minuter. Den

mest troliga tiden bedöms vara en minut och i bästa fall får de ut larmet redan efter 30 sekunder. Samtliga ingångsvärden redovisas i avsnitt 6.5.

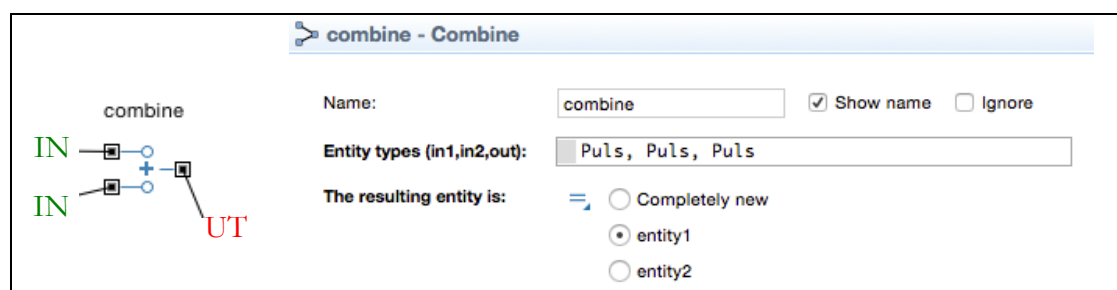
6.3.3 Delningar och sammanfogningar

På flera ställen i processen delas händelsekedjan i två nya separata händelsekedjor. Exempelvis kontaktar föraren både Trafikverket för hantering av själva olyckan och järnvägsföretaget för ersättningspersonal (och kamratstöd). Tiden det tar för ersättningspersonalen att komma på plats och göra sig redo för att framföra tåget är helt oberoende av hur lång tid hanteringen på olycksplatsen tar. Dessa delningar modelleras som en ”split”, vilken tar emot en enhet och släpper ifrån sig två genom att skapa en kopia. Figur 6-4 visar händelsen ”split” och dess egenskaper.



Figur 6-4: Exempel på händelsen ”split” och dess egenskaper

Eftersom tåget inte kan återgå i trafik förrän både ersättningspersonalen är redo och hanteringen av själva olyckan är slutförd måste dessa delade kedjor sammanfogas igen på slutet. I modellen sker detta precis som vid delningen ovan, men tvärt om. Händelsen ”combine” tar emot enheter från två separata händelsekedjor och kombinerar dem till en. För att den kombinerade enheten ska lämna händelsen krävs att båda enheterna nått kombinationen – det vill säga om enheten ur den ena kedjan når kombinationen först måste den vänta till dess att enheten från den andra kedjan kommit dit innan de kombineras till en. I Figur 6-5 ses händelsen ”combine” och dess egenskaper. I det här fallet väljs att den enhet som lämnar händelsen är densamma som kom in från den övre kedjan, och den som kommer från den undre kedjan försvinner därmed skulle man kunna säga. Det kunde lika gärna varit tvärtom eller en helt ny.

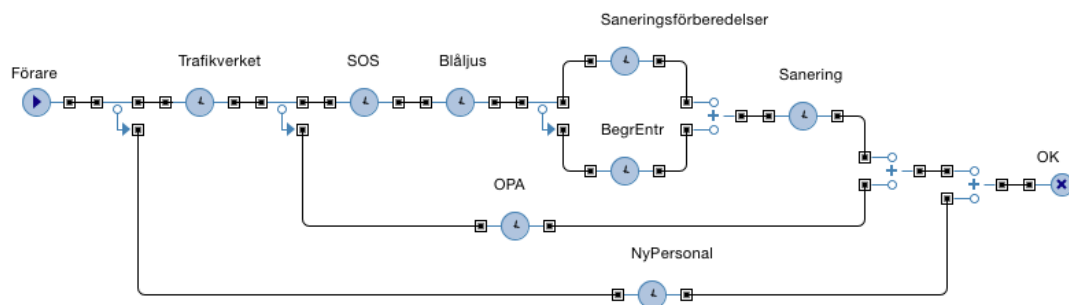


Figur 6-5: Exempel på händelsen kombination och dess egenskaper

6.4 Modellstruktur för hanteringen av personpåkörning

Med hjälp av elementen som förklarats i avsnitt 6.3 kan modellen konstrueras utifrån informationen i avsnitt 4.1.2 och 6.2. Notera att endast moment som på något sätt bidrar till den

totala tiden innan trafiken kan återupptas finns med i modellen. Det innebär att händelser som TIS-möte, information till passagerare etcetera inte finns med.



Figur 6-6: Modellstruktur för hanteringen av personpåkörning

Modellen illustrerar hur föraren larmar både Trafikverket och järnvägsföretaget som kallar in ersättningspersonal. Att få ersättningspersonal på plats är en händelse som är helt skild från övrig hantering eftersom trafiken inte kan återupptas förrän den är på plats, oavsett om hanteringen av själva olyckan är slutförd. OPA tillkallas av Trafikverket och har en viss inställetid. OPAs roll är att leda arbetet på platsen men det är inte en roll som innebär att blåljusinstanserna inte kan göra sitt arbete medan OPA är på väg. Däremot måste OPA vara på plats för att lämna klartecken för att återuppta trafik, så kallat röjningstillstånd.

Modellen är naturligtvis en förhållandevis grov förenkling av verkligheten, men utifrån den information som finns angiven i kapitel 4 finns ingen vinst i att bryta upp händelserna i mindre segment. Skulle däremot ny information komma till kännedom som på något sätt förbättrar modellen kan den enkelt justeras eller utökas.

6.5 Ingångsvärden

I avsnitt 6.2 diskuterades vilka faktorer som påverkar hur lång tid respektive händelse i processen tar. Det visade sig tydligt att många faktorer är svårbedömda och tvingar i vissa fall fram rena gissningar. Målet med det här arbetet är dock inte att i första hand leverera detaljerade resultat, utan snarare att undersöka möjligheterna i att utnyttja en simuleringsmetod. En av fördelarna med en diskret händelsestyrd modell är att det är enkelt att justera ingångsvärden och fördelningar i modellen, vilket innebär att metoden kan – och bör – förfinas innan den eventuellt används som beslutsunderlag.

I samtliga fördröjningar, vilket är de händelser där tid ackumuleras, har en triangelformad sannolikhetsfördelning använts enligt diskussion i avsnitt 6.3.2. Tabell 6-1 sammanfattar samtliga ingångsvärden, vilka bedömts utifrån diskussion i avsnitt 6.2. Den första siffran för varje händelse motsvarar en lägsta möjliga tid, andra siffran den mest troliga tiden och den sista den längsta möjliga.

Tabell 6-1: Ingångsvärden personpåkörning

Fördröjning	Sannolikhetsfördelning (minuter)
Trafikverket	(1, 2, 5)
SOS	(0.5, 1, 2)
Blåljus	(30, 45, 60)
Begravningsentreprenör	(45, 75, 100)
Saneringsförberedelser	(0, 45, 150)
Sanering	(10, 25, 40)
OPA	(15, 60, 120)
Ny Personal	(60, 120, 240)

I avsnitt 6.2 nämndes att Trafikverket troligtvis kontaktar SOS Alarm innan de tillkallar en OPA. Tiden det tar för OPA att anlända till platsen är dock så pass lång och osäker att den extra minut eller vad det kanske rör sig om blir försumbar i sammanhanget.

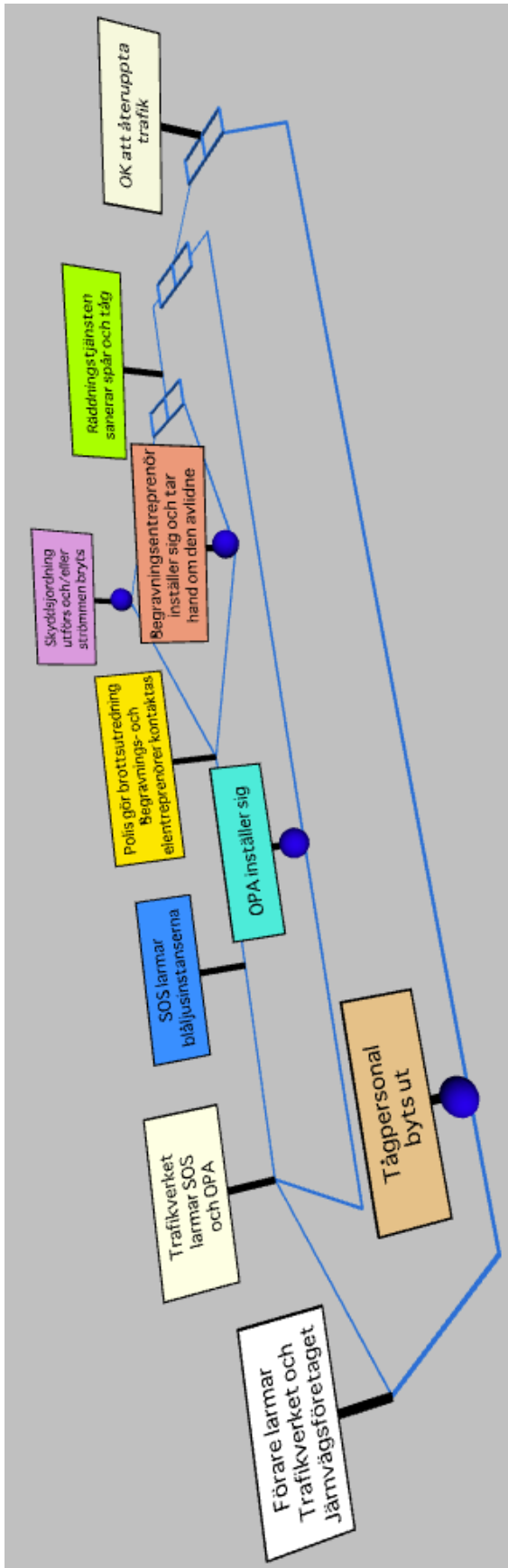
I fördröjningen Blåljus ingår tiden för polisens brottsutredning och motsvarar således tiden från det att de fått larmet till dess att de tillkallar en begravningsentreprenör.

