

Självständigt arbete på grundnivå

Independent degree project - first cycle

Industriell organisation och ekonomi
Business management and Organization

Effektivt resursutnyttjande på SOS Alarm i Sverige AB
Hur nationell överringning påverkar svarstiden till nödnumret 112

Samuel Karlsson



Mittuniversitetet

MID SWEDEN UNIVERSITY



MITTUNIVERSITETET

Avdelningen för medie- och kommunikationsvetenskap

Examinator: Mikael Gidlund, mikael.gidlund@miun.se

Handledare: Leif Olsson, leif.olsson@miun.se

Författare: Samuel Karlsson, saka1114@student.miun.se

Utbildningsprogram: Civilingenjör i Industriell ekonomi, 300 hp

Huvudområde: Industriell organisation och ekonomi

Termin, år: 6, 2015

Sammanfattning

SOS Alarm har på uppdrag av staten ansvar för nödnumret 112 inom Sverige. Under de senaste åren har företaget ställts inför en rad utmaningar som bidragit till att svarstiderna till 112 långt överskrider det mål som finns avtalat med staten. Studiens syfte har varit att utreda vilken effekt införandet av en nationell övertinningskö skulle ha på svarstiderna till 112 och på operatörsbeläggningen. För att uppnå studiens syfte har en simuleringsmodell konstruerats i Arena Simulation som är ett verktyg för diskret händelsestyrd simulering (DES). Målet har dels varit att skapa en användarvänlig simuleringsmodell med vilken SOS Alarm kan undersöka olika bemanningsrelaterade scenarier och dels att utreda om det finns ett optimalt tröskelvärde för den tid ett samtal ska tillåtas vänta innan övertinning initieras. Resultatet av simuleringarna visade att vid samtliga scenarier där övertinning tillämpades erhöles en bättre servicenivå och snittkötid än i scenariot utan övertinning, samt att maximal servicenivå erhöles redan vid ett tröskelvärde på 30 sekunder. Det uppstod dock ingen avsevärd skillnad i operatörsbeläggning mellan de olika scenarierna. Slutsatsen är att införandet av en nationell övertinningskö skulle medföra positiva effekter avseende svarstiderna till 112 samt att ju tidigare övertinning initieras desto bättre svarstider uppnås. Detta är förutsatt att det inte förekommer någon skillnad i ärendehanteringstid mellan regionala och nationellt besvarade samtal, vilket diskuteras i rapportens avslutande kapitel.

Nyckelord: diskret händelsestyrd simulering, arena, köteori, modellering.

Abstract

Acting on behalf of the Swedish government, SOS Alarm is dedicated to providing the 112 emergency service number within the Swedish borders. During the last couple of years the company has faced a number of challenges that has contributed to the fact that the response times to 112 now far exceeds the agreement with the government. The purpose of this study was to investigate what effect the implementation of a national overflow queue would have on response times to 112 and the overall resource utilization. To fulfill this purpose, an simulation model was created in Arena Simulation which is a tool for discrete-event simulation (DES). The goal was partly to create a user friendly simulation model that could be used by SOS Alarm in order to analyse different staffing related scenarios, and partly to determine if there exist one optimal threshold for when overflow should be initiated. The result showed that in all of the investigated scenarios with overflow, an higher service level and lower average response time was achieved compared to the scenario without overflow, and that the maximal service level was reached already at a overflow threshold of 30 seconds. However, the results didn't show any significant difference in resource utilization between the different scenarios. The conclusion is that the use of overflow would lead to positive effects on the response times to 112 and that the earlier overflow is initiated, the better response times would be achieved. This is provided that there is no differences in handling times between regional and national answered emergency calls.

Keywords: discrete-event simulation, arena, queue theory, modellation.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	iii
Abstract	iv
1 Inledning	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Problemformulering och mål.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
2 Teoretisk referensram	3
2.1 Introduktion till simulering.....	3
2.1.1 För- och nackdelar med simulering.....	3
2.2 Diskret händelsestyrd simulering.....	5
2.3 Köteori.....	6
2.3.1 Kendalls beteckningssystem.....	6
2.3.1.1 Ankomstprocessen.....	6
2.3.1.2 Betjäningstidsfördelning.....	7
2.3.2 Poissonprocessen.....	7
2.3.3 Fördelningsfunktioner.....	8
2.3.4 Erlang.....	9
2.4 Tidigare forskning.....	11
3 Metod	13
3.1 Metodval.....	13
3.2 Verktyg.....	13
3.2.1 Arena Simulation.....	13
3.2.2 Microsoft Excel / VBA.....	15
3.3 Datainsamling.....	15
3.3.1 Samtalsvolym.....	15
3.3.2 Ärendehanteringstider.....	15
3.3.3 Tillgängliga resurser.....	16
3.4 Nyckeltal.....	16
3.5 Genomförande.....	16
3.5.1 Studiebesök på SOS Alarm.....	16
3.5.2 Simuleringsmodellen.....	17
3.5.3 Undersökta scenarier.....	18
3.6 Metoddiskussion.....	20
3.6.1 Reliabilitet.....	20
3.6.2 Validitet.....	20
3.6.3 Objektivitet.....	20
4 Resultat	21
4.1 Simuleringsmodellen.....	21
4.2 Simuleringsresultat.....	23
4.2.1 Scenario 0.....	24
4.2.2 Scenario 1.....	25

4.2.3	Scenario 2.....	26
4.2.4	Scenario 3.....	27
4.2.5	Scenario 4.....	28
4.2.6	Scenario 5.....	29
4.2.7	Scenario 6.....	30
4.2.8	Scenario 7.....	31
5	Analys.....	32
5.1	Servicenivå.....	32
5.2	Snittkötid.....	33
5.3	Beläggning.....	34
6	Slutsatser.....	35
6.1	Etiska och samhällsliga aspekter.....	36
7	Avslutande diskussion.....	37
	Källförteckning.....	38
	Bilaga A: VBA-skript.....	41

1 Inledning

SOS Alarm har på uppdrag av staten ansvar för nödnumret 112 inom Sverige. Beaktat de inkommande samtalens karaktär medför uppdraget höga krav på framkomlighet och effektivt resursutnyttjande inom organisationen.

Under de senaste åren har SOS Alarm ställts inför en rad utmaningar, bland annat har andelen skarpa nödsamtal till 112 ökat med 22 procent under en fyraårsperiod samtidigt som uppräknings ersättning från staten uteblivit. Detta har tillsammans med effektiviseringskrav från ägarna resulterat i omfattande nedskärningar i form av minskad bemanning och nerläggning av ett antal SOS-centraler. För allmänheten har konsekvenserna yttrat sig i form av förlängda svarstider vid samtal till 112, som under år 2014 uppgick till 15,3 sekunder i snitt. Detta är nästan dubbelt mot det mål på 8 sekunder som finns avtalat med staten.

Enligt en analys som SOS Alarm har gjort framgår det att det är en liten andel samtal med lång svarstid som drar upp den genomsnittliga svarstiden. Som ett led i arbetet med att förbättra svarstiderna har SOS Alarm under sommaren 2014 infört så kallade nationella 112-bord, vilket innebär att ett antal operatörer dedikerat besvarar de samtal som väntat längst, oberoende var i Sverige samtalen inkommer. Detta har enligt Claes Eliasson, Verksamhetschef Alarmering & Beredskap, uppvisat positiva effekter, men om konceptet ska bli bestående är ännu obestämt.

Det finns i dagsläget inget automatiserat system för att utjämna samtalsfördelningen mellan regionernas olika resurser i de fall snedbelastning uppstår. Ett sätt att lösa detta på skulle kunna vara att införa en så kallad övertinningskö som är gemensam för samtliga 112 operatörer i landet dit samtalen med en kötid som överskrider ett givet tröskelvärde slussas vidare.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att med kommersiellt tillgänglig programvara skapa en simuleringsmodell för det befintliga kösystemet till 112, vidareutvecklad med en nationell övertinningskö. Simuleringsresultaten ska sedan analyseras med avseende på servicenivå, snittkötid och beläggning för att identifiera vilken påverkan införandet av en övertinningskö har på svarstiderna och på resursutnyttjandet.

1.2 Problemformulering och mål

SOS Alarm har i dagsläget svarstider som kraftigt överskrider det avtal som finns med staten och det är därför mycket angeläget att hitta åtgärder som kan förbättra svarstiderna till 112. De beräkningar som SOS Alarm har gjort med den så kallade Erlang-C-formeln talar för att införandet av en nationell

övertinningskö bör kunna leda till att servicemålet nås, men det finns ett behov av en djupare analys gällande den policy som styr när överrinning ska initieras.

Målet med arbetet är att fastställa om införandet av en nationell överrinningskö leder till förbättrade svarstider till 112 samt att utreda om det finns ett optimalt tröskelvärde för hur länge ett samtal ska tillåtas stå i kö innan överrinning initieras. Den framtagna modellen ska även kunna användas av SOS Alarm för att undersöka olika bemanningsrelaterade scenarier och därför är det viktigt att modellen är användarvänlig och att handhavandet inte kräver några omfattande simuleringskunskaper.

1.3 Avgränsningar

I simuleringsmodellen har flertalet förenklingar gjorts för att modellen ska hinna bli klar under den avsatta tiden för arbetet. Nedan följer en lista på några av dessa förenklingar:

- Alla operatörer är ”multiskillade” och kan hantera såväl räddningsärenden som vårdärenden. I verkligheten kräver dock vårdärenden ofta att en sjuksköterska kopplas in i samtalet. Eftersom den nationella bristen på sjuksköterskor även är påtaglig på SOS Alarm innebär detta ofta att SOS-operatören behöver vänta i en intern kö innan sjuksköterskan kopplas in i samtalet.
- I modellen finns det tre kategorier av samtal: vanliga 112 ärenden, vårdärenden och räddningsärenden. I verkligheten är det dock möjligt att ett ärende är både ett vård- och ett räddningsärende, vilket troligtvis skulle innebära en helt annan ärendehanteringstid än övriga ärenden. Eftersom det saknas data för dessa typer av samtal kommer de att uteslutas ur modellen. Dock ska andelen samtal av denna typ vara väldigt liten enligt sakkunniga på SOS Alarm.
- Modellen förutsätter att alla inringare har ett obegränsat tålamod och att inga samtal läggs på till följd av lång väntetid eller att samtal på annat sätt tappas.

2 Teoretisk referensram

I kapitel 2.1 – 2.3 redovisas den teoretiska bakgrunden till arbetet. Inledningsvis ges en introduktion till vad simulering innebär, därefter beskrivs verktyget diskret händelsestyrd simulering och slutligen en del om köteori.

2.1 Introduktion till simulering

Den historiska utvecklingen av simulering kan beskrivas från flera olika perspektiv, till exempel utifrån användningsområde (analys, träning, forskning); olika simuleringsmodeller (diskret händelsestyrd, kontinuerlig, kombinerad diskret-kontinuerlig); simuleringsspråk eller miljöer (GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, SLAM, Arena, AutoMod, Simio); och tillämpningsområden (kommunikation, tillverkning, militär, transport). (Goldsman, Nance och Wilson; 2010)

Simulering handlar om att imitera ett verkligt system och studera dess utveckling över tid. Detta görs genom att generera en artificiell historia för det studerade systemet från vilken man sedan kan dra slutsatser om systemets egenskaper. Vanligtvis görs detta med hjälp av datorer genom att implementera en simuleringsmodell som är en avbildning av det verkliga systemet. (Banks, 2012)

Simuleringsmodellen byggs ofta upp av antaganden om systemets egenskaper som är grundade på gjorda observationer. Dessa egenskaper beskrivs med hjälp av matematiska funktioner och logiska samband mellan de entiteter och objekt som ingår i systemet. Genom att göra förändringar i modellen går det sedan att undersöka olika ”vad händer om”-scenarion. (Banks, 2012)

Simulering kan användas både som ett analytiskt verktyg för att förutsäga effekten av olika händelser i ett existerande system, såväl som ett konstruktionsverktyg för att förutsäga prestandan under olika omständigheter hos ett ännu inte existerande system. (Banks, 2012) Simulering lämpar sig därför särskilt i de fall förändringar i det verkliga systemet förknippas med väldigt hög risk, stora kostnader eller då problemet är för komplext för att lösas med analytiska metoder.

Till skillnad från en optimeringsmodell är en simuleringsmodell *körd* snarare än löst, vilket gör att resultatet av en simulering ges i form systemets uppförande givet specifika indata. Genom att variera modellens indata och de samband som definierats i modellen genereras en mängd scenarion vilka slutligen kan analyseras och sammanställas till ett beslutsunderlag. (Banks, 2012)

2.1.1 För- och nackdelar med simulering

Att använda simulering som systemanalytisk metod har många fördelar och kan således utgöra en kraftfull komponent i ett beslutstödande system. Dock är det

viktigt att beslutsfattaren använder verktyget som ett hjälpmedel i syfte att utöka dennes beslutsförmåga och aldrig låter det ersätta det egna omdömet. (Rosenberg, 2005)

Nedan följer en lista över de fördelar som Banks (2012) anser finns med simulering:

- Nya policies, procedurer, beslutsregler, informationsflöden med mera kan undersökas utan att störa det verkliga systemet.
- Nya transportsystem, ny hårdvarudesign och fysisk layout kan utvärderas utan att behöva ta några resurser i anspråk.
- Hypoteser om hur och varför vissa fenomen inträffar kan testas.
- Hastigheten för tid kan ökas eller minskas för fenomen som studeras i syfte att nå snabbare och/eller noggrannare resultat.
- Skapa bättre insikt för hur olika variabler påverkar varandra.
- Skapa bättre insikt för hur viktiga olika variabler är för ett systems prestanda.
- Flaskhalsar kan identifieras.
- En simuleringsstudie kan hjälpa oss förstå hur ett system faktiskt fungerar, istället för hur enskilda personer tror att det fungerar.
- ”What if”-frågor kan besvaras. Detta är särskilt användbart vid konstruktion av nya system.

