

Examensarbete
LITH-ITN-KTS-EX--05/033--SE

Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

Martin Bernandersson

2005-05-25



Linköpings universitet
TEKNISKA HÖGSKOLAN

LITH-ITN-KTS-EX--05/033--SE

Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

Examensarbete utfört i kommunikations- och transportsystem
vid Linköpings Tekniska Högskola, Campus
Norrköping

Martin Bernandersson

Handledare Natanael Ljung
Handledare Tobias Andersson
Examinator Peter Värbrand

Norrköping 2005-05-25

**Avdelning, Institution**

Division, Department

Institutionen för teknik och naturvetenskap

Department of Science and Technology

Datum

Date

2005-05-25

Språk

Language

- ☒ Svenska/Swedish
☐ Engelska/English

☐ _____**Rapporttyp**

Report category

- Examensarbete
☐ B-uppsats
☐ C-uppsats
☒ D-uppsats

☐ _____**ISBN****ISRN LITH-ITN-KTS-EX--05/033--SE****Serietitel och serienummer****ISSN**

Title of series, numbering

URL för elektronisk version<http://www.ep.liu.se/exjobb/itn/2005/kts/033/>**Titel**

Title

Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

Författare

Author

Martin Bernandersson

Sammanfattning

Abstract

Detta är en kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem vid Arlanda flygplats. Studien är ett examensarbete för civilingenjörsutbildningen Kommunikations- och Transportsystem vid Linköpings universitet och är utförd på uppdrag av Luftfartsverket, LFV Teknik under 2004 och 2005. Studien har gjorts med datorstödd simulering som analysverktyg.

Studien har gjorts genom att en simuleringsmodell av det studerade systemet har byggts i simuleringsprogrammet Arena. Denna modell har matats med trafikunderlag från en normalvecka under 2004. Utifrån denna modell och utifrån förväntade trafikökningar har sedan ett antal kapacitets- och känslighetsanalysscenarier formulerats och dessa har sedan simulerats och resultaten har tolkats och analyserats samt jämförts med resultaten från grundmodellen.

Kapacitetsanalysen visar att anläggningen är väl rustad för att ta emot den annalkande trafikökning som förväntas under de närmaste åren, eftersom den ökade trafiken inte innebär några signifikanta problem genom ökat antal väskor som inte hinner med sina flighter. Det som dock kan vara en begränsande faktor är att fickallokeringsystemet inte är effektivt och det sänker anläggningens verkliga kapacitet. För att kunna nyttja anläggningen maximalt bör fickallokeringsystemet ses över.

Känslighetsanalysen visar att systemet är mycket sårbart för störningar, särskilt om kommunikationen med BSM-centralen går ner eller om en Röntgen Level 2-maskin går sönder. Sådana händelser resulterar i att anläggningens kapacitet minskar kraftigt och i vissa fall klarar anläggningen inte av att hantera dagens trafikmängd. En handlingsplan för hur dessa störningar och konsekvenserna av dem ska minimeras bör införas snarast.

Nyckelord

Keyword

Simulering, kapacitetsanalys, känslighetsanalys, Arena, bagage, bagagehanteringssystem, flygtrafik, Arlanda, Luftfartsverket, Stockholm, Swedish Civil Aviation Administration, luggage, air travel, aviation, simulation

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet – eller dess framtida ersättare – under en längre tid från publiceringsdatum under förutsättning att inga extraordinära omständigheter uppstår.

Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för ickekommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns det lösningar av teknisk och administrativ art.

Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart.

För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida <http://www.ep.liu.se/>

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet - or its possible replacement - for a considerable time from the date of publication barring exceptional circumstances.

The online availability of the document implies a permanent permission for anyone to read, to download, to print out single copies for your own use and to use it unchanged for any non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional on the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility.

According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement.

For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its WWW home page: <http://www.ep.liu.se/>

Sammanfattning

Detta är en kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem vid Arlanda flygplats. Studien är ett examensarbete för civilingenjörsutbildningen Kommunikations- och Transportsystem vid Linköpings universitet och är utförd på uppdrag av Luftfartsverket, LFV Teknik under 2004 och 2005. Studien har gjorts med datorstödd simulering som analysverktyg.

Studien har gjorts genom att en simuleringsmodell av det studerade systemet har byggts i simuleringsprogrammet Arena. Denna modell har matats med trafikunderlag från en normalvecka under 2004. Utifrån denna modell och utifrån förväntade trafikökningar har sedan ett antal kapacitets- och känslighetsanalysscenarier formulerats och dessa har sedan simulerats och resultaten har tolkats och analyserats samt jämförts med resultaten från grundmodellen.

Kapacitetsanalysen visar att anläggningen är väl rustad för att ta emot den annalkande trafikökning som förväntas under de närmaste åren, eftersom den ökade trafiken inte innebär några signifikanta problem genom ökat antal väskor som inte hinner med sina flighter. Det som dock kan vara en begränsande faktor är att fickallokeringsystemet inte är effektivt och det sänker anläggningens verkliga kapacitet. För att kunna nyttja anläggningen maximalt bör fickallokeringsystemet ses över.

Känslighetsanalysen visar att systemet är mycket sårbart för störningar, särskilt om kommunikationen med BSM-centralen går ner eller om en Röntgen Level 2-maskin går sönder. Sådana händelser resulterar i att anläggningens kapacitet minskar kraftigt och i vissa fall klarar anläggningen inte av att hantera dagens trafikmängd. En handlingsplan för hur dessa störningar och konsekvenserna av dem ska minimeras bör införas snarast.

Abstract

This is a capacity and sensitivity analysis of a baggage handling system at Stockholm-Arlanda airport. The study is a Master's Thesis in Communication and Transport Systems Engineering at the University of Linköping. The study was done on behalf of the Swedish Civil Aviation Administration. The analysis tool that was used is simulation.

In the study, a simulation model of the baggage handling system was implemented in the simulation program Arena. A base scenario containing the traffic program from one week in 2004 was created and used as a reference scenario. A total of 8 different scenarios were created to form the capacity and sensitivity analyses.

The capacity analysis showed that the baggage handling system will be able to handle the forecasted increases in traffic over the next few years with relative ease. The X-ray machines are currently not working at anywhere near full capacity. However, the system is currently not being used in an efficient way. The pocket allocation method¹ is far from optimal because flights that use more than one pocket are allocated adjacent pockets only which can be very inefficient. This method needs to be revised for the system to work efficiently.

The sensitivity analysis showed that the system is very vulnerable if certain things happen. In particular if the communication link with the Baggage Source Message-central in London is lost there will be big problems because all luggage will go to the Manual Encoding Station (MES). The MES will then be very digested and it will take a considerably larger amount of time for the baggage to pass through the system. Problems will also occur if one of the two Level 2 X-ray-machines break down. The remaining machine cannot handle all the baggage by itself, especially not if there are flights to the USA about to depart since baggage heading for the USA must be run through X-ray Level 2. It is strongly recommended that handling plans are formed to minimise the effects of such events.

¹ I.e. the way that baggage pockets are allocated to different flights. The baggage pockets are the end stations for the baggage in the system, from there the bags are loaded onto carts and transported to the aircraft.

Förord

Detta examensarbete hade inte blivit till utan vital hjälp från några personer som jag vill framföra mitt varmaste tack till.

Tack till Hans Kjäll (Luftfartsstyrelsen) och Arne Karyd (konsult) för deras hjälp med att hitta examensarbetet, deras ansträngningar på varsitt håll ledde till att jag fick erbjudande om två examensarbeten inom loppet av tio minuter.

Tack till mina handledare, Natanael Ljung (LFV Teknik) och Tobias Andersson (LiU/ITN), vars praktiska hjälp och synpunkter har varit till mycket nytta under arbetets gång.

Tack till folket på Arlanda (SAO): Jonas Skovgaard, Anders Andersson, Thomas Whinberg, Sven Alkert och Mats Kalla för deras synpunkter och hjälp med att ta fram data och svar på mina frågor under arbetets gång.

Tack till Anna Lindh (LFV Teknik) för hjälp med bra Arena-tips och tack till Krisjanis Steins (LiU/IDA) för hjälp med felsökning av Arena-modellen.

Tack till Peter Värbrand för att han ställer upp som examinator trots hans hektiska schema.

Sist men absolut inte minst, tack till alla vänner och familj för att ni stöttat mig under tidens gång. Framför allt tack till Iffi för att du står ut med mig.

Norrköping den 16 maj 2005

Martin Bernandersson

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	4
ABSTRACT.....	5
FÖRORD	6
FÖRKORTNINGAR.....	14
1 INLEDNING	15
1.1 BAKGRUND	15
1.2 SYFTE	16
1.3 AVGRÄNSNINGAR.....	16
1.4 UPPGIFTSSPECIFIKATION	16
1.5 METOD.....	16
1.6 RESURSER	17
1.7 RAPPORTENS STRUKTUR.....	17
2 SYSTEMBESKRIVNING	19
2.1 BAGAGETS VÄG FRÅN INCHECKNING TILL FLYGPLAN	20
2.2 TILT-TRAYANLÄGGNINGEN	21
2.3 INLOPPSPOSITIONER.....	22
2.4 UTSLÄPPSPOSITIONER.....	23
3 SIMULERINGSTEORI	25
3.1 VAD ÄR SIMULERING?	25
3.2 OLIKA DELAR I EN SIMULERINGSSTUDIE	27
3.3 BEGREPP I EN SIMULERINGSSTUDIE	30
3.4 STATISTISKA FÖRDELNINGAR OCH SLUMPTAL.....	33
3.5 EN ENKEL SIMULERING.....	35
4 SIMULERINGSVERKTYGET ARENA	38
4.1 ARENAS UPPBYGGNAD	38
4.2 MODULER.....	39
4.3 SUBMODELLER.....	43
4.4 ARENAS TILLÄGGSPROGRAM.....	44
5 KONCEPTUELL MODELL	45
5.1 INCHECKNING OCH TRANSFERBAGAGE.....	45
5.2 TILTTRAY-ANLÄGGNINGEN.....	46
5.3 SCANNER	47
5.4 MES.....	47
5.5 RÖNTGEN LEVEL 1	48
5.6 RÖNTGEN LEVEL 2 OCH 3	48

5.7	EBS.....	49
6	MODELLDATA	50
6.1	TIDTABELL	50
6.2	ANKOMSTPROFILER	51
6.3	BAGAGEFAKTORER.....	53
6.4	ANLÄGGNINGSDATA	53
6.5	PROCESSTIDER.....	53
6.6	ALLOKERING AV BAGAGEFICKOR	54
7	ARENA-MODELLEN	55
7.1	MODELLENS UPPBYGGNAD	55
7.2	INLÄSNING AV DATA.....	56
7.3	PASSAGERARE	59
7.4	INCHECKNINGEN	60
7.5	INCHECKNING TILL TILTTRAY.....	62
7.6	TILTTRAY	63
7.7	VERIFIERING OCH VALIDERING.....	68
8	GRUNDSCENARIO	70
8.1	GENOMLOPPSTID FÖR BAGAGE	70
8.2	ANTAL BAGAGE I SYSTEMET	71
8.3	ANTAL EXTRAVARV.....	74
9	KAPACITETSANALYS.....	79
9.1	SCENARIO A0: REDAN KLARA TRAFIKÖKNINGAR	79
9.2	SCENARIO A1: TRAFIKÖKNING EUROPA	83
9.3	SCENARIO A2: TRAFIKÖKNING USA	87
9.4	SCENARIO A3: TRAFIKÖKNING ASIEN	89
9.5	SCENARIO A4: TRAFIKÖKNING EUROPA, USA OCH ASIEN.....	93
9.6	GEMENSAMT FÖR SAMTLIGA KAPACITETSANALYSSCENARIER	96
10	KÄNSLIGHETSANALYS	97
10.1	SCENARIO B: KOMMUNIKATIONEN MED BSM-CENTRALEN FÖRSVINNAR.....	97
10.2	SCENARIO C: EN RÖNTGEN LEVEL 1-MASKIN ÄR UR FUNKTION.....	103
10.3	SCENARIO D: EN RÖNTGEN LEVEL 2-MASKIN ÄR UR FUNKTION	107
10.4	GEMENSAMT FÖR ALLA KÄNSLIGHETSANALYSSCENARIER	111
11	TOLKNING OCH ANALYS AV RESULTAT	112
11.1	KAPACITETSANALYS	112
11.2	KÄNSLIGHETSANALYS	113
11.3	REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT ARBETE	114
12	REFERENSFÖRTECKNING.....	116
12.1	TRYCKTA KÄLLOR	116
12.2	INTERNETKÄLLOR.....	117

BILAGA 1	STATISTISKA FÖRDELNINGAR	118
B1.1	NORMALFÖRDELNING.....	118
B1.2	TRIANGULÄR FÖRDELNING	118
B1.3	LIKFORMIG FÖRDELNING	119
BILAGA 2	ANLÄGGNINGSDATA	121
B2.1	LÄNGD PÅ LÖPANDE BAND.....	121
BILAGA 3	FLYGBOLAG, FLYGPLATSER OCH FLYGPLANSTYPER	125
B3.1	FLYGBOLAG	125
B3.2	FLYGPLATSER.....	126
B3.3	FLYGPLANSTYPER.....	127

Figurförteckning

Figur 2.1 Schematisk beskrivning av bagageanläggningen	19
Figur 2.2 Flödesschema över bagagets väg genom systemet	20
Figur 2.3 Bagageanläggningen	21
Figur 2.4 Bagagefickorna	24
Figur 3.1 Diagram över utfall vid 24 tärningskast	34
Figur 3.2 Statistisk analys av 24 tärningskast	34
Figur 4.1 Programfönstret i ARENA	38
Figur 4.2 Exempel på fyra moduler som interagerar i ARENA	39
Figur 4.3 Modulerna som behövs för att modellera en Conveyor	42
Figur 4.4 Schematisk hierarki för submodeller	43
Figur 5.1 Flödesschema över bagagets väg genom systemet	45
Figur 5.2 Konceptuell modell av incheckningsdiskarna	46
Figur 5.3 Konceptuell modell av TiltTray-anläggningen	47
Figur 5.4 Konceptuell modell av MES-stationerna	47
Figur 5.5 Konceptuell modell av Röntgen Level 1-stationerna	48
Figur 5.6 Konceptuell modell av Röntgen Level 2 & 3-stationerna	48
Figur 5.7 Konceptuell modell av EBS-lagret	49
Figur 7.1 Schema över modellens uppbyggnad	55
Figur 7.2 Modellering av inläsning av ankomstprofiler	57
Figur 7.3 Modellering av inläsning av tidtabellen	59
Figur 7.4 Decide-modulen som bestämmer vilken Ankomstprofil som ska användas	59
Figur 7.5 Omvandlingen av Flight-entiteter till passagerare	60
Figur 7.6 Transferbagagets väg till TiltTray-anläggningen	61
Figur 7.7 Modelleringen av incheckningsproceduren	62
Figur 7.8 Modelleringen av bagagets färd från incheckningsdisken	62
Figur 7.9 Modellering av bagagets ankomst till TiltTray-anläggningen	63
Figur 7.10 Modellering av scannern	64
Figur 7.11 Modellering av Röntgen Level 1 del A	65
Figur 7.12 Modellering av Röntgen Level 1 del B	65
Figur 7.13 Modellering av EBS	66
Figur 7.14 Modellering av bagagefickorna	67
Figur 8.1 Grundscenario (replikation 1) - Genomloppstid för bagage	71
Figur 8.2 Tidsberoende medelvärde av BagsWIP	73
Figur 8.3 Grundscenario (replikation 1) - Antal bagage i systemet	73
Figur 8.4 Grundscenario (replikation 1) - Momentant antal på extravarv	74
Figur 8.5 Bagagefickorna med fotocellen utmarkerad	77
Figur 9.1 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario A0	80
Figur 9.2 Antal bagage i systemet i grundscenariot och Scenario A0 - Tidsberoende medelvärde	80
Figur 9.3 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario A0	81
Figur 9.4 Scenario A0 (replikation 1) - Antal bagage i systemet - diagram	81
Figur 9.5 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A1 och A0	84
Figur 9.6 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A1 - tidsberoende medelvärde	85
Figur 9.7 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A1 och A0	85
Figur 9.8 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A2 och A0	87
Figur 9.9 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A2 - tidsberoende medelvärde	88
Figur 9.10 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A2 och A0	88
Figur 9.11 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A3 och A0	90
Figur 9.12 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A3 - tidsberoende medelvärde	91

Figur 9.13 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A3 och A0.....	91
Figur 9.14 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A4 och A0.....	93
Figur 9.15 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A4 - tidsberoende medelvärde	94
Figur 9.16 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A4 och A0.....	94
Figur 10.1 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario B.....	98
Figur 10.2 Scenario B (replikation 1) - Genomloppstid för bagage under måndagen	98
Figur 10.3 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario B - tidsberoende medelvärde	99
Figur 10.4 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario B	99
Figur 10.5 Antal bagage i systemet under måndagen - Diagram för grundscenariot och Scenario B (replikation 1)	100
Figur 10.6 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario C.....	103
Figur 10.7 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario C - tidsberoende medelvärde	104
Figur 10.8 Diagram över antal bagage i systemet under måndagen i grundscenariot och Scenario C (replikation 1)	104
Figur 10.9 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario D	107
Figur 10.10 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario D - tidsberoende medelvärde	108
Figur 10.11 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario D	108
Figur B 1.1 Normalfördelning - Fördelningskurva (symmetrisk kring μ)	118
Figur B 1.2 Triangelfördelning - Fördelningskurva.....	119
Figur B 1.3 Likformig fördelning - Fördelningskurva	120

Tabellförteckning

Tabell 3.1 Utfall vid 24 tärningskast	34
Tabell 3.2 Ett enkelt simuleringsexempel	36
Tabell 4.1 Olika typer av Decide-moduler.....	40
Tabell 4.2 Exempel på Conveyorsegment	43
Tabell 4.3 Exempel på passagerarantal.....	44
Tabell 6.1 Utdrag ur tidtabellen före bearbetning	50
Tabell 6.2 Utdrag ur tidtabellen efter bearbetning	51
Tabell 6.3 Utdrag ur ankomstprofilmatrisen	52
Tabell 7.1 Del av ankomstprofilmatrisen.....	57
Tabell 7.2 Utdrag ur tidtabellen.....	58
Tabell 7.3 Utdrag ur tidtabellen, efter anpassning för inläsning i ARENA	58
Tabell 7.4 Validering av genomloppstider	69
Tabell 8.1 Grundscenario - Genomloppstid för bagage.....	70
Tabell 8.2 Grundscenario - Antal bagage i systemet.....	72
Tabell 8.3 Grundscenario - Maximalt antal väskor på extravarv.....	75
Tabell 8.4 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full.....	76
Tabell 8.5 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full.....	76
Tabell 8.6 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att fickan är full.....	77
Tabell 9.1 Scenario A0 - Genomloppstid för bagage.....	79
Tabell 9.2 Scenario A0 - Maximalt antal bagage på extravarv	82
Tabell 9.3 Scenario A0 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full.....	82
Tabell 9.4 Scenario A0 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full.....	83
Tabell 9.5 Scenario A1 - Genomloppstid för bagage.....	84
Tabell 9.6 Scenario A1 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full.....	86
Tabell 9.7 Scenario A1 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full.....	86
Tabell 9.8 Scenario A2 - Genomloppstid för bagage.....	87
Tabell 9.9 Scenario A2 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full.....	89
Tabell 9.10 Scenario A2 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full	89
Tabell 9.11 Scenario A3 - Genomloppstid för bagage.....	90
Tabell 9.12 Scenario A3 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full	92
Tabell 9.13 Scenario A3 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full	92
Tabell 9.14 Scenario A4 - Genomloppstid för bagage.....	93
Tabell 9.15 Scenario A4 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full	95
Tabell 9.16 Scenario A4 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full	95
Tabell 9.17 Jämförelse av maximalt antal väskor på extravarv	96
Tabell 10.1 Scenario B - Genomloppstid för bagage	97
Tabell 10.2 Scenario B - Maximalt momentant antal på extravarv	101
Tabell 10.3 Scenario B - Extravarv p.g.a. att MES är full.....	101
Tabell 10.4 Scenario B - Extravarv p.g.a. Röntgen Level 1 är full	102
Tabell 10.5 Scenario B - Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full.....	102
Tabell 10.6 Scenario C - Genomloppstid för bagage	103
Tabell 10.7 Scenario C - Maximalt momentant antal bagage på extravarv	105
Tabell 10.8 Scenario C - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full.....	106
Tabell 10.9 Scenario C - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full.....	106
Tabell 10.10 Scenario D - Genomloppstid för bagage	107
Tabell 10.11 Scenario D - Maximalt momentant antal bagage på extravarv	109
Tabell 10.12 Scenario D - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full	110
Tabell 10.13 Scenario D - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full	110
Tabell 11.1 Kapacitetsanalys - Antal väskor som kommer försent till bagagefickan	112

Tabell 11.2 Känslighetsanalys - Antal väskor som kommer försent till bagagefickan	113
Tabell B 2.1 Band vid incheckningsdiskar	121
Tabell B 2.2 Band från incheckningsbatteri 1 till TiltTray	121
Tabell B 2.3 Band från incheckningsbatteri 2 till TiltTray	122
Tabell B 2.4 Band för första röntgenmaskinen i Level 1	122
Tabell B 2.5 Band för andra röntgenmaskinen i Level 1	122
Tabell B 2.6 Band för första röntgenmaskinen i Level 2	123
Tabell B 2.7 Band för andra röntgenmaskinen i Level 2	123
Tabell B 2.8 Band för utsläpp från röntgen Level 2	124
Tabell B 2.9 Band vid första MES-stationen	124
Tabell B 2.10 Band vid andra MES-stationen	124
Tabell B 3.1 Flygbolag	125
Tabell B 3.2 Flygplatser	126
Tabell B 3.3 Flygplanstyper	127

Förkortningar

BSM	Baggage Source Message
EBS	Early Baggage Storage
FIFO	First In First Out
LFV	Luftfartsverket
LIFO	Last In First Out
MES	Manual Encoding Station
QTB	Quick Transfer Baggage
SAO	Stockholm Arlanda Operations
STD	Scheduled Time for Departure

Flygplatskoder och flygbolagskoder återfinns i Bilaga 3.

1 Inledning

Det är en hel vetenskap att få någonting enkelt att se komplicerat ut.

Detta är ett examensarbete inom civilingenjörsutbildningen Kommunikations- och Transportsystem vid Linköpings universitet. Examensarbetet omfattar 20 poäng och har utförts vid Luftfartsverket, avdelning LFV Teknik och på Arlanda flygplats under 2004 och 2005.

1.1 Bakgrund

Arlanda flygplats, belägen ca 40 km norr om Stockholm i Sigtuna kommun, ägs och drivs av Luftfartsverket (LFV). LFV är ett statligt affärsdrivande verk som ansvarar för den civila flygtrafiken i Sverige. Luftfartsverket äger 15 svenska flygplatser och driver ytterligare 4. Förutom att driva flygplatser så har LFV som huvuduppgift att främja den civila luftfarten i Sverige. Vidare ansvarar LFV för flygtrafikledningen i Sverige². Hela Luftfartsverket omsatte år 2002 ca 5.3 miljarder kr och hade 3684 årsanställda³. Den siffran innefattar även dåvarande Luftfartsinspektionen som var en del av LFV och som hade tillsynsansvaret för luftfarten i Sverige. Detta uppdrag sköts fr.o.m. den 1 januari 2005 av den fristående myndigheten Luftfartsstyrelsen.

Arlanda flygplats är den stora centralpunkten inom svensk flygtrafik. Ungefär 15 miljoner passagerare nyttjade Arlanda under 2003⁴ och det gör Arlanda till den överlägset största flygplatsen i Sverige. 2002 nyttjades flygplatsen av 16.5 miljoner passagerare, vilket gör den till den 62:a största flygplatsen i världen, mätt i antalet passagerare. Som jämförelse kan nämnas att den största flygplatsen i världen under 2002, Atlanta/Hartsfield, hade 76.8 miljoner passagerare⁵ samt att Sveriges näst största flygplats, Landvetter, hade 3.6 miljoner passagerare under 2003⁶.

LFV Teknik är en konsultorganisation som har både interna och externa kunder. Exempel på interna kunder är LFV:s flygplatser. Externa kunder kan exempelvis vara kommunala flygplatser. Kärnområden inom LFV Teknik är projektledning, projektering, flygplats- och transportsystem samt lednings- och driftsstöd. LFV Teknik har konsulter med bred och djup kompetens inom dessa områden.

På Arlanda finns idag fyra passagerarterminaler, terminal 2 – 5. Terminal 3 och 4 är inrikesterminaler medan terminal 2 och 5 är utrikesterminaler. Arlanda har under senare tid byggts ut kraftigt för att klara av den förväntade trafikökningen under överskådlig framtid. Denna utbyggnad, kallat projekt *Nya Arlanda*, har bl.a. resulterat i en ny start/landningsbana (Bana 3, eller 01R/19L) och en utbyggnad av Terminal 5 (Centralbyggnad Nord och Pir F). Centralbyggnad Nord innehåller tjugo nya incheckningsdiskar och en ny bagagesorteringsanläggning. Det är denna bagagesorteringsanläggning, även kallad CB, som studeras i detta examensarbete.

Bagageanläggningen byggdes av företaget FKI Logistex Crisplant A/S, ett företag som byggt bagageanläggningar åt ett flertal flygplatser runt om i världen⁷. Bagageanläggningen på Arlanda

² Luftfartsverket, <http://www.lfv.se/site/lfv/about/facts.asp> (acc. 2004-02-13)

³ Luftfartsverket, <http://www.lfv.se/site/library/arsred/arsred2k.html> (acc. 2004-02-13)

⁴ Fröberg (2004), s 2.

⁵ Allet (2003), s 32 – 35.

⁶ Fröberg (2004) s 2.