6.6 Presentation och animering

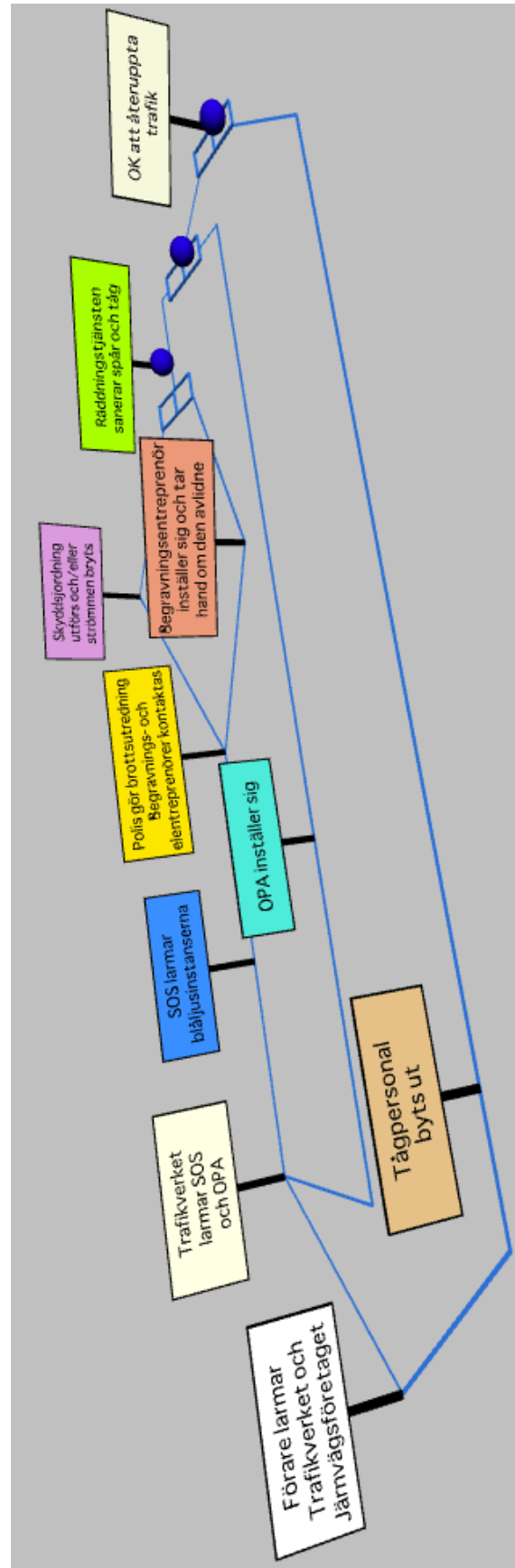
För att på ett så tydligt sätt som möjligt illustrera processen och hur lång tid respektive händelse tar kan en animering av systemet skapas. Modern mjukvara kan skapa mycket detaljrika animationer och ofta finns färdiga 3D-moduler redan inbyggda i programmet. I det program som använts i detta arbete går det exempelvis att animera hur olika människor rör sig i en butik, hur tåg anländer till en plattform, hur bilar kör ut på en trafikerad motorväg via en påfart etcetera.

I det aktuella fallet är det dock inte lika självklart hur en illustration skulle kunna se ut. Mycket av tiden som respektive händelse tar innefattar den tid det tar för olika aktörer att ta sig till platsen – från olika tillika okända startpositioner. Det viktiga är att modellen tydligt visar hela systemet och hur lång tid varje händelse tar. Därför tilldelas varje händelse en enkel skylt som beskriver vad som sker, och klartecknet som färdas genom systemet illustreras som ett klot. **Error! Reference source not found.** på nästa sida visar en ögonblicksbild av simuleringen där pulsen för tillfället är fyrdelad. I just detta ögonblick är alltså OPA och ersättningspersonalen på väg, samtidigt som begravningsentreprenör antingen arbetar på platsen alternativt är på väg dit, och arbetet med att säkra platsen inför sanering pågår.

En stund senare i simuleringen kan ögonblicksbilden se ut enligt **Error! Reference source not found.** Nu har tågpersonalen bytts ut och är redo att framföra tåget, OPA är på plats och väntar bara på att saneringen ska slutföras. I det här fallet var alltså den översta händelsekedjan långsammast av de tre, och åtgärder för att förkorta hela processen skulle därmed rimligtvis riktas mot någon av händelserna i den kedjan.



Figur 6-7: Ögonblicksbild av simuleringen



Figur 6-8: Ögonblicksbild en stund senare i samma simulering

7 Simuleringsresultat

I simuleringsexemplet i avsnitt 6.6 var den övre händelsekedjan långsammast av de tre. En rimlig tolkning av ett sådant resultat är att insatser för att förkorta inställetiden för ersättningspersonalen eller OPA är verkningslösa för att förkorta den totala tiden innan trafiken kan återupptas. Men eftersom tiden som varje händelse tar är stokastisk blir resultatet inte nödvändigtvis detsamma varje gång. Simuleringen måste därför upprepas flera gånger. För att snabbt och effektivt kunna illustrera ett resultat krävs någon typ av datainsamling.

I mjukvaran finns likt i Microsoft Excel flera olika typer av diagram och möjligheterna till att presentera den data som anses vara intressant är stor. Den första frågan som bör ställas är därför: Vad är intressant att visa?

7.1 Total tid

Den totala tiden från det att föraren larmar till dess att trafiken återupptas bör vara så kort som möjligt, och den måste självklart mätas. Den totala tiden fungerar dessutom som ett valideringsverktyg eftersom den är lätt att jämföra med inträffade händelser.

Det som ska mätas i modellen är alltså tiden från det att enheten ”Puls” skapas i händelsen ”Förare” – till dess att samma enhet når händelsen ”OK”. Ett lämpligt sätt att presentera detta är i ett histogram och första steget blir att tillföra ett objekt som samlar histogramdata. Objektet histogramdata får namnet ”timeInSystemDistr” och i dess egenskaper anges att histogrammet automatiskt ska anpassa värdespannet samt att det ska uppdatera sig själv utifrån insamlad data. Dessutom anges att undre och övre 25-percentilerna ska beräknas. Se objektets egenskaper i Figur 7-1 nedan.

timeInSystemDistr - Histogram Data

Name: Show name Ignore

Visible: yes

Value:

Number of intervals:

Calculate CDF

Calculate percentiles: Low: High:

Values range

Automatically detected

Fixed

Initial interval size:

Data update

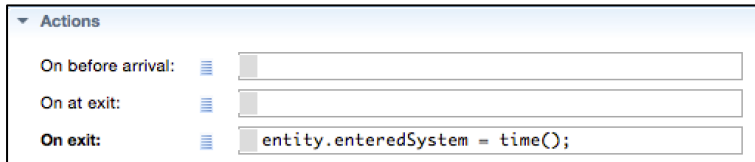
Update data automatically

Do not update data automatically

Recurrence time:

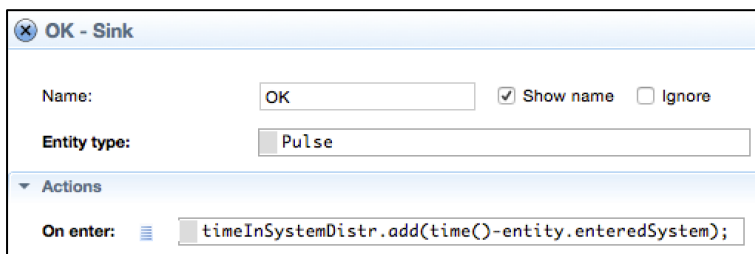
Figur 7-1: Objektet "timeInSystemDistr" som samlar histogramdata

Nästa steg är att ange hur tiden ska beräknas. Det första som måste göras är att skapa en parameter i enheten "Puls", som får namnet "enteredSystem". Eftersom mätningen ska starta när Pulsen lämnar händelsen "Förare" behöver detta skrivas in i händelsens egenskaper enligt Figur 7-2.