I kontrast till fördelarna följer här några av de nackdelar som Banks (2012) anser finns med simulering:

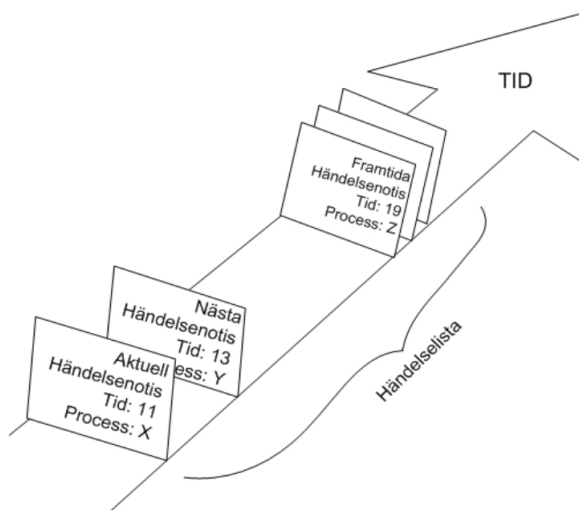
- Att bygga en simuleringsmodell är tidskrävande och kräver mycket träning. Om två olika modeller skapas av olika personer kan de möjligen vara snarlika, men det är högst sannolikt inte identiska.
- Simuleringsresultatet kan vara svårt att tolka. Modellens utdata är ofta stokastisk som följd av att dess indata är stokastisk. Detta kan göra det svårt att avgöra om simuleringsresultatet talar för hur systemet faktiskt fungerar, eller om slumpen påverkat resultatet i stor utsträckning.
- Att bygga en simuleringsmodell kan vara dyrt och tidskrävande. Att inte avsätta tillräckligt med resurser för att ta fram modellen kan resultera i en modell med låg validitet.

2.2 Diskret händelsestyrd simulering

Diskret händelsestyrd simulering (DES) är en flexibel, datorbaserad modelleringsmetod som utvecklades på 1960-talet och har sedan dess haft en betydande roll inom bland annat operationsanalysen.

DES utnyttjar en matematisk/logisk modell av ett fysiskt system som gestaltar tillståndsförändringar som inträffar i punkter i den simulerade tiden. Både förändringarnas typ och den tid då förändringarna inträffar kräver exakt beskrivning i modellen. Exempel på vanliga områden där DES tillämpas är vid analys av lagerhantering, militär krigsföring eller för att analysera ett betjäningssystem med kunder. (Nance, 1996)

Händelsestyrd simulering innebär att varje händelse sorteras i tidsordning i en *händelselista* (se figur 1) där tiden som passerar mellan händelserna är sekunder, minuter eller någon annan godtycklig tidsenhet (Fahlén, 1998). Tiden mellan händelserna registreras inte eftersom ”inga händelser” är ointressant att registrera och eliminerar således onödiga beräkningar (Karnon et al., 2012).



Figur 1: Händelselista (Savén, 1988)

Termen *diskret* refererar till typen av system som simuleras och innebär att de variabler som beskriver systemets tillstånd endast kan anta diskreta värden. Ett exempel på ett sådant system är ett bankkontor dit kunder anländer under kontorets öppettider. I detta system kan tillståndsvariabeln, *antalet kunder i kö*, uppenbarligen endast anta diskreta värden och ändras endast då en kund antingen tillkommer eller lämnar kontoret (Karnon et al., 2012). Tiden som passerar mellan händelserna har i detta fall ingen påverkan på systemets tillstånd.

Ett flygplan som flyger på autopilot är till skillnad från ovan ett exempel på ett kontinuerligt system eftersom tillståndsvariablerna *position* och *hastighet* ändras kontinuerligt med avseende på tiden (ExtendSim, 2015). Denna typ av

system lämpar sig därför inte att modellera med hjälp av DES utan kräver istället en kontinuerlig simuleringsmetod.

De grundläggande beståndsdelarna i DE-Simulering är entiteter, attribut, händelser, resurser, köer och tid (Karnon et al., 2012).

2.3 Köteori

Köteori är den gren i matematiken som är inriktad mot att analysera hur köer uppstår och hur de uppför sig. Följande kapitel kommer att avhandla den del av köteorin som är relevant för denna studie.

2.3.1 Kendalls beteckningssystem

Det finns flera olika beteckningssystem som kan beskriva hur ett kösystem är utformat. Det mest förekommande är dock det som introducerades av David George Kendall år 1953 (Al-Bahadili, 2012):

A/B/c/D/E/F

Ankomstprocessen (A): En stokastisk process som beskriver ankomstintervallens fördelning, det vill säga hur jobb anländer till systemet.

Betjäningsprocessen (B): En stokastisk process som beskriver betjäningstidernas fördelning.

Antal betjäningsstationer (c): Antalet betjäningsstationer i systemet.

Systemets kapacitet (D): Maximalt antal jobb som tillåts simultant i systemet, det vill säga de köande jobben tillsammans med jobben som för tillfället betjänas.

Population (E): Det maximala antalet jobb som ingår i ankomstprocessen.

Ködisciplin (F): Definierade regler för hur jobben i kön ska betjänas, exempelvis FCFS (First-Come-First-Served), LCFC (Last-Come-First-Served) eller RR (Round Robin).

De tre sista komponenterna (D, E och F) är emellertid inte obligatoriska att ange. För ett kösystem med beteckningen "M/M/c" är det underförstått att framför de c likvärdiga betjäningsstationerna finns det ett oändligt stort köutrymme samt att jobben betjänas enligt FCFS-principen (Körner, 1997).

2.3.1.1 Ankomstprocessen

Ankomstprocessen är en så kallad punktprocess, vilket innebär att den beskriver händelsers lägen i tid och rum¹. Det kan alltså ses som en statistisk beskrivning för hur jobb anländer till systemet (Grandell, 2006).

¹ Punktprocess. 2015. *Nationalencyklopedin*

Ankomsterna förutsätts vara oberoende och kan väljas ur följande mängder (Al-Bahadili, 2012):

Deterministisk (D): Tiden mellan ankomsterna är konstant utan slumpmässiga inslag.

Markovsk (M): Ankomstprocessen följer en poissonfördelning, det vill säga att tiderna mellan ankomsterna är oberoende med samma exponentialfördelning.

Generell fördelning (G): Ankomsterna följer en godtycklig punktprocess.

2.3.1.2 Betjäningstidsfördelning

Enligt Kendalls beteckningssystem förutsätts det att de olika jobbens betjäningstid kan beskrivas av oberoende stokastiska variabler enligt den gemensamma fördelningen B . Dessa tider förutsätts även vara oberoende av ankomstprocessen (Grandell, 2006).

Betjäningstidsfördelningen kan väljas ur följande mängder (Grandell, 2006):

Markovsk (M): Betjäningstiderna är exponentialfördelade.

Generell (G): Betjäningstiderna antar en godtycklig fördelning.

2.3.2 Poissonprocessen

Poissonprocessen är en diskret stokastisk process i kontinuerlig tid som räknar antalet händelser som inträffar oberoende av varandra i ett tidsintervall (Parviainen, 2010).

Matematiskt kan processen beskrivas som en samling $\{N(t) : t > 0\}$ slumpvariabler där $N(t)$ är antalet händelser som inträffat från tidpunkten 0 till tidpunkten t . Antalet händelser mellan tidpunkterna a och b ges då av $N(b) - N(a)$ och antar en *poissonfördelning* (Srivastava et al., 2010).

Exempel på situationer som väl kan modelleras genom en poissonprocess är följande (Parviainen, 2010):

- Telefonsamtal som anländer till en växel.
- Olyckstillbud i ett kärnkraftverk.
- Bilar som passerar t.ex. en bro.
- Personer som ställer sig i en kö.
- Mutationer i DNA.
- Partikelemissioner från ett radioaktivt ämne.

2.3.3 Fördelningsfunktioner

Poissonfördelning

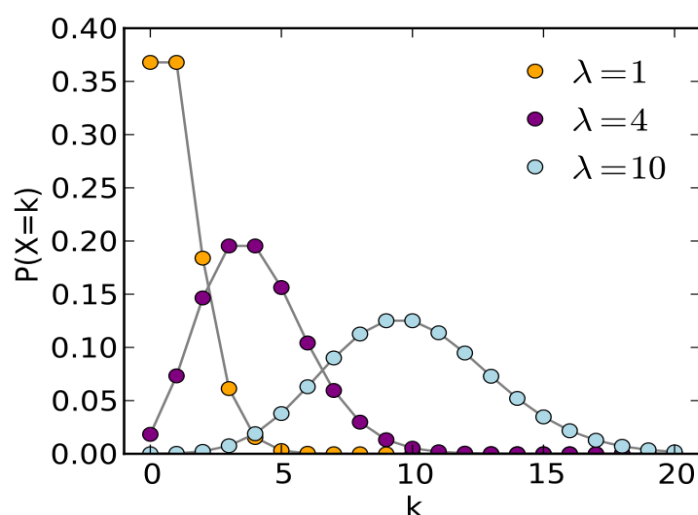
Poissonfördelningen uppträder då man studerar företeelser som inträffar slumpmässigt i tiden eller rummet (Blom et al., 2013). För att kunna anta att de inträffade händelserna följer en poissonfördelning måste följande villkor uppfyllas (Johansson, 2014):

1. Antalet händelser i disjunkta tidsintervall är oberoende.
2. Endast en händelse i taget inträffar.
3. Sannolikheten för att en händelse ska inträffa vid en viss given tidpunkt är noll.

Om ovanstående villkor är uppfyllda kan man anta att händelserna är poissonfördelade med följande sannolikhetsfunktion:

$$p_k = P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad \lambda \in (0, \infty) \quad (1)$$

Som framgår är poissonfördelningen en osymmetrisk funktion som är helt definierad av sitt medelvärde λ (Mattsson, 2003). Se grafisk representation av täthetsfunktionen för olika värden på λ i figur 2.



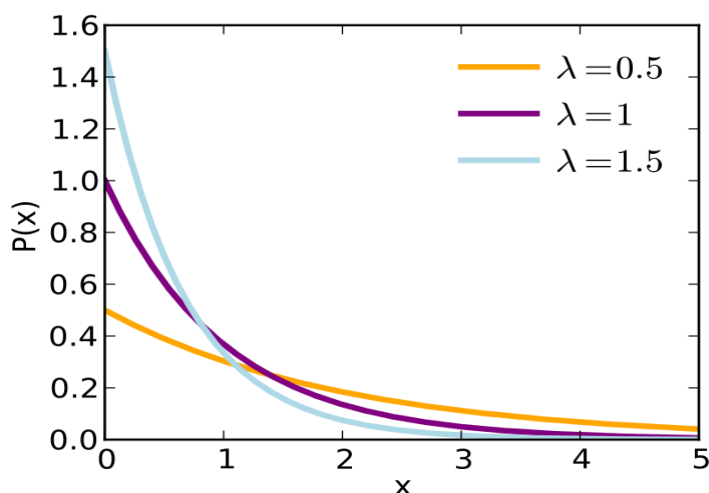
Figur 2: Täthetsfunktion för poissonfördelade stokastiska variabler med olika värden på λ ²

² http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/16/Poisson_pmf.svg/750px-Poisson_pmf.svg.png

Exponentialfördelning

Exponentialfördelningen är en kontinuerlig fördelningsfunktion som är nära besläktad med poissonfördelningen genom att den beskriver tiden mellan oberoende händelser (Ahlström, 2011).

Täthetsfunktionens form framgår av figur 3, som antyder att ju mindre λ är, desto mer utbredd är sannolikhetsmassan över intervallet $(0, \infty)$ (Blom et al., 2013).



Figur 3: Täthetsfunktioner för exponentialfördelade stokastiska variabler med olika värden på λ .

2.3.4 Erlang

Erlang är en dimensionslös enhet uppkallad efter den danske matematikern Agner Krarup Erlang och används för att mäta trafiktäthet i en kontinuerligt använd telefonledning.

A.K Erlang är även upphovsman till två väletablerade formler som används vid resursberäkning, särskilt inom telekombranschen. Dessa formler går under namnen Erlang-B och Erlang-C (Angus, 2001).