⁷ FKI/Logistex Crisplant, http://www.crisplant.com/cp_profile.htm (acc. 2004-03-16)

började projekteras 1998 och togs i bruk i oktober 2003. Före och under byggandet av anläggningen har ett antal studier gjorts med syfte att analysera systemets kapacitet. Nu när anläggningen tagits i drift vill LFV Teknik att en analys av det verkliga systemet skall göras för att se om resultatet blev det förväntade och för att se huruvida åtgärder behöver vidtas för att öka systemets kapacitet eller öka dess möjligheter att samtidigt ta emot vissa typer av fligheter.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att göra en studie som visar vilken kapacitet den installerade anläggningen har, och utvärdera huruvida den har kapacitet för att klara av möjliga trafikökningar som kan komma att uppstå de närmaste åren samt föreslå åtgärder för att öka anläggningens kapacitet. Vidare skall en känslighetsanalys göras för att få reda på hur känsligt systemet är för avbrott och störningar, och förslag ska ges på hur konsekvenserna av dessa störningar skall minimeras.

1.3 Avgränsningar

Studien omfattar endast avgående bagage; ankommande bagage hanteras i en separat anläggning som inte omfattas av denna studie. Studien omfattar inte heller avgående bagage som inte är av normalstorlek (exempelvis golfbagar, barnvagnar, skidutrustning etc.) eftersom detta checkas in helt separat och aldrig nyttjar den stora bagageanläggningen. Dock påverkar dessa passagerare systemet eftersom de (antagligen) först ställer sig i den vanliga incheckningskön och försöker checka in sitt bagage på vanligt sätt och på så sätt fördröjer andra ”vanliga” passagerare. Detta tas dock inte med i modellen då det är ett försumbart problem. Väskorna studeras från den tidpunkt de börjar röra sig på incheckningsbandet till den tidpunkt då de lastas på vagnar för vidare transport ut till flygplanet.

1.4 Uppgiftsspecifikation

För att uppfylla syftet behöver några parametrar studeras. Dessa är:

- **Genomloppstid för bagage** – Tid är den absolut viktigaste parametern när det gäller bagagehantering. Bagaget måste lastas i flygplanet innan avgång, annars innebär det stora merkostnader för flygbolagen, passagerarna kan bli försenade och irritation kan lätt uppstå.
- **Antal bagage i systemet** - Ett bra mått på hur stor del av anläggningens kapacitet som nyttjas är hur många väskor som är inne i anläggningen.
- **Antal extravarv**⁸ - Detta mått används för att mäta kapaciteten hos olika stationer i systemet. Om det uppstår många extravarv så är kapaciteten för den specifika stationen inte tillräcklig.

1.5 Metod

Till kapitlet *Simulerings teori* har en litteraturstudie gjorts. Huvudbok i denna studie har varit *Simulation with Arena, 2nd edition* av Kelton, Sadowski och Sadowski. Det är den kursbok som använts i simuleringskurser inom utbildningen. Boken är bra och täcker området på ett bra och strukturerat sätt. Denna har kompletterats med *Simulation with Arena, 3rd edition* av Kelton,

⁸ Med extravarv menas att en väska åker runt ett helt varv på bagagesorteringsbandet eftersom det var fullt i inloppet till den station som väskan skulle lämnas av på.

Sadowski och Sturrock eftersom den baseras på ARENA version 7.01, *Simulation with Arena, 2nd edition* baseras på ARENA version 5.0 som är en äldre version. Den ARENA-version som använts i studien är version 8.0, som är mer lik 7.01 än 5.0. Det har ännu inte (mars 2005) givits ut någon *Simulation with Arena* som baseras på version 8.0.

Själva studien har gjorts med hjälp av simulering. Simulering är en avancerad datorstödd analysmetod som används för att studera hur stora, komplicerade system påverkas om man förändrar dem, utan att behöva göra själva förändringen.⁹ Simulering har många fördelar varav den största är i min mening att det till en förhållandevis ringa kostnad går att få fram mycket bra underlag till beslut. Mer om simulering i kapitel 3. Simulering valdes som metod i denna studie p.g.a. möjligheten att göra studier och analyser av ett system utan att behöva ändra i det befintliga systemet. En annan fördel med simulering är att en simuleringsmodell är flexibel, d.v.s. att det går att göra små förändringar i en modell eller i indata till modellen och på så sätt analysera ett helt nytt scenario till en liten kostnad.

Det simuleringsprogram som använts i studien är ARENA version 8.0, från Rockwell Software. ARENA är ett av de ledande simuleringsverktygen och är även det verktyg som författaren bekantat sig med under utbildningen. Valet av verktyg var därför ganska enkelt. Version 8.0 är en ny version av ARENA, som författaren inte arbetat med förut. Versionsbytet har dock inte inneburit några större problem under arbetets gång. En utförlig beskrivning av ARENA och hur programmet använts återfinns i kapitel 4.

1.6 Resurser

Examensarbetet har utförts vid LFV Teknik, avdelningen för Airside belägen på LFV:s huvudkontor i Norrköping. Examensarbetet utgör det sista delmomentet i civilingenjörsutbildningen Kommunikations- och Transportsystem vid Linköpings universitet, tekniska högskolan. Ämnesområdet är Kommunikations- och Transportteknik. Handledare har varit Natanael Ljung, LFV Teknik och Tobias Andersson, Institutionen för Teknik och Naturvetenskap (ITN). Examinator har varit professor Peter Värbrand, ITN.

Övriga personer som stått till förfogande under arbetet har varit personer som på olika sätt anlitats som sakkunniga inom olika områden. Omnämns särskilt bör Jonas Skovgaard, ansvarig för driftsättningen av bagageanläggningen, Anders Andersson, tidtabellkoordinator, och Anna Lindh, ingenjör på LFV Teknik som bidragit med hjälp med Arena.

1.7 Rapportens struktur

Kapitel 2 innehåller en beskrivning av bagagehanteringssystemet för att läsaren ska få en bild av hur systemet är uppbyggt. Sedan följer kapitel 3 som behandlar simuleringsteori. Kapitel 4 beskriver det använda simuleringsverktyget ARENA. Kapitel 5 behandlar den konceptuella modellen av anläggningen. Kapitel 6 behandlar modelldata, där redovisas den data som varit nödvändig för att modellen ska fungera. Kapitel 7 beskriver själva simuleringsmodellen och hur den är uppbyggd. I Kapitel 8 redovisas resultaten av simuleringen av den grundmodell som skapats och som analysen är baserad på. Kapitel 9 och 10 redovisar de experiment som gjorts med modellen, kapitel 9 behandlar kapacitetsanalysen och kapitel 10 behandlar känslighetsanalysen. I kapitel 11 tolkas och analyseras resultaten av simuleringarna och rekommendationer för fortsatt arbete görs.

⁹ Kelton, W. D. et. al. (2002) s 3.

1.7.1 Läsanvisningar

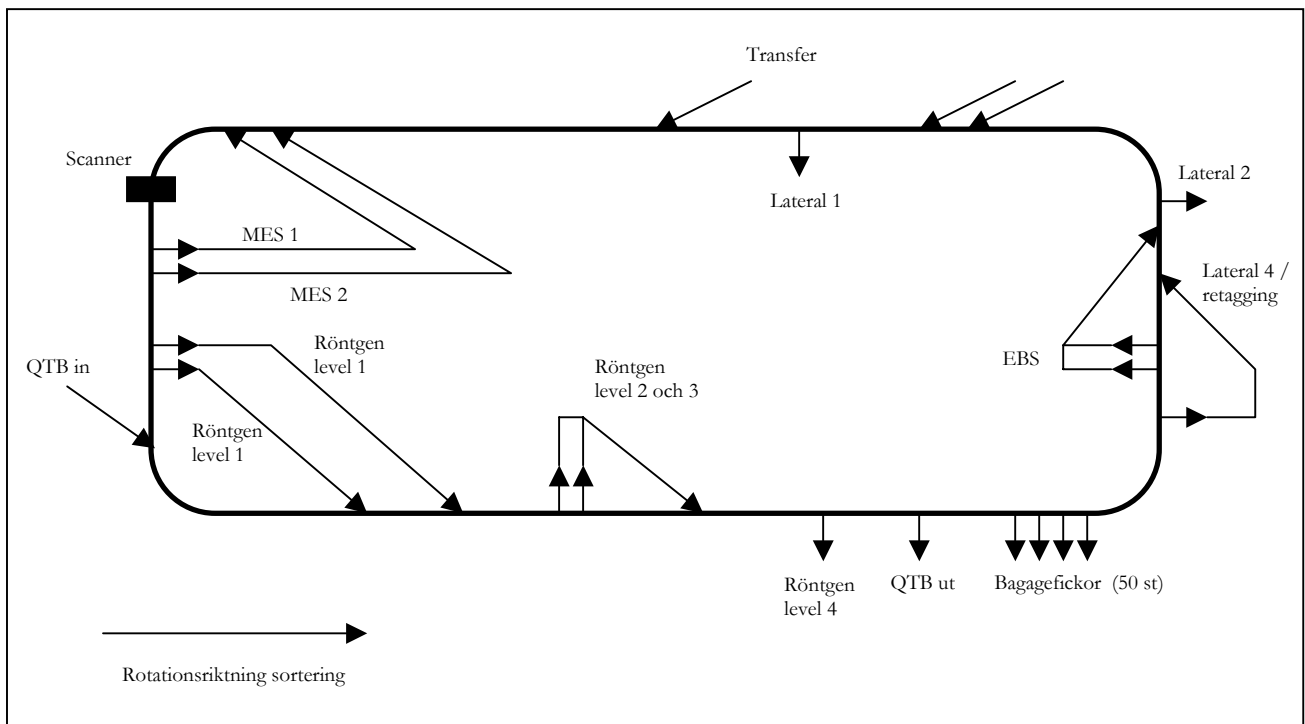
För den som inte känner till anläggningen rekommenderas att rapporten läses från början till slut. Är läsaren väl insatt i hur anläggningen är uppbyggd så kan denne hoppa över kapitel 2. Om läsaren anser sig vara väl insatt i simulering så kan denne med fördel hoppa över kapitel 3. Känner läsaren sig marginellt intresserad av simuleringsverktyget ARENA så kan denne hoppa över kapitel 4. Är läsaren inte intresserad av själva modellen utan endast de experiment som gjorts med den så kan läsaren även hoppa över kapitel 5, 6 och 7.

2 Systembeskrivning

I detta kapitel ges en beskrivning av hur bagagesorteringsanläggningen är uppbyggd.

Bagagesorteringsanläggningen är av typen tilt-tray. Den är uppbyggd av ett band bestående av 426 vikbara brickor som åker runt i en lång slinga. Varje bricka är 120 cm bred och bandets totala längd är ca 550 m. Bandet åker runt med en hastighet av 1,8 m/s vilket gör att det tar ungefär 5 minuter för en bricka att åka ett varv. Bagaget anländer till slingan via ett antal inloppspositioner bestående av löpande band. Bagaget lämnar slingan genom att brickan viks och väskan åker ner i en rutschbana till den avsedda platsen. En schematisk bild av systemet finns i Figur 2.1.

I terminal 5 finns i dagsläget tre bagageanläggningar, en som betjänar pir A (T5A), en som betjänar pir B (T5B) samt den som studeras i detta examensarbete (CB) som i dagsläget betjänar pir F. En ny bagageanläggning som betjänar pir A (T5A) har nyligen tagits i bruk. Även den anläggningen är av typen tilt-tray. Eftersom CB och T5A ligger vägg-i-vägg med varandra så kommer det byggas anslutningar mellan anläggningarna för att möjliggöra samordning av bagagehantering mellan de båda. Förberedelser är gjorda för att enkelt kunna ansluta T5A-anläggningen till CB-anläggningen¹⁰.



Figur 2.1 Schematisk beskrivning av bagageanläggningen¹¹

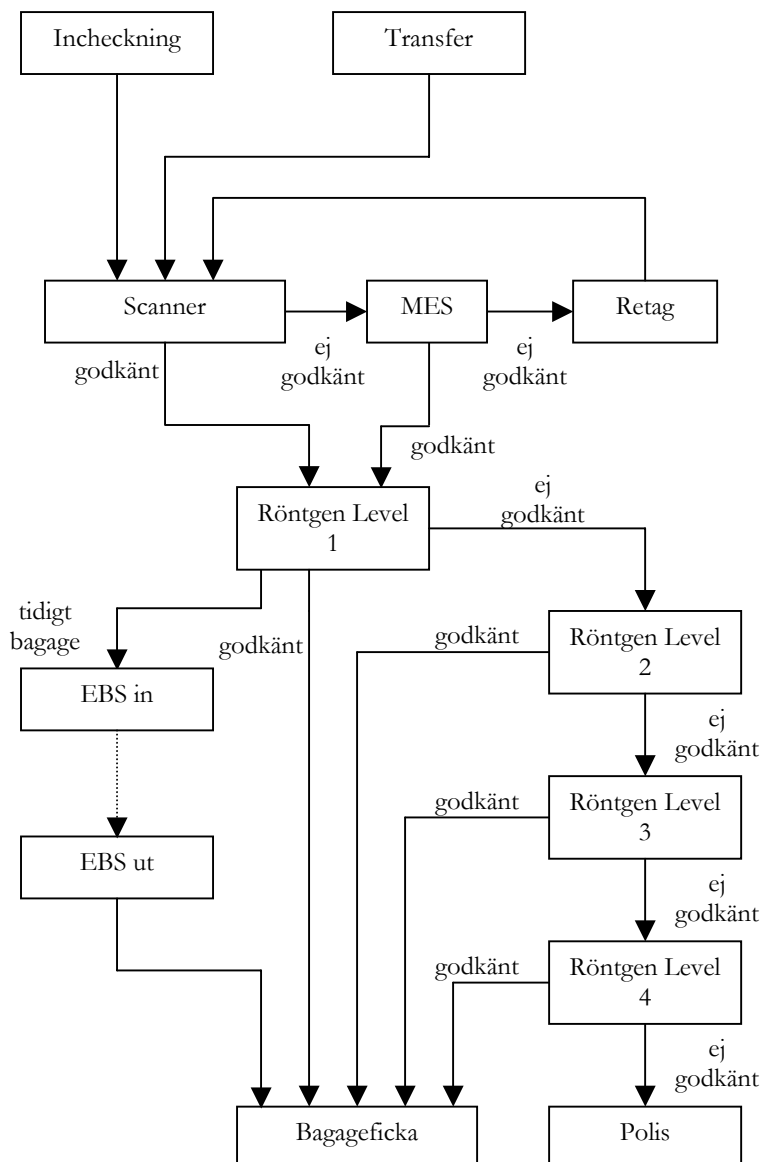
I Figur 2.1 är bagageslingan den tjocka ringen i bilden. De pilar som är lutande mot ringen representerar inloppspositioner medan de som är vinkelräta mot ringen representerar utsläppspositioner.

¹⁰ Bagageanläggningarna i terminal 5 har alla sina egna incheckningsdiskar. Disk 1-32 betjänar pir B-anläggningen, disk 33-70 betjänar pir A-anläggningen och disk 71-90 betjänar pir F-anläggningen (den som studeras här).

¹¹ Ljung, N. *Operativ handbok – Bagagehanteringssystem, centralbyggnad Nord* – LFV interndokument Ta/NaLj 03:31 version 03.00. s 13.

2.1 Bagagets väg från incheckning till flygplan

Passageraren checkar in sin väska vid en av incheckningsdiskarna i Centralbyggnad Nord. Väskan förses med en bagagetag och åker in i den för passageraren okända världen som är bagageanläggningen. Väskan åker på det löpande bandet ner en våning och släpps ut på tilt-trayslingan. I den passerar väskan först en scanner som läser av taggen. Därefter släpps väskan ner på ett band som tar den till röntgenmaskinen för Level 1. Väskan blir tyvärr inte godkänd där och släpps ut på slingan igen. Därefter släpps väskan återigen ner på ett band som tar den till röntgenmaskinen för Level 2. Där godkänns väskan och släpps ut på slingan igen. Väskan släpps ner i den bagageficka där allt bagage för dess flight samlats. Där ligger väskan och väntar till dess att personal lastar den på en bagagevagn, kör ut vagnen till flygplanet och lastar in väskorna i det. En schematisk beskrivning i form av ett flödesschema återfinns i Figur 2.2.



Figur 2.2 Flödesschema över bagagets väg genom systemet

2.2 Tilt-trayanläggningen

Ryggraden i systemet är den s.k. tilt-trayanläggningen, träbrickor som är vikbara och som åker runt i en slinga. Figur 2.3 är ett fotografi som visar en del av anläggningen¹². Väskor åker ner på brickorna från olika inloppspositioner och lämnar slingan genom att brickan viker sig och väskan rutschar ner till avsedd plats. Varje bricka rymmer ett kolli. Anläggningen är helt automatisk och datorstyrd. Hur styrningen är uppbyggd studeras inte inom ramen för detta examensarbete.



Figur 2.3 Bagageanläggningen

2.2.1 Scannern

Allt bagage går igenom en scanner som läser av bagagetaggen på väskan. Bagagetaggen är den klisterlapp som sätts på väskan vid incheckningen. Där finns information om väskans destination, vilka flygplatser väskan ska mellanlanda på, vilken flight den ska åka med, vem som äger den etc. I och med att scannern läser av vilken flight väskan ska med så vet bagageanläggningen vilken av fickorna som väskan ska till efter det att den gått igenom systemet. Varje flight har en eller flera bagagefickor som tilldelats till just den flighten. Om scannern inte kan läsa av taggen skickas väskan in till MES – Manual Encoding Station (se vidare i avsnitt 2.3.3).

¹² Figur 2.3 visar bagageanläggningen vid scannern, de pålastningsband som ses till höger om slingan kommer från MES-stationen. TiltTray-slingan rör sig i riktning mot fotografen.

2.3 Inloppspositioner

Det finns ett antal inloppspositioner till slingan. Dessa utgörs av:

- Två transportband från incheckningen
- Ett transportband för transferbagage
- Två transportband från MES
- En pålastningsstation för QTB, Quick Transfer Baggage
- Två transportband från röntgen Level 1
- Ett transportband från röntgen Level 2 och 3
- Två hissar för transport från EBS, Early Baggage Storage
- Ett transportband från Lateral 4 / retagging-positionen

2.3.1 Incheckning

I Centralbyggnad Nord finns tjugo incheckningsdiskar, disk 71-90. Dessa diskar är de enda diskar som i nuläget nyttjar anläggningen. Där checkas bagaget in av incheckningspersonalen. De tjugo incheckningsstationerna skickar bagaget vidare till två transportband som för bagaget till huvudanläggningen, som ligger en våning under incheckningen.

2.3.2 Transferbagage

Transferbagage, d.v.s. bagage som tillhör passagerare som endast byter flygplan på Arlanda, innefattas också av systemet. Detta bagage lastas på vid en pålastningsstation av personalen som tömmer ankommande flygplan.

2.3.3 MES – Manual Encoding Station

Till MES kommer allt bagage vars bagagetag av någon anledning inte kan läsas av scannern. Här finns det personal som manuellt läser av taggen med hjälp av en handscanner. Därefter skickas bagaget tillbaka ut på slingan. Om det av någon anledning inte finns någon tag på väskan så skickas väskan till retag-positionen (se avsnitt 2.3.8).

2.3.4 QTB – Quick Transfer Baggage

Quick Transfer Baggage är sådant transferbagage som det är väldigt bråttom med. Detta bagage lastas in i tilt-tray-slingan på en särskild plats. Därefter går bagaget snabbt genom röntgenproceduren för att sedan släppas ut från slingan på ett speciellt QTB-ställe ifrån vilket väskan snabbt kan lastas på det flygplan den skall åka med.

2.3.5 Röntgen Level 1

Röntgen av bagage sker i fyra olika nivåer. Den första nivån är en helt automatisk röntgen i en maskin som heter *Heimann EDS*. Heimann EDS-maskinen godkänner upp till 70% av bagaget. Det bagage som blir godkänt skickas direkt till sin bagageficka för vidare transport ut till flygplanet (se även avsnitt 2.4.2). Det bagage som inte blir godkänt skickas till röntgen level 2. Heimann EDS-maskinen klarar av att röntga 1 500 kollin/h.

2.3.6 Röntgen Level 2 och 3

Level 2-röntgen är även det en maskinell röntgen. Maskinen är en tomografisk skiktröntgen och heter *Invision CTX*. Godkänt bagage skickas till bagageficka medan icke godkänt bagage går vidare till level 3. P.g.a. ökade säkerhetskrav så skickas allt bagage som ska till USA direkt till röntgen Level 2. Amerikanerna anser inte att Level 1-röntgen är tillräckligt säker utan vill att allt bagage som ska dit skall skiktröntgas. Invision CTX-maskinen klarar av att röntga 500 kollin/h.

Level 3-röntgen är att en operatör i ett kontrollrum granskar bilden på bagaget som togs i Level 2. Om denne godkänner bagaget skickas det till sin bagageficka, i annat fall skickas det till Level 4 (se avsnitt 2.4.1).

2.3.7 EBS - Early Baggage Storage

EBS är ett lagringsrum för bagage som checkats in tidigt. Passagerare kan om de vill checka in sitt bagage upp till 24 timmar innan planet avgår. Incheckning av tidigt bagage sker då vid en speciell disk. Denna disk är sammankopplad med övriga incheckningsdiskar och bagaget kommer följaktligen in i slingan. Detta bagage hamnar efter godkänd röntgen i det speciella lagringsrummet som ligger under sorteringsanläggningen. Där ligger det och väntar tills dess att en bagageficka har tilldelats till flighten då väskan hämtas upp och skickas till sin bagageficka. Den vanliga incheckningen brukar dock inte öppna förrän ca 2-3 timmar innan avgång, och det är inte förrän då som en flight tilldelas en egen bagageficka i sorteringsanläggningen. Systemet är helt automatiserat och lagringsrummet har plats för upp till 800 väskor. EBS är även det ett helt automatiserat system.

2.3.8 Lateral 4 / retagging

Lateraler är långa, raka löpande band som används vid speciella tillfällen. Ett exempel är om det av någon anledning skulle vara fullt i kön till någon av röntgenstationerna (eller om det skulle vara stopp i dem), då kan lateralerna användas som tillfällig lagringsplats för att undvika att väskor bara åker runt runt i slingan och på så sätt tar upp onödig plats.

Det finns fyra lateraler (Lateral 1-4), där den fjärde även är en retagging-position. Där sitter personal som kan skriva ut nya taggar till väskor som av någon anledning inte har några. Dessa väskor skickas sedan ut på slingan igen för att gå igenom scannern och hanteras vidare på vanligt sätt.

2.4 Utsläppspositioner

Det finns även ett antal utsläppspositioner från slingan. Dessa är:

- Fyra lateraler
- Två transportband till MES
- Två transportband till röntgen Level 1
- Två transportband till röntgen Level 2 och 3
- Ett transportband till röntgen Level 4
- Ett transportband för utgående QTB
- 50 bagagefickor
- De två hissarna till EBS

2.4.1 Röntgen Level 4

Bagage som inte godkänts i Level 3 skickas till ett speciellt kontrollrum där en manuell kontroll av väskan görs, väskan öppnas och går igenom. I Level 4-rummet finns även tillgång till en konventionell röntgenmaskin ifall en sådan kontroll skulle behövas. Godkänt bagage tas fysiskt från Level 4-rummet till flygplanet. Bagage som inte godkänns i Level 4 överlämnas till polisen för vidare hantering. På Arlanda är det mycket ovanligt att bagage inte godkänns i Level 4.

2.4.2 Bagagefickorna

När bagaget hamnar i någon av de 50 bagagefickorna är det godkänt och färdigt för att lastas. Härifrån lastas väskorna i bagagevagnar eller speciella containrar för flygbagage för vidare transport ut till flygplanet. När bagaget har lämnat en bagageficka är det inte längre intressant för denna simuleringsstudie.



Figur 2.4 Bagagefickorna

Figur 2.4 är ett fotografi som visar hur bagagefickorna ser ut i verkligheten. Bilden visar ficka 27 – 31, räknat från höger. Det är ficka 28 som har många väskor i sig. Pilen i bilden pekar på TiltTray-anläggningens brickor som åker förbi fickorna på sin slinga.

3 Simuleringsteori

I detta kapitel behandlas vad simulering är, vilka olika slags simuleringsstudier det finns och vilka steg som ingår i en simuleringsstudie. Vidare tas ett antal olika begrepp upp och förklaras. Dessutom ingår ett avsnitt om statistiska fördelningar och slumpetal. Till sist ges ett enkelt exempel på en simuleringsstudie.

Ett system och dess karakteristik kan studeras på ett antal olika sätt. Det som kanske ses som mest självklart att göra då man vill veta resultatet av en förändring i ett system är att experimentera med det verkliga systemet. Detta kan dock vara förenat med stora kostnader och andra konsekvenser för verksamheten i systemet – i en fabrik kan en flyttning av en produktionslina innebära ett stort fall i produktionskapaciteten, vilket ofta ger minskade intäkter. Ibland är det kanske inte ens möjligt att göra förändringar för att sedan utvärdera dess konsekvenser. Då behövs andra angreppssätt. Ett sådant angreppssätt kan vara att ta fram en matematisk modell som beskriver olika samband inom systemet. Det fungerar ofta bra när det handlar om små, enkla system. För större, mer komplexa system krävs andra analysmetoder. Det är där simulering kommer in i bilden.¹³

3.1 Vad är simulering?

Simulering är ett samlingsbegrepp för ett antal olika metoder för att efterlikna riktiga system och dess karakteristik. Simulering är ett kraftfullt analysverktyg som används inom många skiftande områden. Simulering görs nuförtiden oftast med datorer och speciella simuleringsprogramvaror. Kelton, Sadowski och Sturrock ger följande definition av simulering:

”Simulation refers to a broad collection of methods and applications to mimic the behaviour of real systems, usually on a computer with appropriate software. In fact ‘simulation’ can be an extremely general term since the idea applies across many fields, industries, and applications [sic!].”¹⁴

Simulering handlar om system och modeller av dem. Ofta är målet med en utredning att ta reda på vad som händer med ett system givet vissa kriterier. Istället för att experimentera med det riktiga systemet kan det vara en fördel att istället bygga en modell av systemet och utföra experimenten på modellen. Modeller kan vara av olika slag, ett vanligt modellexempel är pappersmodeller av stora byggprojekt. Sådana modeller görs för att personer lättare ska kunna skapa sig en bild av den färdiga byggnaden innan denna existerar. I de flesta sammanhang används numera datormodeller för att efterlikna system.