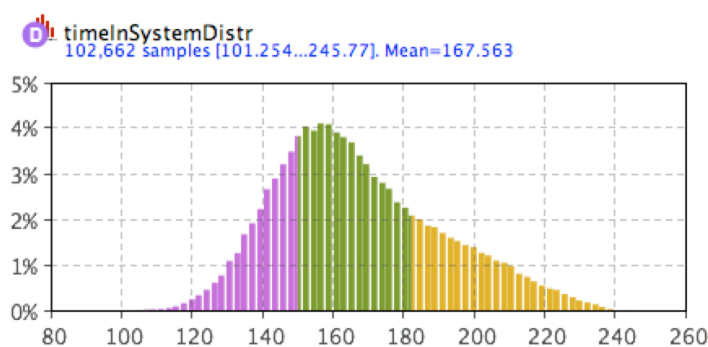
Figur 7-2: Fliken Actions i händelsen Förare

Mätningen ska avslutas när Puls når händelsen "OK" och i dess egenskaper skrivs därför källkoden enligt Figur 7-3 in. Kommandot tar tiden då Puls når "OK" minus tiden då "Puls" lämnade "Förare", och skickar resultatet till objektet histogramdata som skapades tidigare.



Figur 7-3: Egenskaper för händelsen "OK"

Objektet histogramdata länkas till ett histogram och resultatet efter drygt 100 000 simuleringar ses i Figur 7-4. Valet att stanna modellen efter just 100 000 simuleringar grundar sig i fler simuleringar i princip inte har någon inverkan alls på resultatet. Medelvärdet hittas sånär som på en eller två decimaler redan efter 5 000 – 10 000 simuleringar, men små skillnader går att se upp till någonstans mellan 50 000 – 100 000. På den dator som simuleringarna körts tar 100 000 simuleringar inte mer än någon minut, så det är lätt att välja att vara på den säkra sidan.

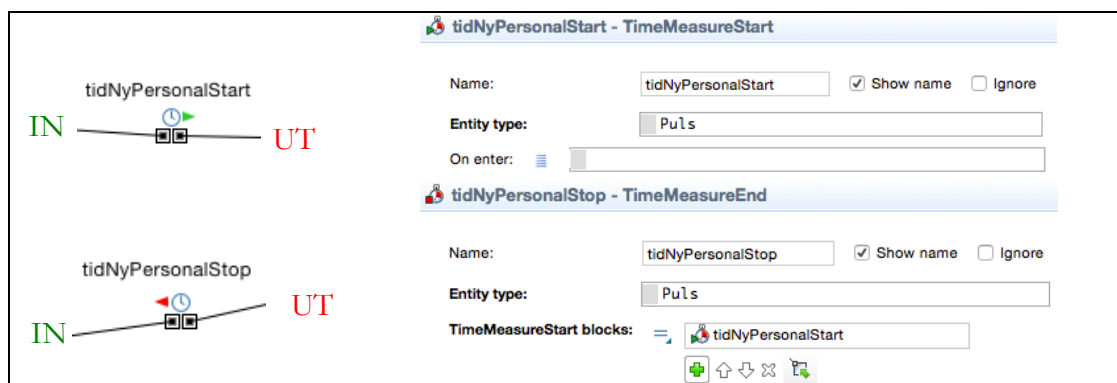


Figur 7-4: Histogram över den totala tiden över 102 662 simuleringar

Histogrammet visar en spridning av resultatet mellan 101 och 246 minuter, med ett medelvärde på drygt 167 minuter. De övre och undre 25-percentilerna är markerade i gult respektive lila och tydliggör att tiden i 50 procent av fallen är inom cirka 30 minuter kring medelvärdet.

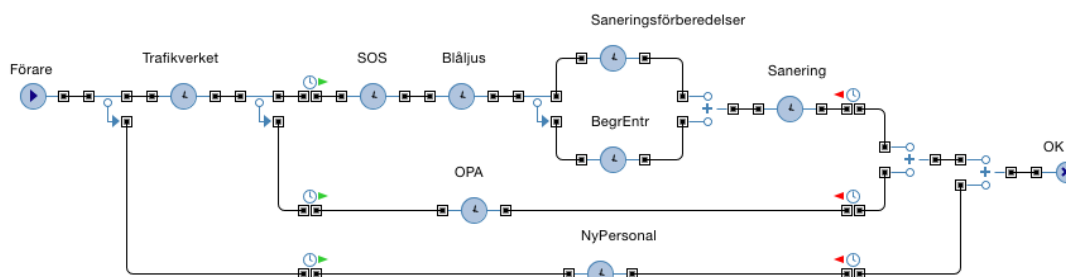
7.2 Tid per händelsekedja

Den totala tiden som visades i Figur 7-4 är intressant och är ett viktigt valideringsverktyg, men det erbjuder inte särskilt mycket som förbättringsverktyg. Därför måste tiden för respektive händelsekedja mätas. Detta görs genom att lägga in start- och stoppmätpunkter i modellen på de platser där tiden önskas mätas. I Figur 7-5 ses mätpunkternas grafiska utformning och dess egenskaper.



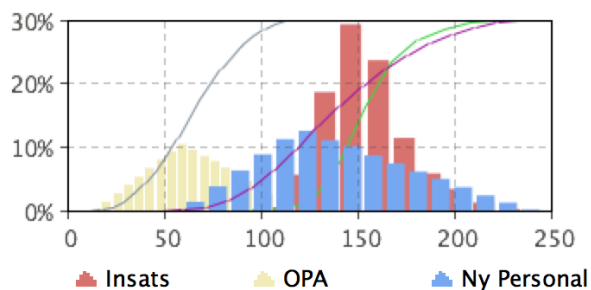
Figur 7-5: Start- och stoppmätpunkter för tid och dess egenskaper

Eftersom det finns tre separata händelsekedjor placeras tre set av mätpunkter ut i början respektive slutet av varje kedja, vilket ger en modellstruktur enligt Figur 7-6.



Figur 7-6: Modellstruktur med placerade tidmätpunkter

Resultatet illustreras åter igen med fördel i ett histogram. Figur 7-7 visar att insatskedjan har högst medeltid, OPA kortast och att Ny Personal har störst spridning. Kedjornas resultat överlappar varandra mer eller mindre, och det kan således finnas en vinst i att försöka förkorta tiderna för samtliga. OPA och Insats överlappar dock varandra så pass lite att det i nästan samtliga fall är verkningslöst för systemets totala tid att arbeta för en kortare inställetid för OPA.



Figur 7-7: Histogram över tiden för respektive händelsekedja över 101 882 simuleringar

Histogrammet är dock inte helt självklart att tolka. Det är till exempel svårt att se hur ofta Ny Personal tar längre tid än Insats. Därför kompletteras resultatet med en beräkning av hur ofta respektive händelsekedja blir färdig sist. Ett så pass till synes enkelt tillägg visar sig dock vara förhållandevis krångligt att lägga till, men med en hel del hjälp av Anylogics supportavdelning visar modellen textruta enligt Figur 7-8. Resultatet visar att i 66,5 procent av fallen tar kedjan Insats längst tid och att OPA i princip aldrig anländer till platsen efter att de andra två kedjorna är avslutade.