Erlang-B (upptagetsystem) – Denna formel används för att beräkna sannolikheten att ett samtal blockeras, t.ex. i ett M/M/c/0-system. I de fall samtliga c resurser är upptagna när ett nytt samtal når växeln kommer samtalet att blockeras utan att påverka den framtida trafiken, det vill säga resulterar inte de blockerade samtalen i några återuppringsförsök (Whitt, 2002). Vidare förutsätts att den inkommande trafiken följer en poissonfördelning samt att samtalstiden antingen är statisk eller exponentialfördelad (Parkinson, 2005).

Det finns även varianter av Erlang-B modellen som utvecklats för att ta hänsyn till en viss återuppringsfrekvens (Ahlström, 2011).

3 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ec/Exponential_pdf.svg/750px-Exponential_pdf.svg.png

Erlang-C (väntesystem) – Denna formel används för att beräkna sannolikheten för att ett samtal behöver vänta innan betjäning i ett M/M/c-system. Istället för att samtalet blockeras så placeras samtalet i kö i väntan på en ledig resurs (Whitt, 2002). Formeln förutsätter att ankomsterna följer en poissonfördelning samt att samtalstiderna är exponentialfördelade (Ahlström, 2011).

Erlang-C används i stor utsträckning för att analysera prestandan hos callcenter och tillämpas både av praktiska utövare och akademiker. Dock medför användandet av formeln ett antal antaganden som kan vara tveksamma inom ramen för en callcentermiljö, vilket kan leda till felaktiga uppskattningar av dess prestanda. I en studie av Robbins, Medeiros och Harrison (2010) redogör författarna för hur Erlang-C tenderar att ge en betydligt mer pessimistisk eller konservativ bild av systemets prestanda. Detta fel är enligt författarna starkt korrelerat med andelen tappade samtal (s.k *abandonment*), vilket innebär att inringare hinner lägga på innan samtalet kopplas fram till en operatör. Av denna anledning passar Erlang-C bäst i callcenter med ett stort antal handläggare med relativt låg beläggning.

Med anledning av de brister som finns med Erlang-C förespråkar nya studier användande av andra modeller som tar hänsyn till de faktorer som ignoreras av Erlang-C. Det vanligaste alternativet är en vidareutveckling som går under namnet Erlang-A vilken tar hänsyn till att samtal tappas. (Robbins, Medeiros och Harrison, 2010).

Nedan följer den matematiska definitionen av Erlangs formler (Ahlström, 2011):

H	Medelväntetid per samtal
λ	Frekvensen för inkommande samtal
P_b	Sannolikheten att få upptaget (Erlang B)
$P(> 0)$	Sannolikheten att hamna i kö (Erlang C)
$P(> T)$	Sannolikheten att behöva köa längre än T
N	Mängden tillgängliga förbindelser eller kopplingsorgan i gruppen
$A = \lambda H$	Trafikstyrkan, dvs. den totala trafiken i enheten Erlang
T	Tid
ρ	Systemets utnyttjandegrad

$$P(> 0) = \frac{\frac{A^N \cdot N}{N!(N-A)}}{\sum_{x=0}^{N-1} \frac{A^x}{x!} + \frac{A^N \cdot N}{N!(N-A)}} \quad (2)$$

$$P_b = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (3)$$

$$P(>T) = P(>0) e^{-(N-A)T/H} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{\lambda H}{N} \quad (5)$$

2.4 Tidigare forskning

Ett effektivare utnyttjande av tillgängliga resurser är någonting som de flesta företag strävar efter. Sedan datorernas intrång i vårt samhälle har simulering blivit ett allt vanligare verktyg för att analysera komplexa processer och studera hur förändringar kan göras i syfte att uppnå högre effektivitet.

Det finns flera tidigare studier från callcentervärlden där olika problem angripits med hjälp av diskret händelsestyrd simulering. Ett exempel på en sådan studie är ett examensarbete som utförts vid Luleå tekniska universitet vars syfte var att förse Eniros planeringsavdelning med ett verktyg som skulle underlätta den dagliga resursplaneringen (Ahlström, 2011).

En annan studie inom området gjordes av amerikanerna R. Wallace och W. Whitt (2004) där de med hjälp av simulering studerade problemet med att avgöra rätt bemanningsnivå i callcenter där så kallad skill-based routing används. I studien avhandlar de bland annat effekten av s.k. *cross-training* som innebär att operatörerna utbildas till att kunna hantera flera olika typer av ärenden (*multi skill*). Resultaten i studien uppvisar positiva effekter på svarstiderna genom cross-training, men att det inte förekommer någon avsevärd skillnad i svarstid om operatörerna utbildas till att besvara fler än två uppdrag.

Bruce, Herbert och Chivers (2010) har med agent-baserad simulering genomfört en känslighetsanalys på servicenivån då de varierade olika parametrar kopplade till inkommande samtal och agentprestation. Denna studie genomfördes i samarbete med NSW Police Force som de i rapporten kallar ett "emergency service call center". I studien diskuterar de bland annat hur olika sätt att beräkna servicenivån kan leda till olika och missvisande resultat. Detta diskuteras även i en studie av Garnett et al. (2002) där de redogör för hur exkludering av tappade samtal leder till ett orättvist mått på servicenivån och att detta bör beaktas hos alla större callcenter.

I en studie av Djik och Sluis adresseras frågan om huruvida det är lönsamt att slå ihop handläggargrupper i ett callcenter, även kallat *pooling*. Den gängse uppfattningen inom callcentervärlden är enligt författarna att detta alltid leder till gynnsamma effekter för verksamheten i form av bättre servicenivå etc. Även fast resultatet från studien talar för att denna uppfattning i många fall stämmer framgår det även att effekten av pooling ofta inte är i närheten av vad vanliga Erlang-C-beräkningar antyder och kan i vissa fall till och med ha en negativ effekt.

Bäst resultat menar författarna åstadkoms med så kallad *overflow pooling*, vilket är det koncept som kommer att appliceras på SOS Alarm. Dock verkar det inte finnas några tidigare studier där diskret händelsestyrd simulering använts i syfte att studera den policy som initierar övertinning, vilket är målet med denna studie.

3 Metod

En stor del i allt vetenskapligt arbete handlar om att sammankoppla teori med empiri och för att göra detta finns det två ledande strategier.

Antingen antas ett *deduktivt* arbetssätt, vilket innebär att gå från ”teori till empiri”. Detta betyder att med utgångspunkt från förväntningar och existerande teorier samlas in fakta från omvärlden och utvärderas denna i syfte att se om den existerande teorin stämmer (Jacobsen, 2002).

Det går även att arbeta *induktivt* vilket innebär att gå ”empiri till teori”, vilket betyder att förutsättningslöst samlas in fakta som sedan utgör underlag vid skapandet av en ny teori (Jacobsen, 2002).

3.1 Metodval

I detta arbete kommer ett induktivt arbetssätt att tillämpas eftersom avsikten med studien är att genom simulering undersöka om införandet av en nationell övertinningskö vore fördelaktigt beträffande svarstiderna till 112. Arbetet kan även betraktas som en fallstudie då syftet är att djupare förstå effekten av förändringar i det kösystem som är specifikt för SOS Alarm.

Anledningen till att diskret händelsestyrd simulering valdes som analytisk metod beror på att metoden har visat sig framgångsrik då system som är för komplexa för analytiska lösningar har studerats (Banks, 2012).

3.2 Verktyg

Följande kapitel kommer att redogöra för de verktyg som använts under arbetet.

3.2.1 Arena Simulation

Simuleringsverktyget som använts under detta arbete går under namnet Arena Simulation och har utvecklats av företaget Rockwell Automation. Anledningen till att Arena valdes var dels för att det fanns en gratis studentversion att tillgå och dels för att Arena kombinerar den användarvänlighet som finns hos s.k. högnivå-simulatorer med flexibiliteten som kommer med att kunna programmera egna händelser i olika programmerings- och simuleringsspråk, i Arenas fall Visual Basic, C/C++ och SIMAN.

Arena är ett så kallat allmänsimuleringsprogram, vilket innebär att det går att modellera i stort sett vilket typ av flöde som helst i programmet. Detta till skillnad från andra programvaror som ofta är inriktade mot särskilda områden, exempelvis produktionsflöden i en fabrik eller trafikflödet i ett vägtrafiknät. Fördelen med denna typ av programvara är framförallt den ökade flexibiliteten, dock följer nackdelen är att det finns färre standardmoduler som passar den modell som avses byggas, vilket leder till större och komplexare modeller.

Nedan presenteras de vanligaste begreppen inom simulering vilka är viktiga att känna till:

Entiteter

Entiteter är de objekt som studeras i en simulering och de kan delas upp i statiska eller dynamiska entiteter.

Termen *dynamiska* syftar till att entiteterna flyttas runt i systemet, kan ändra status och interagera med andra entiteter, vilket i sin tur påverkar systemets tillstånd och prestanda (Bernandersson, 2005). Dynamiska entiteter kan till exempel vara en kund i ett betjäningssystem eller ett telefonsamtal som inkommer till en telefonväxel.

Statiske entiteter betjänar de dynamiska entiteterna och har därigenom också en påverkan på systemets prestanda. I analogi med ovanstående exempel kan en statisk entitet till exempel vara en kassör i en mataffär eller en handläggare på ett callcenter. Statische entiteter kallas ofta resurser och beskrivs utförligare nedan (Bernandersson, 2005).

Attribut och variabler

Attribut är värden som är knutna till en specifik entitet och kan således ses som en lokal variabel. Alla entiteter av samma typ har samma attribut men med olika värden. Ett attribut kan till exempel vara entitetens ankomsttid eller den ackumulerade tiden en specifik entitet spenderat i systemet. (Bernandersson, 2005)

En variabel är till skillnad från ett attribut global och är definierad för hela systemet. Ett exempel på en variabel kan vara det totala antalet kunder som tillkommit till ett system, eller den totala tillryggalagda sträckan hos bilarna som kört i ett vägtrafiknät.

Resurser

Resurser är statiska entiteter som betjänar de dynamiska entiteterna. De dynamiska enheterna konkurrerar om den service som de tillgängliga resurserna tillhandahåller. I modellen definieras hur många resurser som krävs för att betjäna en entitet. Om det inte finns tillräckligt antal resurser tillgängliga så placeras entiteten i kö tills vidare och hanteras enligt den definierade ködisciplinen. (Bernandersson, 2005)

Kö

I de fall det betjäningens behov som en entitet kräver inte kan uppfyllas omedelbart placeras entiteten i kö i väntan på att tillräckligt antal resurser blir tillgängliga. Vidare kan en kö omfattas av olika prioriteringsregler, till exempel FCFS, LCFC eller helt slumpmässig betjäning. (Bernandersson, 2005)

Replikationer

Med replikationer avses antalet gånger en simulering körs. Eftersom de flesta simuleringsmodeller bygger på stokastisk indata är det inte lämpligt att förlita sig på resultatet från en enskild körning. För att minska slumpens betydelse i resultaten rekommenderas det att köra simulatorm flera gånger och dra slutsatser baserade på medelvärdet av de genomföra körningarna. (Bernandersson, 2005)

3.2.2 Microsoft Excel / VBA

I syfte att göra modellen så effektiv och användarvänlig som möjligt har integration skett med Microsoft Excel, vilket gör det möjligt att enkelt ändra tillgängliga resurser och inkommande samtalsvolymen inför varje replikation. Detta gör det även möjligt att studera utfallet på en detaljnivå som inte går via de standardrapporter som Arena tillhandahåller.

På grund av begränsningar som uppstår i Arena vid integration med Excel har VBA (Visual Basic for Applications) använts för att generera samtalsvolymen enligt en poissonfördelning. För att konkretisera begränsningen kan inte Arena generera samtalsvolymen baserat på medelvärden för ett tidsintervall hämtat från ett kalkylblad utan kräver specifika ankomsttider för respektive samtal i separata celler.

3.3 Datainsamling

Följande kapitel kommer att redogöra för hur datainsamlingen skett samt hur den insamlade datan har applicerats i modellen.

3.3.1 Samtalsvolymen

Samtalens ankomsttider har genererats med hjälp av ett VBA-skript (se bilaga A) och baseras på samtalsprognoser som SOS Alarm har tillhandahållit. Samtalsprognoserna är i sin tur baserade på observerad växeltrafik och består av medelvärden uppdelade i halvtimmesintervall för de olika uppdragen och regionerna, samt för olika veckodagar.

3.3.2 Ärendehanteringstider

Ärendehanteringstiden för ett samtal varierar beroende på samtalets typ, det vill säga om samtalet är ett vårdärende, ett räddningsärende eller något övrigt.

Vid resursplanering använder SOS Alarm i dagsläget en indelning bestående av tre kategorier med beräknade ärendehanteringstider enligt tabell 1.

Tabell 1: Ärendehanteringstider för de olika samtalstyperna.

Samtalstyp	AHT (s)
112	59
112 Vård	240
112 Räddning	179

För att ta hänsyn till variationen som rimligen finns i dessa ärendehanteringstider har de implementerats som exponentialfördelade medelvärden i Arena.

3.3.3 Tillgängliga resurser

Idag använder SOS Alarm Erlang C som metod vid beräkning av resursbehovet. Därefter omvandlas resultatet till en bemanningsplan som är justerad i syfte att ge en jämnare bemanning över dygnet.