Modeller kan delas in i två olika kategorier, modeller av befintliga system och modeller av icke-existerande system. I detta examensarbete har en modell gjorts av ett befintligt system (bagageanläggningen). Innan bagageanläggningen byggdes gjordes modeller och simuleringar av det tänkta systemet för att analysera anläggningens kapacitet och därefter gjordes modifieringar på den ursprungliga konstruktionen för att förbättra dess kapacitet.

3.1.1 Varför simulering?

Simulering har många fördelar. En sådan är att inför stora investeringsbeslut, exempelvis utformningen av en produktionslina i en fabrik, kan bra beslutsunderlag fås till förhållandevis låga kostnader. Istället för att experimentera med det verkliga systemet (flytta produktionslinor i själva

¹³ Barkman, J. & Palmerius A., (2004), s 19.

¹⁴ Kelton, W.D. et. al. (2004), s 3.

lokalen) kan analyser av olika utformningsalternativ göras i simuleringen utan att produktionen berörs överhuvudtaget, vilket sparar pengar.

En annan fördel med simulering är att om det finns en modell av ett befintligt system så kan tillförlitliga prognoser göras för vad som händer med systemet om förändringar sker, innan de sker. Förslag kan även ges på åtgärder för att förebygga eventuella problem.

En tredje fördel är att, jämfört med andra analysmetoder, klarar simulering av att analysera väldigt komplicerade modeller av likaledes komplicerade system. Det går att bygga mycket komplicerade modeller av stora system och analysera dem, likväl som det går att bygga enkla modeller av små system eller delsystem. Simulering är ett bra analysverktyg i båda dessa situationer.

3.1.2 Nackdelar med simulering

Eftersom de flesta system påverkas av okontrollerbara faktorer, betyder detta att de flesta simuleringsmodeller innefattar stokastisk (slumpmässig) indata vilket innebär att även modellens utdata blir stokastisk. Med andra ord så får man inte samma svar om modellen körs två gånger, det finns en osäkerhet i modellen. För att överkomma detta problem körs simuleringen flera gånger (flera replikationer) med olika indata och därefter studeras resultaten av körningarna och slutsatser dras utefter medelvärden av resultaten från alla körningar (se avsnitt 3.3.10).

Visserligen skulle det gå att bygga modeller som inte innehåller några stokastiska element, men för att uppnå detta (i avancerade system) måste ett antal antaganden om systemet göras, och dessa antaganden innebär antagligen att modellen inte återspeglar det verkliga systemet bra nog. En sådan modell ger ett exakt svar på fel problem, det är dock (oftast) bättre att få ett approximativt svar på rätt problem.

3.1.3 Olika typer av simuleringar

Det finns ett antal olika sätt att klassificera simuleringsmodeller. Ett användbart sätt är att klassificera utifrån följande tre kriterier:¹⁵

- **Statisk eller dynamisk.** I en statisk modell är tid inte en påverkande faktor, vilket det är i en dynamisk modell. De allra flesta modeller är dynamiska.
- **Tidskontinuerlig eller diskret.** I en tidskontinuerlig modell kan systemet förändras under hela simuleringstiden. Ett exempel på en tidskontinuerlig modell är när vattennivån i en tank sjunker respektive stiger när vatten tappas ur eller tappas i. I en diskret modell kan simuleringen ”hoppa” direkt till nästa tid då något ska hända i modellen, s.k. händelsestyrd simulering. Många simuleringsmodeller kan vara kombinerade av både kontinuerliga och diskreta element.
- **Deterministisk eller stokastisk.** Modeller som inte innehåller några slumpmässiga element är deterministiska medan modeller som innehåller slumpmässiga element är stokastiska. De allra flesta modeller är stokastiska eftersom nästan alla system innehåller någon form av slumpmässighet som inte går att bortse från. Om det är ett rent deterministiskt system som ska analyseras är det inte säkert att simulering är det bästa analysverktyget – då kan det kanske vara bättre att exempelvis bygga en optimeringsmodell istället.

¹⁵ Kelton W.D. et. al. (2004), s 9-10

3.2 Olika delar i en simuleringsstudie

Varje simuleringsstudie är unik eftersom studien är uppbyggd kring det unika problemet och de förutsättningar som gäller för det. Därför finns det naturligtvis inte någon fördefinierad mall för hur en simuleringsstudie ska se ut. Dock finns det ett antal olika steg som ofta förekommer i simuleringsstudier, dessa är¹⁶:

- Skapa förståelse för systemet
- Ha tydliga mål
- Formulera konceptuell modell
- Bygg modellen i ett simuleringsprogram
- Verifiera modellen
- Validera modellen
- Formulera experiment
- Utför experiment
- Analysera resultat
- Tolka resultat
- Dokumentera arbetet

De olika stegen behandlas lite mer noggrant i avsnitten 3.2.1 - 3.2.12. Naturligtvis går de olika stegen i en studie in i varandra på ett eller flera sätt, d.v.s. de olika momenten kan överlappa varandra i viss mån.

3.2.1 Skapa förståelse för systemet

Det första steget i en simuleringsstudie är att skapa förståelse för det system som ska studeras. När det gäller befintliga system bör anläggningen som ska studeras besökas för att skapa en känsla för systemet. Dessutom bör folk som arbetar med systemet intervjuas för att skapa större insikt i systemet. När icke-existerande system modelleras är det ännu viktigare att skapa en dialog med systemets skapare och även dess beställare för att insikt i systemet ska kunna uppnås.

3.2.2 Ha tydliga mål

Det är fel att säga att en simuleringsstudie kan ge svar på andra frågor än den faktiskt kan. Det gäller att förstå vad resultatet av studien kan bli och inte vänta sig något mer än det. Det är viktigt att vara tydlig med vad som ska mätas, observeras, ändras och framför allt vilka resultat som ska uppnås. Dessutom är det viktigt att regelbundet under studien återkoppla till studiens syfte och mål för att bibehålla studiens fokus.

3.2.3 Formulera konceptuell modell

Den konceptuella modellen är, förenklat, modellen på papper. Innan en modell byggs i ett simuleringsprogram behöver modellen formuleras på papper och i tankarna hos de som simulerar och de som ska dra nytta av studiens resultat. Det behövs för att det är viktigt att ha en struktur att arbeta efter vid implementeringen av modellen i ett simuleringsprogram, se avsnitt 3.2.4.

Det som särskilt bör tänkas på när den konceptuella modellen skapas är:

- Vilken detaljnivå är lämplig?
- Vilka delar behöver modelleras noggrant och vilka delar kan modelleras lite mer standardmässigt?

I denna del är det mycket viktigt att ha kontakt med folk som är väl insatta i systemet för att skapa en så korrekt modell av systemet som möjligt.

¹⁶ Kelton W.D. et. al. (2004), s 42-43

3.2.4 Bygg modellen i ett simuleringsprogram

När den konceptuella modellen är klar är det dags att implementera denna i ett simuleringsprogram (förutsatt att modellen är såpass komplicerad att det behövs). Detta steg tar oftast längst tid, och det är även här som det flesta problemen brukar uppstå. Här är det dock viktigt att bena ut problemen istället för att ignorera dem. Om problemen ignoreras kan det tyvärr bli så att modellen inte efterliknar det verkliga systemet tillräckligt bra.

Även i detta steg är det viktigt att ha kontinuerlig kontakt med insatta personer i projektet, och då kan animering¹⁷ av olika delprocesser vara till stor hjälp för att underlätta dessa personers förståelse för modellen samt för att upptäcka fel i modellen.

3.2.5 Verifiera modellen

Att verifiera en modell innebär att kontrollera om modellen är riktig. Följande fråga ställs: *Händer det som ska hända i modellen på det sätt som det var tänkt?* Ett annat ord för verifiering är *debugging*, det som görs är helt enkelt att leta efter fel i modellen och dessa fel rättas till. Verifiering är en process som pågår under hela modellbygget, då modeller oftast byggs av mindre delar som verifieras och sedan sätts ihop till större delar som även de verifieras.

Animering är ett bra verktyg att använda vid verifiering, eftersom systemets karakteristik visualiseras på ett tydligt sätt, vilket kan göra det enkelt att hitta självklara fel.¹⁸

3.2.6 Validera modellen

När modellen valideras ställs frågan *Representerar modellen systemet på ett tillräckligt bra sätt?* För att ta reda på detta görs ett antal tester på modellen för att se om den uppför sig på samma sätt som det verkliga systemet givet samma kriterier. Om modellen inte uppför sig på samma sätt som det verkliga systemet så är inte modellen en tillräckligt bra bild av det verkliga systemet, och då behöver modifieringar göras så att modellen representerar systemet bättre.

Valideringsprocessen är ett av de viktigaste stegen i en simuleringsstudie och det är viktigt att lägga ner mycket tid och omsorg på detta steg. Om en modell inte validerats ordentligt så kan inte resultaten av studien anses vara väl underbyggda och en massa arbete är i så fall gjort förgäves. Dessutom kan trovärdigheten för en dåligt validerad modell sänkas avsevärt när den presenteras för de som ska fatta beslut med utgångspunkt från studiens resultat.¹⁹

3.2.7 Datainsamling

Datainsamling är en viktig del i en simuleringsstudie. Det är viktigt att tidigt i studien försöka identifiera vilka data som behöver insamlas eftersom datainsamling kan vara en mycket tidskrävande process.²⁰ En annan viktig del i datainsamlingsprocessen är att validera indatan, d.v.s. kontrollera om den data som tillhandahållits verkligen är den data som behövs för modellen. Den data som finns att tillgå kan behöva bearbetas innan den kan implementeras i modellen vilket kan vara tidskrävande. Dessutom kan simuleringsmodellen behöva anpassas efter vilka indata som finns att tillgå.

3.2.8 Formulera experiment

Att formulera experiment innebär att planera de experiment som ska göras med modellen för att få ut önskat resultat. Med utgångspunkt från de problem som skall lösas och de frågor som ställts

¹⁷ D.v.s. att de olika delarna av modellen visualiseras för användaren, entiteter flödar genom moduler.

¹⁸ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 540

¹⁹ Banks, J. et. al. (1999), s 399

²⁰ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 154

definieras vad som behöver fås ut av experimenten och hur dessa ska utföras för att uppnå önskat resultat. Ofta designas ett antal olika scenarier som representerar olika situationer som systemet kan ställas inför. I en simulering av ett befintligt system används ofta ett s.k. noll-scenario som utgångspunkt. Noll-scenariot innebär att man gör en simulering med de förutsättningar som gäller då experimentet görs, d.v.s. ett nutidsscenario. Noll-scenariot kan med fördel användas i valideringen av modellen, se avsnitt 3.2.6. Noll-scenariot används som ett referensscenario, där alla andra scenarier jämförs med noll-scenariot när resultatet av studien tolkas och analyseras.

3.2.9 Utför experiment

Med att utföra experiment menas att låta datorn göra jobbet. Experimenten genomförs och en mängd data om systemet samlas in. I den här fasen är det inte så mycket för människan som konstruerat modellen att göra; han/hon kan ta rast, gå hem, eller åka på semester medan datorn arbetar.

3.2.10 Analysera resultat

Vid en resultatanalys genomförs (oftast) ett antal statistiska analyser på den av simuleringen genererade datan. Detta görs för att få fram solitt underlag för att på så sätt kunna dra välgrundade slutsatser baserat på studiens resultat.

3.2.11 Tolka resultat

Att tolka resultat innebär att det är dags att dra slutsatser av de resultat som simuleringen gett. Den första fråga som bör ställas är: *Verkar resultatet rimligt?* Det är förstås ofta en väldigt svår fråga att ge ett entydigt svar på, men om känslan är att något inte verkar vara riktigt som det ska så bör nog det arbete som gjorts ses över och det bör göras försök att identifiera vad som i så fall skulle vara ”fel” i modellen.

Därefter är det dags att redovisa de konsekvenser som blir om systemet förändras på de sätt som studerats i simuleringen. Finns det flaskhalsar i systemet? Hur akut är det problemet? Vad ska man göra för att åtgärda det? Eller är det kanske så att systemet klarar av alla scenarier som studerats, och inga åtgärder behövs? Om resultatet av studien visar att inget ”problem” finns, men de som har insikt i systemet påstår att det visst finns problem bör frågan ställas huruvida rätt parametrar i systemet har studerats.

Många resultat kan väcka ytterligare frågor som kan sökas svar på. I sådana fall går det med fördel att föreslå hur arbetet ska gå vidare för att söka svar på de frågor som finns om systemet. Kanske behövs fler simuleringar göras?

3.2.12 Dokumentera arbetet

Att dokumentera arbetet är förmodligen den allra viktigaste uppgiften. Utförlig och noggrann dokumentation är mycket viktigt för att andra människor ska kunna tillgodogöra sig resultatet av arbetet. Särskilt viktigt är detta om vidare arbete med studien skall göras av andra analytiker, vilket är vanligt förekommande.

Det är viktigt att dokumentera kontinuerligt. Eftersom en simuleringsstudie ofta är en lång process är det inte lätt att komma ihåg vad som gjordes från början om det inte dokumenterats. Banks rekommenderar att löpande rapporter ska sammanställas minst en gång i månaden. Fördelen med detta är att om många personer med stor kunskap om systemet även har bra insikt

i arbetet med studien så kan missförstånd redas ut på ett tidigt stadium innan de förorsakar för mycket skada (merjobb).²¹

3.3 Begrepp i en simuleringstudie

I simuleringsterminologin finns det ett antal begrepp som för en icke insatt inte är självklara. Därför kommer följande begrepp att tas upp och förklaras:

- Entitet
- Attribut
- Resurs
- Kö
- Händelse
- Simuleringstid
- Simuleringsklocka
- Variabler
- Tillståndsvariabler
- Replikation

Begreppen förklaras i avsnitt 3.3.1 - 3.3.10.

3.3.1 Entitet

De flesta simuleringar innehåller objekt som skall studeras. Dessa objekt kallas *entiteter*. Det finns två typer av entiteter - dynamiska och statiska. Dynamiska entiteter förflyttas ofta runt i systemet. De kan ändra status, påverka och bli påverkade av andra entiteter och de påverkar systemets utdata och prestanda. En statisk entitet påverkar också systemets prestanda genom att den betjänar andra (dynamiska) entiteter. Statiska entiteter kallas ofta resurser och behandlas i avsnitt 3.3.3.²²

I denna simuleringstudie är passagerarna och bagaget exempel på dynamiska entiteter. Entiteter har och kan även tilldelas attribut, se avsnitt 3.3.2.

3.3.2 Attribut

Attribut är värden som tilldelas enskilda entiteter för att särskilja dessa. Attribut kan ses som lokala variabler för varje enskild entitet. Attribut är värden som speglar vanliga tillstånd för den typen av entiteter, men som har olika värden för varje enskild entitet. Alla entiteter av samma typ har samma attribut, men med olika värden.²³

När en väska checkas in sätts en bagagetag på, bagagetaggen innehåller en mängd information. Informationen på taggen utgör ett flertal attribut till entiteten (väskan), exempel på sådana är ägare, destination och avgångstid. Alla attribut har unika värden för varje enskild väska.

3.3.3 Resurs

En resurs är en statisk entitet som betjänar dynamiska entiteter. Exempel på resurser kan vara maskiner i en fabrik som utövar någon form av arbete på någon form av råvara, ett annat exempel kan vara en kassa i en livsmedelsaffär där kassan betjänar kunden i betalningsskedet.

²¹ Banks J. (ed.) (1998), s 18 och 737-738.

²² Kelton, W. D. et. al. (2004), s 24-25 och Banks J. (ed.) (1998), s 7

²³ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 25, Law A. & Kelton W.D. (2000), s 11 och Banks J. (ed.) (1998), s 7

Dynamiska entiteter ”tävlar” ofta om den service som resurserna ger. En dynamisk entitet kan begära betjäning av en eller flera resurser. Om den inte får det den vill ha så ställer den sig oftast i kö (se avsnitt 3.3.4) eller så begär den hjälp av någon annan resurs, om det är möjligt.

En resurs kan bestå av flera enheter. Ett exempel som illustrerar detta kan vara en bar, bakom vilken tre personer arbetar. Kunder som står runt baren och väntar på service är dynamiska entiteter medan baren är resursen. Resursen har tre enheter, nämligen de tre personerna som arbetar bakom den. Antalet enheter som en resurs har kan ändras under simuleringens gång för att exempelvis spegla att folk går på rast eller att det kommer fler arbetare om det blir högt tryck i baren.²⁴

Resurser har tillståndsvARIABLER, se avsnitt 3.3.6.

3.3.4 Kö

En kö är, precis som namnet antyder, ett ställe där entiteter väntar. Om en entitet ankommer till en resurs som är upptagen så placerar entiteten sig i den kö som är knuten till resursen. En kö kan representera en vanlig kö med människor men den kan även representera ett lagringsutrymme i en fabrik.²⁵

En kö kan omfattas av ett antal olika prioriteringsregler för hur ankommande entiteter ska hanteras. Den vanligaste är FIFO²⁶, som tillämpas i vanliga köer med människor. Andra exempel är LIFO²⁷ och att entiteterna hanteras utifrån värdet på en eller flera attribut, exempelvis om en person i en bar känner bartendern som jobbar i baren kan det vara så att den kunden får betjäning före andra, trots att de andra kunderna stått där längre. I detta exempel har kunden ett ”kändisattribut” vars värde är högre än de andra kunderna i kön och bartendern betjänar folk utifrån värdet på detta ”kändisattribut”.

Köer har tillståndsvARIABLER, se avsnitt 3.3.6.

3.3.5 Variabler

En variabel är ett värde som är detsamma för hela systemet och som kan ändras under systemets gång. Ett exempel kan vara att om en fabrik modelleras och arbetarna (entiteter) har en lunchrast på 45 minuter så kan Lunchrastlängd vara en variabel som är samma för alla entiteter. Ett annat exempel är att om det i ett köpcenter tar 4 minuter att ta sig mellan butik A och butik B så kan GångtidAB vara en variabel som är samma för alla entiteter (kunder).²⁸

²⁴ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 26 och Banks J. (ed.) (1998), s 7-8

²⁵ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 26-27

²⁶ FIFO = First In First Out, entiteterna släpps ut ur kön i den ordning de kom in.

²⁷ LIFO = Last In First Out, entiteterna släpps ut ur kön i omvänd ordning de kom in.

²⁸ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 26

3.3.6 Tillståndsvariabler

En tillståndsvariabel är en variabel som beskriver systemets, köns eller resursens tillstånd, m.a.o. en form av information om systemet. En variabel kan vara en tillståndsvariabel i en studie men behöver inte nödvändigtvis vara det i en annan.²⁹ Exempel på tillståndsvariabler för ett system kan vara:

- AntalEntiteteriSystemet
- AntalUpptagnaResurser
- AntalTillgängligaResurser
- AntalFullaKöer

Exempel på tillståndsvariabler för köer kan vara:

- AntalEntiteteriKö
- KönFull (Ja/Nej)

Exempel på tillståndsvariabler för resurser kan vara:

- Tillstånd (Idle/Busy)
- Tillgänglig (Ja/Nej)
- AntalEntiteterSomNyttjarResurs

3.3.7 Händelse

En händelse definieras som den tidpunkt då någonting sker som förändrar systemets variabler, tillståndsvariabler eller attribut.³⁰ Det finns många olika typer av händelser, t.ex.

- Ankomster – en entitet ankommer in i ett system (tillståndsvariabeln AntalEntiteteriSystemet ökar med 1)
- Försvinnanden – en entitet försvinner ur ett system (tillståndsvariabeln AntalEntiteteriSystemet minskar med 1)
- En entitet ställer sig i en kö (köns tillståndsvariabel AntalKö ökar med 1)
- En entitet börjar betjänas av en resurs (resursens tillståndsvariabel Tillstånd ändras från Idle till Busy)
- Simuleringen slutar – Slutet på simuleringen är kanske inte så självklart att se som en händelse, men det ändrar definitivt systemets tillstånd, så på så sätt kan det ses som en händelse.

3.3.8 Simuleringstid

Simuleringstid är den tid simuleringen pågår. Det finns olika sätt att både starta och avsluta en simulering på. Det enklaste sättet att starta en simuleringsstudie på är det s.k. *empty-and-idle*-läget. Det innebär att simuleringsmodellen är helt tom, inga entiteter finns i systemet, alla resurser är lediga och alla ackumulatorer är satta till 0. Detta sker exempelvis när en livsmedelsaffär öppnar på morgonen, inga kunder (entiteter) finns i butiken och alla kassor (resurser) är lediga.

Man kan även starta en simuleringsstudie med entiteter i systemet. Det kan med fördel göras i system som aldrig är tomma, ett exempel på ett sådant system kan vara en fabrik där produktion pågår dygnet runt. I ett sådant system kan man inte anta att systemet är tomt (*empty-and-idle*) vid någon tidpunkt. Detta löses genom att man låter systemet köra en s.k. uppvärmningstid innan själva studien påbörjas.

²⁹ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 26 och Banks J. (ed.) (1998), s 7

³⁰ Kelton, W. D. et. al. – *Simulation with Arena, 3rd Edition*, s 29 och Banks, J. et. al. (1999), s 60

Det finns även olika sätt att avsluta en simuleringsstudie på, det är möjligt att ha olika *avbrottskriterier*. Det enklaste avbrottskriteriet är att säga att simuleringen ska avslutas efter x antal tidsenheter (exempelvis minuter). Ett annat avbrottskriterium kan vara att simuleringen ska avslutas efter att x antal entiteter har gått igenom systemet. Ett tredje avbrottskriterium kan vara att efter x antal tidsenheter släpps inga fler entiteter in i systemet och studien avslutas när systemet är tomt. Tiden från det att inflödet av entiteter stoppas kallas nedkylningstid och tas då inte med när systemets parametrar studeras eftersom det inte är ett normalt tillstånd för systemet.

3.3.9 Simuleringsklocka

Simuleringsklocka är en variabel som innehåller det momentana värdet av simuleringstiden. I händelsestyrd simulering är simuleringsklockan inte en vanlig klocka som antar alla värden utan den antar endast de värden då en händelse sker i simuleringen. Exempel: Om en sak händer vid tidpunkt 5 och en annan vid tidpunkt 8 så antar simuleringsklockan inte värdena 6 och 7 för då händer ingenting. Det finns ingen vits med att observera tidpunkter då ingenting händer.³¹

3.3.10 Replikation

En replikation är en körning av simuleringsmodellen. En replikation genererar en mängd resultat och statistik som kan analyseras. Eftersom de flesta simuleringsmodeller är stokastiska kan det vara farligt att dra slutsatser efter endast en replikation. De stokastiska variablerna i en simuleringsmodell får nya värden när fler replikationer körs. En replikation kan liknas vid ett urval av möjliga replikationer som alla ger olika resultat, vissa resultat kan ge ganska "extrema" resultat, vilket inte är bra ur simuleringshänseende. För att kunna dra riktiga slutsatser av en simuleringsstudie behöver flera replikationer köras och medelvärden och statistiska fördelningar för dessa resultat beräknas.³²

3.4 Statistiska fördelningar och slumptal

Som tidigare nämnts är de allra flesta simuleringsmodeller som görs stokastiska i någon form. En stokastisk modell är en modell som innehåller någon form av slumpmässighet. Det går exempelvis inte att säga att om en kund kommer in i en butik vid tidpunkten 0 så kommer nästa kund komma exakt 12 sekunder senare, utan det måste göras någon form av kvalificerad uppskattning av vid vilken tidpunkt nästa kund kan tänkas komma. Gissa går naturligtvis att göra på vilket sätt som helst, men för att kunna göra kvalificerade gissningar så behöver de vara underbyggda av någon form av statistik.

När ett icke-existerande system studeras så är det ganska svårt att skaffa fram statistik eftersom det inte finns något att mäta på. Ett sätt kan vara att mäta på liknande system och försöka göra kvalificerade gissningar utifrån det. Om det inte är möjligt att mäta på liknande system är det svårare. Det som då behöver göras är att ha mycket kontakt med personer som är väl insatta i systemet som studeras. Man får lita till att dessa personer kan göra kvalificerade bedömningar av vad som kan tänkas vara rimliga statistiska värden för systemet.

Studeras ett existerande system är det generellt sett enklare att skaffa fram statistik eftersom det i så fall ofta finns möjlighet att gå ut "på fältet" och mäta värden, exempelvis är det fullt möjligt att gå till en livsmedelsbutik och mäta hur lång tid som går innan nästa kund kommer in.

När denna data har insamlats bearbetas den för att avgöra vilken statistisk fördelning som den insamlade datan motsvarar bäst. Detta görs med fördel med hjälp av datorer eftersom det är

³¹ Kelton, W. D. et. al. (2004), s 28

³² Barkman, J. & Palmerius A., (2004), s 50

omfattande (tidskrävande) räkneoperationer som skall göras. I Bilaga 1 finns de vanligaste statistiska fördelningarna beskrivna.

Slutligen matas denna statistiska fördelning med de framräknade parametrarna in i simuleringssmodellen och den används som en kvalificerad gissning för hur den stokastiska variabeln kommer att falla ut.

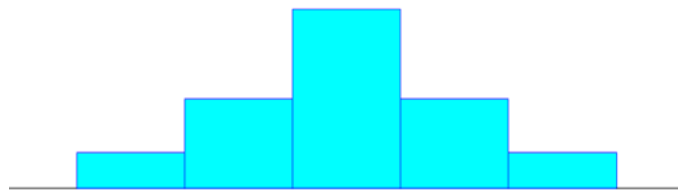
3.4.1 Exempel på statistisk analys

För att underlätta läsarens förståelse för statistisk analys ges nu ett exempel. Antag att en sexsidig tärning slås 24 gånger i följd och varje gång noteras det antal prickar som kommer upp, se Tabell 3.1.