Sist klar

Insats: 0.665

OPA: 1.948E-5

Ny Personal: 0.335

Figur 7-8: En textruta som visar hur ofta respektive händelsekedja blir färdig sist efter 101 882 simuleringar

Processen för att lägga till denna textruta är lång och för någon som inte är bekant med java förhållandevis svår att förstå. Källkoden är skriven av Gregory Monakhov vid Anylogics supportavdelning och för den intresserade finns den redovisad i Figur 7-9.

```

    trials.add(new double[]{0, 0, 0});
    entity.set_id(inCounter);
    inCounter++;
    entity.set_id(original.id);
    trials.get(entity.id)[0] = timeC);
    double last = max(trials.get(entity.id));
    for (int i = 0; i < numberOfBranches; i++) {
        if (trials.get(entity.id)[i] == last) {
            lastFinishCounter[i]++;
        }
    }
    outCounter++;
    
```

inCounter outCounter lastFinishCounter

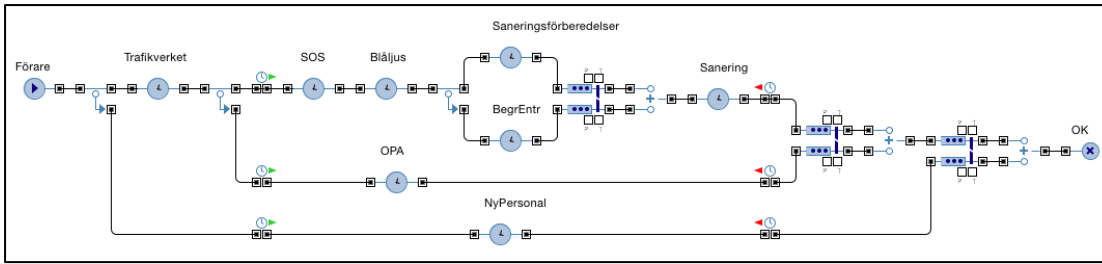
numberOfBranches trials

outCounter > 0 ? (double)lastFinishCounter[0] / outCounter : "No data"

Figur 7-9: Den kod som ligger bakom textrutan i Figur 7-8. Från vänster till höger inskriven i egenskaperna för Förare, varje split, varje tidstoppmät punkt och OK. I mitten nya variabler och parametrar och längst ner i mitten den kod som anger det slutgiltiga värdet

I korta drag går det ut på att varje gång en puls lämnar händelsen "Förare" skickas information om detta till en datainsamlare (trials). Dessutom skickas information till en variabel som registrerar antal utskickade pulser (inCounter). Informationen om den utskickade pulsen kopieras därefter i varje "split", så att den följer varje händelsekedja. Eftersom varje kedja avslutas med en tid-stoppmät punkt enligt Figur 7-5 noteras i dessa tiden det tar för den kopierade informationen att nå respektive mät punkt och resultatet sparas i datainsamlaren. I händelsen "OK" hämtas information från datainsamlaren varje gång pulsen når dit. Koden kontrollerar vilken av de tre kedjorna som hade längst tid, skickar information till ytterligare en variabel (lastFinishCounter), samt registrerar att enheten nått "OK" i en tredje variabel (outCounter). Det sista steget är att ange hur informationen ska presenteras och uppdateras efter varje simulering, vilket görs direkt i textrutan. I varje simulering sker en enkel beräkning på varje rad i textrutan som dividerar antalet gånger som just den kedjan kommit sist men det totala antalet körda simuleringar.

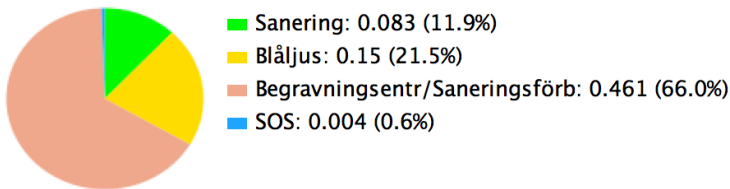
För att den skapade och sedermera kopierade informationen ska kunna kombineras igen och nå "OK" på ett sätt som gör att koden ovan uppfattar det som samma information som lämnade "Förare" krävs att ett ytterligare block läggs in i systemet precis innan varje kombination. Det ändrar ingenting i modellen utan ser endast till att informationen blir korrekt. Den slutgiltiga modellen ses i Figur 7-10.



Figur 7-10: Slutgiltig modell av hanteringen av personpåkörning som rör tid innan trafik kan återupptas

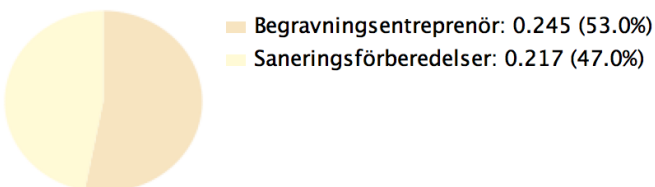
7.3 Tid per händelse inom insatskedjan

Händelsekedjorna OPA och Ny Personal innehåller bara en händelse vilket gör det lätt att se hur dess totala tid kan förkortas. Kedjan Insats innehåller fem varav två är parallella, vilket gör det lite svårare att tolka. Ett cirkeldiagram visar hur stor andel tid respektive ingående händelse i kedjan Insats upptar enligt Figur 7-11. Eftersom saneringsförberedelserna sker parallellt med begravningsentreprenörens arbete och inställelse slås dessa ihop.



Figur 7-11: Fördelning av tiden för händelsekedjan "Insats"

Diagrammet visar tydligt att begravningsentreprenörens framkörning och arbete samt/eller saneringsförberedelserna tar längst tid. Ytterligare ett cirkeldiagram kan visa fördelningen mellan dessa enligt Figur 7-12.



Figur 7-12: Fördelning av tiden för de parallella händelserna Begravningsentreprenör respektive saneringsförberedelser

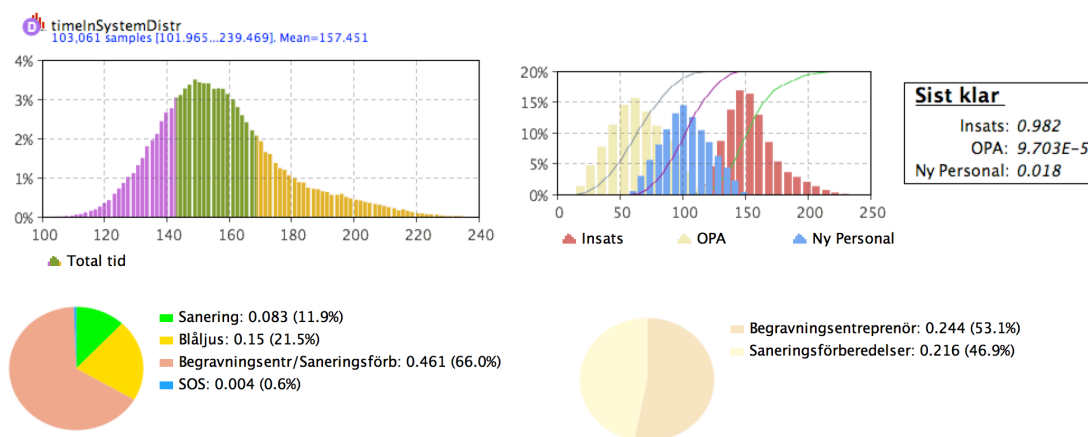
Det andra cirkeldiagrammet visar att händelsen begravningsentreprenör generellt tar något längre tid än saneringsförberedelserna. Det betyder dock inte nödvändigtvis att störst total tidsvinst finns att hämta i att förkorta begravningsentreprenörens inställelsetid eller arbete. Dels är fördelningen så pass jämn att en sänkning av den ena till stor del blir verkningslös eftersom den andra ändå är i princip lika lång. Dessutom visar cirkeldiagrammen medelvärden och säger således inget om spridningen. Vilken total tid är mest intressant att minska? Den maximalt möjliga eller medelvärdet?

7.4 Att använda modellen för optimering

Resultaten i avsnitt 7.3 kan ge indikationer om vilka händelser som har stor respektive liten inverkan på den totala tiden innan trafiken kan återupptas. Det är dock bara den första halvan av hur modellen kan användas. Varje gång en förändring sker förändras förhållandena mellan

variablerna och användaren måste därför själv experimentera och ändra parametrar för att till exempel pröva förbättringsidéer eller sätta riktvärden om maximal inställetid inför en eventuell avtalsförhandling.

Det enklaste sättet att förändra resultatet är att ändra ingångsvärden i en händelse. Säg att det exempelvis upprättas ett avtal (alternativt framkommer att det redan finns) som minskar den maximala inställetiden för ersättningspersonal. Tidigare ingångsvärden på 60, 120 och 240 minuter ändras till exempelvis 60, 100, 150. Detta ger ett nytt resultat enligt Figur 7-13.

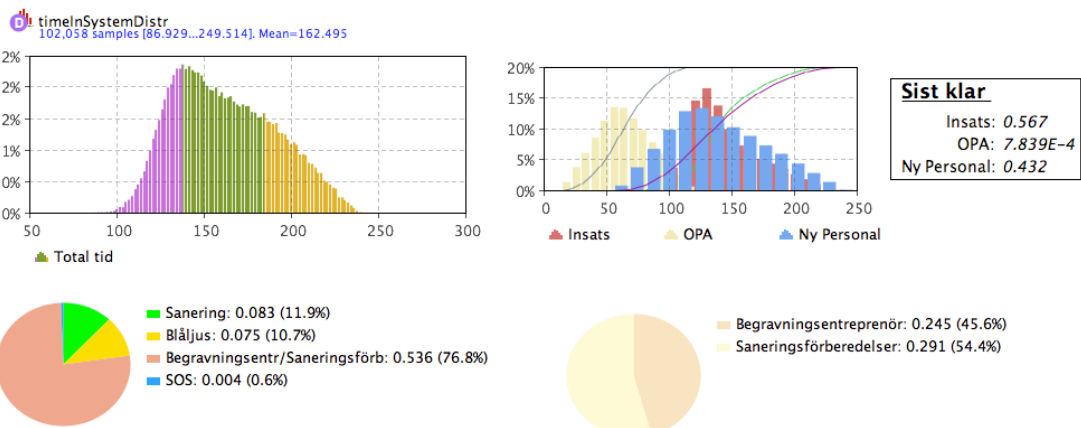


Figur 7-13: Resultat efter 101 965 simuleringar med förkortade ingångsvärden för händelsen "Ny Personal".