För att underlätta vid undersökningen om hur olika bemanningsnivåer påverkar systemet har en algoritm skapats i Excel som översätter bemanningsplanen till en schemauppsättning som de fiktiva resurserna i Arena följer. Algoritmen tar dock ingen hänsyn till utjämnad arbetstid mellan resurserna utan tillser endast att angivet antal resurser finns tillgängliga.

3.4 Nyckeltal

De nyckeltal som har använts vid analysen är följande;

Servicenivå: Definieras i denna rapport som andelen samtal som har besvarats inom 30 sekunder. Enhet: procent.

Snittkötid: Definieras som den genomsnittliga tiden en inringare spenderar i kö innan denne kommer i kontakt med en operatör. Enhet: sekunder.

Beläggning: Definieras som andel arbetstid som en operatör spenderar med ärendehantering. Enhet: procent.

Av anledningen att arbetstiden kan skilja sig markant mellan de fiktiva operatörerna i modellen kommer beläggningsen endast att beräknas på de operatörer som är schemalagda över hela dygnet. Detta för att minimera risken att beläggningsen hos operatörer med låg arbetstid bidrar till ett förvrängt medelvärde.

3.5 Genomförande

Följande kapitlen kommer att avhandla arbetets genomförande. Inledningsvis beskrivs det studiebesök som ägde rum vid arbetets start. Därefter beskrivs framtagandet av den simuleringsmodell som använts vid analysen och sist beskrivs de olika scenarier som simulerats.

3.5.1 Studiebesök på SOS Alarm

För att få en djupare förståelse för verksamheten började arbetet med ett studiebesök på SOS Alarms huvudkontor samt deras SOS-central på Malmskillnadsgatan i Stockholm.

Studiebesöket började på huvudkontoret med en genomgång av hur bemanningsprocessen är utformad, det vill säga hur prognoser över

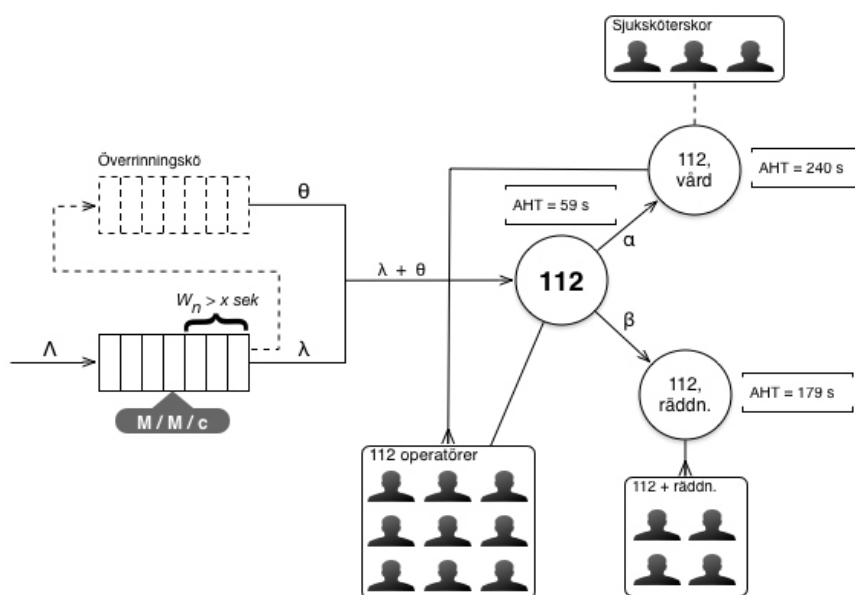
inkommande samtalsvolymen översätts till ett resursbehov som i sin tur omvandlas till ett arbetsschema för operatörerna.

Besöket avslutades på SOS-centralen där jag fick medlyssna på inkommande 112-samtal och stifta bekantskap med de olika stödsystem som 112-operatörerna har tillgång till i sitt arbete. Jag fick även träffa deras nationella produktionsledning (NPL) som ansvarar för trafikstyrning och bevakning av bemanningsläget under helger och nätter.

Mycket av den kunskap jag tillgodogjorde mig under studiebesöket har varit till stor hjälp vid utformandet av modellen som utvecklats i Arena.

3.5.2 Simuleringsmodellen

Arbetet med simuleringsmodellen började med upprättande av en schematisk skiss över kösystemet på SOS Alarm, se figur 4.



Figur 4: Schematisk skiss över kösystemet för 112 (regional nivå).

Skissen visar hur samtalen tillkommer och fördelas inom systemet på regional nivå. Av skissen framgår det att ankomsterna följer en markovsk fördelningsprocess och placeras sedan i en regional kö. I de fall väntetiden överskrider ett givet tröskelvärde initieras överringning, vilket innebär att samtalet överförs till den nationella överringningskön som är gemensam för samtliga 112-operatörer i landet.

Vidare besvaras samtalen av 112-operatörerna enligt disciplinen FCFS (First-Come-First-Served). I de fall ett samtal leder till ett vård- eller räddningsärende kopplas ytterligare resurser in i samtalet som antingen består av en räddningsåtgörare⁴ eller en sjuksköterska. De olika ärendetyperna har även olika ärendehanteringstider.

⁴ Resurs vars uppgift är att genom medlyssning bedöma insatsbehovet.

Implementationen som följde därefter kan delas upp i två faser där första fasen bestod av att stifta bekantskap med simuleringsprogramvaran. Detta gjordes främst genom att studera olika manualer och övningsexempel som följde med vid installationen.

I den andra fasen utvecklades själva modellen som baserades på den data som SOS Alarm tillhandahållit och den kunskap om kösystemets struktur som tillgodogjorts under studiebesöket.

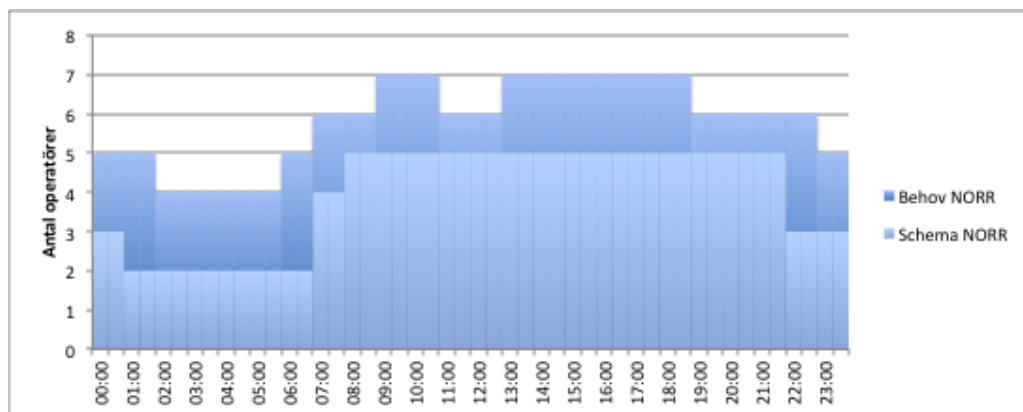
3.5.3 Undersökta scenarier

För att studera vilken påverkan olika överringningstider har på svarstiden undersöktes totalt åtta olika scenarier där varje scenario innebar en förändring i överringningstid enligt tabell 2.

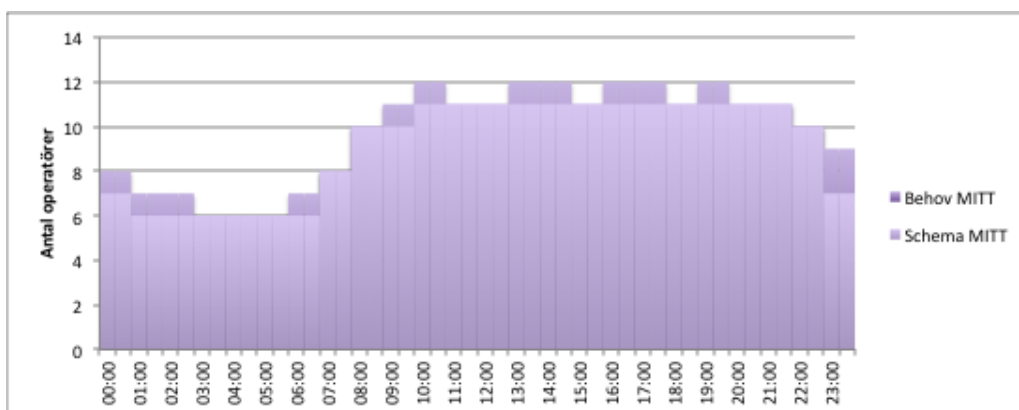
Tabell 2: Överringningstider för de olika scenarierna.

Scenario	Överringningstid (s)
0	∞
1	0
2	3
3	5
4	10
5	15
6	30
7	60

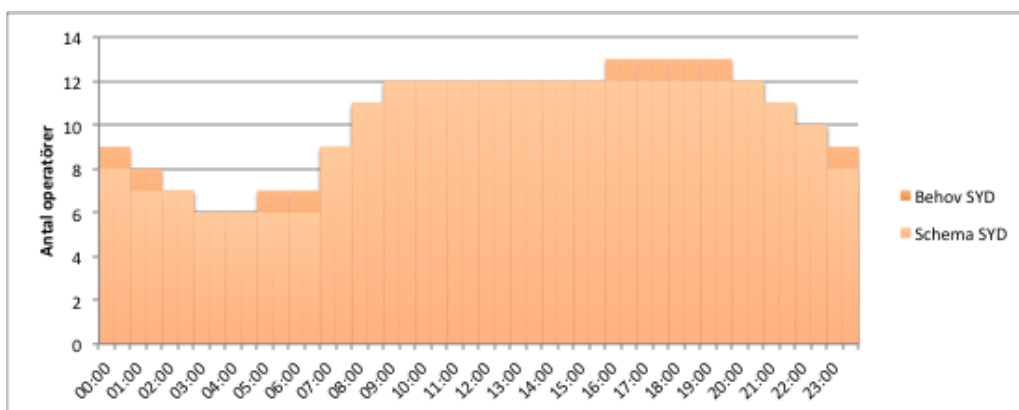
Varken bemanningen eller den samtalsprognos som de simulerade samtalsvolymerna baserades på varierades mellan försöken. Antalet tillgängliga resurser under det simulerade dygnet var direkt hämtad ur den bemanningsplan som SOS Alarm tillhandahållit. För att tydligt kunna se effekten av överringning mellan regionerna valdes bemanningsplanen avsiktligt så att det uppstod underbemanning under delar av dygnet. Se figur 5 – 7.



Figur 5: Behov beräknat enligt Erlang C (99% inom 30 sekunder) och schemalagda resurser i simuleringsmodellen för region Norr.



Figur 6: Behov beräknat enligt Erlang C (99% inom 30 sekunder) och schemalagda resurser i simuleringsmodellen för region Mitt.



Figur 7: Behov beräknat enligt Erlang C (99% inom 30 sekunder) och schemalagda resurser i simuleringsmodellen för region Syd.

För varje scenario kördes simulatören upprepade gånger i syfte att minimera slumpens påverkan på resultatet. Till följd av detta uppstod frågan om hur många replikationer som skulle köras för att generera statistiskt säkerställt resultat.

Enligt Hoard, Robinson och Davis (2007) finns det tre huvudsakliga metoder för att avgöra antalet replikationer som bör köras vid DES: Tumregeln, enkel grafisk metod eller genom att beräkna konfidensintervall. Antalet replikationer skall även alltid vägas mot tid och kostnad och under detta arbete har tiden varit den begränsade faktorn.

Eftersom samtalsvolymerna i modellen är baserade på värden som slumpats fram med hjälp av Excel krävs det manuell handpåläggning mellan replikationerna för att generera nya samtalsvolym, samt för att kopiera resultaten får den senast genomföra replikationen. Detta gör att det inte på något enkelt sätt går att schemalägga replikationerna och låta datorn jobba självständigt, t.ex. under natten.

Med anledning av detta har antalet replikationer valts enligt den tumregel som Hoard, Robinson och Davis (2007) hänvisar till i sin studie, vilken förespråkar att minst tre replikationer bör köras.

3.6 Metoddiskussion

Vid bedömning av vetenskapliga studier finns det tre kriterier som en forskare bör ta hänsyn till. Dessa sammanfattas med de tre begreppen reliabilitet, validitet och objektivitet och målet är att nå så höga nivåer som möjligt, dock beaktat resursåtgången. (Björklund & Paulsson, 2003)

3.6.1 Reliabilitet

Reliabilitet anger graden av tillförlitlighet av en mätmetod, det vill säga sannolikheten att samma resultat erhålls vid upprepade försök (Björklund & Paulsson, 2003).

Då det inte finns ett entydigt och korrekt sätt att skapa modeller på så kommer en modell alltid innehålla någon grad av subjektivitet. Det är alltså inte troligt att två modeller som skapats av två olika personer kommer att vara identiska även om de representerar samma system. I denna studie baseras simuleringarna på ärendehanteringstider och samtalsvolymen som tillhandahållits från SOS Alarm, men i de fall dessa parametrar måste skattas kan även det orsaka spridning i resultaten.