Resultat (antal prickar)	Antal
1	2
2	5
3	10
4	5
5	2

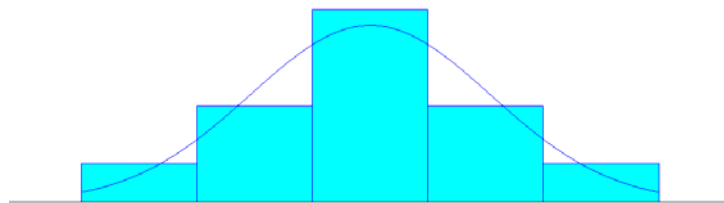
Tabell 3.1 Utfall vid 24 tärningskast

Som synes verkar tärningen vara preparerad med det bortses ifrån för tillfället. Figur 3.1 är ett diagram över utfallet i tabell 3.1. Staplarna representerar de olika utfallen, (2 ettor, 5 tvåor o.s.v.).



Figur 3.1 Diagram över utfall vid 24 tärningskast

Om man nu gör en statistisk analys av utfallet från de 24 tärningskasterna ser man att fördelningen av tärningskasterna bäst motsvaras av en normalfördelning³³ (se Figur 3.2). I Figur 3.2 är den blå kurvan den framräknade normalfördelningen som bäst passar den analyserade datan. Denna normalfördelning har ett medelvärde på 3 och en standardavvikelse på 1,04.



Figur 3.2 Statistisk analys av 24 tärningskast

Nu kan en enkel modell av denna preparerade tärning byggas och dess beteende kan simuleras genom att mata in att sannolikheten för att ett visst värde ska komma upp skall vara

³³ Den statistiska analysen gjordes i Arena Input Analyzer, se avsnitt 4.4.1.

normalfördelat med värde 3 och standardavvikelse 1,04. Det är alltså mest sannolikt att få en trea med den här tärningen.

Den framräknade normalfördelningen blir mer exakt ju fler datapunkter den baseras på. Här var det 24 datapunkter (tärningskast), om det är tillräckligt beror på hur exakt modell av systemet (tärningen) man vill ha. Det kan i det här fallet tänkas att man vill ha en modell (och i detta enkla fall en indatafördelning) som är mer exakt och då krävs det att det görs fler kast med tärningen. Det lämnas dock därhän.

3.4.2 Resultatanalys

När alla simuleringar körts kommer resultaten att analyseras. Ett statistiskt test är att se om det finns någon statistiskt säkerställd skillnad mellan medelvärdet av en variabel vid två simuleringar. För att kunna se detta beräknas ett 95%-igt tvåsidigt konfidensintervall för skillnaden mellan medelvärdena för variabeln. Om detta konfidensintervall inte spänner över 0 (d.v.s. om 0 inte ingår i intervallet) finns det en statistiskt säkerställd skillnad mellan de båda medelvärdena. Om 0 däremot ingår i intervallet så är skillnaden inte statistiskt säkerställd.³⁴

Ett exempel: Om medelvärdet av en variabel är 432 i en körning och 446 i en annan körning kan det vid första anblick verka som om det finns en signifikant skillnad mellan de båda värdena. Det behöver dock inte vara så för det kan vara en stor spridning på medelvärdena för variabeln. För att kontrollera om så är fallet görs ett konfidensintervall för skillnaden mellan de båda variabelernas värden. Skulle detta intervall gå över 0 så går det inte att säga att det finns en statistiskt säkerställd skillnad mellan de båda körningarna.³⁵

3.5 En enkel simulering

För att underlätta förståelsen för läsaren om hur en simulering går till kommer nu ett exempel på en enkel simuleringsstudie utförd för hand. Exemplet är baserat på ett liknande exempel i *Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice* av Banks (red.).³⁶ Barkman och Palmerius har även de gjort ett liknande exempel.³⁷

3.5.1 Simuleringsexempel - postkontor

I detta exempel simuleras ett postkontor (frid åt dess minne) någonstans på den svenska landsbygden med endast en betjäningsskiff. Tanken med en ”riktig” simulering i det här fallet kan vara att utvärdera huruvida postkontoret klarar av att hantera alla kunder med endast en betjäningsskiff eller om det behöver byggas fler skiffrar.

Kunder ankommer till lokalen med mellan 0 och 10 minuters mellanrum. Det tar mellan 1 och 6 minuter att betjäna varje kund. För enkelhetens skull kan antas att alla tider i systemet är hela minuter. Dessa tider har slumpats fram med hjälp av slumpfunktions i Microsoft Excel.

I detta lilla exempel kommer 20 kunders genomströmning i systemet studeras. Det bör poängteras att 20 kunder är ett alldeles för litet underlag för att kunna dra någon välgrundad slutsats om systemets prestanda. För att kunna dra en välgrundad slutsats behöver anläggningen studeras under en längre tid. Simuleringen startar på morgonen när första kunden går in i lokalen,

³⁴ Körner S. & Wahlgren L. (2000), s 208-210

³⁵ Se Kelton, W. D. et. al. (2004), s 260-268

³⁶ Banks J. (ed.) (1998), s 38-40.

³⁷ Barkman, J. & Palmerius A., (2004), s 25-28.

systemet börjar alltså i ”noll-läge” (eng. *empty-and-idle*). Detta innebär förstås att det inte finns någon kö då denna kund kommer utan denne börjar betjänas direkt. Tabell 3.2 på s 36 innehåller simuleringsdata för alla 20 kunder. Den första kolumnen innehåller kundernas ordningsnummer. Den andra kolumnen innehåller tiderna mellan varje ankomst (eng. *inter-arrival times*). Inter-arrival time för kund n definieras som tiden mellan ankomsten för kund n och ankomsten för kund $n - 1$. Den tredje kolumnen visar vad simuleringsklockan står på (den börjar på 0) när kunden ankommer. Den fjärde kolumnen innehåller servicetiderna (betjäningstiderna) för de olika kunderna. Den femte och sjätte kolumnen visar vad simuleringsklockan står på när kunden börjar resp. slutar betjänas. Den sjunde kolumnen visar hur länge kunden har stått i kö innan den fått betjäning. Den åttonde och sista kolumnen visar hur länge kunden varit i systemet, d.v.s. hur länge han/hon varit inne på postkontoret.

[min]							
Kundnr	Tid mellan	Ankomst-	Servicetid	Service	Service	Köttid	Tid i
	ankomster	tid		startar	slutar		system
1		0	4	0	4	0	4
2	7	7	5	7	12	0	5
3	9	16	5	16	21	0	5
4	3	19	4	21	25	2	6
5	1	20	5	25	30	5	10
6	0	20	5	30	35	10	15
7	4	24	1	35	36	11	12
8	9	33	6	36	42	3	9
9	4	37	4	42	46	5	9
10	7	44	5	46	51	2	7
11	3	47	4	51	55	4	8
12	0	47	1	55	56	8	9
13	3	50	2	56	58	6	8
14	6	56	6	58	64	2	8
15	3	59	2	64	66	5	7
16	2	61	1	66	67	5	6
17	6	67	1	67	68	0	1
18	2	69	1	69	70	0	1
19	4	73	1	73	74	0	1
20	8	81	3	81	84	0	3
Summa						68	134
Max						11	15

Tabell 3.2 Ett enkelt simuleringsexempel

Simuleringsklockan startar när den första kunden, en herre i hatt, stiger in på postkontoret, d.v.s. han kommer in vid tidpunkten 0. Han upptäcker att kassörskan är ledig och går direkt fram och blir betjänad. Efter 4 minuter är han färdigbetjänad och han lyfter på hatten och lämnar postkontoret. Kund nr 2, en kvinna, kommer in vid tidpunkten 7 (ty tiden mellan ankomst för kund 1 och 2 var 7 minuter) och finner även hon att kassörskan är ledig och blir även hon betjänad direkt. Så fortgår det hela dagen, de kunder som upptäcker att kassörskan är upptagen tar en kölap och sätter sig och väntar.

Denna studie slutar vid tidpunkten 84, som är tidpunkten då kund nr 20 lämnar lokalen.

3.5.2 Resultatanalys

Nu när simuleringen är gjord kan den data som erhållits analyseras, och förhoppningsvis kan (i det här fallet inte särskilt välgrundade) slutsatser dras utifrån denna analys. Om vi börjar med att titta på kötiden för kunderna ser vi att den totala kötiden för alla 20 kunderna var 68 minuter. Detta ger ett medelvärde på $68 / 20 = 3,4$ min (3 min 24 s), vilket får anses vara tillräckligt kort tid. Vidare ses att mediankötiden är 2,5 min (2 min 30 s). Att den är låg beror förstås på att ganska många kunder (7 av 20, eller 35%) inte stod i kö alls. Den längsta tiden någon stod i kö var 11 minuter.

Vi ser även vid lite närmare analys att det största antalet kunder som stod i kö samtidigt aldrig var fler än 3, och så var fallet endast i 3 av 84 minuter, eller 3,57% av den simulerade tiden.

Tittar vi på tiden som kunderna tillbringade i systemet ser vi att den totala tiden för alla 20 kunderna var 134 minuter. Detta ger oss ett medelvärde på $134 / 20 = 6,7$ min (6 min 42 s). Vi ser även att mediantiden är 7 minuter. Den längsta tiden som tillbringades av någon kund i systemet var 15 minuter. Vi noterar att det inte är samma kund som stod 11 minuter i kö.

Vi kan beräkna den tid som kassörskan är ledig, d.v.s. hur många minuter som lokalen är tom på kunder. Det visar sig att lokalen var tom i 18 minuter, eller $18 / 84 = 21,4\%$ av den totala simuleringstiden.

3.5.3 Resultattolkning

Vilka slutsatser kan vi dra av denna studie? Jo, med tanke på att medelkötiden är endast 3,4 minuter och att 35% av kunderna inte står i kö alls så föreligger det inte någon kapacitetsbrist. Mer faktorer som pekar på detta är att hälften av kunderna står i kö i mindre än $2\frac{1}{2}$ minut, och att lokalen är tom över 20% av tiden.

4 Simuleringsverktyget ARENA

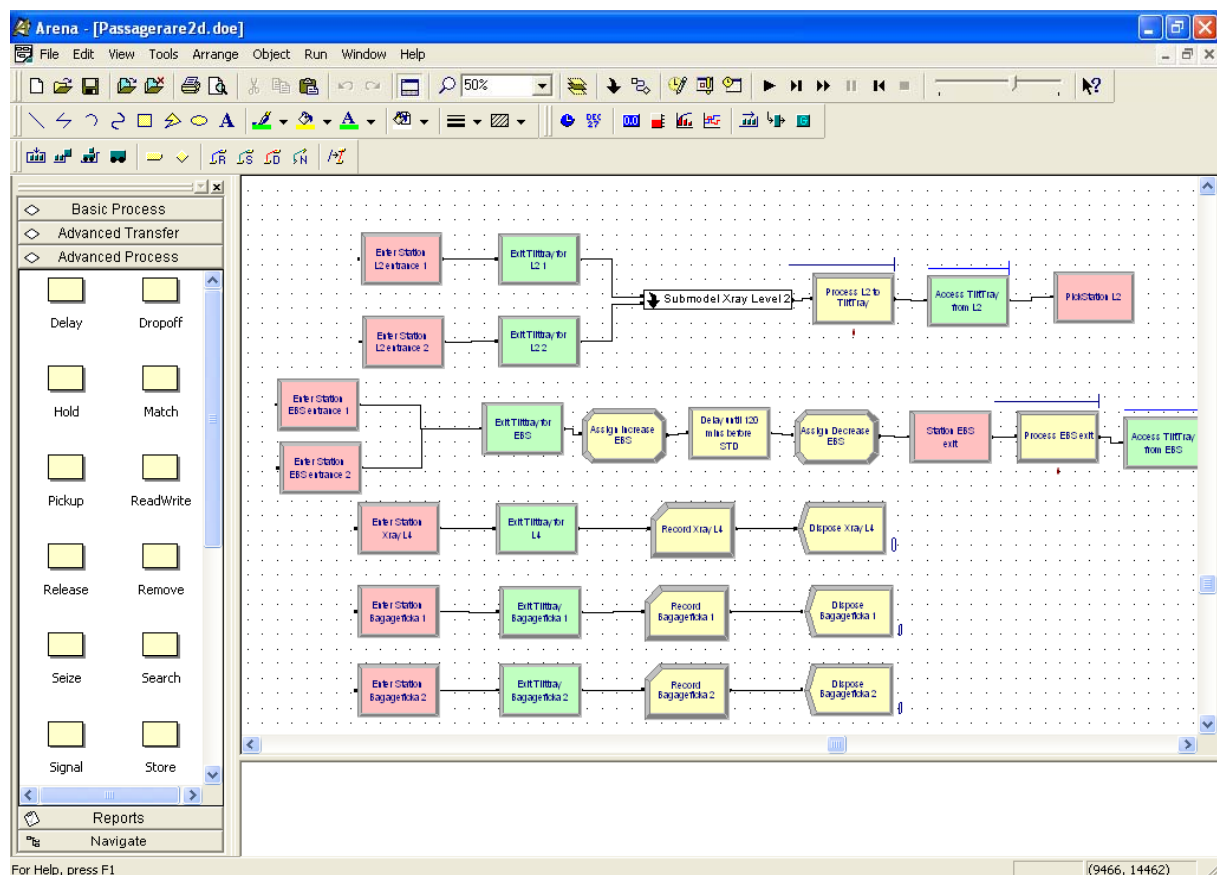
I detta kapitel behandlas ARENA – det simuleringsprogram som använts i studien. En beskrivning av programmets uppbyggnad kommer att ske och funktioner som varit viktiga för studien kommer att presenteras.

ARENA är ett windowsbaserat simuleringsverktyg från Rockwell Software. Arena är ett av de mest använda simuleringsverktygen i världen och det används frekvent vid flödessimuleringar inom verkstadsindustrin.

4.1 Arenas uppbyggnad

Arenas centrala beståndsdelar är *moduler* och *entiteter*. Det finns olika moduler i Arena och dessa utför olika logiska operationer. De logiska operationerna påverkar entiteter. Entiteter är saker som flödar igenom ett system, exempelvis paket vid en paketsorteringsterminal, IP-paket i ett datanätverk eller väskor i ett bagagehanteringssystem. Moduler kan liknas vid stationer som entiteter passerar eller använder och där saker och ting händer med entiteter. Exempel på moduler kan vara sorteringsmaskiner i en brevsorteringsterminal eller en bagageficka i ett bagagehanteringssystem.

Att bygga en modell i Arena innebär att placera ut moduler och konfigurera dessa så att de representerar logiken i det system man vill simulera. Figur 4.1 visar programfönstret i Arena.



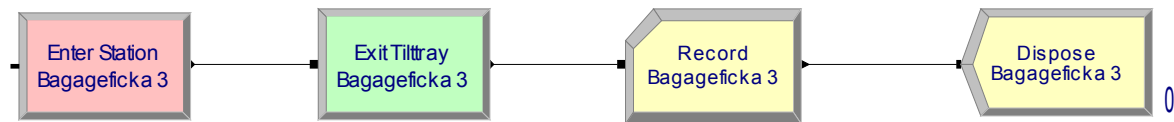
Figur 4.1 Programfönstret i ARENA

Programfönstret består av fyra delar, modellfönster, verktygsfält, datafält och modulpaneler. Modellfönstret är det stora fönstret där modulerna placeras. I verktygsfältet finns en mängd olika

verktyg för att konfigurera moduler och lägga till ytterligare funktioner i modellen. I datafältet visas den data som finns i en modul om man klickar på den. I modulpanelen finns alla de moduler som finns att tillgå i Arena, och dessa införlivas i modellen med dra och släpp-metoden.

4.1.1 Exempel på modulinteraktion

I Figur 4.2 finns ett enkelt exempel på hur fyra olika moduler i modellen interagerar med varandra. Exemplet är en förenklad version av hur man kan modellera en bagageficka.



Figur 4.2 Exempel på fyra moduler som interagerar i ARENA

Den första modulen i Figur 4.2 - *Enter Station Bagageficka 3* - är en enter-modul. Den representerar en ingång till en *station*, i det här fallet en station som heter *Station Bagageficka 3*. Stationer är viktiga moduler som används när entiteter ska transporteras i modellen, entiteter transporteras mellan stationer.

Den andra modulen i figuren - *Exit TillTray Bagageficka 3* - är en Exit-modul. En exit-modul används vid stationer där entiteter lämnar en *conveyor*. En conveyor är ett löpande band. När en entitet befinner sig på conveyorn är en viss yta på conveyorn reserverad för just denna entitet. Exit-modulen används för att frigöra denna yta när entiteten har lämnat conveyorn. I det här fallet frigörs yta på conveyorn *TillTray* när entiteter lämnar den vid stationen *Bagageficka 3*.

Den tredje modulen i figuren - *Record Bagageficka 3* - är en Record-modul. Record-moduler används när statistik behöver insamlas från entiteterna.

Den sista modulen i figuren - *Dispose Bagageficka 3* - är en Dispose-modul. Dispose-modulerna är entiteternas utgång ur systemet. Det är till dispose-modulen som entiteten skickas när den inte är intressant längre. I det här fallet har entiteten (bagaget) passerat igenom hela bagageanläggningen och landat i bagageficka nr 3. I verkligheten kommer väskan ligga i fickan tills den lastas på en bagagevagn och förs ut till flygplanet, men i det här exemplet är inte det intressant och därför försvinner entiteten ut ur simuleringsmodellen.

4.2 Moduler

Det finns många olika moduler i Arena. De moduler som används i denna studie presenteras i detta avsnitt.

4.2.1 Create

Create-modulen används för att skapa entiteter. Det måste finnas minst en Create-modul i en Arena-modell, eftersom det måste skapas minst en entitet. I en Create-modul går det att ange vilken sorts entitet som ska skapas, hur lång tid som ska gå mellan tillfällena då entiteterna skapas, hur många entiteter som ska skapas vid varje tillfälle, hur många entiteter som ska skapas totalt och när den första entiteten ska skapas. I Create-modulen finns en utgång som skickar vidare den skapade entiteten till nästa modul i modellen. Någon ingång finns inte eftersom det inte går att skicka in en entitet i en Create-modul.

4.2.2 Dispose

Dispose-modulen används när entiteter försvinner ur modellen. När entiteten har gått igenom modellen är den inte intressant för studien och då går den till Dispose-modulen. I Dispose-

modulen går det att ange om statistik ska samlas in om entiteterna som kommer dit. I Dispose-modulen finns en ingång, som entiteter anländer till modulen genom. Någon utgång finns inte.

4.2.3 Assign

Assign-modulen används för att tilldela värden. När en entitet passerar genom en Assign-modul kan olika attribut och variabler tilldelas nya värden. Det går även att byta entitetssort med hjälp av en Assign-modul. Assign-modulen har en ingång och en utgång.

4.2.4 Decide

Decide-modulen används när det ska hända olika saker med entiteten beroende på exempelvis värdet på ett eller flera attribut. Det finns 4 olika typer av Decide-moduler, se Tabell 4.1.

	2-way	N-way
Chance	2-way by chance	N-way by chance
Condition	2-way by condition	N-way by condition

Tabell 4.1 Olika typer av Decide-moduler

*2-way*typer har endast två utgångar, *true* eller *false*. *N-way*typer har fler än två utgångar, nämligen lika många som det antal villkor som definieras.

Chance-typer styrs av slumpen. Användaren definierar hur stor chans det är att entiteten ska ta just den här utgången. I *2-way by chance* är det endast ett procenttal som definieras (hur stor chans att entiteten ska gå via *true*-utgången), i *N-way by chance* kan hur många som helst definieras.

Condition-typer styrs av villkor. Entiteten tar en viss väg beroende på värdet av ett villkor. Villkoren kan vara av fyra typer:

- *Attribute* – Entitetens väg bestäms av värdet på ett attribut.
- *Variable* – Entitetens väg bestäms av värdet på en variabel.
- *Entity Type* – Entitetens väg bestäms av vilken sorts entitet det är.
- *Expression* – Entitetens väg bestäms av värdet på ett matematiskt uttryck, ofta en kombination av olika attribut och/eller variabler.

4.2.5 Process

Process-modulen är en modul som kan användas för att modellera en mängd olika saker. Exempel på detta kan vara en tillverkande maskin i en fabrik eller en incheckningsdisk på en flygplats. Till Process-modulen hör en kö där entiteter samlas som ankommit till modulen när den varit upptagen.

I Process-modulen går det att definiera hur lång tid processen ska ta, huruvida en eller flera resurser ska nyttjas eller ej samt vilken kapacitet dessa resurser har. Ett exempel:

En incheckningsdisk modelleras med en Process-modul. In i modulen kommer passagerarentiteter. Vid incheckningen används en resurs som kallas *incheckningsbiträde*. Incheckningsbiträdet har kapacitet att hantera en passagerarentitet åt gången, resten av entiteterna hamnar i kö. Incheckningen tar en viss tid, t.ex. *Norm(50,15)* sekunder. Passagerarentiteten och incheckningsbiträdet är upptagna i modulen under den tid det tar att checka in dem, därefter fortsätter passagerarentiteten till nästa modul i systemet och incheckningsbiträdets kapacitet frigörs så att denne kan betjäna nästa passagerarentitet.

I Process-modulen finns en ingång, en utgång och en kö (se avsnitt 4.2.17).

4.2.6 Delay

Delay-moduler används för att uppehålla entiteter en viss tid. När en entitet anländer till en delay-modul stannar den kvar så länge som definierats i modulen. Exempel: En väska ankommer till ett EBS-lager och hålls där kvar av en Delay-modul som inte släpper iväg den förrän $TNOW = STD - 120$ minuter, d.v.s. när det är 120 minuter kvar till den tidtabellsenliga avgångstiden. Delay-modulen har en ingång och en utgång.

4.2.7 Separate

Separate-modulen används till två saker, att kopiera entiteter och att dela upp batcher av ihopslagna entiteter. I denna studie har Separate-modulen endast använts till att kopiera entiteter. I Separate-modulen går det att ange hur många nya entiteter som ska skapas, samt hur stor del av den ursprungliga entitetens kostnader som ska övertas av kopian/kopiorna. Separate-modulen har en ingång och två utgångar, en för originalentiteten och en för kopian/kopiorna.

4.2.8 Record

Record-modulen används för att lagra statistik om entiteter. Ofta används Record-modulen som räknare för att kontrollera hur många entiteter som passerat genom just denna del av modellen. En Record-modul har en ingång och en utgång.

4.2.9 ReadWrite

ReadWrite-modulen används för att läsa in data från externa filer. Den går även att använda för att läsa in data från tangentbordet eller för att skriva ut data på skärmen eller i externa filer. I denna studie har ReadWrite-modulen endast använts för att läsa in data från Excel-filer. När en entitet ankommer till en ReadWrite-modul så läses en rad i det *Recordset* som definieras i File-modulen (se avsnitt 4.2.10). Recordsetet är en del av den data som finns i den externa filen som också definieras i File-modulen. För att läsa data från externa filer måste filen först läsas av File-modulen. Datan i filen lagras i ett Recordset i File-modulen. ReadWrite-modulen läser sedan värden (första raden) från Recordsetet och lagrar dem som attribut eller variabler. När nästa entitet anländer läses nästa rad i Recordsetet in etc. ReadWrite-modulen har en ingång och en utgång.

4.2.10 File

I File-modulen specificeras egenskaper för den fil som används i ReadWrite-modulen. Filen får sitt Arena-namn (som används av övriga Arena-moduler) och sökvägen till filen definieras. Vidare specificeras vilken typ av fil det är (Text/ASCII, Excel, Access, Works, ADO eller XML). Dessutom definieras de Recordset som används, Recordseten får unika namn som används av Arena.

4.2.11 Station

Station-modulen används när entiteter fysiskt ska förflyttas, förflyttning sker alltid mellan stationer, vilka kan (men måste inte) representeras av en Station-modul. Entiteter kan antingen flytta sig själva (t.ex. människor) eller bli flyttade av exempelvis transportband eller transportvagnar (väskor kan flyttas på detta sätt).

4.2.12 Enter

Enter-moduler används för att representera stationer då transportband (conveyors) används för att flytta entiteter. I Enter-modulen specificeras vilken station som avses och hur lång tid det tar att lasta av entiteter från conveyorn på denna station. Entiteten transporteras med en Conveyor (se avsnitt 4.2.18) till stationen, som representeras av Enter-modulen. När entiteten anländer så

"ockuperar" den plats den har på conveyorn under den tid det tar att anlända till stationen. Därefter går entiteten vidare i modellen, ofta till en Exit-modul, se avsnitt 4.2.13.

4.2.13 Exit

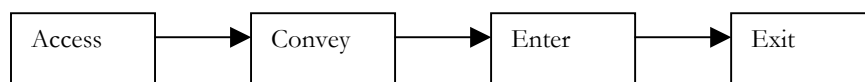
En Exit-modul används när en entitet har varit på en Conveyor (se avsnitt 4.2.18). När entiteten går igenom Exit-modulen frigörs den plats på conveyorn som entiteten ockuperade.

4.2.14 Access

Access-modulen används när en entitet ska transporteras på en Conveyor. När entiteten anländer till Access-modulen så allokeras utrymme för entiteten på den Conveyor som specificeras i Access-modulen. Till modulen finns en kö (se avsnitt 4.2.17) eftersom det kan ta tid innan det tillgängliga utrymmet som allokerats till entiteten anländer till stationen.

4.2.15 Convey

Convey-modulen används för att transportera moduler med conveyors. Efter att entiteten anländer till Convey-modulen transporteras den iväg till den i Convey-modulen definierade målstationen. Figur 4.3 visar vilka moduler som behövs för att modellera en conveyor mellan två stationer.