Förändringen i ingångsvärden för händelsen Ny Personal, där främst den maximala tiden kraftigt sänktes, medför en sänkning av medeltotaltiden med cirka tio minuter, och den maximala tiden med dryga femton minuter. Den största skillnaden ses i jämförelsen av de tre händelsekedjorna, där Ny Personal går från att vara klar sist i 33,5 procent av fallen till 1,8 procent. Vinsten av att ytterligare minska inställetiden för Ny Personal är således mycket liten.

Ett annat sätt att använda sig av modellen är att göra förändringar av mer kommunikativ karaktär. Resultatet i avsnitt 7.3 visade att händelsekedjan Insats oftast är den som tar längst tid. Inom Insatskedjan tar saneringsförberedelserna samt begravningsentreprenörens inställelse och arbete längst tid. Ett sätt att förkorta processen är att tillkalla begravningsentreprenören i ett tidigare skede, särskilt om det är känt att det dröjer en tid innan denne kan vara på plats. Om polisen skulle kontakta begravningsentreprenören direkt de konstaterat att personen är avliden, och alltså genomföra sin brottsplatsundersökning samtidigt som entreprenören är på väg, skulle händelsen "Blåljus" i princip endast innefatta framkörningstiden för polisen, vilken sannolikt är förhållandevis kort de flesta fallen.

Tidigare använda ingångsvärden för händelsen "Blåljus" var 30, 45, 60 minuter, varav framkörningstiden utgjorde ungefär hälften av tiden. Därför undersöks hur simuleringsresultatet förändras om ingångsvärdena till händelsen Blåljus halveras. Det innebär dock att även ingångsvärden för "Saneringsförberedelser" måste förändras eftersom den minsta möjliga tiden var noll med motiveringen att det kan ske parallellt med polisens brottsutredning. Den reducering som sker av tiden i Blåljus adderas därför till saneringsförberedelser, vilket ger ett nytt resultat enligt Figur 7-14. Notera att ingångsvärden för händelsen Ny Personal åter är desamma som i ursprungsmodellen.

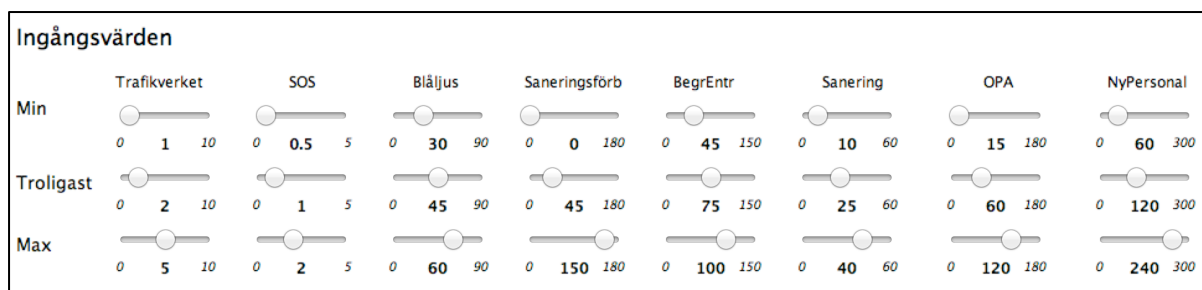


Figur 7-14: Resultat efter 101 638 simuleringar med halverade ingångsvärden för händelsen "Blåljus", men med motsvarande höjning av ingångsvärden i händelsen "Saneringsförberedelser".

Trots att ingen tid tagits bort, utan endast förflyttats från en händelse till en annan tack vare effektivare kommunikation har medeltotaltiden minskat med fem minuter. Den minsta möjliga tiden minskar med fjorton minuter, men den maximala ökar med cirka fyra minuter. Andra effekter är att Insatskedjans medeltid minskar, vilket innebär att Ny Personal går från att vara sist i 33,5 procent av fallen till 43,2 procent. Värdet av att minska inställelsen för ersättningspersonalen ökar således. Saneringsförberedelserna tar nu generellt längre tid än begravningsentreprenörens inställelse och arbete, vilket innebär att den totala tidsvinsten nu är större av att minska tiden för saneringsförberedelserna än begravningsentreprenörens arbete.

Modellen erbjuder ett stort antal förändringsmöjligheter och särskilt intressant blir det att observera de nya förutsättningarna varje gång något ändras. Ett sätt att utnyttja modellen är att experimentera med olika värden och använda resultatet som argument för att implementera förändringar i systemet. Ett annat sätt är att utgå från vilka förändringar som är möjliga och enklast att genomföra i verkligheten, och pröva dess effekt i modellen innan de genomförs. Kanske visar de sig ha större alternativt mindre effekt än vad som inledningsvis anats.

Eftersom förutsättningarna förändras med varje förändring behöver användaren pröva effekter av att förändra olika ingångsvärden iterativt. För att underlätta detta arbete tillförs en panel med reglage direkt i modellen enligt Figur 7-15.



Figur 7-15: Reglage som tillåter användaren att ändra ingångsvärden direkt i modellen

Varje händelse som är modellerad som en fördröjning är kopplad till tre reglage, där minsta, mest troliga och maximala värdet i triangelfördelningen kan ändras direkt i modellen. Effekterna av förändringarna ses direkt i modellen, vilket förenklar för användaren som annars var tvungen att observera resultat, stänga ner modellen, ändra önskade värden och sedan köra igen.

8 Diskussion

Hantering av järnvägsstörningar som ligger till grund för denna rapport visade sig vara både förhållandevis enkel men samtidigt svår att simulera. Svårigheterna ligger i att lyckas fånga alla inverkanse faktorer utan att tvinga fram en orimligt avancerad modell. Den verkliga hanteringen av ett verkligt fall innehåller många unika aspekter och sammansättningar av personer i respektive roll. I vissa fall ser kanske händelsekedjan ut som i modellen, men i andra skiljer den sig på något sätt. I vissa situationer fungerar kanske kommunikationen på ett sätt som effektiviserar processen genom samarbete och parallellt arbete. I andra situationer fungerar kanske kommunikationen sämre och missförstånd och osäkerheter leder till ineffektiv hantering.

En modell som lyckas fånga alla faktorer, om det överhuvudtaget är möjligt, skulle förmodligen vara en mycket avancerad hybrid- eller agentbaserad modell med både autonoma enheter i varje händelse såväl som flexibel sekvensordning. Det skulle kräva mycket tid och framförallt ställa stora krav på programmeringskunskaper såväl som kreativitet. Någon ansats för att konstruera en sådan modell togs inte utan istället valdes på goda grunder en DE-modell vilken är betydligt enklare att konstruera, men på bekostnad av att vissa avgränsningar, generaliseringar och förenklingar måste göras.

Modellen har dock trots – eller kanske tack vare – sin relativa enkelhet, en fullgod funktion när det kommer till att strukturera problemet på ett sätt som är lätt att förstå. Den fångar in alla kända faktorer och illustrerar tydligt vem som måste vänta på vem och vilka händelser som sker i en sekvens och vilka som sker oberoende av de andra. Det är dessutom en flexibel modell som enkelt kan justeras, utan krav på specialistkunskaper. Modellens ingångsvärden är lätta att ändra och experimentera med och resultatet ses direkt. Det medför att näst intill vem som helst kan använda modellen, vilket förmodligen inte hade varit fallet om den varit mer avancerad.

I dess ursprungsform ger modellen en god överblick av hanteringen. Men att bara titta på modellen räcker inte för att lära sig vilka händelser som bör ske snabbare för att på ett effektivt sätt minska den totala tiden. Inte ens för någon som har stor praktisk erfarenhet av verkliga händelser. Resultaten visar att förhållandena mellan de olika händelserna förändras varje gång minsta ändring sker någonstans i modellen. Det innebär att ett första resultat kanske antyder att en minskning av begravningsentreprenörens inställelsetid är mest effektivt. Men någonstans finns en brytpunkt då sänkningen av just den tiden inte längre är mest effektiv. Kanske nås den redan efter någon enstaka minuts förkortning av inställelsetiden.

I och med att förutsättningarna hela tiden förändras är möjligheterna oändliga och det enda sättet att finna effektiva strategier är att experimentera med modellen, vilket bevisar modellens unika värde som beslutsunderlag.