Att reliabiliteten skulle påverkas negativt på grund av bortfall är i denna studie inte möjligt då det inte utgått några enkätundersökningar eller dylikt där bortfall kan ske.

3.6.2 Validitet

Validitet anger i vilken utsträckning man verkligen mäter det som avses mätas. Ett vanligt skäl till att validiteten hos en modell fallerar är på grund av felaktiga antaganden om systemet (Chung, 2004). För att säkerställa att inget väsentligt förbises har modellen stämts av med både extern och intern handledare under arbetets gång.

I syfte att stärka validiteten har modellen även extremvärdestestats med övertinningstid och antalet tillgängliga resurser som varierande parametrar. Som förväntat erhöles högst servicenivå då övertinningstiden bestämdes till noll sekunder, vilket kan liknas vid en stor nationell mottagning. I de fall övertinningstiden var längre än noll sekunder erhöles en lägre total servicenivå och då antalet tillgängliga resurser minskades till en (1) erhöles en högre beläggning.

3.6.3 Objektivitet

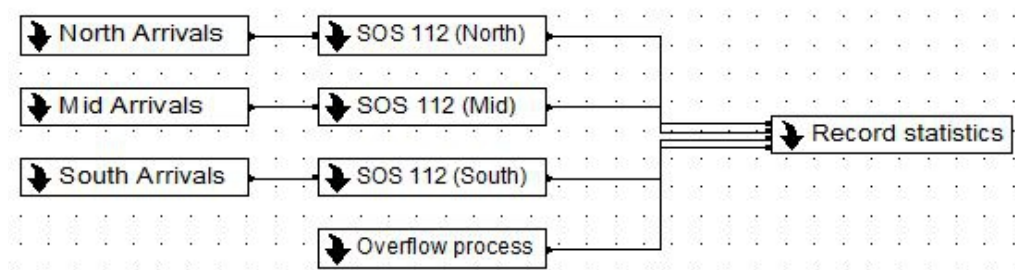
Objektivitet avser forskarens förmåga att vara neutral och inte låta egna värderingar påverka resultatet. Författaren har ingen beroendeställning gentemot SOS Alarm som kan påverka författarens förmåga att vara objektiv.

4 Resultat

I följande kapitel kommer den framtagna simuleringsmodellen och resultaten från de genomförda simuleringarna att presenteras.

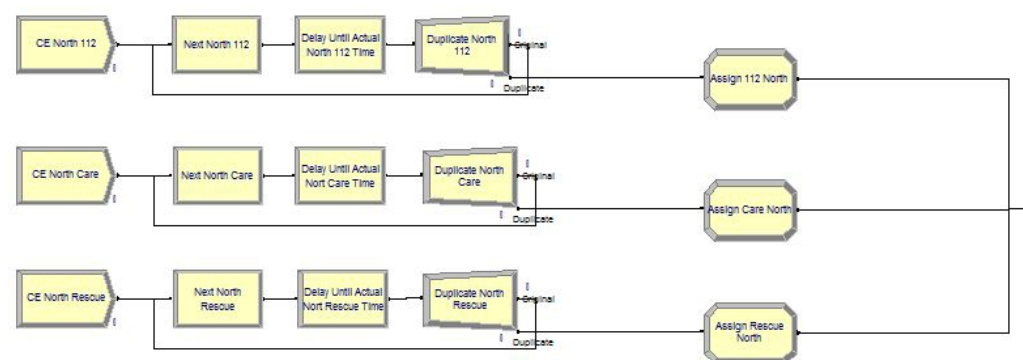
4.1 Simuleringsmodellen

Simuleringsmodellen består precis som i verkligheten av tre regioner: Norr, Mitt och Syd. I modellen utgörs de olika regionerna av så kallade submodeller som är strukturellt identiska men med olika namn (se figur 8).



Figur 8: Översikt över alla submodeller och dess ordning i systemet.

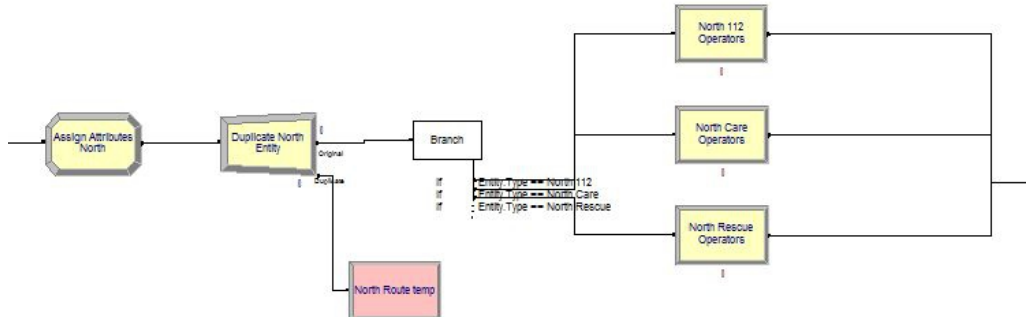
De tre regionerna föregås av ytterligare varsin submodell vars funktion är att läsa in data från en excel-fil som består av tidpunkter för samtalsankomster. Se figur 9.



Figur 9: "North Arrivals", samtalsinitierande submodell.

Utöver inläsning av data skapar även submodellen de entiteter (samtal) som slussas vidare genom modellen utefter den data som har lästs in. Submodellen tilldelar även de skapade entiteterna olika attribut, som till exempel innehåller information om tidpunkten då entiteten skapades samt vilken typ av samtal entiteten representerar. Dessa attribut används främst i statistiksyfte samt för att särskilja de olika samtalstyperna och deras ärendehanteringstider.

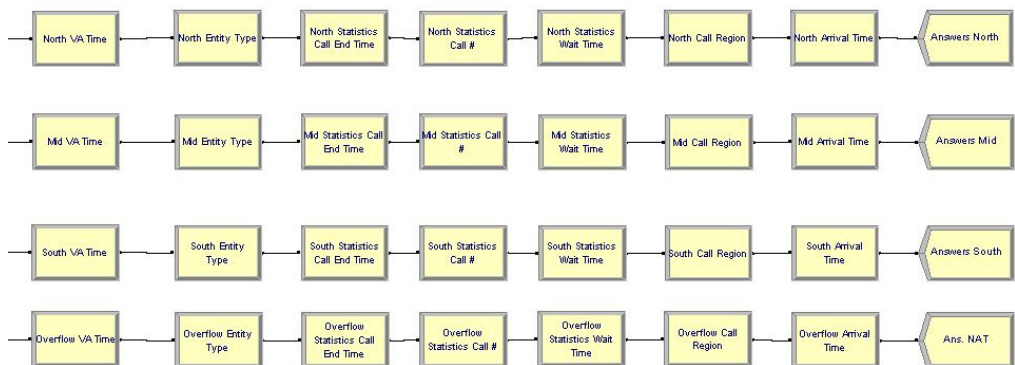
Den underliggande strukturen för regionernas submodeller återges i figur 10.



Figur 10: "SOS 112 (North)", kösystem på regional nivå.

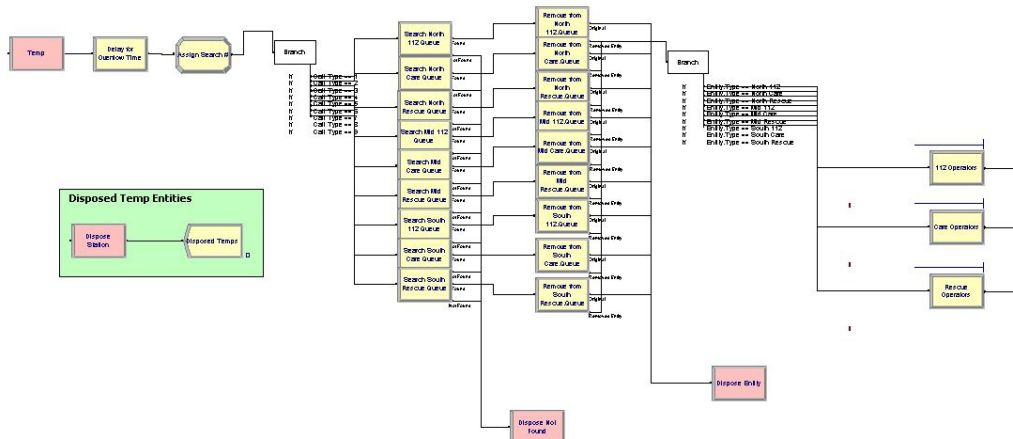
Även denna modul tilldelar entiteterna ett antal attribut, därefter skickas entiteten vidare in i en modul som duplicerar entiteten innan det slussas vidare till en av de tre olika köer som finns i modellen. Anledningen till att det finns tre olika köer i varje region är för att kunna ta hänsyn till de olika ärendehanteringstiderna som de olika samtalstyperna har, men eftersom alla köer har samma prioritet och delar på samma resurser innebär det emellertid ingen funktionell skillnad mot hur kösystemet fungerar i verkligheten.

När samtalet är hanterat inom regionen skickas det vidare till den sista submodellen vars funktion är att först exportera statistik om de passerande entiteterna till ett exceldokument och därefter avlägsna entiteten från systemet, se figur 11:



Figur 11: "Record statistics", submodell för dataexport och avlägsnande av hanterade entiteter.

Överrinningsmekanismen är modellerad som en separat submodell (se figur 12) och opererar med hjälp av de entitetskopior som skapas i de olika regionernas submodeller.



Figur 12: "Overflow process", submodell för överrinningsmekanismen.

Det första som händer när entitetskopian anländer till denna submodell är att den placeras i en så kallad *delay*-modul där den får vänta en viss tid innan den skickas vidare. Därefter skickas entiteten till en modul som skapar en global variabel innehållande den aktuella entitetens serienummer vilket återfinns i ett av entitetens standardattribut. Därefter skickas entiteten till en så kallad *search*-modul vars uppgift är att söka i en av de regionala köerna efter en entitet som har ett attribut som matchar den globala variabeln. Vilken kö som sökningen ska ske i bestäms m.h.a. villkorsstyrning med avseende på entitetens attribut.

Om samtalet hittas i en av de regionala köerna innebär det att dess väntetid överskrider det tröskelvärde som definierats i *delay*-modulen, varpå överrinnings ska initieras. Detta sker genom att plocka bort samtalet från den ordinarie kön med hjälp av en *delete*-modul och placera entitetskopian i motsvarande nationella överrinningskö. Om samtalet däremot inte hittas vid sökningen innebär det att samtalet hunnit besvaras, varpå entitetskopian avlägsnas från systemet.

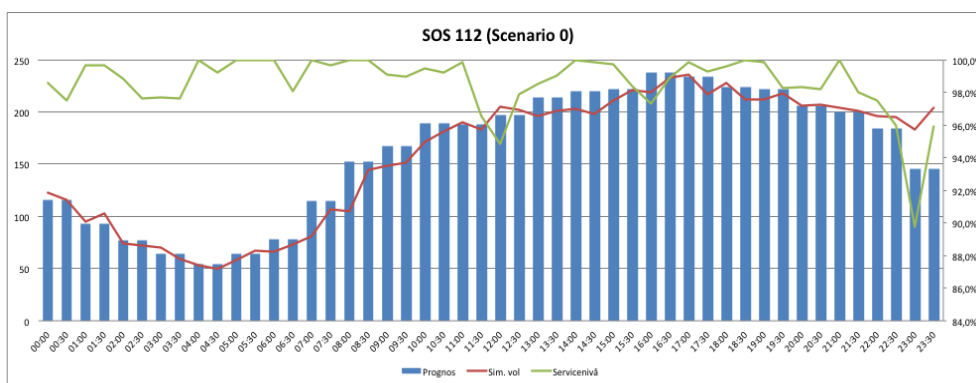
4.2 Simuleringsresultat

I kapitel 4.2.1 – 4.2.8 kommer de simuleringsresultat som erhållits att presenteras.

4.2.1 Scenario 0

Scenario 0 representerar nuläget, det vill säga att övertinning mellan regionerna aldrig förekommer. I modellen har övertinningstiden angivits vara så pass lång att den överskrider antalet sekunder som passerar under ett dygn. I följande analyskapitel kommer övertinningstiden för detta scenario att företrädas av oändlighetstecknet (∞).

Figur 13 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 13: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 0.