Figur 4.3 Modulerna som behövs för att modellera en Conveyor

Entiteten ankommer till Access-modulen där plats på conveyorn allokeras. I Convey-modulen transporteras entiteten till stationen som representeras av Enter-modulen. I Exit-modulen frigörs det utrymme på Conveyorn som allokerades i Access-modulen.

4.2.16 PickStation

PickStation-modulen används när målstationen ska bestämmas beroende på värdet på ett eller flera attribut eller variabler. Det går även att välja station beroende på hur många entiteter som står i en viss kö, hur många som är på väg till en viss station och hur många resurser som är upptagna.

4.2.17 Queue

Köer finns till olika typer av moduler, t.ex. Process- och Access-moduler. Köer kan vara av olika slag; FIFO är det vanligaste, men det förekommer även LIFO-köer och köer sorterade efter attributvärden.

4.2.18 Conveyor

I Conveyor-modulen definieras egenskaper för de olika transportband som används. Där specificeras vilken typ av transportband det är (om den stannar eller ej vid på/avlastning), vad segmentet (se avsnitt 4.2.19) som används heter, vilken hastighet den har, hur stor cellen är och hur många celler som maximalt får ockuperas av en entitet.

4.2.19 Segment

I Segment-modulen definieras de segment som används av Conveyors. Ett segment är själva transportbandet som conveyorn använder sig av. I Segment-modulen specificeras en första station på ett transportband samt hur långt det är till nästa, och nästa, och nästa etc. Det går att lägga till hur många segmentdelar som helst. Ett exempel på hur segmentet fungerar finns i Tabell 4.2.

Next Station	Distance
Bagageficka 2	
Bagageficka 3	1400
Bagageficka 4	1400
Bagageficka 5	6000
Bagageficka 6	1400

Tabell 4.2 Exempel på Conveyorsegment

Denna Conveyor börjar vid stationen *Bagageficka 2* och slutar vid stationen *Bagageficka 6*. Conveyorerna är totalt 10 200 längdenheter lång. Ett segment måste ha minst två stationer.

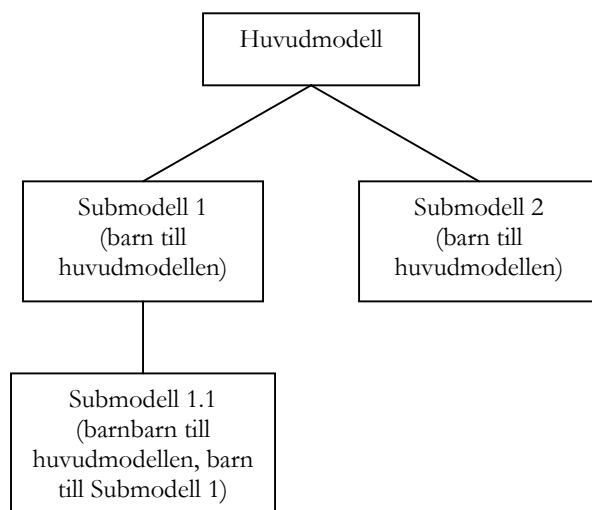
4.2.20 Statistic

I Statistic-modulen definieras den statistik som ska samlas in under en simuleringskörning. Visserligen samlas en hel del statistik automatiskt i olika moduler, men med Statistic-modulen kan ytterligare statistik samlas. Dessutom används modulen för att skapa datafiler som används som underlag när data analyseras i exempelvis Arena Output Analyzer, se avsnitt 4.4.2.

4.3 Submodeller

En viktig funktion i Arena är submodeller. I ett Arena-fönster går det inte att bygga hur stora modeller som helst. Området som Arena-moduler kan placeras i är inte oändligt stort. För att förebygga detta problem finns det submodeller. En submodell är helt enkelt ett nytt Arena-fönster som är hierarkiskt underställt huvudmodellen. Ett submodellsfönster är lika stort som ett vanligt Arena-fönster och i en submodell kan alla typer av moduler placeras.

En submodell är barn till en huvudmodell, och det kan finnas submodeller inuti submodeller som då blir barnbarn till huvudmodellen. Det går att ha hur många "generationer" submodeller som helst, se Figur 4.4.



Figur 4.4 Schematisk hierarki för submodeller

En submodell kan ha upp till 10 ingångar och 10 utgångar, vilket tyvärr har varit en liten begränsning i denna studie (se kapitel 7).

Submodeller är bra att använda i komplexa modeller då det är av vikt att ha en bra struktur. Submodeller underlättar överskådligheten i en modell, om man har ett system som är uppbyggt likt en trädstruktur kan det, för översiktlighetens skull, vara lämpligt att göra olika submodeller av noderna i trädet när man simulerar systemet.

4.4 Arenas tilläggsprogram

Till Arena hör ett antal fristående tilläggsprogram som kan användas för att analysera data; både data som ska matas in i Arena-modellen och sådan data som fås ut av modellen. I detta avsnitt presenteras de tilläggsprogram som har använts i denna studie.

4.4.1 Arena Input Analyzer

Arena Input Analyzer är ett program som används för att med statistiska metoder analysera befintlig data, exempelvis för att få ut en statistisk fördelning av en variabel som sedan kan matas in i Arena. För att illustrera detta ges följande exempel. Antag att passagerarantalet på en flight som flygs varje dag under två veckor framgår av Tabell 4.3.

Vecka 1	Pax	Vecka 2	Pax
Måndag	259	Måndag	235
Tisdag	271	Tisdag	278
Onsdag	309	Onsdag	264
Torsdag	255	Torsdag	245
Fredag	214	Fredag	296
Lördag	284	Lördag	240
Söndag	316	Söndag	304

Tabell 4.3 Exempel på passagerarantal

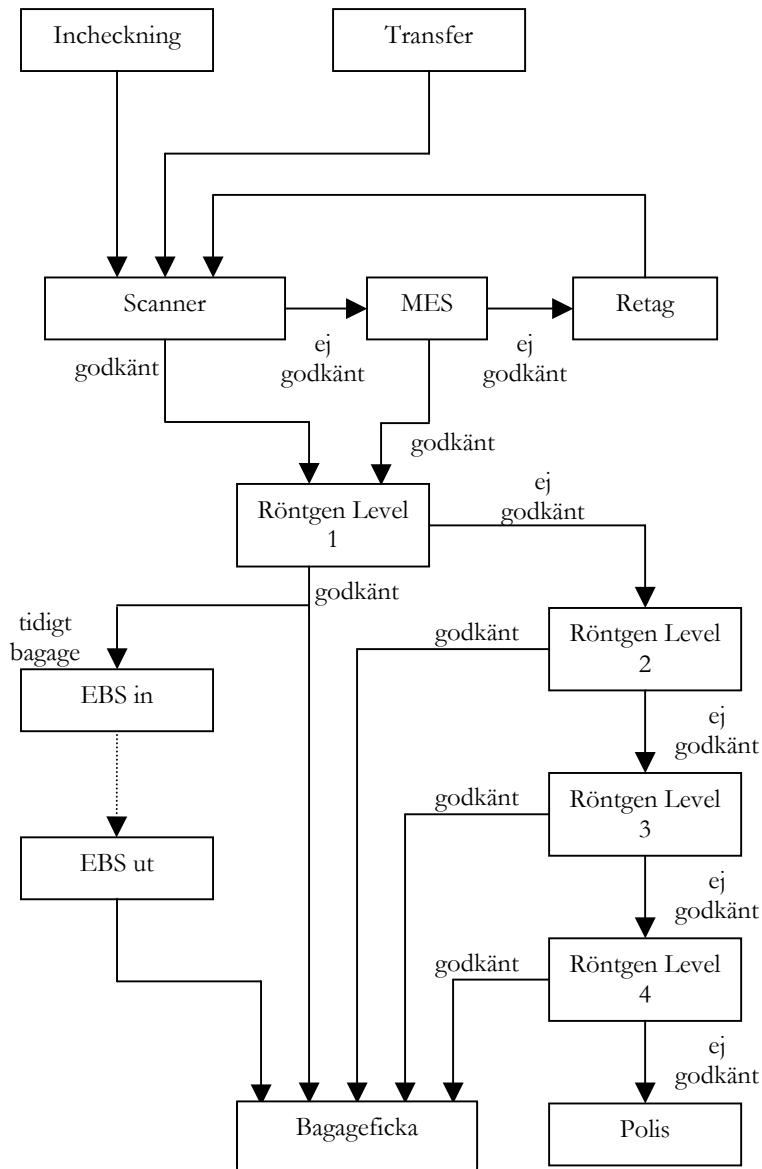
Om man nu vill ha en statistisk fördelning till en variabel som representerar passagerarantalet för denna flight matar man in antalen i Arena Input Analyzer. Input Analyzer ger som resultat att en betafördelning bäst speglar variabeln, nämligen $214 + 102 \cdot \text{Beta}(0,976;0,824)$.

4.4.2 Arena Output Analyzer

Arena Output Analyzer används för att analysera data genererade av Arena vid simuleringskörningar. Med hjälp av Arena Output Analyzer är det förhållandevis enkelt att ta fram konfidensintervall, plotta värden av variabler i diagram och att göra statistiska hypotestest. Arena Output Analyzer använder sig av datafiler genererade av Statistic-modulen i Arena, se avsnitt 4.2.20. Alla diagram och konfidensintervall i kapitel 8, 9 och 10 är genererade med hjälp av Arena Output Analyzer.

5 Konceptuell modell

Det studerade systemet är ett befintligt system. Det innebär att det redan är känt hur systemet är uppbyggt. Bagagets väg genom systemet återges i Figur 5.1.



Figur 5.1 Flödesschema över bagagets väg genom systemet

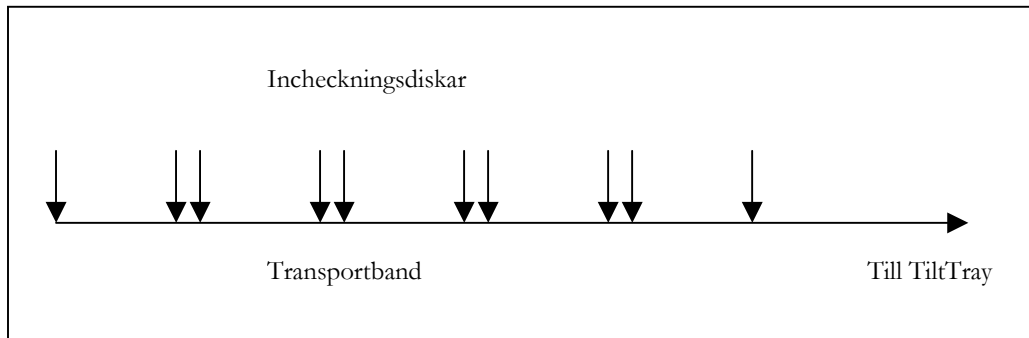
Figur 5.1, som är samma figur som Figur 2.2, visar bagagets väg genom systemet. De följande avsnitten behandlar hur modellen är uppbyggd med utgångspunkt från denna figur.

5.1 Incheckning och transferbagage

Det första som händer i modellen är att passagerare ankommer till terminalen. Passagerarnas antal och spridning i ankomsttid bestäms av tidtabellen och ankomstprofilerna (se avsnitt 6.1 och 6.2). 75% av passagerarna ställer sig i kö för incheckning till de incheckningsdiskar som är avsedda för respektive flight. Resterande 25% är transferpassagerare och de anländer inte alls till terminalen, deras bagage går dock direkt in på TiltTray-anläggningen. Antalet bagage som en

passagerare har (gäller både vanliga och transferpassagerare) bestäms utifrån bagagefaktorn, som är ett mått på hur många väskor som passagerare checkar in (se avsnitt 6.3).

I terminalen finns 20 incheckningsdiskar. De 20 incheckningsdiskarna är uppdelade på två batterier med tio diskar på varje batteri. Från varje batteri går ett långt transportband som för väskorna ner till TiltTray-anläggningen.



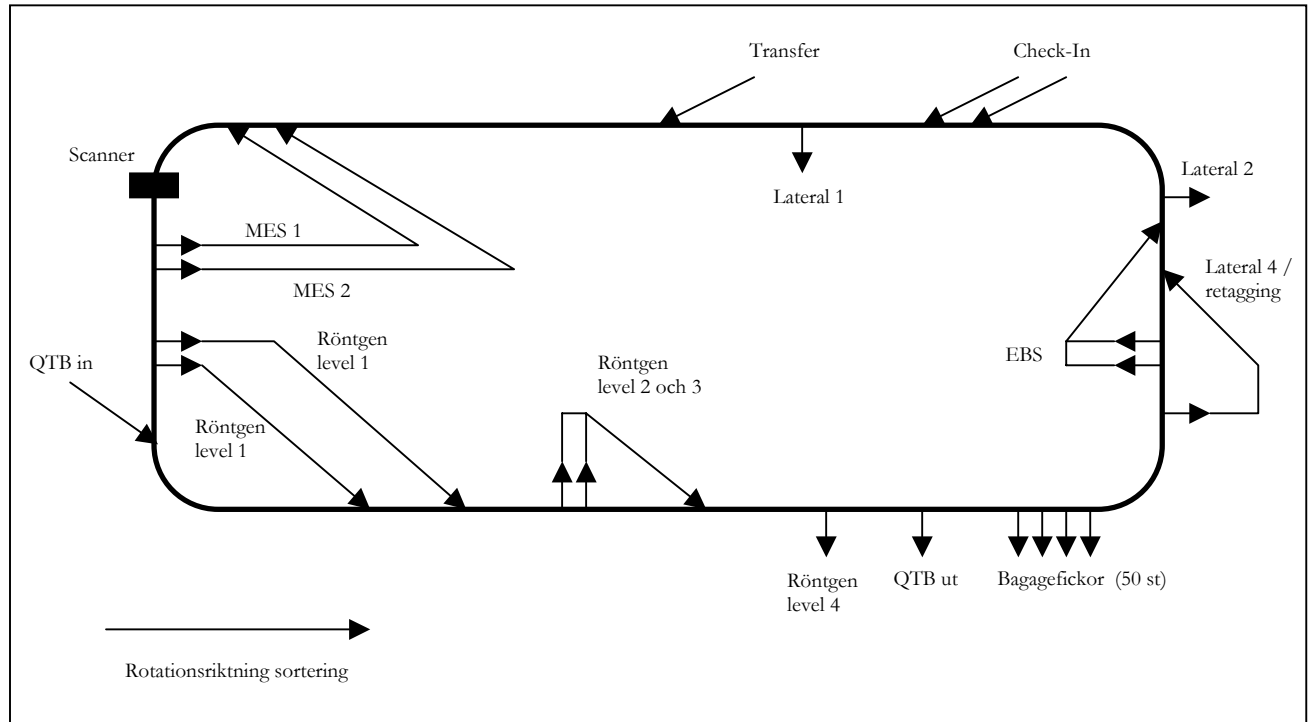
Figur 5.2 Konceptuell modell av incheckningsdiskarna

Figur 5.2 visar den konceptuella modellen för ett batteri. Det andra batteriet ser ut på samma sätt, det är dock spegelvänt.

Vid incheckningen skickas passagerarnas incheckade väskor ner till TiltTray-anläggningen. Detta görs med ett löpande band. Passagerarna går i verkligheten vidare till gate, det studeras dock inte i denna studie och därför försvinner passagerarna ur modellen efter incheckning.

5.2 TiltTray-anläggningen

Figur 5.3, som är samma som Figur 2.1, visar den konceptuella modellen för TiltTray-anläggningen. De två pilarna vid *Check-In* representerar de två transportbanden från incheckningsbatterierna. Anläggningen förklaras mer utförligt i kapitel 2.



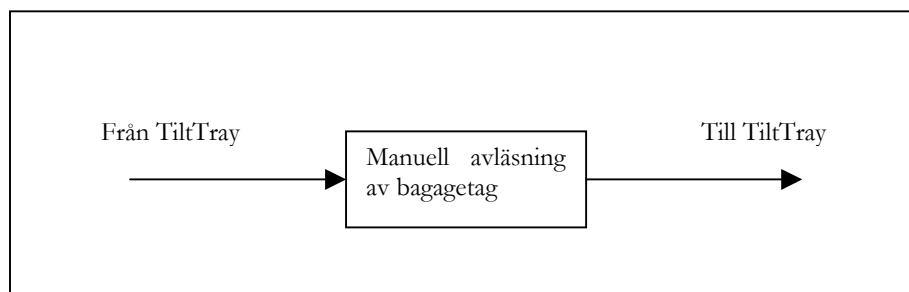
Figur 5.3 Konceptuell modell av TiltTray-anläggningen

5.3 Scanner

När bagaget har anlänt till TiltTray-anläggningen läses bagagetaggen av scannern. Detta görs för att systemet ska veta var någonstans bagaget ska ta vägen. Om scannern klarar av att läsa bagagetaggen går bagaget till Röntgen Level 1 eller Level 2³⁸. Om scannern inte klarar av att läsa taggen går bagaget till MES. Bagaget passerar förbi scannern med oförändrad hastighet, Figur 2.3 på s 21 är ett fotografi taget vid scannern.

5.4 MES

MES-stationerna fungerar enligt Figur 5.4.



Figur 5.4 Konceptuell modell av MES-stationerna

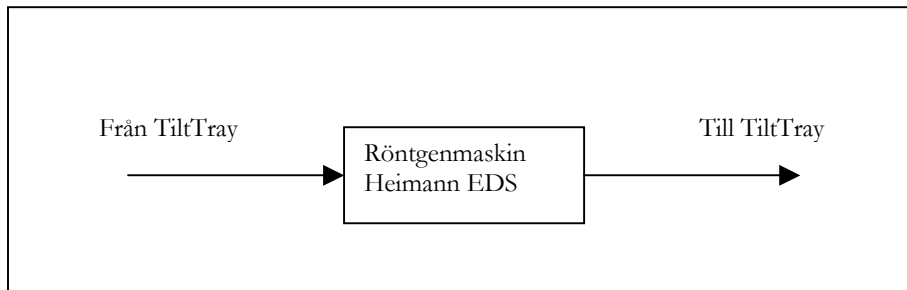
³⁸ Bagage som ska till USA måste röntgas i Level 2, allt annat bagage kan röntgas i Level 1.

Bagaget lämnar TiltTray och transporteras med transportband till avläsningsplatsen. Där uppstår en liten försening då personalen på stationen läser av taggen med en handscanner. Därefter återförs bagaget till TiltTray där det transporteras till sin rätta destination.

Om bagaget inte har någon bagagetag eller om bagagetaggen är skadad eller oläsbar skickas bagaget vidare till en retag-position där personal tar reda på väskans ägare och destination och därefter skrivs en ny tagg ut och väskan skickas ut på TiltTray-slingan igen.

5.5 Röntgen Level 1

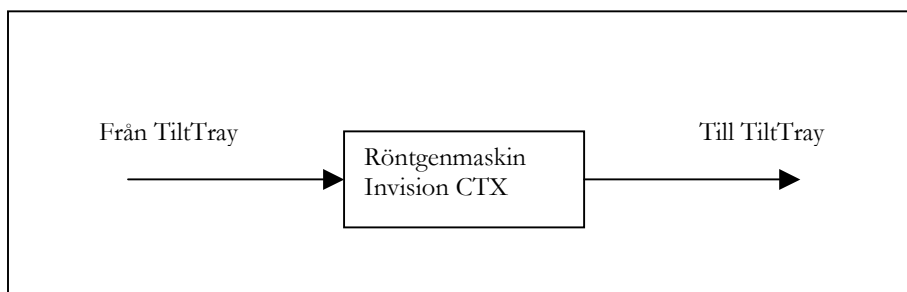
Röntgen Level 1-stationerna fungerar enligt Figur 5.5. På samma sätt som för MES lämnar bagaget TiltTray för transport till röntgenmaskinen. Till skillnad från MES-stationerna så uppstår dock ingen försening i röntgenmaskinen då väskorna hela tiden fortsätter genom maskinen i konstant hastighet medan den röntgas. Därefter återgår bagaget till TiltTray för transport till antingen Level 2 (om den inte blev godkänd i Level 1), EBS (om det är tidigt bagage som godkänts i Level 1) eller till sin bagageficka.



Figur 5.5 Konceptuell modell av Röntgen Level 1-stationerna

5.6 Röntgen Level 2 och 3

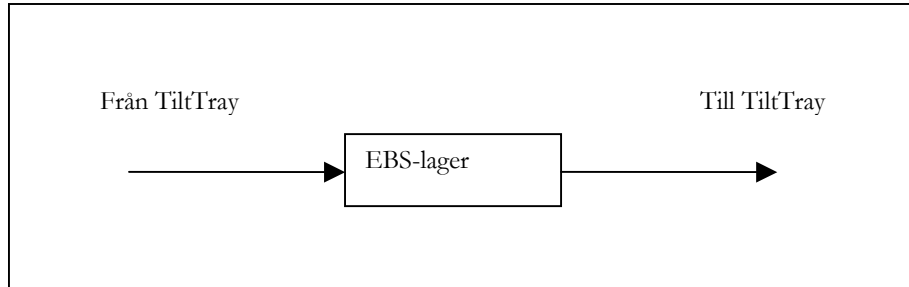
Röntgen Level 2 och 3-stationerna fungerar på liknande sätt som röntgen Level 1, se Figur 5.6. Skillnaden är att i Level 2-maskinerna stannar bagaget och skiktröntgas. Därefter avgör maskinen om bagaget kan godkännas eller ej (Level 2). Om bagaget inte godkänns tittar en operatör på de röntgenbilder som tagits och avgör om det ska godkännas (Level 3). Om operatören inte godkänner bagaget skickas bagaget till Level 4, annars går det till bagageficka eller EBS. Eftersom bagaget stannar för röntgning uppstår en fördröjning.



Figur 5.6 Konceptuell modell av Röntgen Level 2 & 3-stationerna

5.7 EBS

EBS är ett automatiskt lager för tidigt incheckat bagage. Bagage som checkats in mer än två timmar före avgångstid hamnar i EBS. Detta beror på att en flights bagageficka/bagagefickor öppnas två timmar före avgångstiden. En konceptuell modell av EBS-lagret återfinns i Figur 5.7.



Figur 5.7 Konceptuell modell av EBS-lagret

Allt bagage röntgas innan det hamnar i EBS. När bagagefickan/fickorna öppnas skickas allt bagage som tillhör den flighten upp från EBS och vidare till fickan.

6 Modelldata

I detta kapitel behandlas den indata som skickats in i modellen.

6.1 Tidtabell

Själva tidtabellen över den trafik som kördes under vecka 17 (19 - 25 april) 2004 tillhandahölls av Anders Andersson, tidtabellskoordinator på SAO. Datan kom i en vanlig Excel-fil och ett utdrag ur denna presenteras i Tabell 6.1. Tidtabellen för hela veckan är stor, under den akuta veckan flögs 879 flighter. Märk väl att det endast är de flighter vars bagage checkades in via den nya TiltTray-anläggningen.

OP	FLT Nr	F T	ROUTE	VIA	AC	STO	PAX LOC	CHK-IN
SK	401	J	CPH		321	0620 19APR2004		71-85
LH	3007	J	FRA		321	0645 19APR2004		71-85
SK	605	J	ZRH		DH4	0645 19APR2004		71-85
KF	470	J	VAA		S20	0655 19APR2004		71-85
KF	444	J	HEL		AR8	0700 19APR2004		71-85
SK	485	J	OSL		736	0700 19APR2004		71-85
SK	555	J	AMS		736	0705 19APR2004		71-85
KF	480	J	TMP		S20	0710 19APR2004		71-85
LH	5239	J	DUS		CR7	0710 19APR2004		71-85
SK	589	J	BRU		736	0710 19APR2004		71-85
KF	432	J	HEL		AR8	0715 19APR2004		71-85
OS	318	J	VIE		F70	0715 19APR2004		71-85
SK	405	J	CPH		321	0720 19APR2004		71-85
KF	418	J	TKU		S20	0730 19APR2004		71-85
SK	481	J	OSL		738	0730 19APR2004		71-85
SK	611	J	GVA		DH4	0730 19APR2004		71-85
SK	525	J	LHR		M81	0735 19APR2004		71-85
SK	573	J	CDG		736	0735 19APR2004		71-85

Tabell 6.1 Utdrag ur tidtabellen före bearbetning

Förklaring till rubrikerna i Tabell 6.1:

- OP - Flygbolag (i kodform, se Bilaga 3)
- FLT Nr - Flightnummer
- F T - Typ av flight, linjetrafik (J) eller charter (C)
- ROUTE - Destination (flygplatskod, se Bilaga 3)
- VIA - Mellanlandningsdestination
- AC - Flygplanstyp
- STO - Tidtabellsenlig avgångstid och dag
- PAX LOC - Antal passagerare på flighten³⁹
- CHK IN - De incheckningsdiskar som är allokerade till denna flight

I Arena är det möjligt att läsa in data direkt från en Excel-fil. I modellen skapas en flight-entitet för varje flight i vilken alla viktiga data om flighten lagras som attribut till entiteten. Det går dock

³⁹ Dessa siffror finns med som indata till modellen men de presenteras inte här eftersom flygbolag inte vill att dessa siffror publiceras offentligt.

inte att lagra något annat än siffror som attribut till entiteter. När man försöker lagra bokstäver som attribut så lagras endast värdet 0. För att komma runt detta problem modifierades indatan i Excel innan den lästes in i Arena. Ett utdrag ur tidtabellen efter bearbetningen presenteras i Tabell 6.2.