8.1 Modellens osäkerheter

Många av tiderna som utgör ingångsvärdena och diskuteras i avsnitt 6.2 är delvis baserade på författarens subjektiva uppskattningar och kan naturligtvis vara direkt felaktiga. Den här rapportens huvudsakliga syfte är dock inte att leverera resultat och förbättringsförslag på

detaljnivå utan snarare att undersöka möjligheterna som användandet av en simuleringsmodell kan ge. Om modellen som presenterats i den här rapporten ska användas som underlag för förändringar i hanteringen av järnvägsstörningar bör därför såväl struktur som ingångsvärden kontrolleras och i första hand baseras på uppmätt data från inträffade händelser. Vid tillgång till uppmätta tider från flera verkligt inträffade fall bör dessa även användas för att anpassa den valda sannolikhetsfördelningen i respektive händelse.

Utöver osäkerheter i struktur, sannolikhetsfördelningar och ingångsvärden finns dessutom osäkerheter i och med skillnader i individuell erfarenhet hos den individ som företräder respektive aktör på olycksplatsen. En erfaren polis skulle exempelvis kanske så snabbt det konstaterats att det rör sig om en avliden person tillkalla en begravningsentreprenör eftersom han eller hon vet att de brukar ha förhållandevis lång inställetid. En erfaren räddningsledare hos räddningstjänsten kan redan tidigt klargöra vad de behöver för att säkert kunna sanera när det har blivit dags för det. Den här typen av erfarenhet och effektivitet skulle kunna minimera onödig väntetid, men det går inte att kräva att endast erfarna individer arbetar i den här typen av insats. Tvärtom måste det vara tillåtet att vara oerfaren, vilket modellen kan ta hänsyn till genom att öka spridningen. I det verkliga systemet bör hänsyn tas genom att säkerställa att erfarenhet alltid finns *någonstans* i systemet. Störst erfarenhet finns sannolikt hos Trafikverket, eftersom de är det närmaste en centralt koordinerande enhet som involveras i den här typen av händelse. De bör dessutom tillsammans med järnvägsföretaget ha störst intresse av att hålla tiden så kort som möjligt och bör därför ha ett tydligt definierat ledningsansvar vid den här typen av händelse.

Vid genomgången av faktorer som har inverkan på respektive händelse i avsnitt 6.2 visar det sig att ett flertal yttre faktorer som exempelvis väglag, tid på dygnet, trafikmängd, olyckans position etcetera har inverkan på den totala tiden. Dessa har i största möjliga mån tagits hänsyn till, men ju fler faktorer som tillförs desto större blir osäkerheten och därmed spridningen i resultatet. I avsnitt 6.1 nämndes att extremfall skulle lämnas utanför modellen, men var går gränsen för ett extremfall? I Arlövfallet dröjde säkringen av platsen cirka två och en halv timme, var det ett extremfall eller är det vanligt att det tar så pass lång tid? Att bestämma var gränsen ska dras mellan normalt lång tid och ett extremfall är en tillförd osäkerhet i sig och det bästa är förmodligen att involvera samtliga fall och möjligheter i modellen. Det kräver dock datainsamling från inträffande händelser och anpassade sannolikhetsfördelningar, eftersom det sannolikt skulle innebära att triangulära sannolikhetsfördelningar inte längre stämmer särskilt bra överens med verkligheten.

Osäkerheterna i indata är stora, även efter att hänsyn tagits i form av stor spridning. Förklaringen ligger delvis i att flera av händelserna av naturen medför osäkerheter, som exempelvis förhållanden på olycksplatsen eller erfarenheten hos de individer som för dagen intar en viss roll. En annan anledning till osäkerheterna är att indata är baserad på *en* studie som bygger på ett fåtal intervjuer samt *en* utredning från ett verkligt fall. Den första typen av osäkerhet är svår att göra något annat åt än att ta höjd för den, men den andra typen kan förhållandevis enkelt minskas genom att samla in data från inträffade händelser samt prata med så många inblandade aktörer som möjligt.

8.2 Dynamiska simuleringsmodellens användningsområden

I inledningen av kapitel 3 nämndes att sociala system simuleras betydligt mer sällan än tekniska system. En uppenbar anledning är att simulering är ett tekniskt verktyg i sig, och ligger sålunda närmare tekniska än sociala system. Det finns dock flera anledningar till att simulering växt och kommer att fortsätta växa i användbarhet även inom sociala system. Systemdynamik används till exempel med goda resultat för att studera konsumentmarknader vilket hjälper företag att effektivisera sina försäljnings- och marknadsföringsstrategier. Agentbaserade modeller används för att simulera mänskliga flöden för att effektivisera lokalers kapacitetsutnyttjande och bredd på passager och dörrar. Diskret-händelsestyrda, agentbaserade och olika typer av hybridmodeller används för att effektivisera personal- och resursplanering samt för att planera för eventuella avbrott i en försörjningskedja.

Potentialen hos dynamisk simulering som verktyg ur ett riskhanteringsperspektiv är minst lika stora som inom andra områden. Flera av de användningsområden som nämndes i stycket ovan är rent av direkta komponenter i en riskhanteringsprocess. Modeller kan bidra till att identifiera kritiska faktorer och därmed ge möjligheter till att belysa sårbarheter och förebygga kriser och risker. De möjliggör även att förbereda hantering, lösningar och alternativa strategier i händelse av ett avbrott eller en olycka som på något sätt hindrar den normala processen.

Exempel på simuleringsmodeller inom nämnda områden är förhållandevis enkelt att finna, och mest aktuellt just nu verkar olika hybridmodeller vara för att lyckas simulera tidigare icke-studerade system. Men det innebär inte att det inte går att finna nya användningsområden med befintliga metoder. Någon modell som liknar den som presenterats i den här rapporten har till exempel inte hittats, trots förhållandevis långt aktivt sökande. Just den modell som presenterats i den här rapporten illustrerar hanteringsprocessen vid en personpåkörning, men kan enkelt anpassas för att studera andra typer av olyckor eller händelser som involverar olika aktörer i en liknande process. Det behöver inte röra järnvägsstörningar utan modellen kan lika gärna anpassas för att hantera en utsläppsolycka, ett avbrott i en tillverkningsprocess på en fabrik eller en beslutskedja. Helt enkelt vad som helst som inleds av en förutsägbar händelse som drar igång en helt eller delvis känd kedja av händelser.

Modellens enkla illustration av systemet ger ökad förståelse för systemets komponenter vilket sannolikt bidrar till att minimera strategiska misstag där konsekvenser för andra händelser i kedjan glöms bort. Modellen hjälper dessutom till att ta strategiska beslut för att minska den totala tiden innan hanteringsprocessen är slutförd. Att minimera tiden har lokala vinster som minskade kostnader i och med mindre arbete, mindre negativ publicitet från berörda passagerare och industrier. Men framförallt har en effektiv hantering stora samhällsekonomiska vinster. Ju längre passagerare sitter fast på ett tåg desto kortare tid kan de utföra sina jobb. Ju längre tid passagerare sitter fast på ett tåg desto mer ökar sannolikheten för att de kommer att välja bilen nästa gång. Ju mer tid som generellt krävs vid olika händelser innebär att mer resurser i form av insatspersonal eller alternativa spår måste skjutas till.

De potentiella vinsterna med modellen är således stora och även om det skulle visa sig att just den modell som konstruerats i det här projektet stämmer dåligt överens med verkligheten har den i alla fall förhoppningsvis visat vilka möjligheter en simuleringsmodell medför och väckt

tankar kring hur den kan utvecklas. Detta gäller alltså inte enbart hanteringen av järnvägsstörningar, utan egentligen vilket system som helst.

8.2.1 Andra intressanta simuleringsaspekter inom hanteringen av järnvägsstörningar och liknande händelser

I kapitel 4 nämndes att det finns flera aspekter på hanteringen av järnvägsstörningar som skulle kunna utgöra en intressant utgångspunkt för en simuleringsmodell: Rollfördelningar, kommunikationseffektivitet, evakueringshantering, informationshantering och inte minst konsekvenser för andra tåg och samhället i stort. Till dessa kan tilläggas fördjupningar inom den modell som presenterats i denna rapport. Processen att kalla in ersättningspersonal och få den på plats skulle exempelvis kunna utgöra en helt egen simuleringsmodell.

En modell som simulerar konsekvenserna för andra tåg i ett större spårssystem av att exempelvis strömmen bryts på en sträcka eller att ett tåg av någon anledning blir stående en tid skulle sannolikt kunna utgöra ett utmärkt exempel på hur man drar nytta av en diskret händelsestyrd modell. Tåg som står stilla skapar olika typer av kösystem vilka leder till fördröjningar som fortplantar sig genom hela spårsystemet. Modellen i sig är förmodligen ganska enkel att konstruera givet att information finns om hur olika tåg rör sig i ett spårssystem. I Anylogic finns till och med 3D-modeller för såväl spår som tåg vilket skulle kunna underlätta illustrationer och animationer.