Tabell 3 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 0 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 3: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 0.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	34,9%	37,5%	39,6%	37,3%
Mitt	44,8%	45,6%	39,7%	43,4%
Syd	43,3%	45,3%	42,6%	43,8%
Totalt	41,0%	42,8%	40,6%	41,5%

Tabell 4 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 0, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 4: Uppmätt servicenivå i scenario 0.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	95,0%	95,9%	94,0%	95,0%	93,2%	96,4%	93,6%	94,4%	92,3%	89,9%	90,6%	90,9%	93,0%	93,2%	92,3%	92,8%
Mitt	99,6%	99,7%	100,0%	99,8%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,4%	97,9%	99,2%	98,9%	99,6%	99,0%	99,6%	99,4%
Syd	99,6%	98,0%	100,0%	99,2%	99,2%	98,4%	99,2%	98,9%	99,4%	100,0%	99,9%	99,7%	99,3%	99,0%	99,6%	99,3%
Totalt	99,0%	98,5%	99,2%	98,9%	98,6%	98,8%	98,7%	98,7%	98,3%	97,5%	98,3%	98,0%	98,6%	98,2%	98,6%	98,4%

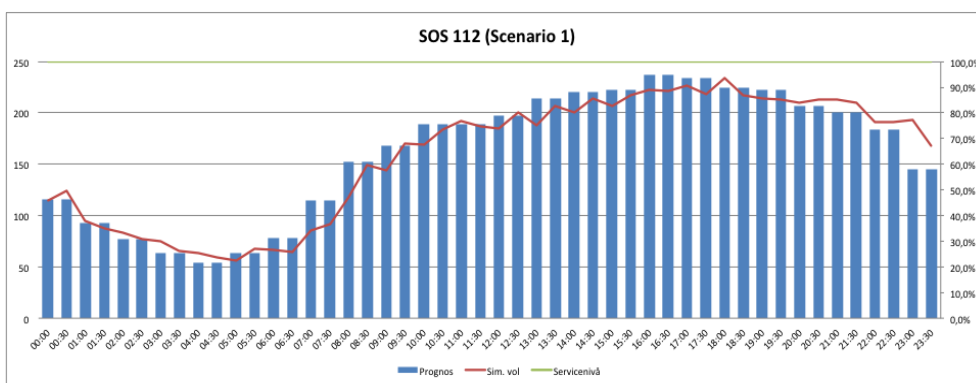
Tabell 5 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 0, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 5: Uppmätt snittkötid i scenario 0. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	5,12	3,39	5,59	4,70	23,15	3,24	6,50	10,96	8,11	9,86	10,98	9,65	12,85	6,52	8,34	9,24
Mitt	0,23	0,16	0,00	0,13	0,36	0,10	0,09	0,18	0,52	1,65	0,78	0,98	0,41	0,79	0,37	0,53
Syd	0,23	2,10	0,08	0,81	0,64	1,42	0,79	0,95	0,47	0,05	0,28	0,27	0,49	0,94	0,44	0,63
Totalt	0,85	1,34	0,78	0,99	3,36	1,09	1,32	1,93	1,67	2,26	2,02	1,98	2,18	1,65	1,54	1,79

4.2.2 Scenario 1

I scenario 1 användes en överrinningstid på 0 sekunder, vilket även går att betrakta som en gemensam nationell mottagning som samtliga 112-operatörer jobbar mot. Figur 14 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 14: Dyngsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 1.

Tabell 6 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 1 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 6: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 1.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	33,6%	31,8%	37,5%	34,3%
Mitt	44,6%	43,9%	41,6%	43,4%
Syd	44,6%	44,1%	47,3%	45,3%
Totalt	40,9%	39,9%	42,2%	41,0%

I tabell 7 visas den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 1, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 7: Uppmätt servicenivå i scenario 1.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

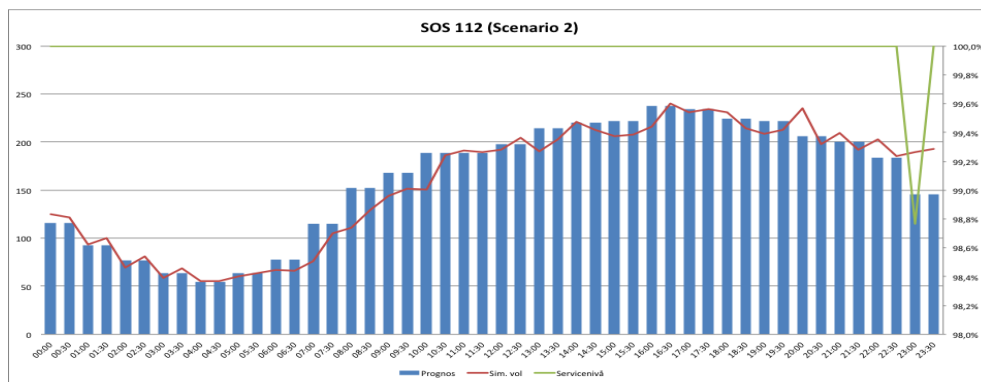
Tabell 8 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 1, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 8: Uppmätt snittkötid i scenario 1. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,04	0,01	0,04	0,00	0,02
Mitt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,05	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02
Syd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,09	0,04	0,05	0,01	0,04	0,02	0,02
Totalt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,07	0,03	0,05	0,02	0,03	0,01	0,02

4.2.3 Scenario 2

I scenario 2 användes en överringningstid på 3 sekunder. Figur 15 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 15: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 2.

Tabell 9 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 0 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 9: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 2.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	36,7%	35,5%	34,3%	35,5%
Mitt	41,8%	42,7%	44,0%	42,8%
Syd	44,5%	43,4%	42,5%	43,5%
Totalt	41,0%	40,5%	40,3%	40,6%

Tabell 10 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 2, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 10: Uppmätt servicenivå i scenario 2.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%

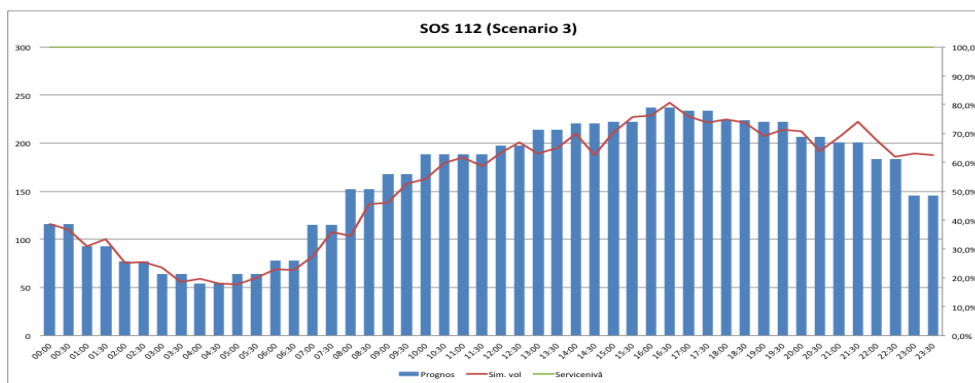
Tabell 11 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 2, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 11: Uppmätt snittkötid i scenario 2. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,10	0,11	0,13	0,12	0,10	0,21	0,16	0,16	0,38	0,22	0,25	0,29	0,22	0,20	0,20	0,21
Mitt	0,02	0,01	0,08	0,04	0,00	0,02	0,03	0,02	0,23	0,08	0,09	0,13	0,11	0,05	0,07	0,07
Syd	0,03	0,04	0,04	0,04	0,00	0,01	0,04	0,02	0,25	0,08	0,08	0,14	0,11	0,05	0,06	0,07
Totalt	0,04	0,04	0,07	0,05	0,02	0,05	0,05	0,04	0,26	0,10	0,11	0,16	0,13	0,07	0,08	0,09

4.2.4 Scenario 3

I scenario 3 användes en överrinningstid på 5 sekunder. Figur 16 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 16: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 3.

Tabell 12 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 3 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 12: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 3.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	34,3%	35,7%	35,0%	35,0%
Mitt	43,2%	44,2%	44,0%	43,8%
Syd	42,6%	44,4%	44,4%	43,8%
Totalt	40,0%	41,4%	41,1%	40,9%

Tabell 13 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 3, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 13: Uppmätt servicenivå i scenario 3.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

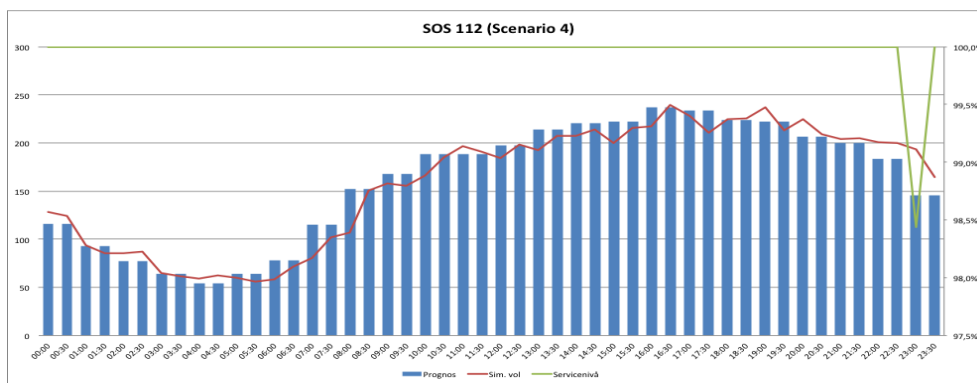
Tabell 14 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 3, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 14: Uppmätt snittkötid i scenario 3. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,25	0,31	0,21	0,26	0,20	0,38	0,23	0,27	0,49	0,58	0,36	0,48	0,34	0,46	0,29	0,37
Mitt	0,05	0,07	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,08	0,15	0,20	0,14	0,06	0,10	0,11	0,09
Syd	0,07	0,06	0,06	0,06	0,02	0,06	0,04	0,04	0,12	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Totalt	0,09	0,10	0,06	0,08	0,05	0,10	0,07	0,07	0,15	0,18	0,17	0,17	0,10	0,13	0,11	0,12

4.2.5 Scenario 4

I scenario 4 användes en överrinningstid på 10 sekunder. Figur 17 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 17: Dyngsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 4.

Tabell 15 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 4 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 15: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 4.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	34,5%	34,8%	36,5%	35,3%
Mitt	45,1%	44,6%	46,7%	45,5%
Syd	45,0%	43,3%	45,0%	44,5%
Totalt	41,6%	40,9%	42,7%	41,7%

Tabell 16 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 4, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 16: Uppmätt servicenivå i scenario 4.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	99,9%	100,0%	100,0%	99,8%	99,9%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%

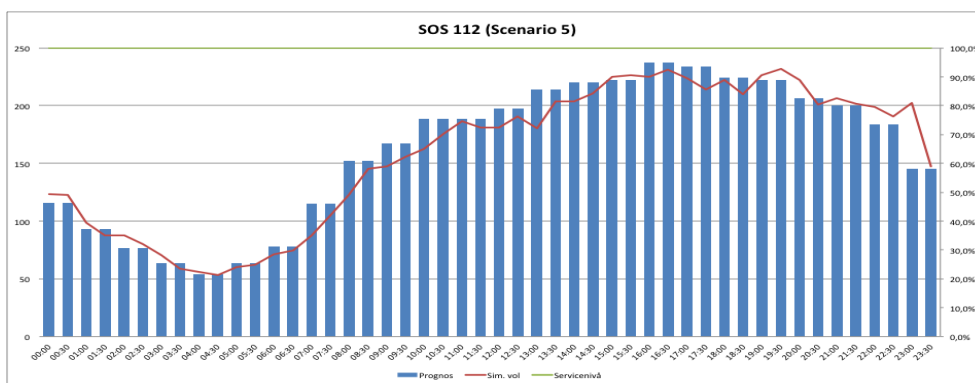
Tabell 17 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 4, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 17: Uppmätt snittkötid i scenario 4. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,27	0,63	0,16	0,36	0,67	0,45	0,72	0,62	0,84	0,60	1,21	0,88	0,69	0,55	0,87	0,70
Mitt	0,13	0,15	0,08	0,12	0,10	0,14	0,10	0,11	0,26	0,21	0,51	0,33	0,18	0,17	0,28	0,21
Syd	0,17	0,09	0,11	0,12	0,00	0,09	0,03	0,04	0,28	0,08	0,30	0,22	0,16	0,09	0,16	0,14
Totalt	0,17	0,18	0,10	0,15	0,14	0,16	0,16	0,16	0,36	0,21	0,53	0,36	0,24	0,19	0,32	0,25

4.2.6 Scenario 5

I scenario 5 användes en överrinningstid på 15 sekunder. Figur 18 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 18: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 5.

Tabell 18 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 5 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 18: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 5.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	37,7%	37,8%	36,1%	37,2%
Mitt	44,0%	44,0%	44,3%	44,1%
Syd	42,9%	43,1%	43,9%	43,3%
Totalt	41,5%	41,6%	41,5%	41,5%

Tabell 19 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 5, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 19: Uppmätt servicenivå i scenario 5.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

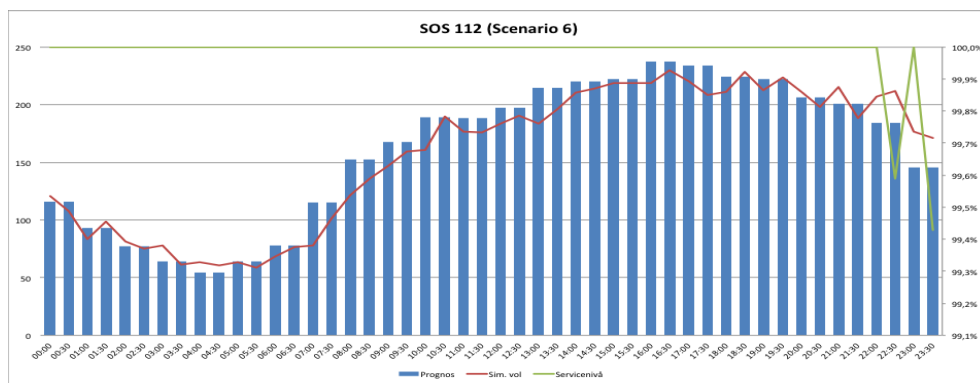
Tabell 20 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 5, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 20: Uppmätt snittkötid i scenario 5. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,90	1,11	1,33	1,11	1,76	1,42	0,60	1,26	1,67	2,55	3,88	2,70	1,58	1,90	2,23	1,90
Mitt	0,65	0,25	0,36	0,42	0,22	0,03	0,06	0,10	0,34	0,18	0,54	0,35	0,34	0,14	0,32	0,27
Syd	0,09	0,00	0,18	0,09	0,02	0,08	0,04	0,05	0,29	0,05	0,46	0,27	0,15	0,06	0,25	0,15
Totalt	0,43	0,27	0,40	0,37	0,34	0,25	0,13	0,24	0,53	0,48	1,01	0,67	0,44	0,36	0,57	0,45

4.2.7 Scenario 6

I scenario 6 användes en övertinningstid på 30 sekunder. Figur 19 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 19: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 6.