OP	FLT Nr	F T	ROU TE	V A	AC	STO	PAX LOC	CHK- IN	d a g	time	dep h	dep mint	Des OP	Plan e	1st des k	last desk	Min pax	Med ian Pax	Max pax	ty p	first bay	last bay
SK	401	J	CPH		321	0620 19APR2004		71-85	1	0620	06	20	15	20	321	71	85			1	23	24
SK	605	J	ZRH		DH4	0645 19APR2004		71-85	1	0645	06	45	55	20	1304	71	85			1	38	38
LH	3007	J	FRA		321	0645 19APR2004		71-85	1	0645	06	45	21	12	321	71	85			1	17	18
KF	470	J	VAA		S20	0655 19APR2004		71-85	1	0655	06	55	51	10	2820	71	85			1	44	44
KF	444	J	HEL		AR8	0700 19APR2004		71-85	1	0700	07	00	24	10	1008	71	85			1	25	25
SK	485	J	OSL		736	0700 19APR2004		71-85	1	0700	07	00	37	20	736	71	85			1	20	21
SK	555	J	AMS		736	0705 19APR2004		71-85	1	0705	07	05	3	20	736	71	85			1	41	41
KF	480	J	TMP		S20	0710 19APR2004		71-85	1	0710	07	10	48	10	2820	71	85			1	49	49
SK	589	J	BRU		736	0710 19APR2004		71-85	1	0710	07	10	12	20	736	71	85			1	28	28
LH	5239	J	DUS		CR7	0710 19APR2004		71-85	1	0710	07	10	18	12	1207	71	85			1	22	22
OS	318	J	VIE		F70	0715 19APR2004		71-85	1	0715	07	15	53	18	1570	71	85			1	26	27
KF	432	J	HEL		AR8	0715 19APR2004		71-85	1	0715	07	15	24	10	1008	71	85			1	48	48
SK	405	J	CPH		321	0720 19APR2004		71-85	1	0720	07	20	15	20	321	71	85			1	35	36
KF	418	J	TKU		S20	0730 19APR2004		71-85	1	0730	07	30	46	10	2820	71	85			1	16	16
SK	481	J	OSL		738	0730 19APR2004		71-85	1	0730	07	30	37	20	738	71	85			1	39	40
SK	611	J	GVA		DH4	0730 19APR2004		71-85	1	0730	07	30	22	20	1304	71	85			1	19	19
SK	525	J	LHR		M81	0735 19APR2004		71-85	1	0735	07	35	27	20	2281	71	85			1	45	46
SK	573	J	CDG		736	0735 19APR2004		71-85	1	0735	07	35	14	20	736	71	85			1	33	33

Tabell 6.2 Utdrag ur tidtabellen efter bearbetning

I Tabell 6.2 har samtliga poster med bokstäver i omvandlats till siffror, flygbolagen, flygplanen och flygplatserna har fått unika siffror i stället för sina bokstavsrepresentationer. Tiden delades upp i olika celler för timmar och minuter, datumen omvandlades till ordningstal för veckodagen (1 - 7). Incheckningsdiskarna delades också upp i olika celler för första respektive sista allokerade disk. För att få en variation i antalet passagerare på planen införs talen *Min Pax*, *Median Pax* och *Max Pax*. *Min Pax* och *Max Pax* är det lägsta respektive högsta passagerarantalet för den aktuella veckan. *Median Pax* är antalet passagerare för den flighten som ligger i mitten m.a.p. antal passagerare, alternativt medlevärdet av de två mittvärdena om antalet flighter under veckan var jämnt. Till sist läggs in vilka bagagefickor som är allokerade till just den flighten, se vidare i avsnitt 6.6.

6.2 Ankomstprofiler

Ankomstprofiler används för att simulera passagerarflöden. Ankomstprofilerna är framtagna av LFV och tillhandahålls av Anna Lindh, LFV Teknik. Ankomstprofilerna baseras på ett antal mätningar av vid vilka tidpunkter passagerare ankommer till terminalen. Mätningarna har sedan

sammanställts i en ankomstprofilmatris. Ett utdrag ur ankomstprofilmatrisen återfinns i Tabell 6.3.

	8	9	10	11	12	13	14
*	INT	INT	INT	INT	INT	INT	INT
Anlän- da tom STD-	00.00- 06.59	07.00- 08.59	09.00- 11.59	12.00- 15.59	16.00- 17.59	18.00- 20.59	21.00- 23.59
180	1,9	2,8	5,2	4,2	1,8	1,2	0,0
175	0,0	0,6	1,0	0,7	0,7	0,1	0,0
170	0,3	0,3	1,8	0,6	0,4	0,2	0,0
165	0,5	0,2	1,1	0,4	0,8	0,2	0,0
160	0,1	0,6	1,0	0,8	1,2	0,1	0,0
155	0,4	0,3	0,9	1,1	0,9	0,2	0,0
150	0,3	0,8	1,1	1,2	0,3	0,6	0,0
145	0,4	1,5	2,5	1,7	2,7	0,6	0,0
140	0,4	1,2	2,2	1,2	1,4	0,3	0,0
135	0,7	1,1	1,7	1,7	1,4	0,5	0,0
130	0,6	3,0	2,5	2,3	1,5	1,1	0,0
125	0,6	1,7	1,9	2,7	2,2	0,9	0,0
120	2,2	1,9	2,0	3,0	2,2	1,6	0,0
115	1,0	3,8	4,8	3,3	3,0	1,9	0,0
110	3,4	1,9	2,8	2,4	2,7	3,8	2,3
105	2,4	2,4	3,2	3,3	3,6	2,4	1,5
100	3,3	3,8	6,3	4,6	4,2	4,1	0,2
95	2,9	2,4	4,3	4,6	2,6	3,8	2,4
90	5,1	3,9	4,2	5,5	2,5	3,4	5,4
85	4,8	7,1	5,6	5,5	7,0	5,0	3,9
80	7,0	4,0	6,3	6,0	3,7	4,8	8,2
75	8,1	6,4	5,1	4,9	5,9	7,3	12,7
70	8,3	6,7	7,5	5,1	6,9	6,9	8,8
65	6,1	5,2	4,7	6,7	4,6	7,7	8,2
60	10,9	6,5	5,6	6,6	9,7	8,7	10,3
55	7,5	5,7	5,1	5,6	7,3	7,0	7,3
50	7,7	6,2	2,6	4,3	4,8	8,8	7,0
45	5,1	5,5	2,3	3,3	3,9	4,7	5,9
40	3,0	5,1	2,1	2,4	4,2	4,0	5,3
35	2,5	3,9	0,9	1,9	2,0	4,0	5,3
30	1,1	2,0	0,8	1,1	2,0	1,3	3,1
25	0,9	1,3	0,6	0,7	0,7	1,3	1,7
20	0,3	0,0	0,0	0,4	0,3	0,9	0,4
15	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0
10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0
5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0

Tabell 6.3 Utdrag ur ankomstprofilmatrisen

Tabell 6.3 visar en tredjedel av hela ankomstprofilmatrisen, nämligen den del som representerar utrikes linjetrafik. Ankomstprofilmatrisen innehåller motsvarande kolumner för inrikes linjetrafik samt utrikes chartertrafik⁴⁰. I ankomstprofilmatrisen går det att utläsa hur stor del av passagerarna på den aktuella flighten som anländer till terminalen under den specifika femminutersperioden.

⁴⁰ Inrikes chartertrafik förekommer i såpass liten omfattning att det ej är relevant att mäta.

För att underlätta förståelsen för användandet av ankomstprofilmatrisen följer nu ett enkelt exempel. Antag att klockan är 06:25 den 19 april 2004. Ur tidtabellen (Tabell 6.1, s 50) ser vi att flight SK525 ska avgå till LHR kl 07:35. Vi antar att SK525 denna dag har 162 passagerare. Med hjälp av ankomstprofilmatrisen kan vi nu ta reda på ungefär hur många av SK525:s passagerare som kommer att anlända till terminalen under de närmaste fem minutrarna. Det görs på följande sätt:

I ankomstprofilmatrisen (Tabell 6.3, s 52) går man in i kolumn 9 (utrikes linjetrafik, STD mellan 07:00 och 08:59) samt till rad 65 (eftersom om fem minuter är det 65 minuter kvar till STD) och noterar värdet: **5,2**. Alltså, i medeltal 5,2% av flightens passagerare anländer till terminalen när det är mellan 70 och 65 minuter kvar till avgång, i det här fallet mellan 06:25 och 06:30. I detta specifika exempel kommer alltså ungefär **8,4** passagerare till SK525 anlända till terminalen inom de närmaste 5 minutrarna.

Dessa värden används i modellen för att få ett verklighetstroget inflöde av passagerare till terminalen. Det vore inte realistiskt om alla SK525:s 162 passagerare anlände till incheckningen samtidigt.

6.3 Bagagefaktorer

Bagagefaktorn för en flight är helt enkelt förhållandet mellan antalet passagerare och antalet incheckade väskor. Exempel: en flight med 100 passagerare och 90 incheckade väskor har en bagagefaktor på 0,9.

Till denna studie har bagagefaktorer för 2222 flighter tillhandahållits av Mats Kalla, SAOP. Dessa kördes i Arena Input Analyzer för att generera en lämplig fördelningsfunktion utifrån datan. Resultatet blev att den lämpliga fördelningsfunktionen för bagagefaktorerna är **NORM(1.01, 0.27)**. Det vill säga att medelantalet incheckade väskor per passagerare ligger väldigt nära 1, vilket kan ses som normalt - på kortare flighter med många affärsresande är bagagefaktorn låg eftersom dessa resenärer ofta endast är borta över dagen och då bara har handbagage. På längre flighter - t.ex. utomeuropeiska flighter - är faktorn dock ofta högre eftersom resenärer då stannar borta längre och därför behöver mer bagage. Någon differentiering av bagagefaktorer utefter flighters längd har dock inte gjorts i denna studie; samtliga flighter har den ovan nämnda fördelningsfunktionen.

Varje passagerare tilldelas ett antal väskor som är Normalfördelat enligt NORM(1.01,0.27).

6.4 Anläggningsdata

Data för själva anläggningen, d.v.s. framför allt längder och hastigheter på conveyors, TiltTray-slinga och incheckningsdiskar har tagits ur produktspecifikationen från tillverkaren FKILogistex/Crisplant⁴¹. En sammanställning över den viktigaste datan tagen därifrån återfinns i Bilaga 2.

6.5 Processtider

De tider det tar för olika stationer att utföra operationer, t.ex. hur lång tid det tar för Röntgen Level 2 att scanna bagaget, är mätta för hand av författaren och Natanael Ljung vid ett besök i

⁴¹ FKILogistex/Crisplant, *Stockholm-Arlanda Airport, LfV 1999-1253-071, Baggage Handling System, North Terminal Plant - Product Specification*, Rev 1_2, 12 september 2002

anläggningen 2004-04-20. Dessa värden är sedan verifierade för rimlighet av personalen som arbetar i anläggningen, då främst av Thomas Whinberg och Sven Alkert.

6.6 Allokering av bagagefickor

Varje flight tilldelas ett antal (oftast 2, men det förekommer även att 1 eller 3 fickor tilldelas) bagagefickor som är reserverade för den flightens bagage under 2 timmar före STD. Bagage som checkas in tidigare än 2 timmar före STD hamnar i EBS. Detta bagage lämnar EBS när bagagefickan öppnar, d.v.s. 2 timmar före STD, och åker då till en av de tilldelade bagagefickorna.

Schemat för bagagefickorna tillhandahålls i form av ett Gantt-schema av Sven Alkert, SAOP. Detta gick dock endast att få i pappersform, så det spenderades mycket tid med att mata in de tilldelade bagagefickorna för alla de 879 flighterna i tidtabellen. I tidtabellen, se Tabell 6.2, s 51, är de två kolumnerna längst till höger den första respektive sista bagagefickan tilldelad till denna flight. Bagaget åker till någon av fickorna. Vilken av dem det blir avgörs helt slumpmässigt.

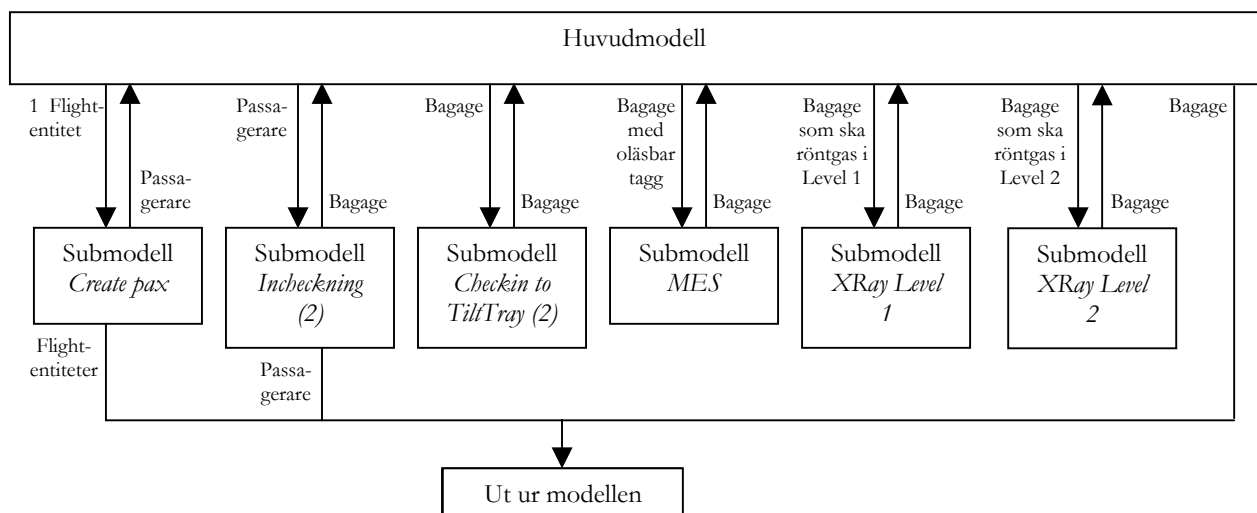
7 ARENA-modellen

I detta kapitel behandlas den konceptuella modellen samt den ARENA-modell som byggts för studien.

Arena-modellen av bagagehanteringsanläggningen är en stor och komplex modell, där en mängd olika operationer utförs. Detta gör att exekveringstiden för modellen är mycket lång. En replikation med en veckas simuleringstid tar ca 10 minuter att köra utan animeringar, med animeringar går det inte mycket fortare än realtid.

7.1 Modellens uppbyggnad

Modellen består av en huvudmodell och åtta submodeller. Två av submodellerna hade dock kunnat undvarats om det hade gått att ha fler än tio in- respektive utgångar i varje submodell. Eftersom det dock inte går behövde två av submodellerna delas upp i två separata submodeller med samma funktion. Det är alltså en huvudmodell och sex olika typer av submodeller, se Figur 7.1.



Figur 7.1 Schema över modellens uppbyggnad

Figur 7.1 visar strukturen på modellen i Arena, samt in- och utflöde i de olika submodellerna.

7.1.1 Huvudmodellen

I huvudmodellen modelleras följande:

- inläsningen av ankomstprofiler (se avsnitt 7.2.1)
- hanteringen av sena passagerare (se avsnitt 7.3)
- omvandling av passagerare till transferpassagerare (se avsnitt 7.4)
- Scannern (se avsnitt 7.6.1)
- EBS (se avsnitt 7.6.5)
- när väskor skickas ut på extravarv
- Bagagefickorna (se avsnitt 7.6.6)

Från huvudmodellen anropas samtliga submodeller, när dessa behövs.

7.1.2 Submodell Create pax

I denna submodellen modelleras inläsning av tidtabell (se avsnitt 7.2.2), skapandet av passagerare (se avsnitt 7.3) samt regleringen av inflödet av passagerare till terminal (se avsnitt 7.3).

7.1.3 Submodell Incheckning

I dessa submodeller (2 st) modelleras incheckningsproceduren (se avsnitt 7.4.2). Submodellerna innehåller modellering av köer och incheckningsdiskar. Passagerarna är inte intressanta för modellen när de har checkat in sina väskor och försvinner därför ut ur modellen efter incheckningen.

7.1.4 Submodell Check-in to TiltTray

I dessa submodeller (2 st) modelleras bagagets väg från incheckningsdiskarna till TiltTray-anläggningen, se avsnitt 7.5.

7.1.5 Submodell MES

I denna submodell modelleras de båda MES-stationerna, se avsnitt 7.6.4.

7.1.6 Submodell XRay Level 1

I denna submodell modelleras de båda Röntgen Level 1-maskinerna, se avsnitt 7.6.2.

7.1.7 Submodell XRay Level 2

I denna submodell modelleras de båda Röntgen Level 2-maskinerna, se avsnitt 7.6.3.

7.2 Inläsning av data

Inläsning av data i modellen sker på lite olika sätt. Det som är krångligast är att läsa in tidtabellen och ankomstprofilerna. För mer information om tidtabeller och ankomstprofiler se avsnitt 6.1 och 6.2.

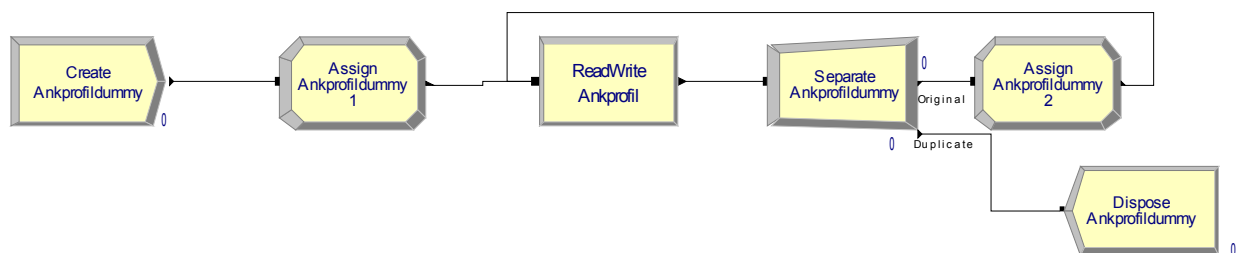
7.2.1 Inläsning av ankomstprofiler

Det första som sker när modellen körs är att ankomstprofilmatrisen läses in. Ett utdrag ur denna återfinns i Tabell 7.1. Detta sker i en process som är helt fristående från den övriga modellen.

	8	9	10	11
*	INT	INT	INT	INT
Anlända tom STD-	00.00- 06.59	07.00- 08.59	09.00- 11.59	12.00- 15.59
180	1,9	2,8	5,2	4,2
175	0,0	0,6	1,0	0,7
170	0,3	0,3	1,8	0,6
165	0,5	0,2	1,1	0,4
160	0,1	0,6	1,0	0,8
155	0,4	0,3	0,9	1,1
150	0,3	0,8	1,1	1,2
145	0,4	1,5	2,5	1,7
140	0,4	1,2	2,2	1,2
135	0,7	1,1	1,7	1,7
130	0,6	3,0	2,5	2,3
125	0,6	1,7	1,9	2,7
120	2,2	1,9	2,0	3,0
115	1,0	3,8	4,8	3,3
110	3,4	1,9	2,8	2,4

Tabell 7.1 Del av ankomstprofilmatrisen

Ankomstprofilmatrisen är större än det som visas i Tabell 7.1, den är i själva verket en 36 x 14-matris. Mer om ankomstprofilmatrisen i avsnitt 6.2. De moduler som behövs för att läsa in ankomstprofilerna från en Excel-fil till en variabelmatris i Arena återfinns i Figur 7.2.



Figur 7.2 Modellering av inläsning av ankomstprofiler

I Create-modulen skapas en entitet av typen *Ankprofildummy*. Det är en s.k. dummy-entitet – sådana har inte någon inverkan på modellen men är praktiska att använda för ändamål såsom exempelvis att gå igenom indatafiler. Dummy-entiteten går in i Assign-modulen där den ger en räknarvariabel värdet 1. Därefter fortsätter entiteten till ReadWrite-modulen där den läser in hela första raden i indatafilen och placerar värdena i Ankprofilvariabelmatrisen i första variabelraden. Därefter fortsätter dummy-entiteten till Separate-modulen där den kopieras. Originalen fortsätter till Assign-modulen medan kopian försvinner ut ur modellen via Dispose-modulen. I Assign-modulen ökas räknarvariabeln med 1 (och har då värdet 2) och entiteten kommer tillbaka till ReadWrite-modulen där andra raden i indatafilen läses och värdena placeras på andra raden i Ankprofilvariabelmatrisen. Processen fortsätter på detta sätt tills hela indatafilen lästs in.

7.2.2 Inläsning av tidtabeller

OP	FLT Nr	F T	ROUTE	VIA	AC	STO	PAX LOC	CHK-IN
SK	401	J	CPH		321	0620 19APR2004		71-85
SK	605	J	ZRH		DH4	0645 19APR2004		71-85
LH	3007	J	FRA		321	0645 19APR2004		71-85
KF	470	J	VAA		S20	0655 19APR2004		71-85
KF	444	J	HEL		AR8	0700 19APR2004		71-85
SK	485	J	OSL		736	0700 19APR2004		71-85
SK	555	J	AMS		736	0705 19APR2004		71-85
KF	480	J	TMP		S20	0710 19APR2004		71-85

Tabell 7.2 Utdrag ur tidtabellen⁴²

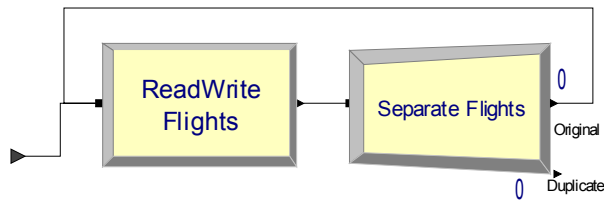
Tabell 7.2 är ett utdrag ut den tillhandahållna tidtabellen. För att modellera tidtabellerna skapas flight-entiteter som läser in tidtabellsdata som attribut. Tyvärr kan attribut i ARENA inte vara bokstäver; det måste vara siffror eftersom det måste gå att genomföra matematiska operationer på dem. För att lösa problemet behöver tidtabellen omvandlas till en helt numerisk tabell, vilket görs med några Excel-kommandon. Tidtabellen efter omvandling återfinns i Tabell 7.3. För ytterligare information om tidtabellerna och bearbetningen av dessa, se avsnitt 6.1.

OP	FLT Nr	F T	ROUTE	AC	STO	PAX LOC	CHK-IN	dag	time	dep h	dep min	Dest	OP	Plane	1st desk	last desk	Min pax	Median Pax	Max pax	typ	first bay	last bay
SK	401	J	CPH	321	0620 19APR 2004		71-85	1	0620	06	20	15	20	321	71	85				1	23	24
SK	605	J	ZRH	DH4	0645 19APR 2004		71-85	1	0645	06	45	55	20	1304	71	85				1	38	38
LH	3007	J	FRA	321	0645 19APR 2004		71-85	1	0645	06	45	21	12	321	71	85				1	17	18
KF	470	J	VAA	S20	0655 19APR 2004		71-85	1	0655	06	55	51	10	2820	71	85				1	44	44
KF	444	J	HEL	AR8	0700 19APR 2004		71-85	1	0700	07	00	24	10	1008	71	85				1	25	25
SK	485	J	OSL	736	0700 19APR 2004		71-85	1	0700	07	00	37	20	736	71	85				1	20	21
SK	555	J	AMS	736	0705 19APR 2004		71-85	1	0705	07	05	3	20	736	71	85				1	41	41
KF	480	J	TMP	S20	0710 19APR 2004		71-85	1	0710	07	10	48	10	2820	71	85				1	49	49

Tabell 7.3 Utdrag ur tidtabellen, efter anpassning för inläsning i ARENA

Det första som händer i den ”riktiga” delen av modellen är att en Flight-entitet skapas och skickas in i submodellen *Create pax*. I submodellen återfinns proceduren för inläsning av tidtabellen, se Figur 7.3.

⁴² Passagerarantalen ingår i tidtabellen och i indata till modellen. Flygbolagen vill dock inte att dessa siffror publiceras.



Figur 7.3 Modellerings av inläsning av tidtabellen

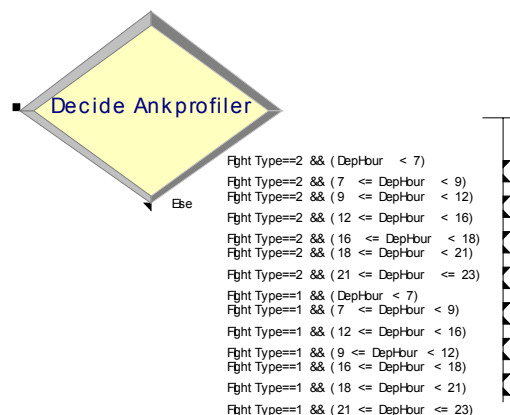
Flight-entiteten ankommer vid den vänstra triangeln och går in i ReadWrite-modulen. Där läser den in hela första raden i tidtabellen, se Tabell 7.3. Tidtabellsdata lagras som attribut i Flight-entiteten. Därefter går den vidare till Separate-modulen där entiteten kopieras. Den ena kopian fortsätter in i modellen medan den andra går tillbaka till ReadWrite-modulen och läser in nästa rad i tidtabellen. Så fortgår processen tills hela tidtabellen är inläst.

Efter att alla Flight-entiteter (det blir en per flight i tidtabellen) fått tidtabellsdata fortsätter de till en Assign-modul där avgångstiden räknas ut (i sekunder räknat från måndag kl 00.00:00; tisdag kl 06.20:00 blir då ”kl” 109 200), dessutom tilldelas ett antal passagerare till flighten – det antalet är en triangelfunktion: $TRLA(\text{Min Pax}, \text{Median Pax}, \text{Max Pax})$.

Därefter fortsätter Flight-entiteten till en Delay-modul som låter Flighten vänta där till 3 timmar före avgångstiden. Detta görs eftersom det i modellen inte kommer några passagerare och checkar in tidigare än 3 timmar före avgångstiden. Anledningen till att det är modellerat på det sättet är att ankomstprofilerna inte täcker mer än 3 timmar före avgångstiden. Alla passagerare som i verkligheten har checkat in före dess anses checka in (eller egentligen komma in i terminalen) när det är exakt 3 timmar kvar till avgång.