Övriga aspekter gör sig troligtvis bäst i simuleringar med någon av de andra två simuleringsmetoderna. Exempelvis skulle en analys av konsekvenserna för samhället i stort sannolikt bäst utföras med hjälp av en systemdynamikmodell, givet att en tydlig problemformulering kan skapas. En systemdynamikmodell skulle kanske även kunna besvara hur många människor som drabbas av förseningar längre än en viss tid över en tidsperiod givet att något förändras i systemet.

Systemdynamik skulle även kanske kunna användas som komplement och förbättring av den konstruerade DE-modellen. Dels skulle kanske som diskuterades i avsnitt 6.1 ett evakueringsbeslut kunna involveras i processen, där faktorer som tid på dygnet, förhållanden på platsen, erfarenhet hos aktörer med mera skulle utgöra påverkansfaktorer till beslutet. Ett annat exempel på hur en SD-modell skulle kunna utveckla den befintliga modellen är att involvera en resursaspekt, där ett reglage läggs in som låter användaren ändra hur mycket resurser som tillförs till järnvägssektorn och se hur det påverkar hanteringen. Exempelvis skulle ökade resurser kanske ge kortare inställetider, medan mindre resurser kanske tar bort funktionen OPA eller liknande. En liknande tanke skulle kunna användas i den DE-modell som simulerar hela spårsystemet som diskuterades ovan: Mer resurser leder dels till mindre stillaståendetid för det drabbade tåget, men kanske dessutom ökat antal spår och kopplingar som möjliggör fortsatt trafik för icke-drabbade tåg.

Det är även möjligt att vända på tanken: Att den befintliga DE-modellen kan utgöra sub-modell till en större modell, som alltså undersöker effekter på till exempel samhället, spårsystemet, passagerarna eller ekonomin påverkan av hur lång tid hanteringen av olyckan tar.

Analyser av rollfördelningar, kommunikationseffektivitet, evakueringshantering och informationshantering är exempel på något som bäst återskapas i agentbaserade simuleringsmodeller. De bygger på individuellt agerande, sannolikt utifrån ett fåtal olika beteenderegler. Vid en evakuering söker sig till exempel många till den utgång där det står minst antal människor, proppar bildas på grund av att många stannar upp för att släppa fram alternativt hjälpa någon i rullstol eller med barnvagn etcetera. En modell som hanterar rollfördelningar kan bygga på erfarenhetsregler, där vissa väljer att ta mycket plats beroende på mycket (eller lite) erfarenhet, vilket i sin tur gör andra osäkra och passiva och så vidare.

8.3 Krav på kunskaper i java och objektorienterad programmering

I programmet som använts för att konstruera modellen i denna rapport, Anylogic, kunde modellens grundläggande utförande konstrueras utan att behöva skriva in någon kod överhuvudtaget. Att koppla samman ett element som genererar enheter med fördröjningar såväl som att dela och kombinera enheter är enkelt gjort med drag-and drop. Men för att få ut något av modellen, för att kunna illustrera diagram eller på annat sätt se resultat, krävs genast att javakod används. Som nämnts flera gånger i rapporten har konstruerandet av hanteringsmodellen skapats dels genom att följa steg-för-steg guider (så kallade tutorials), sökningar i programmets hjälpavsnitt samt i det mest avancerade fallet direkt hjälp från företagets supportavdelning.

Jag har personligen ingen kunskap i java eller något annat programmeringsspråk och förstår själv inte ens varje kommando i den modell som presenterats. Det innebär sannolikt att modellens potential inte fullt ut har utnyttjats. Programmeringskunskap finns visserligen hos andra och det viktigaste verktyget för att kunna konstruera en bra modell är kreativitet. Att omsätta kreativitet och pröva idéer skulle dock kraftigt underlättas om det kombinerades med programmeringskunskaper. Skulle jag fortsätta att jobba med att konstruera modeller skulle jag definitivt gå en kurs i java och objektorienterad programmering. Det gäller definitivt diskret-händelsestyrda modeller, men ännu mer för agentbaserade modeller. Det lilla jag experimenterat med systemdynamikmodeller har inte krävt manuellt skriven kod, och det är möjligt att det går att konstruera kompletta modeller utan javakunskap. De tre metoderna hänger dock ihop och överlappar ibland varandra och min övertygelse är att programmeringskunskaper förr eller senare kommer att krävas.

Det finns program som inte ställer lika höga krav på programmeringskunskaper som Anylogic (och det finns de som ställer ännu högre krav). I rapporten har utöver Anylogic ytterligare ett simuleringsprogram använts: Insightmaker. Det är ett rent web-baserat program som lägger stort fokus på att vara så lätthanterligt som möjligt. Det är dessutom gratis och utgör därmed ett utmärkt verktyg för någon som är nyfiken på dynamisk simulering och vill pröva att konstruera enkla modeller. Det sista exemplet på en agentbaserad modell som beskrivs i kapitel 3 är visserligen skapat utifrån en steg-för-steg handledning, men tog ändå inte mer än 5-10 minuter att göra. Programmet stödjer systemdynamik och agentbaserad metodik och precis som med den diskret-händelsestyrda metoden i Anylogic går de grundläggande elementen att skapa enkelt med drag-and-drop. Men precis som i Anylogic krävs manuell inskrivning av kod när lite mer avancerade funktioner krävs. I exempelmodellen skrevs exempelvis ekvationen som identifierar tillstånd och dividerar antalet smittade med det totala antalet människor med manuell kod. Men

till skillnad från Anylogic finns en inbyggd funktion som hjälper till att konstruera koden genom att användaren väljer funktion i en rullningslist. Det är fortfarande inte helt självklart men det underlättar definitivt. Programmet är alltså betydligt lättare att hantera än Anylogic, men dess möjligheter är också tämligen mer begränsade, särskilt vad gäller illustration.

Det finns mängder av mjukvara som stödjer en eller flera av de olika simuleringsmetoderna och det finns även ett flertal som stödjer kombinationer av dem. Alla utger sig naturligtvis för att vara bäst och enklast att använda och för att hitta rätt program krävs en del arbete i form av testkörning och läsning av mer eller mindre oberoende omdömen. Det är möjligt att det existerar mjukvara där kompletta modeller kan konstrueras utan krav på programmeringskunskaper. Om inte annat kommer det säkert att dyka upp framöver. I dagsläget är dock mitt tips att en modellskapare bör vara intresserad av programmering och åtminstone gå en kurs i java.

9 Slutsatser

Med utgångspunkt i de frågeställningar som presenterats i avsnitt 1.3 dras utifrån arbetet följande slutsatser:

- Det finns tre huvudsakliga metoder för dynamisk simulering av sociala system: Diskret-händelsestyrd simulering, systemdynamik och agentbaserad simulering. De bygger på vissa fundamentala skillnader och olika metoder lämpar sig bäst i olika situationer. Systemdynamik passar bäst på strategisk generell nivå medan de andra två kan ta hänsyn till detaljer och därmed användas på operativ nivå. Agentbaserad simulering utgår från individuella enheter medan de andra två utgår från en systemstruktur.
- Hanteringen av järnvägsstörningar kan med fördel simuleras med en dynamisk simuleringsmodell. En simulering är det enda sättet att hitta de mest effektiva åtgärderna för förbättring av denna hantering. Utav de tre huvudsakliga metoderna passar en diskret-händelsestyrd metod bäst, främst på grund av att hanteringen kan beskrivas som ett antal händelser som inträffar i en känd ordning samt att resultatet är baserat på stokastiska ingångsvärden.
- Dynamisk simulering kan utgöra ett kraftfullt verktyg inom såväl riskhantering som andra områden. Modeller kan bidra till att identifiera kritiska faktorer och därmed ge möjligheter till att förebygga kriser och risker. De möjliggör även att förbereda hantering, lösningar och alternativa strategier i händelse av ett avbrott eller en olycka som på något sätt hindrar den normala processen.
- Identifierad programvara kräver mer eller mindre kunskaper inom objektorienterad programmering, vilket begränsar dess användning. Färdiga modeller kan dock ofta användas utan att källkod behöver skrivas eller förstås. Andra svårigheter i att konstruera och använda dynamiska simuleringsmodeller är att hålla osäkerheter på en acceptabel nivå. Ofta krävs observationer från verkliga fall för att undvika spekulationer med ökad osäkerhet som följd.
- Dynamisk simulering kan användas för fortsatta studier inom järnvägsområdet såväl som inom andra branscher. Rörande hanteringen av järnvägsstörningar kan modeller konstrueras som simulerar konsekvenser för andra tåg i spårsystemet och/eller samhället i stort, kommunikationseffektivitet och informationshantering eller evakueringshantering. Dessutom kan modellen som presenterats i denna rapport vidareutvecklas till att ta hänsyn till beslutsprocesser, förändringar i resurser eller att till exempel involvera evakuering.