Tabell 21 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 6 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 21: Uppmätt beläggning för scenario 6.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	39,8%	40,8%	41,6%	40,7%
Mitt	45,5%	43,0%	44,7%	44,4%
Syd	43,9%	41,9%	42,2%	42,7%
Totalt	43,1%	41,9%	42,8%	42,6%

Tabell 22 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 6, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 22: Uppmätt servicenivå i scenario 6.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mitt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
Syd	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
Totalt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%

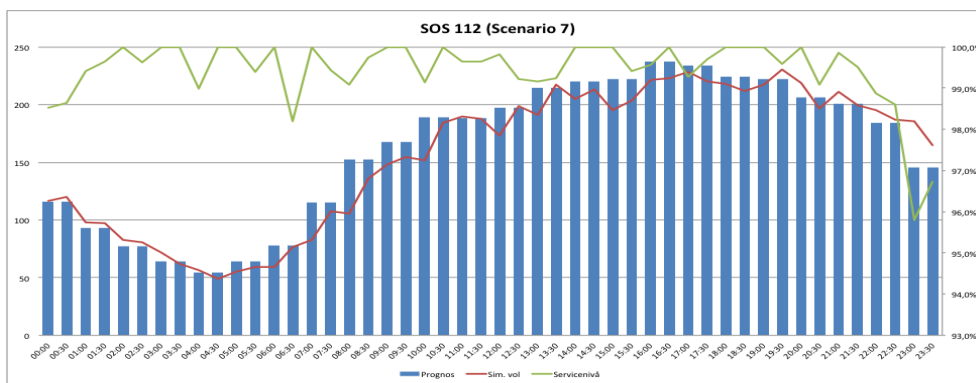
Tabell 23 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 6, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 23: Uppmätt snittkötid i scenario 6. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	0,90	1,11	1,33	1,11	1,76	1,42	0,60	1,26	1,67	2,55	3,88	2,70	1,58	1,90	2,23	1,90
Mitt	0,65	0,25	0,36	0,42	0,22	0,03	0,06	0,10	0,34	0,18	0,54	0,35	0,34	0,14	0,32	0,27
Syd	0,09	0,00	0,18	0,09	0,02	0,08	0,04	0,05	0,29	0,05	0,46	0,27	0,15	0,06	0,25	0,15
Totalt	0,43	0,27	0,40	0,37	0,34	0,25	0,13	0,24	0,53	0,48	1,01	0,67	0,44	0,36	0,57	0,45

4.2.8 Scenario 7

I scenario 7 användes en initierande överrinningstid på 60 sekunder. Figur 20 visar en kontinuerlig graf över det simulerade dygnet beträffande simulerad volym samt servicenivå.



Figur 20: Dygnsgraf med simulerad volym och servicenivå för scenario 7.

Tabell 24 visar den uppmätta operatörsbeläggningen för respektive replikation i scenario 7 samt det beräknade medelvärdet för de tre replikationerna.

Tabell 24: Uppmätt operatörsbeläggning för scenario 7.

	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	37,6%	33,9%	34,0%	35,2%
Mitt	42,5%	43,5%	42,8%	42,9%
Syd	42,4%	45,5%	45,2%	44,4%
Totalt	40,8%	41,0%	40,7%	40,8%

Tabell 25 visar den uppmätta genomsnittliga servicenivån för respektive replikation i scenario 7, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala servicenivå.

Tabell 25: Uppmätt servicenivå i scenario 7.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	96,0%	98,8%	98,1%	97,6%	96,4%	98,6%	97,5%	97,5%	96,8%	97,7%	95,0%	96,5%	96,5%	98,2%	96,4%	97,0%
Mitt	100,0%	99,6%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,2%	99,7%	99,6%	100,0%	99,6%	99,9%	99,8%
Syd	99,6%	99,3%	99,5%	99,5%	100,0%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,7%	99,7%	99,8%	99,9%	99,7%	99,7%	99,8%
Totalt	99,3%	99,4%	99,5%	99,4%	99,5%	99,8%	99,6%	99,6%	99,5%	99,2%	99,0%	99,2%	99,4%	99,5%	99,3%	99,4%

Tabell 26 visar den uppmätta snittkötiden för respektive replikation i scenario 7, uppdelat på tre intervall över dygnet samt dygnets totala snittkötid.

Tabell 26: Uppmätt snittkötid i scenario 7. Enhet: sekunder.

	00 - 08				08 - 16				16 - 24				00 - 24			
	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt	Rep1	Rep2	Rep3	Snitt
Norr	2,07	0,92	1,37	1,45	2,62	1,05	1,41	1,69	2,36	1,53	3,61	2,50	2,41	1,26	2,46	2,04
Mitt	0,11	0,52	0,04	0,22	0,02	0,02	0,06	0,03	0,16	0,81	0,45	0,47	0,10	0,46	0,22	0,26
Syd	0,18	0,62	0,48	0,43	0,01	0,32	0,39	0,24	0,38	0,36	0,38	0,37	0,20	0,39	0,40	0,33
Totalt	0,41	0,62	0,40	0,47	0,40	0,28	0,38	0,35	0,58	0,72	0,92	0,74	0,48	0,54	0,62	0,55

5 Analys

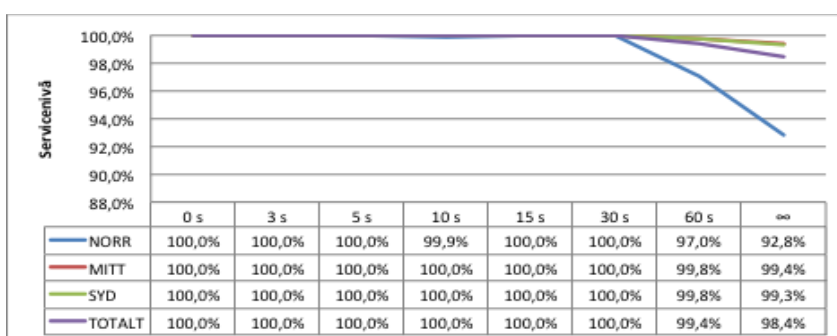
I detta kapitel analyseras de resultat som presenterades i föregående kapitel. Inledningsvis analyseras effekten som olika överrinningstider har på servicenivån, följt av dess effekt på snittkötid och slutligen operatörsbeläggningen.

5.1 Servicenivå

Resultatet från de genomförda simuleringarna tyder på att införandet av en nationell överrinningskö har en positiv inverkan på både den regionala och den totala/nationella servicenivån. I scenario 0 där ingen överrinning tillämpades uppmättes en total servicenivå på 98,4% över hela dygnet vilket även var den lägsta som noterades bland samtliga scenarier.

Bäst servicenivå återfinns i scenario 1 – 6 där överrinningstiden varierades från 0 sekunder till 30 sekunder. Den nationella servicenivån underskred aldrig 100% i något av dessa scenarier, vilket även var fallet på regional nivå bortsett från enstaka kvartar från kl 22:30 och framåt i scenario 2, 4 och 6.

Den observerade effekten som de olika överrinningstiderna har på servicenivån har sammanfattats i figur 21. Som framgår av figuren tyder simuleringsresultaten på att det går att tillämpa en överrinningstid upp till 30 sekunder och ändå uppnå en servicenivå på 100%. Dock är inte den manuella svarstiden medräknad, vilken uppstår till följd av att operatörerna måste trycka på en tangent på sitt tangentbord för att besvara ett samtal.



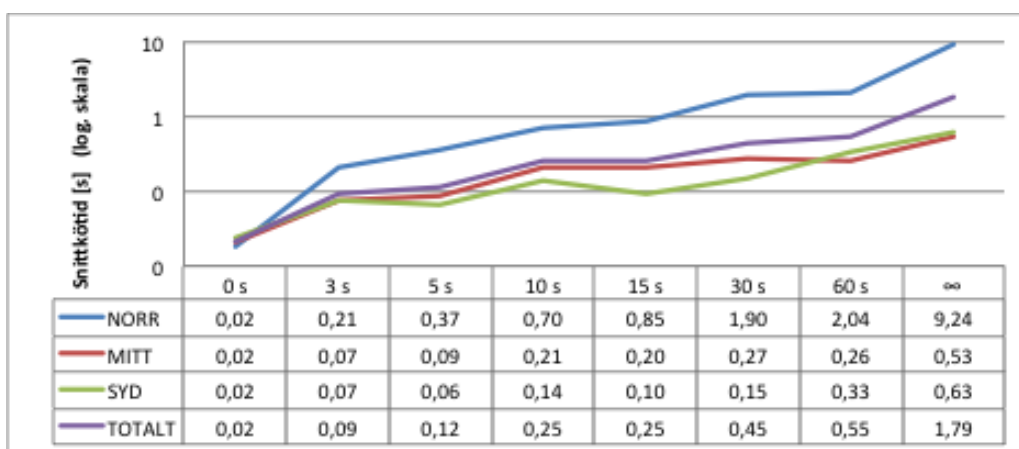
Figur 21: Servicenivå som funktion av överrinningstid.

Den region som gynns mest av överrinningen är region Norr, vilket beror på att den regionen varit mest underbemannad (se figur 5-7) i de undersökta scenarierna. Som framgår av figur 21 har höjningen av servicenivån hos region Norr inte skett till bekostnad av någon annan regions servicenivå utan att alla regioner har gynnsats.

Resultatet visar även att en övertinningstid som överskrider den tid servicemålet beräknas på (i detta fall 30 sekunder) har positiv effekt på servicenivån.

5.2 Snittkötid

Simuleringarna tyder på att införandet av en nationell övertinningskö skulle medföra positiva effekter även på snittkötiden. I figur 22 visas förhållandet mellan övertinningstid och snittkötid. Anledningen till att logaritmisk skala valts är i syfte att lättare kunna urskilja graferna då svaren sträcker sig över flera tiopotenser.

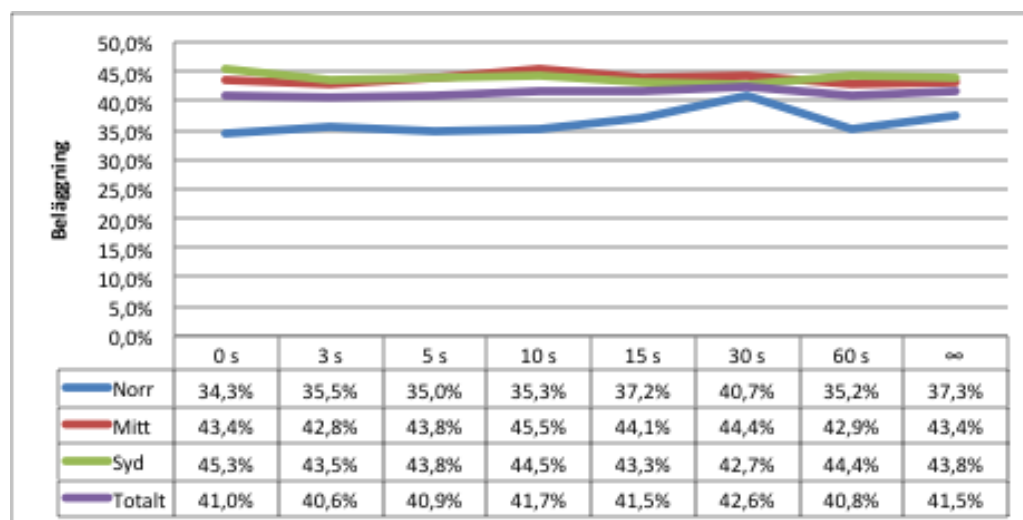


Figur 22: Snittkötid som funktion av övertinningstid (logaritmisk skala i y-led). Enhet: sekunder.

Längst snittkötid återfinns i scenario 0 där ingen övertinning tillämpades och uppgick då till 1,79 sekunder i snitt över dygnet. På regional nivå var det region Norr som hade längst snittkötid, vilket är en direkt orsak av den regionala underbemanningen som applicerats i modellen.