7.3 Passagerare

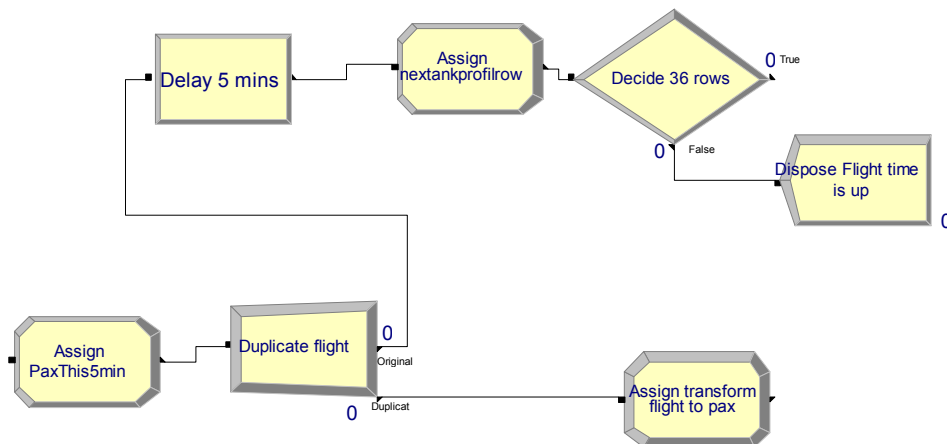
När det är 3 timmar kvar till avgångstiden släpper Delay-modulen iväg Flight-entiteten. Då går den vidare till en Decide-modul, se Figur 7.4.



Figur 7.4 Decide-modulen som bestämmer vilken Ankomstprofil som ska användas

Decide-modulen i Figur 7.4 bestämmer vilken ankomstprofil som ska användas, vilket beror på vilken tid på dygnet som flighten avgår, vad det är för typ av flight (linjetrafik/charter) och hur lång tid det är kvar tills flighten avgår. Från Decide-modulen fortsätter entiteten till en av Assign-modulerna som tilldelar den en kolumn i ankomstprofilmatrisen. Därefter fortsätter entiteten till en annan Assign-modul, *Assign PaxThis5min*, där antalet passagerare som ankommer under just

den här tidsperioden (tiden innan 3 timmar före avgång) bestäms. Detta görs genom att värdet som står i första raden och i den kolumn som bestämdes av Decide-modulen – som är ett procenttal – multipliceras med det tidigare bestämda antalet passagerare på flighten. Det värdet lagras som ett attribut till entiteten, *PaxThis5min*. Se Figur 7.5.



Figur 7.5 Omvandlingen av Flight-entiteter till passagerare

Därefter fortsätter Flight-entiteten till Duplicate-modulen *Duplicate Flight*. Där skapas lika många kopior av entiteten som antalet passagerare som ankommer under den här tidsperioden. Alla kopiorna fortsätter till Assign-modulen *Assign transform flight to pax* där entiteterna omvandlas från Flight-entiteter till Passagerar-entiteter. Därifrån går de senare vidare ut ur submodellen och tillbaka in i huvudmodellen. Originalet går vidare till en Delay-modul där den stannar i fem minuter. Därefter går det till en Assign-modul där den tilldelas nästa rad i Ankomstprofilmatrisen. Efter det går den till en Decide-modul som kontrollerar om den har läst alla rader i Ankomstprofilmatrisen. Om den inte har det går entiteten tillbaka till Decide-modulen i Figur 7.4.

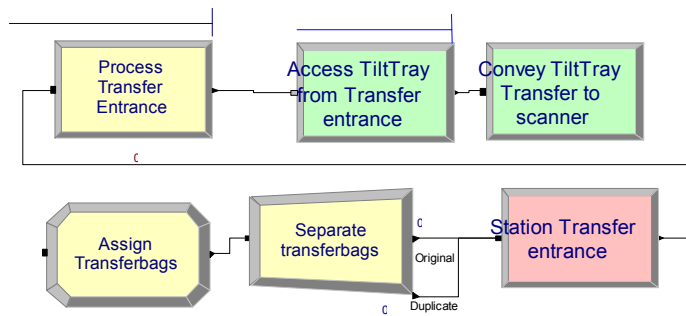
7.4 Incheckningen

När passagerar-entiteterna (hädanefter kallade *passagerarna*) återvänt till huvudmodellen från submodellen *Create Pax* går de till en Decide-modul som avgör om passageraren är en transferpassagerare⁴³ eller ej. 25% av alla passagerare i modellen är transferpassagerare.

7.4.1 Transferpassagerare

Transferpassagerarna omvandlas i Assign-modulen *Assign Transferbags* till Bagage-entiteter, se Figur 7.6.

⁴³ En transferpassagerare är en passagerare som byter flyg på Arlanda och därmed inte checkar in sitt bagage där. Transferpassagerarnas bagage lastas om på Arlanda och skickas in på TiltTray-anläggningen på en särskild plats.



Figur 7.6 Transferbaggets väg till TiltTray-anläggningen

I Separate-modulen *Separate transferbags* kopieras bagage-entiteten. Antalet kopior som görs är antalet väskor passageraren har (attributet *Bags*) minus ett. Eftersom både kopiorna och originalet fortsätter till nästa modul görs det endast $Bags-1$ antal kopior av entiteten, annars skulle det komma in en väska för mycket – per passagerare – i systemet.

Allt transferbagage skickas in på TiltTray-anläggningen. Det sker genom att entiteterna fortsätter till Station-modulen *Station Transfer Entrance*. Därefter går de vidare till Process-modulen *Process Transfer Entrance*. Den modulen är där för att modellera att det inte går att skicka ut bagage på TiltTray-anläggningen hur tätt som helst. På den här påmatningsstationen går det att skicka ut bagage på varannan bricka, vilket illustreras med att varje bagage-entitet tvingas vänta i 1,33 sekunder innan den går vidare⁴⁴. Därefter går entiteten till Access-modulen *Access TiltTray from Transfer entrance* där plats på TiltTray-conveyorn reserveras. Därefter går bagaget vidare till Convey-modulen *Convey TiltTray Transfer to scanner*, där bagaget transporteras från påmatningstationen för transferbagage till scannern, där bagagetaggen läses av, se Figur 5.3.

7.4.2 Incheckande passagerare

De incheckande passagerarna fortsätter från Decide-modulen *Decide Transferpax* (som avgör om de var transferpassagerare eller ej) till en annan Decide-modul, *Decide Late*, i vilken det kontrolleras om passageraren har kommit försent till incheckningen. En passagerare anses vara för sen om denne kommer till incheckningen senare än 20 minuter före STD, eftersom incheckningen stänger då. Passagerare som är för sena försvinner ur modellen.⁴⁵

De passagerare som får checka in fortsätter till en Decide-modul som avgör vilken incheckningsdisk som passageraren ska gå till. Vilken incheckningsdisk som passageraren väljer avgörs av vilka diskar som är öppna för den flighten. Denna information finns i tidtabellen och lästes in i början, se avsnitt 7.2.2. Passageraren väljer slumpvis en av incheckningsdiskarna som har nummer från *1st desk* till *last desk*. Därefter går passageraren in i en av submodellerna *Submodel Incheckning 1* eller *Submodel Incheckning 2*⁴⁶.

Det första som händer i submodellen är att passageraren ankommer till Process-modulen *Process Checkin*⁴⁷. Se Figur 7.7. Process-modulen modellerar själva incheckningsförfarandet, d.v.s. att incheckningspersonalen kontrollerar pass och biljetter, skriver ut boardingkort och bagagetaggar etc. Detta tar naturligtvis olika lång tid, i modellen är det modellerat med en normalfördelning på 70 sekunder, med standardavvikelse 15 sekunder plus 5 sekunder för varje väska passageraren har⁴⁸.

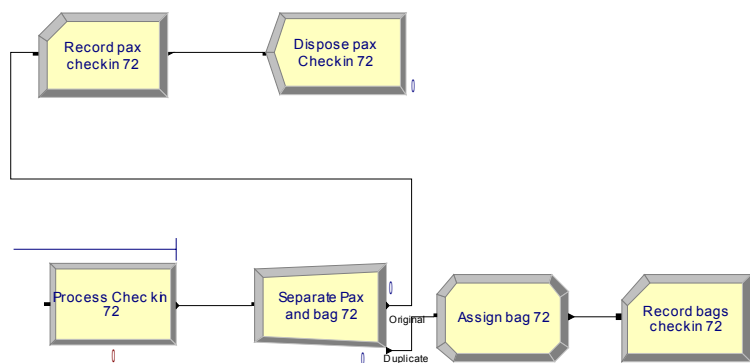
⁴⁴ Det tar 1,33 sekunder för en bricka att passera påmatningsstationen.

⁴⁵ I verkligheten ställer de ofta till med scener och blir heligt förbannade, men det tar denna studie ingen som helst notis om.

⁴⁶ *Submodel Incheckning 1* har incheckningsdiskarna 71-80, *Submodel Incheckning 2* har incheckningsdiskarna 81-90.

⁴⁷ 72 är exempel på en incheckningsdisk, principen är densamma för alla incheckningsdiskar.

⁴⁸ Enligt LFV:s mätningar.

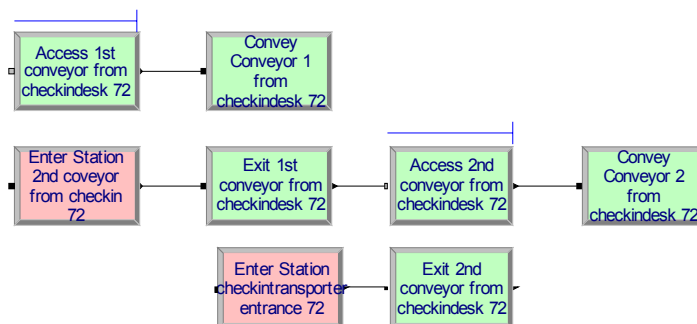


Figur 7.7 Modelleringen av incheckningsproceduren

Efter att incheckningsproceduren är klar går passageraren vidare till *Separate*-modulen *Separate pax and bag 72*. Där kopieras det antal väskor som passageraren har. Original-entiteten försvinner ur modellen via Record- och Dispose-modulen. Kopiorna fortsätter till *Assign*-modulen *Assign bag 72* där de omvandlas till bagage-entiteter och fortsätter vidare in i modellen. I Record-modulen *Record bags checkin 72* räknas hur många väskor som checkats in vid just den incheckningsdisken.

7.5 Incheckning till TiltTray

På vägen från incheckningsdisken till det långa transportbandet som för väskorna från incheckningsdiskarna till TiltTray-anläggningen (de lodräta pilarna i Figur 5.2, sid 46) finns det två korta transportband som går med olika hastighet. Dessa är modellerade som conveyors som endast har en start- och en slutpunkt. Bagagets färd med dessa transportband (från disken till det långa bandet) modelleras i enlighet med Figur 7.8.



Figur 7.8 Modelleringen av bagagets färd från incheckningsdisken

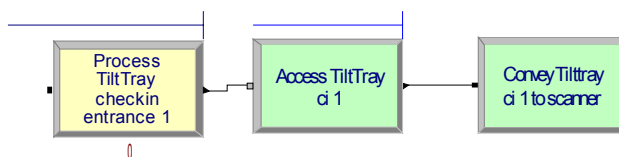
Först kommer bagaget till Access-modulen för det första transportbandet, *Access 1st conveyor from checkindesk 72*. Där reserveras plats på första transportbandet. Därefter fortsätter bagaget till Convey-modulen *Convey Conveyor 1 from checkindesk 72* där bagaget transporteras från början till slutet av första transportbandet. Bagaget befinner sig då i Enter-modulen *Enter Station 2nd conveyor from checkin 72*. Därifrån fortsätter bagaget till Exit-modulen *Exit 1st conveyor from checkindesk 72* där det utrymme som reserverats på transportbandet frigörs. Proceduren är identisk för transporten

med det andra transportbandet; ändstationen för det andra transportbandet heter dock *Checkintransporter entrance 72*.

Från submodellen *Incheckning* går bagaget direkt in i nästa submodell, *Submodel Checkin to TiltTray*. I den submodellen modelleras det långa transportbandet som för bagaget från incheckningsdiskarna på plan 3 ner till TiltTray-anläggningen på plan 2. Det långa transportbandet består av 8 transportband av med varierande längd och hastighet. De modelleras enligt samma princip som transportbanden från incheckningsdiskarna, d.v.s att varje transportband modelleras med en Access-modul, en Convey-modul, en Enter-modul och en Exit-modul, se Figur 7.8, sid 62. Enda skillnaden är att det första transportbandet (det som går bakom incheckningsdiskarna, den vågräta pilen i Figur 5.2, sid 46) har tio påskjutningspunkter för att representera de tio incheckningsdiskarna. Det första transportbandet har endast en slutstation, nämligen där nästa band börjar.

7.6 TiltTray

TiltTray-anläggningen är modellens huvuddel. Den modelleras som en Conveyor med många på- och avsläppspositioner, se Figur 5.3 på s 47. TiltTray-conveyorn rör sig med en hastighet på 1,8 m/s. Hela TiltTray-slingan är ca 550 m lång vilket gör att det tar ca 5 minuter för en bricka att åka runt ett helt varv. Förutom de båda påsläppsstationerna från incheckningen så finns även en påsläppsstation för transferbagage (se avsnitt 7.4.1 på s 60) och en påsläppsstation för QTB. QTB-påmatningen används dock väldigt sällan och tas därför inte med i modellen. Alla de tre påmatningarna är modellerade på samma sätt, se Figur 7.9.

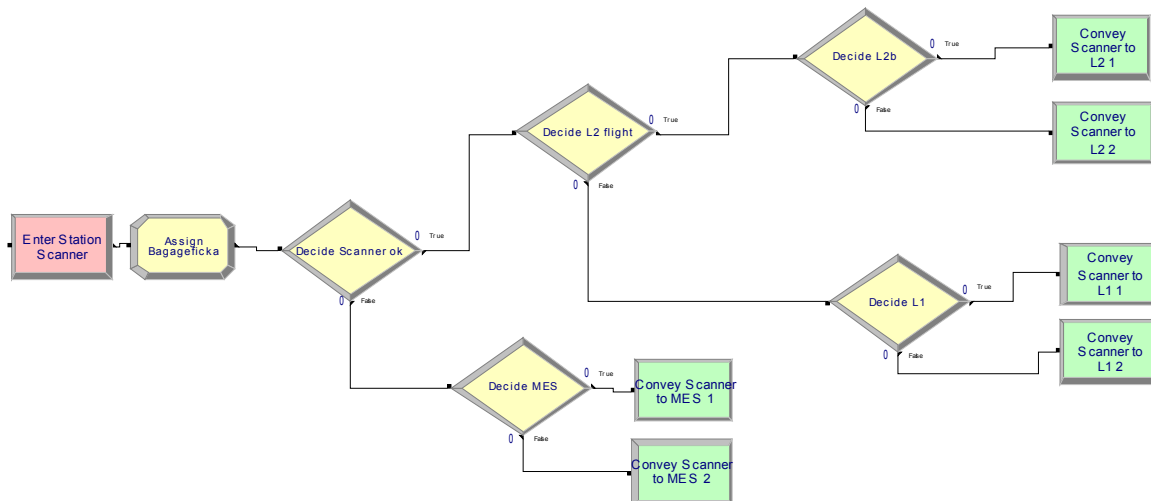


Figur 7.9 Modellering av baggets ankomst till TiltTray-anläggningen

Process-modulen används för att modellera det faktum att det inte går att skicka ut väskor på TiltTray-anläggningen hur tätt som helst. På de flesta påmatningarna (gäller även de från röntgen, MES, etc.) går det att skicka ut bagage på var tredje bricka. Enda undantaget från detta är Transfer-påmatningen, där det går att skicka ut bagage på varannan bricka. För att illustrera detta används Process-modulen, bagaget hålls kvar i Process-modulen i 2 sekunder eftersom det tar 2 sekunder för två brickor att passera påmatningsstationen. Vid Transfer-påmatningen hålls bagaget i 1,33 sekunder. Därefter fortsätter bagaget till Access-modulen där utrymme på TiltTray-anläggningen (en bricka) reserveras för just detta bagage. Därefter går entiteten vidare till Convey-modulen som för den vidare till scannern.

7.6.1 Scanner

Scanner-stationen är inte en plats där bagage lämnar eller ankommer till TiltTray-anläggningen. Vid scannern bestäms det vart bagaget ska ta vägen. Scannern modelleras i enlighet med Figur 7.10.



Figur 7.10 Modellering av scannern

Det första som händer är att entiteten anländer till Enter-modulen *Enter Station Scanner*. Observera att entiteten inte lämnar TiltTray-conveyorn, i själva verket fortsätter den framåt med oförändrad hastighet. Rent logiskt går den dock igenom de moduler som finns i Figur 7.10 för att få reda på vart den ska ta vägen. Efter Enter-modulen kommer entiteten till en Assign-modul, *Assign Bagageticket*. Där bestäms, helt slumpmässigt, vilken av bagageticketorna som är tilldelade till bagagets flight som bagaget ska åka till. Därefter kommer entiteten till en Decide-modul, *Decide Scanner ok*. Där avgörs om scannern kunde läsa väskans bagagetag eller inte. 92% av alla bagagetaggar går att läsa, resterande 8% går inte att läsa⁴⁹.

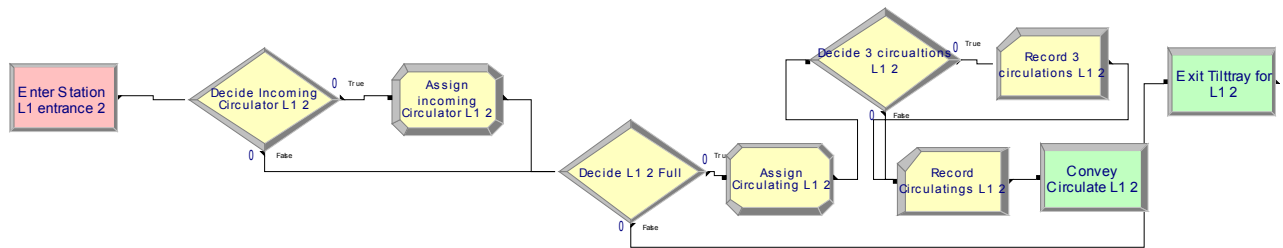
De väskor vars tag inte kunde läsas fortsätter (via den nedre utgången ur Decide-modulen) till en annan Decide-modul, *Decide MES*. Det är ett 50/50-val gällande vilken MES-station som ska nyttjas. Efter Decide-modulen går entiteten till en Convey-modul som för väskan till MES-stationen.

De väskor som godkändes av scannern går även de vidare till en Decide-modul, *Decide L2 Flight*. Den modulen kontrollerar om bagaget tillhör en USA-flight eller inte. Om den gör det ska bagaget gå direkt till Röntgen Level 2, allt övrigt bagage går till röntgen Level 1. Efter denna Decide-modul kommer ytterligare en Decide-modul som avgör vilken Level 1- respektive Level 2-slinga som ska användas. Dessa är modellerade på samma sätt som *Decide MES* som omnämns ovan.

7.6.2 Röntgen Level 1

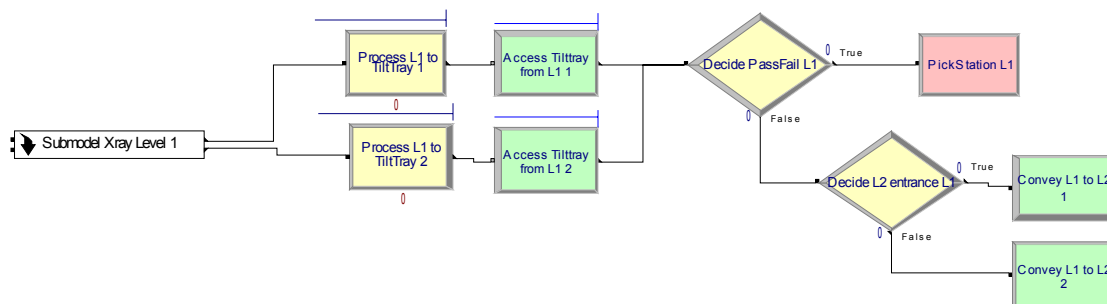
Nästan allt bagage går igenom röntgen nivå 1. Det är endast bagage som ska till USA som går direkt till nivå 2 då amerikanerna kräver att allt bagage som ska till USA ska skiktröntgas. Röntgen Level 1 modelleras i enlighet med Figur 7.11 och Figur 7.12.

⁴⁹ Enligt LFFV:s mätningar



Figur 7.11 Modellering av Röntgen Level 1 del A

Figur 7.11 visar modelleringen av bagagets ankomst till röntgen-stationen. Figuren avbildar den ena Level 1-slingan, den andra är modellerad på exakt samma sätt. Efter ankomst till Enter-modulen anländer entiteten till en Decide-modul, *Decide Incoming Circulator L1*. Denna modul kontrollerar om entiteten som anländer är en entitet som har cirkulerat, d.v.s. åkt ett extra varv på TiltTray-sortern. Entiteter cirkulerar när det är fullt i banan fram till röntgen-maskinen. Det finns endast plats för fyra väskor på bandet mellan avsläpningspositionen från TiltTray och röntgenmaskinen. Om en entitet anländer till avsläpningspositionen när det är fyra väskor på nyss nämnda sträcka släpps entiteten inte av utan den går runt ett helt varv. Om anländande entitet har cirkulerat går den till en Assign-modul, *Assign Incoming Circulator L1*. Där räknas variabeln för hur många entiteter som cirkulerar ner. Därefter fortsätter entiteten till nästa Decide-modul, *Decide L1 full*. Där avgörs – som modulnamnet antyder – huruvida det är fullt på Level 1 eller ej. Om det inte är fullt lämnar väskan TiltTray via Exit-modulen *Exit TiltTray for L1*. Därefter går den in i submodellen i Figur 7.12. Om det är fullt skickas väskan runt ännu ett varv. Den går först till en Assign-modul, *Assign Circulating L1*, där cirkulerar-variabeln räknas upp. Därefter går den till en Decide-modul, *Decide 3 circulations L1*, som kontrollerar om entiteten har cirkulerat tre gånger, av statistikskäl⁵⁰. Till sist går den till en Convey-modul som skickar runt den ett varv tillbaka till Enter-modulen *Enter Station L1 Entrance*.



Figur 7.12 Modellering av Röntgen Level 1 del B

I submodellen *Submodel Xray Level 1* modelleras själva transporten av bagaget genom Level 1-slingan. Slingorna (det är två parallella slingor) består av sex transportband som ligger efter varandra och som går med lite olika hastigheter. Modelleringen av dessa är uppbyggd på samma sätt som för transporten från incheckningsdiskarna, d.v.s. varje transportband modelleras med en Enter-modul, en Exit-modul, en Access-modul och en Convey-modul, se Figur 7.8 på s 62. När bagaget kommer ur submodellen modelleras dess utlopp på TiltTray-slingan med en Process-modul och en Access-modul. Slingorna avslutas med en Decide-modul som avgör huruvida bagaget blir godkänt i Level 1 eller ej. 70% av allt bagage som röntgas i Level 1 godkänns⁵¹.

⁵⁰ I verkligheten skickas väskor som åkt på 3 extravarv till en lateral för manuell hantering, det sker dock inte i den här modellen. LFV har dock haft önskemål att antalet väskor som åker på 3 extravarv mäts.

⁵¹ Enligt LFV:s mätningar.

7.6.3 Röntgen Level 2 och 3

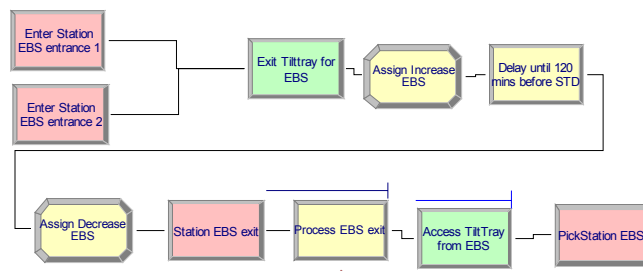
Röntgen Level 2 och 3⁵² modelleras på samma sätt som Level 1, med några mindre undantag. Till skillnad från Level 1 så står bagaget still inne i röntgenmaskinen när det fotograferas. Detta modelleras genom att en Delay läggs in i de Enter-moduler som representerar de transportband som går inne i röntgenmaskinen. Denna delay är triangulär, $TRLA(8,10,20)$. I Röntgen Level 2 och 3 godkänns 99,8% av allt bagage. Det godkända bagaget åker vidare till EBS eller till sin bagageficka. Det icke godkända bagaget fortsätter till Röntgen Level 4, vilket är ett inspektionsrum där väskan öppnas under överinseende av polis. Detta modelleras dock inte i denna modell - bagage som går till Röntgen Level 4 försvinner ut ur modellen via en Dispose-modul.

7.6.4 MES

MES-stationen är uppbyggd på samma sätt som Röntgen Level 2; först kontrolleras om väskan behöver åka på extravarv eller ej och om den inkommande väskan är en som kommer från extravarv. Själva stationen är sedan modellerad med en triangulär delay, $TRLA(1,3,10)$ [s], personalen bedömer detta som en rimlig uppskattning av den tid det tar att hantera en väska i MES.

7.6.5 EBS

EBS-stationen modelleras enligt Figur 7.13.