Litteraturförteckning

- Allen, T.T. (2011). *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling : Voting Systems, Health Care, Military, and Manufacturing*, London : Springer London, 2011.
- Arvidsson Thonäng K. (2011). *Den svenska järnvägen – om orsakerna och kostnaderna för bristfällig politik*. (Rapport). Tillgänglig:
<http://seko.se/Global/PDF'er/den_svenska_jarnvagen_om_orsakerna_och_kostnaderna_for_bristfallig_politik.pdf> (2011-10-16).
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L. & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation*. (5th ed. ed.) Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Behdani, B. (2012). Evaluation of paradigms for modeling supply chains as complex socio-technical systems. *Proceedings Title: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 1-15.
- Borshchev, A., and A. Filippov. (2004). *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools*. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society. July 25-29, 2004. Oxford, England.
- Cedergren, A. (2014). *Kritiska Funktionsområden. Resultat från fas 1. Teoretisk utgångspunkt och metodval*. (Rapport). Lunds Universitets Centrum för Riskanalys och Riskhantering (LUCRAM). Lund: Lunds Universitet.
- Cedergren, A., Johansson, J., Svegrup, L. & Hassel, H. (2014). *Kritiska Funktionsområden. Resultat från fas 2 – Inventering av aktörer involverade i hanteringen av störningar i järnvägssektorn*. (Rapport). Lunds Universitets Centrum för Riskanalys och Riskhantering (LUCRAM). Lund: Lunds Universitet.
- Crookes, D.J. & De Wit, M.P. (2014), Is system dynamics modelling of relevance to neoclassical economists?, *South African Journal of Economics*, vol. 82, no. 2, pp. 181-192.
- Ford, A. (1999). *Modeling the environment : an introduction to system dynamics : models of environmental systems*. Washington : Island Press, cop. 1999.
- Forrester, J.W. (1958). Industrial Dynamics – a major breakthrough for decision makers, *Harvard business review*, vol. 36, no. 4, pp. 37-66.
- Forrester, J.W. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, Mass. : M.I.T. Press, 1961.
- Forrester, J.W. (1969), *Urban dynamics*. Cambridge, Mass. : MIT, cop. 1969.
- Forrester, J.W. (1991). *System Dynamics and the lessons of 35 Years*. (Rapport). Tillgänglig:
<<http://clexchange.org/ftp/documents/system-dynamics/SD1991-04SDandLessonsof35Years.pdf>> (1991-04-29).
- Forrester, J.W. (1998). *Designing the Future*. (Rapport). Tillgänglig:
<<ftp://yankeegrcc.org/documents/sdintro/DESIGNJF.PDF>> (1998-12-15).

- Föreskrift (BVF 1906). *Hantering av olyckor och tillbud samt avvikelser som medfört risker*. Borlänge: Trafikverket.
- Gordon, G. (1978). *System Simulation, 2d ed.* Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. Hänvisad hos Banks et al, 2010.
- Heath, S.K., Brailsford, S.C., Buss, A. & Macal, C.M. (2011), Cross-paradigm simulation modeling: Challenges and successes. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*. pp. 2783-2797.
- Hsieh, Y-H. (2011). A System Dynamics Approach for Modeling Service Recovery. *2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*, pp. 851-858.
- Iyer, K.C. & Balamurugan, R. (2006). Evaluation of private sector participation models in highway infrastructure in India – a system dynamics approach. *Journal of Advances in Management Research*, vol. 3, no. 1, pp. 44-54.
- Lane, D.C. (2007). The power of the bond between cause and effect: Jay Wright forrester and the field of system dynamics. *System Dynamics Review*, vol. 23, no. 2-3, pp. 95-118.
- Lättilä, L., Hilletoft, P. & Lin, B. (2010). Hybrid simulation models - When, why, how?. *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 12, pp. 7969-7975.
- Macal, C.M. (2010). To agent-based simulation from system dynamics. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 371-382.
- Macal, C.M. & North, M.J. (2006). Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: How to model with agents. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 73-83
- Macal, C.M. & North, M.J. (2009). Agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 86-98
- Macal, C.M. & North, M.J. (2010). Toward teaching agent-based simulation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 268-277.
- Maidstone, R. (2012). *Discrete Event simulation, system dynamics and agent based simulation: discussion and comparison*. (Rapport). Tillgänglig: <<http://www.lancs.ac.uk/~maidston/Short%20Project1.pdf>> (2012-03-07).
- Mansourian, A. & Abdolmajidi, E. (2011). Investigating the system dynamics technique for the modeling and simulation of the development of spatial data infrastructures. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 25, no. 12, pp. 2001-2023.
- Mojtahed, V., Franke, U., Cohen, M., Luotsinen, L., Asadi, H. & Eklöf, M. (2011). *Verktysstöd för MBFU ur ett M&S-perspektiv*. Rapport (FOI-R-3306-SE). Linköping: FOI Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Pritsker, A. (1989). Why Simulation Works. *Simulation Conference Proceedings, 1989. Winter*, pp. 1-6.

- Rådbo, H. (2008). *Systeminriktad prevention av järnvägssjälv mord – strategikutveckling i en svensk kontext*. (Doktorsavhandling). Karlstad Universitet: Karlstad. Fakulteten för samhälls- och livsvetenskaper.
- Saidimu, L. (2012), *The role of risk management in pastoral policy development and poverty measurement : system dynamics simulation approach*. (Doktorsavhandling). University of Southampton, School of Management.
- Schieritz, N. & Gröbler, A. (2003). Emergent structures in supply chains - a study integrating agent-based and system dynamics modeling. *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*, pp. 1-9.
- Schmidtke, A. (1994). Suicidal behaviour on railways in the FRG. *Social Science and Medicine*, vol. 38, no. 3, pp. 419-426.
- Sewring, G. & Sterky, P. (2011). *Fyra spår Hässleholm-Malmö*. (Rapport). Tillgänglig: <<http://www.stambanan.com/images/upload/utredningar/slutrappport.pdf>> (2011-03-31).
- Siebers, P.O., Macal, C.M., Garnett, J., Buxton, D. & Pidd, M. (2010). Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!. *Journal of Simulation*, vol. 4, no. 3, pp. 204-210.
- Spängs, T. & Olsson, H. (2014). Sveriges dåliga järnvägar kostar industrin miljarder. (Elektronisk) *DN.se*. Tillgänglig: <<http://www.dn.se/ekonomi/sveriges-daliga-jarnvagar-kostar-industrin-miljarder/>> (2014-01-18).
- Sterky, P. & Thurfjell, F. (2014). *Stegvis utbyggnad av Södra stambanan – Högastighetsbana på delen Lund C – Hässleholm C*. (Rapport). Tillgänglig: <http://www.stambanan.com/images/upload/bilder/32sid_webhigh_FINAL.pdf> (2014-01-30).
- Sterman, J.D. (2000), *Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*. Boston : Irwin/McGraw-Hill.
- Sterman, J.D. (2001). System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. *California management review*, vol. 43, no. 4, pp. 8-25.
- Strömkvist, S. 2014. Tågpassagerare satt fast timmar i onödan. (Elektronisk) *Sydsvenskan.se*. Tillgänglig: <<http://www.sydsvenskan.se/skane/tagpassagerare-satt-fast-timmar-i-onodan/>> (2014-03-09)
- Sumari, S., Ibrahim, R., Zakaria, N. & Hamid, A. (2013). Comparing three simulation model using taxonomy: System dynamic simulatio, discrete event simulation and agent based simulation. *International Journal of Management Excellence, [S.I.]*, vol. 1, no. 3, pp. 54-59
- Trafikverket (2012a). *Transportsystemets behov av kapacitetsbörjande åtgärder – förslag på lösningar till år 2025 och utblick mot år 2050. Sammanfattning huvudrapport*. Publikation (2012:101). Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket (2012b). *Kapacitetssituationen och möjligheten att effektivisera inom befintligt järnvägsnät*. Publikation (2012:108). Borlänge: Trafikverket.

- Trafikverket (2012c). *Persontransporter*. Publikation (2012:121). Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket (2014). *Södra stambanan*. (Elektronisk). Tillgänglig:
<<http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Sodra-stambanan/>> (2014-01-24).
- Wagner, N. & Agrawal, V. (2014) An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster. *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 6, pp. 2807-2815.
- Wihlborg, A. (2014). *Södra stambanan*. (Elektronisk) *Infrastruktur.se*. Tillgänglig:
<<http://www.infrastruktursverige.se/tillvxt/sodra-stambanan>> (2014-11-14).
- Xu, J., Li, X. & Wu, D.D. (2009). Optimizing circular economy planning and risk analysis using system dynamics. *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 15, no. 2, pp. 316-331.