5.3 Beläggning

Simuleringsresultaten har inte kunnat uppvisa någon utmärkande skillnad på den totala beläggning hos operatörerna vid de undersökta scenarierna, se figur 23.



Figur 23: Beläggning hos operatörerna som funktion av överrinningstiden.

Något som kan förefalla märkligt är att region Norr uppvisar lägst beläggning trots att det är den region som är mest underbemannad samt har haft lägst servicenivå och högst snittkötid.

Det kan finnas flera anledningar till detta resultat och för att fullt ut kunna förstå varför region norr uppvisar en lägre beläggning än övriga regioner skulle ytterligare simuleringar behöva göras för att plocka ut data som möjliggör en noggrannare uppföljning. Den data som detta resultat baseras på är hämtad från Arenas standardrapport och är ett kumulativt värde för operatörsbeläggning och säger således ingenting om hur den varierar över dygnet. Det går inte heller att utesluta att någonting är fel i modellen, men det är i så fall inget som yttrat sig vid de extremvärdestest som utfördes vid valideringen.

Eftersom förändringen i servicenivån för region Mitt och Syd varit förhållandevis liten mellan de olika scenarierna kan det inte anses särskilt märkligt att det inte framstår något större skillnad i beläggning för just de regionerna.

6 Slutsatser

Målet med arbetet har varit att fastställa om införandet av en nationell övertinningskö leder till förbättrade svarstider till nödnumret 112, samt att identifiera ett optimalt tröskelvärde för hur länge ett samtal ska tillåtas vänta i en regional kö innan övertinning ska initieras. För att uppnå studiens syfte har en simulator utvecklats i programvaran Arena Simulation och integrerats med Microsoft Excel.

För att avgöra huruvida införandet av en nationell övertinningskö leder till förbättrade svarstider har två nyckeltal analyserats: servicenivå och snittkötid.

Resultatet från de genomförda simuleringarna talar för att införandet av en nationell övertinningskö leder till positiva effekter både avseende servicenivå och snittkötid för samtliga regioner. Dock har det i de undersökta scenarierna varit region Norr som varit mest underbemannad vilket även är den regionen med absolut lägst samtalsvolym. Om någon annan region med högre samtalsvolym skulle tillåtas ha en lika kraftig procentuell underbemanning skulle rimligen övriga regioners svarstider påverkas negativt av detta.

Beträffande det tröskelvärde för då övertinning ska initieras har simuleringarna påvisat att ju lägre tröskelvärde desto lägre snittkötid erhålls, samt att det inte krävs ett tröskelvärde som är lägre än 30 sekunder för att uppnå maximal servicenivå. Dock är inte den manuella svarstiden medräknad, vilken SOS Alarm bedömer uppgå till cirka 2,5 sekunder.

Det finns även ytterligare faktorer som bör beaktas vid val av detta tröskelvärde, till exempel hur stor del av samtalen som önskas besvaras regionalt. Det känns också rimligt att anta att tröskelvärdet bör justeras beroende på bemanning, där låg bemanning tillåter att övertinning sker tidigare och hög bemanning tillåter ett högre tröskelvärde. Inställningen av detta bör således ligga på den operativa driftledningen.

Ytterligare ett nyckeltal som analyserats i studien är beläggningen på operatörerna. Dock har det inte gått att påvisa någon betydande skillnad mellan de olika scenarierna utan beläggningen har framgått vara mer eller mindre konstant. För regionerna Mitt och Syd beror detta med största sannolikhet på att skillnaden i servicenivå är så pass liten att det inte ger något utslag på beläggningen. Resultatet som rör beläggningen i region Norr visade sig däremot vara lite motsägelsefullt då den regionen har uppvisat högst snittkötid och lägst servicenivå, vilket rimligen borde innebära en högre arbetsbelastning för operatörerna.

De slutsatser som kan dras av resultaten från denna studie är att införande av en nationell övertinningskö skulle leda till förbättrade svarstider till nödnumret 112, men att det inte går att förvänta sig några avsevärda skillnader på

operatörsbeläggningen i de fall skillanden i servicenivå är liten. Av resultaten går det även att dra slutsatsen att ju lägre tröskelvärde för övertinning, desto bättre svarstid uppnås.

6.1 Etiska och samhällsliga aspekter

Då denna studie är baserad på resultat från en simuleringsmodell har de etiska ställningstagandena som gjorts främst avsett hantering av den data som modellen är uppbyggd av. All inhämtning och lagring av denna data har skett i samtycke med SOS Alarm och har hanterats konfidentiellt. Jag har även under de kontakter jag haft med medarbetare på SOS Alarm varit tydlig med syftet med mitt arbete och i vilket ändamål de olika avdelningsbesöken genomfördes.

Den verksamhet som detta arbete har genomförts i samarbete med har stor betydelse för den allmänna trygghetsnivån i form av dess ansvar för nödnumret 112. Om resultatet från denna studie kan hjälpa SOS Alarm mot effektivare resursanvändning och att korta sina svarstider kan förhoppningsvis trygghetsnivån i samhället ökas och fler liv räddas tack vare snabbare kontakt med samhällets hjälpresurser.

7 Avslutande diskussion

Beträffande metodval känner jag att valet att använda diskret händelsestyrd simulering var rätt, trots att utformandet av modellen tog betydligt längre tid än vad jag hade räknat med. Detta beror till stor del på att jag i början av arbetet helt saknade kunskap om diskret händelsestyrd simulering, köteori och programvaran Arena Simulation. Under arbetets gång har flera modeller byggts, testats, förkastats och byggts om.

Avslutningsvis skulle jag vilja kommentera ytterligare några faktorer utöver de som nämns tidigare i rapporten som kan föranleda att resultaten i denna studie inte är helt i harmoni med hur utfallet skulle vara i verkligheten. De faktorer som jag bedömer kan bidra mest till detta är följande:

- Skillnader i ärendehanteringstid mellan regionalt och nationellt besvarade samtal, till exempel på grund av att operatören saknar lokalkännedom för den region där samtalet kommer från.
- Svarsmorale är lägre i verkligheten än vad som antas i modellen. Modellen förutsätter att alla operatörer är maximalt lojala och besvarar samtalen så fort det är möjligt. Då operatörsbeläggningen visat sig vara relativt låg finns det ingen anledning att misstänka att operatörer avstår från att svara på grund av för hög arbetsbelastning, men att den är lika bra som i modellen är inte heller troligt eftersom visst bortfall alltid förekommer.
- Bortfall beträffande tillgänglighet hos operatörerna. Denna modell förutsätter att operatörerna är tillgängliga 100% av den schemalagda tiden. Detta är inte särskilt troligt, eftersom det alltid sker bortfall i form av luncher, raster, toalettbesök med mera.

En intressant vidareutveckling av studien skulle kunna vara att utföra en känslighetsanalys på parametern ärendehanteringstid vid samtal som besvaras nationellt via övertinningskön. Detta i syfte att undersöka effekten då ärendehanteringstiden skiljer sig mellan regionalt och nationellt besvarade samtal (se första punkten ovan). En sådan undersökning är fullt möjlig att genomföra med hjälp av modellen som tagits fram i denna studie, men kräver noggranna mätningar/uppskattningar av den (sannolikt) förlängda ärendehanteringstiden för att kunna generera tillförlitliga resultat.

Källförteckning

Karnon J, Stahl JE, Brennan A, et al. (2012) Modeling using discrete event simulation: A report of the ISPOR-SMDM modeling good research practices task force-4. Value Health 15: 821-27.

Banks, J. (2012) Discrete-event system simulation. 4 uppl. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Fahlén, K. (1998) Störningars konsekvenser för tillverkande företags effektivitet: Identifiering, analys och hantering av störningar. Akademisk avhandling för ekonomie doktorsexamen vid Göteborgs universitet, företagsekonomiska institutionen.

Al-Bahadili, H. (2012) Simulation in Computer Network Design and Modeling. 1 ed. Hersley: IGI Global.

Grandell, J. (2006) Matematiskt kompendium i kurs 5B1506: Markovprocesser och köteori. Kungliga tekniska högskolan.

<http://www.math.kth.se/matstat/gru/markovkomp.pdf>

(Hämtad 2015-05-02)

Körner, U. (1997) Köteori och tillförlitlighetsteori. 3 uppl. Lund: Studentlitteratur.

Parviainen, R. (2004) Kursmaterial i kursen: Sannolikhetsteori och statistik IT2. Umeå universitet.

<http://www2.math.uu.se/~robert/it2004/po-proc.pdf>

(Hämtad 2015-04-28)

Srivastava, Mittal, Rungta, Malhotra, Raghurama (2010) Non Homogenous Poisson Process Model for Optimal Software Testing Using Fault Tolerance. MIS Review 15(2): 75-90.

Blom, Enger, Englund, Grandell, Holst (2013) Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar. Uppl. 5. Lund: Studentlitteratur.

Mattsson, S.-A., 2003. Normalfördelning och Poissonfördelning för bestämning, lund: lunds universitet.

Johansson, B. (2014) Kompendium inom matematisk statistik: Matematiska modeller inom sakförsäkring. Stockholms universitet.

<http://kurser.math.su.se/mod/resource/view.php?id=4638>

(Hämtad 2015-05-01)

Ahlström, R. (2011) En simuleringsmodell för kapacitetsdimensionering vid Eniro. Examensarbete vid Luleå tekniska universitet, institutionen för ekonomi, teknik och samhälle.

Parkinson, R. (2005) Traffic Engineering Techniques in Telecommunications. Infotel Systems Inc.

Nance, R. E. (1996) A history of discrete event simulation programming languages. In History of programming languages II, ed. T. J. Bergin and R. J. Gibson, 369Q427. New York: ACM Press; Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Angus, I. (2001) An introduction to Erlang B and Erlang C. Telemanagement (187): 6 – 8.

Whitt, W. (2002) IEOR 6707: Advanced topics in queueing theory: Focus on customer contact centers.

<http://www.columbia.edu/~ww2040/ErlangBandCFormulas.pdf>

(Hämtad 2015-05-20)

Bernandersson, M. (2005) Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats. Examensarbete vid Linköpings universitet, institutionen för teknik och naturvetenskap.

Chung, C. A. (2004) Simulation Modeling Handbook, A Practical Approach.

Rosenberg, F. (2005) Simulering som hjälpmedel vid beslutsfattande. Examensarbete vid Luleå tekniska universitet, institutionen för industriell ekonomi och samhällsvetenskap.

Jacobsen, D. I., (2002). Vad, hur och varför: Om metodval i företagsekonomi och andra samhällsvetenskapliga ämnen. Lund: Studentlitteratur.

Björklund, M. & Paulsson, U. (2003). Seminarieboken : att skriva, presentera och opponera. Lund : Studentlitteratur.

Savén, B. (1988) Produktionssimulering. Uppsala: Mekanförbundet förlag.

Hoard, K., Robinson, S. & Davies, R. (2007) Automating DES output analysis: How many replications to run. Proceedings of the 39th conference on Winter simulation: 40 years. 9 – 12 December, 2007, Washington DC. s. 505 – 512.

Wallace, R. & Whitt, W. (2005) Resource pooling and staffing in call centers with skilled-based routing. Manufacturing & Service Operations Management 7(4): 208–227.

Goldsman D., Nance R. och Wilson J. (2010) A brief history of Simulation Revisited, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, s. 567-574.

Garnett, O., Mandelbaum, A., and Reiman, M. (2002) Designing a call center with impatient customers. Manufacturing & Service Operations Management 4(3): 208–227.

Robbins, R., Medeiros, D. J., och Harrison, T. (2010) Does the Erlang C model fit in real call centers. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. 5 – 8 December 2010. Baltimore, s. 2853 – 2864.

ExtendSim. (2015) Simulation Software Overview.
https://www.extendsim.com/sols_simoverview.html
Hämtad (2015-06-08)

Bilaga A: VBA-skript

```
Private Sub Generera_Click()
Randomize
Application.Calculation = xlCalculationManual
Application.ScreenUpdating = False
Dim i As Integer
Worksheets("Data").Range("A2:AJ4000").Clear
k = 0
Do While k <= 8
i = 2
j = 1
Do While j <= 48
acc = 0
Do While acc < 30
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 1 + 4 * k).Value = i - 1
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 4 + 4 * k).Value = j
If k = 0 Or k = 3 Or k = 6 Then
mean = 1 / ((1 / 30) * ((ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Cells(3 + k, 2 + j) -
ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Cells(3 + k
+ 1, 2 + j) - ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Cells(3 + k + 2, 2 + j))))
Else
mean = (1 / (ThisWorkbook.Sheets("Sheet1").Cells(3 + k, 2 + j) / 30))
End If
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 3 + 4 * k).Value = -Log(Rnd()) * mean
If ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 1 + 4 * k).Value = 1 Then
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 2 + 4 * k).Value = ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i,
3 + 4 * k)
Else
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 2 + 4 * k).Value = ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i -
1, 2 + 4 * k).Value +
ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 3 + 4 * k).Value
End If
acc = acc + ThisWorkbook.Sheets("Data").Cells(i, 3 + 4 * k).Value
i = i + 1
Loop
j = j + 1
Loop
k = k + 1
Loop
Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```