Figur 7.13 Modellering av EBS

Efter att bagaget lämnat TiltTray-slingan kommer den till en Assign-modul, *Assign Increase EBS*. Där räknas en variabel för hur många väskor som befinner sig i EBS upp. Dessutom lagras tidpunkten för när väskan anlände till EBS i ett attribut, *EBS Intime*. Därefter fortsätter bagaget till en Delay-modul, *Delay until 120 mins before STD*. I denna modul hålls bagaget kvar tills bagagefickan öppnar, d.v.s. två timmar före avgångstid. Detta görs m.h.a. följande formel:

$$x = STD - (60 * 120) - TNOW$$

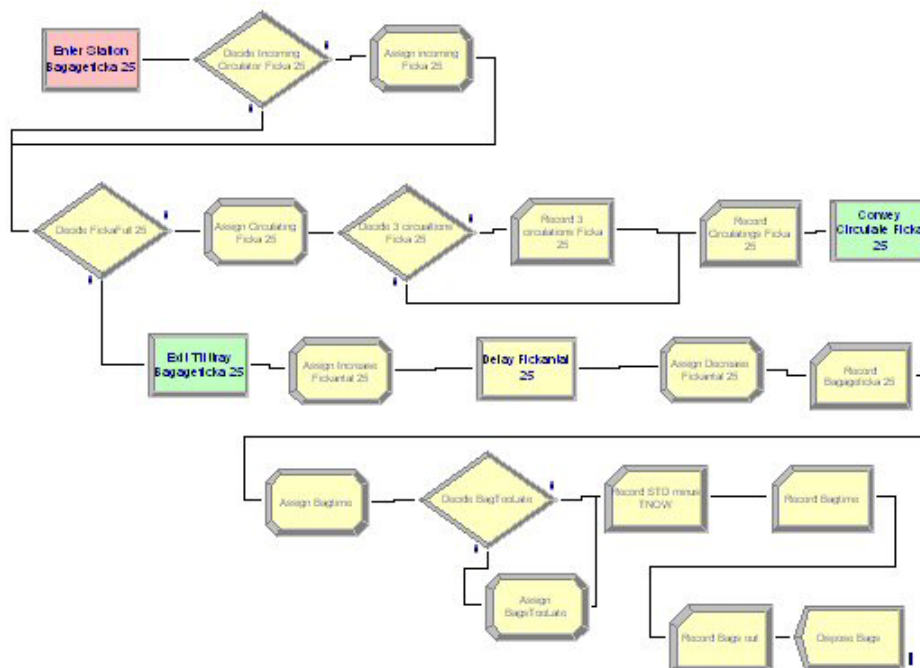
där x är det antal sekunder som bagaget skall hållas kvar.

När det är två timmar kvar till avgångstid släpps bagaget återigen ut på TiltTray-slingan för vidare transport till bagagefickorna.

⁵² Level 2 är en skiktröntgen, Level 3 innebär att fotografierna som tas i Level 2 kontrolleras av en operatör.

7.6.6 Bagagefickorna

Bagagefickorna modelleras enligt Figur 7.14, detta exempel är från bagageficka 25. Alla andra bagagefickor är modellerade på exakt samma sätt.



Figur 7.14 Modellering av bagagefickorna

Först kontrolleras, på samma sätt som vid röntgenstationerna, huruvida det anländande bagaget har varit på extravarv. Därefter fortsätter bagaget till ytterligare en Decide-modul, *Decide FickaFull 25*, där det avgörs om en ficka är full eller inte. Om fickan är full skickas väskan ut på ett extravarv, är den inte det så hamnar bagaget i fickan. En ficka kan vara full eftersom det kan komma såpass mycket bagage att lastningspersonalen inte hinner med att lasta över bagaget i bagagevagnar för vidare transport ut till flygplanet. I modellen är en ficka full om antalet väskor i fickan överstiger värdet på variabeln *Full Ficka*. Detta är en variabel som är normalfördelad, $NORM(20,4)$, och uppdateras varje gång en passagerare anländer till flygplatsen. Detta görs för att få en slumpmässighet i variabeln eftersom det inte är ett exakt antal som definierar om en ficka är full eller ej. Fickan anses vara full när de liggande väskorna bryter en fotocell som är belägen högt upp i fickan. P.g.a. väskors olika storlek och form så är det inte ett exakt antal väskor som gör att fotocellen bryts. Det är för att simulera denna egenskap som variabeln *Full Ficka* ändras kontinuerligt under körningen av modellen, se även avsnitt 8.3.5 på s 76.

Bagaget ligger kvar i ett antal minuter som bestäms av variabeln *Empty Time*, en triangulär variabel $TRLA(0,3,15)$ [min]. Även denna variabel är slumpmässig (det kan ta olika lång tid för lastningspersonalen att tömma fickorna) och uppdateras på samma sätt som variabeln *Full Ficka* varje gång en passagerare anländer till flygplatsen. Därefter lastas bagaget över i bagagevagnar för vidare transport ut till flygplanet, men detta modelleras inte i denna studie och därför försvinner bagageentiteten ut ur modellen via en Dispose-modul.

7.7 Verifiering och validering

7.7.1 Verifiering

Verifieringsprocessen har pågått under hela modellbyggandet. Modellen har konstruerats genom att olika små delmodeller har byggts. Dessa har sedan testats för att se om de fungerat som det var tänkt. Verifiering har skett genom att studera de resultat testerna givit och rimligheten i dessa har bedömts. Animering har varit ett bra hjälpmedel vid dessa tester då det varit lätt att upptäcka uppenbara fel.

Därefter har dessa delmodeller sammanfogats stegvis till en stor modell som representerar hela systemet. I varje sådant sammanfogningssteg har verifiering skett på samma sätt som beskrivs ovan. Naturligtvis har hela den färdiga modellen verifierats, liksom de förändringar som gjorts i modellen för de olika känslighetsanalysscenarierna (se kapitel 10).

7.7.2 Validering

Valideringsprocessen har också varit en pågående process under hela modellbyggandet. Den största delen av valideringen har skett genom att modellens struktur, uppbyggnad och testresultat har diskuterats med personer som har insikt i hur systemet fungerar⁵³. Vidare har resultaten av körningarna varit en del av valideringsprocessen då dessa har bedömts utefter rimlighet.

Validering av indata har skett i den mån att den aktuella trafikveckan valdes efter kriterierna att det var en "normal" vecka, d.v.s. en vecka då inga storhelger eller skollov eller dylikt haft någon inverkan på passagerarflödet. Bagagefaktorn är beräknad på ett stort antal flighter och anses därför vara validerad. Andelen bagage som godkänns i de olika röntgenmaskinerna är tillhandahållna värden från LFV. LFV har gjort mätningar på dessa värden och de får därmed anses vara validerade.

Validering av processtider för röntgenmaskiner har gjorts genom visuell tidsmätning. De av författaren uppmätta tiderna har sedan använts i modellen.

Validering av genomloppstider för väskor har gjorts via mätningar genomförda av Sven Alkert. Resultatet av dessa mätningar redovisas i Tabell 7.4.

⁵³ Dessa har främst varit Natanael Ljung, Jonas Skovgaard, Thomas Whinberg, Anders Andersson och Sven Alkert.

Väskan detekterad av systemet	Väskan tömd till fickan	antal minuter
08:56	09:08	12
09:00	09:07	7
09:07	09:12	5
09:09	09:11	2
09:13	09:20	7
09:17	09:28	11
09:18	09:22	4
09:19	09:23	4
09:24	09:29	5
09:26	09:29	3
09:27	09:37	10
09:28	09:31	3
09:32	09:35	3
09:33	09:40	7
09:38	09:42	4
Medeltid (min)		5,8

Tabell 7.4 Validering av genomloppstider

Tiderna i Tabell 7.4 är som synes grovt uppmätta. Tiden i kolumnen *Väskan detekterad av systemet* är den tidpunkt då väskan har ankommit till TiltTray-slingan. Det innebär att för att jämföra med den tid som mäts i simuleringen ska det adderas ungefär en minut på tiderna ovan eftersom det tar ca en minut för väskan att åka från incheckningsdiskarna till TiltTray-slingan, se Bilaga 2.

De uppmätta tiderna är inte tillräckligt många för att kunna ge ett tillfredsställande medelvärde, men då dessa mätningar gjorts för hand så fanns det inte möjlighet att göra fler än de 15 ovan. Minst 100 mätvärden mätta under olika delar av dagen hade behövts för att kunna få ett tillfredsställande medelvärde. Tyvärr var det inte möjligt att få fram sådana mätningar. De individuella mätvärdena visar dock på att modellen får anses vara valid då modellens genomloppstider stämmer väl överens med de uppmätta värdena. De väskor som tagit över 10 minuter på sig genom systemet har antagligen åkt på ett extravarv, och de som tagit över 5 minuter har förmodligen behövt åka genom Röntgen Level 2 eller MES, eller bådadera. Kontentan är dock att de genomloppstider som ges av modellen stämmer väl överens med de i verkligheten uppmätta tiderna.

8 Grundscenario

I detta kapitel presenteras resultatet från körningen av grundscenariot, d.v.s. körningen med den tidtabell som verkligen flögs under den aktuella veckan.

Grundscenariot i denna studie är baserat på den trafik som verkligen flögs under en vecka våren 2004. Veckan, vecka 17 (19-25 april) var en "vanlig" vecka, d.v.s. inga helgdagar inföll och det var inga skollov eller dylikt som skulle kunna ha en signifikant inverkan på passagerarflödet.

Grundscenariot kördes i 10 replikationer för att få ett statistiskt säkerställt resultat. Detta görs för att få så bra resultat som möjligt eftersom resultaten beräknas som genomsnitt av de 10 replikationerna. På så sätt elimineras eventuella "extremiteter" i resultaten p.g.a. "extrem" slumpmässig indata.

8.1 Genomloppstid för bagage

En av de mest intressanta variabler som har studerats i denna studie är *Bagtime*, det vill säga den tid det tar för bagaget att ta sig från incheckningen till bagagefickan. I denna tid är all tid väskan spenderar i systemet medräknad förutom den tid som bagaget befinner sig i EBS. EBS-tiden är inte medräknad eftersom den i så fall skulle ge en felaktig bild av systemets prestanda. Tabell 8.1 visar variabeln *Bagtime* för de 10 körningarna av modellen.

Bagtime			[s]
Replication	Average	Minimum	Maximum
1	286,09	98,2367	3640,99
2	284,7	99,91	2393,07
3	284,52	100,53	2406,59
4	284,22	99,53	2720,45
5	284,94	99,27	2975,39
6	283,97	99,55	3017,26
7	284,57	99,52	3120,5
8	283,15	99,53	2718,58
9	284,88	98,1806	3031,52
10	284,37	101,95	2741,99
All	284,54	98,1806	3640,99

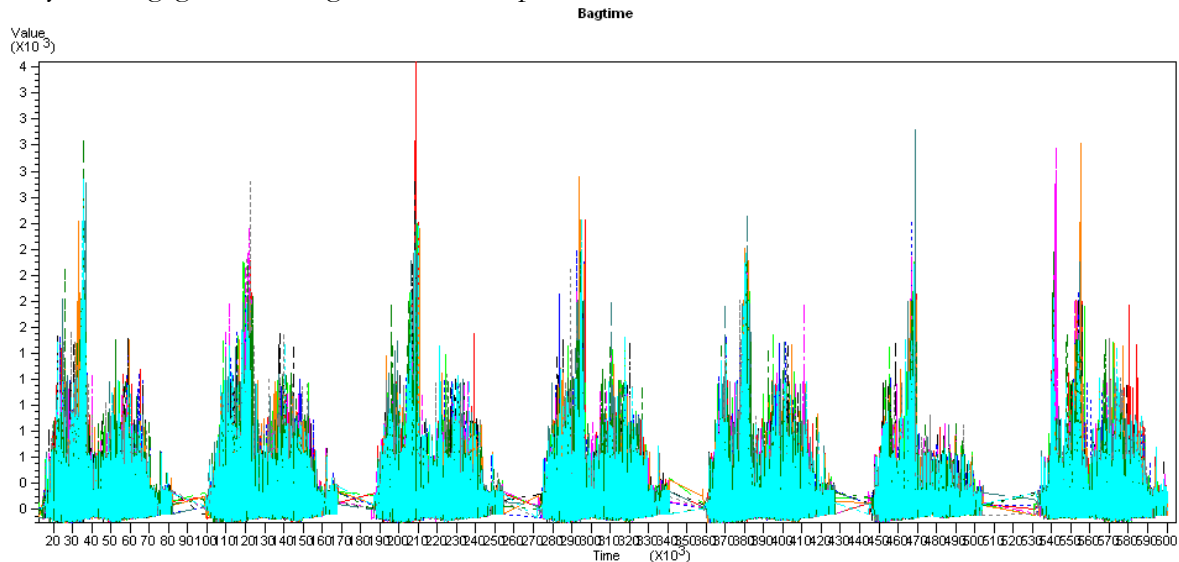
Tabell 8.1 Grundscenario - Genomloppstid för bagage

Observera att i denna och alla följande tabeller med min/max-värden så är det totala minimat resp. maximat som visas i sista raden.

Som synes gav alla 10 körningar väldigt snarlika medelvärden, vilket är bra eftersom det indikerar att modellen är stabil. Medelvärdet på 284,54 sekunder eller 4 min 45 s är en rimlig siffra. Den snabbaste väskan av alla gick igenom systemet på 98,1806 sekunder eller 1 min 48 s. Den väskan var antagligen en transferväska som godkändes i röntgen Level 1 och som skickades direkt till en av de första fickorna. Den allra långsammaste väskan gick igenom systemet på 3640,99 sekunder eller 1 h 41 s. Den väskan har antagligen haft rejäl otur och fått åka på ett antal extravarv eftersom de stationer den skulle till varit fulla. I verkligheten ligger inte väskor och snurrar fler än 3 varv innan de skickas till en lateral för manuell hantering. Det görs för att undvika fall som detta där väskor ligger alltför länge på TiltTray-anläggningen. Detta fenomen är dock inte

modellerat i den här modellen. Antalet väskor som åker fler än 3 varv är dock ganska få så detta problem kan försummas.

Figur 8.1 visar ett diagram över bagagets genomloppstid. Där ser man att det inträffar toppar ungefär samtidigt under samtliga dagar i veckan. Denna topp inträffar ungefär mellan kl 08.00 och 10.00. Detta beror på att det avgår två flighter till USA med kort mellanrum på förmiddagarna⁵⁴, och allt bagage som ska till USA ska röntgas i röntgen Level 2. Röntgen Level 2 tar längre tid än Level 1 vilket gör att det är en högre andel bagage som får åka extravarv under denna tid. Dessutom är det ganska stora flygplan (Airbus 330) som flygs på dessa flighter så det är mycket bagage som ska igenom Level 2 på kort tid.



Figur 8.1 Grundscenario (replikation 1) - Genomloppstid för bagage

Eftersom Figur 8.1 är ett diagram taget från Arena Output Analyzer så går det inte formatera diagrammets axlar vilket gör att de tyvärr blir så plöttriga som i figuren. På den horisontella axeln visas simuleringstid i ks⁵⁵. Värdena går mellan 0 och 604 800 s, vilket är en vecka. På vertikala axeln visas genomloppstid, även det i ks, där går värdena mellan 0 och 4000 s.

8.2 Antal bagage i systemet

Ett annat bra mått på systemets belastning är att se hur många väskor som befinner sig i systemet.

Att beakta när dessa siffror analyseras är att själva TiltTray-anläggningen har 426 brickor. Därtill tillkommer plats för ett antal fler väskor på transportbanden från incheckningen till TiltTray samt i röntgen- och MES-slingorna. Teoretiskt sett skulle alltså säkert minst 450 väskor rymmas i systemet.

Kapacitetsproblem uppstår dock tidigare än så. Det beror på att påmatningsstationerna inte kan mata på bagage på intilliggande brickor. De allra flesta påmatningsstationer⁵⁶ kan endast mata på bagage på var tredje bricka. TiltTray-anläggningen är även konstruerad på så sätt att det inte heller är möjligt att släppa ner bagage från intilliggande brickor i samma ficka eller annan

⁵⁴ SK945 till ORD avgår 10.15 och SK903 till EWR avgår 10.40.

⁵⁵ ks = kilosekunder, tusen sekunder.

⁵⁶ Påmatningsstationen för transferbagage är undantagen, den kan mata på bagage på varannan bricka.

avsläppsposition. Detta sammantaget gör att kapacitetsproblem uppstår vid lägre antal väskor än ca 450.

Tabell 8.2 innehåller resultatet för de 10 körda replikationerna.

BagsWIP-EBS number		
Replication	Average	Maximum
1	65,5864	282
2	64,6928	278
3	66,2062	296
4	66,3124	297
5	64,4613	283
6	63,7665	255
7	67,1011	280
8	66,3749	265
9	64,4316	310
10	64,2061	273
All	65,3139	310

Tabell 8.2 Grundscenario - Antal bagage i systemet

Som framgår av Tabell 8.2 så ligger medelantalet väskor i systemet på ca 65 st. Denna siffra är lite vilseledande eftersom det är ett tidsberoende medelvärde. Det tidsberoende medelvärdet beräknas enligt följande formel:

$$v_{medel} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i \cdot t_i}{T}$$

där

T = hela observerade tiden (en vecka, 604 800 s)

t_i = den tid som variabeln har värdet v_i

v_{medel} = Tidsberoende medelvärde av variabeln

v_i = värdet av variabeln vid observation i

N = antal observationer, som är antal ändringar av variabeln + 1.

Ett exempel: Antag att man studerar anläggningen under en timme. De första 55 minuterna är det ingen väska i anläggningen. Efter 55 minuter anländer 1 väska till anläggningen och efter 58 minuter anländer 4 väskor till.

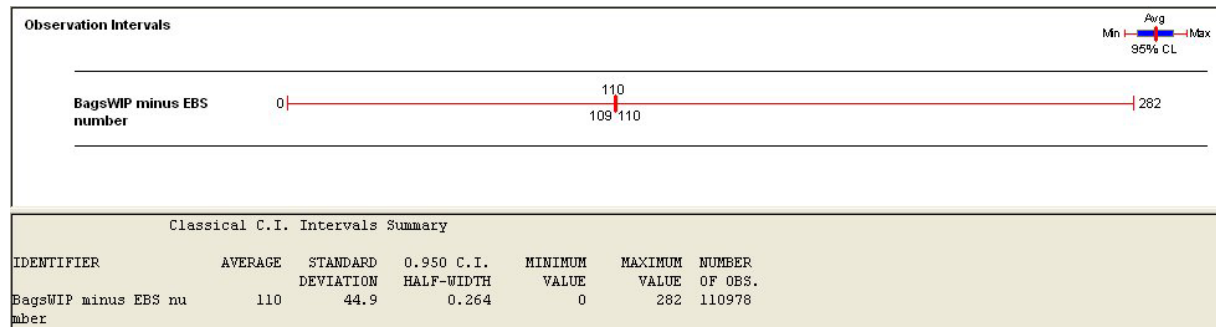
I exemplet är $v_1 = 0$, $v_2 = 1$, $v_3 = 5$, $t_1 = 55$, $t_2 = 3$ och $t_3 = 2$. T är 60 och N är 3 (Ändring från 0 till 1 och från 1 till 5 + 1). Detta ger att det tidsberoende medelvärdet är $(0 \cdot 55 + 1 \cdot 3 + 5 \cdot 2) / 60 \approx 0,21667$.

Med hjälp av en databearbetning i Arena Output Analyzer går det att få fram ett tidsberoende medelvärde av variabeln. Detta värde beräknas enligt följande formel (samma beteckningar som ovan, förutom att v_{medel} = Tidsberoende medelvärde av variabeln):

$$v_{medel} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N}$$

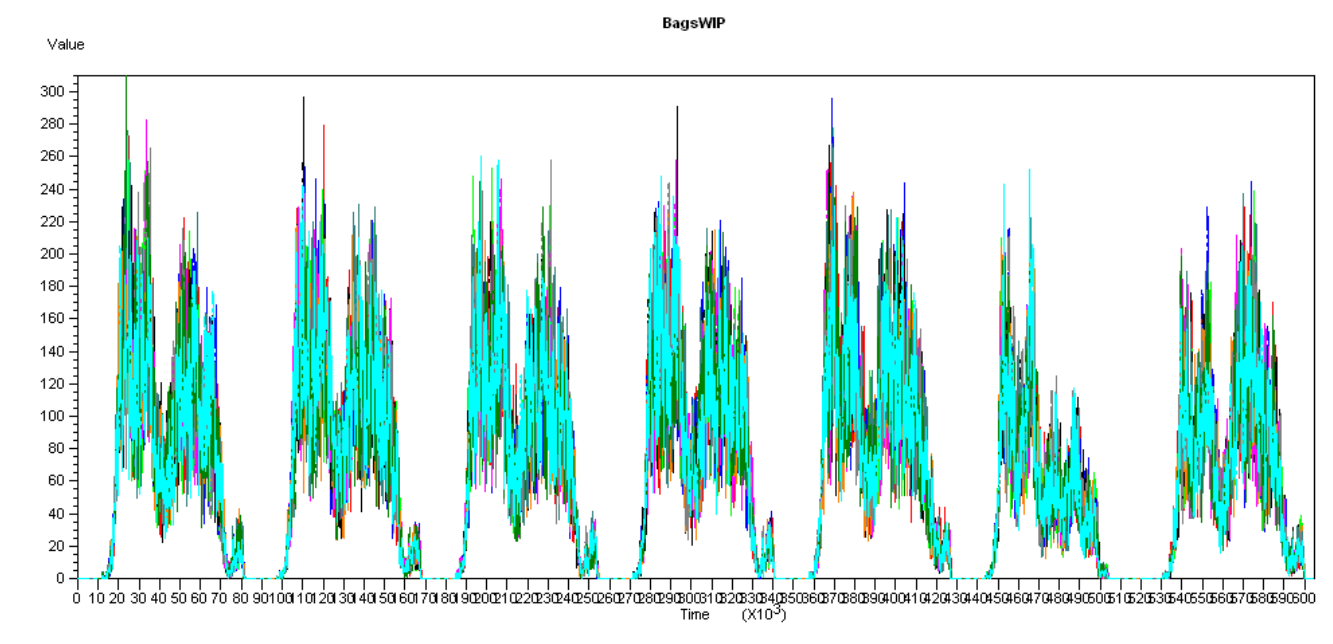
För samma exempel som ovan blir det tidsberoende medelvärde $(0+1+5)/3 = 2$.

Det mest naturliga vore kanske att räkna med det tidsberoende medelvärde. Om så görs i detta fallet blir dock resultatet vilseledande eftersom anläggningen är tom nattetid, vilket drar ner det tidsberoende medelvärde. Det är därför bättre att använda det tidsberoende medelvärde eftersom det ger de olika antalen samma vikt. Under dagtid när antalet väskor ändras ofta spelar tiden mindre roll (antalet väskor är nämligen konstant under väldigt kort tid). Det tidsberoende medelvärde framgår av Figur 8.2.



Figur 8.2 Tidsberoende medelvärde av BagsWIP

I Figur 8.2 går det att utläsa att det tidsberoende medelvärde på antal väskor i systemet ligger runt 110,⁵⁷ med ett väldigt litet konfidensintervall, vilket gör att vi har en mycket bra uppskattning av medelvärde. Figur 8.3 är ett diagram över antal väskor i systemet.



Figur 8.3 Grundscenario (replikation 1) - Antal bagage i systemet

Ur Figur 8.3 går det att utläsa att på vardagar är antalet bagage som störst under morgon- och eftermiddagsrusningarna, där det är lite mer bagage under morgonrusningen. På förmiddagarna

⁵⁷ Av någon anledning är Arena Output Analyzer inställt på att använda 3 värdesiffror, vilket gör att uppskattningen inte blir noggrannare än 110, trots att konfidensintervallet inte är större än 0,528. Att medelvärde skulle vara exakt 110 förefaller vara högst osannolikt. Antalet värdesiffror går inte att ändra.

avgår stora flygplan till USA (SK903 och SK945 till ORD respektive EWR) vilket bidrar till att många väskor befinner sig i systemet på morgonen. Dessutom är det långväga flighter vilket gör att det är större sannolikhet att många passagerare checkar in väskor. De som flyger kortare flygningar (främst inom Skandinavien och norra Europa) kanske bara är borta över dagen på tjänsteärenden vilket gör att de ofta endast har handbagage med sig. En annan intressant observation är att på tisdagar, torsdagar, fredagar och söndagar avgår en annan interkontinental flight, nämligen TG961 till BKK kl. 1435. Den flighten flygs med Boeing 747, eller även känd som jumbojet. Det går att utläsa i figuren att antalet bagage under eftermiddagarna är högre under dessa dagar.

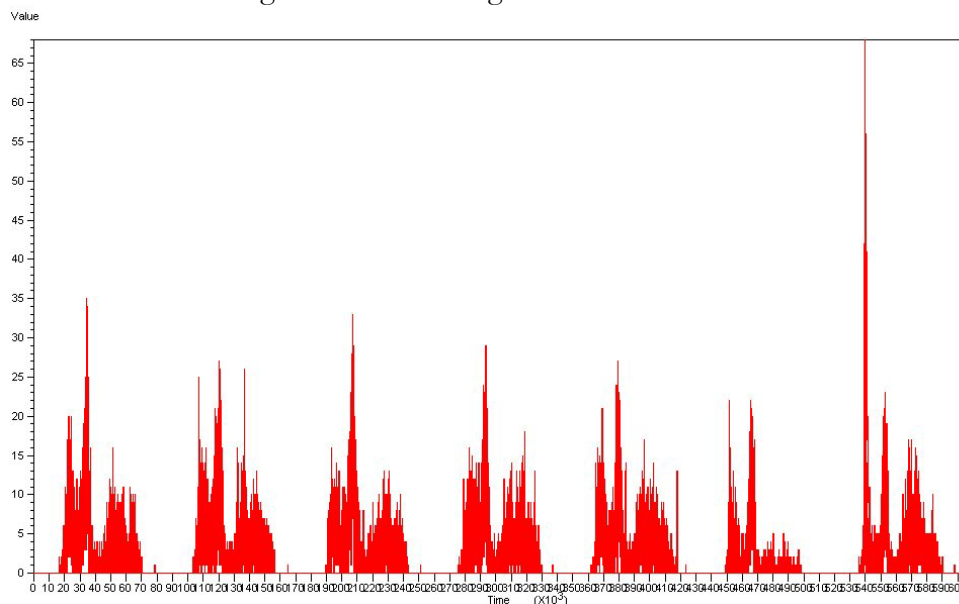
Mitt på dagen är det lågtrafik och antalet bagage i systemet sjunker avsevärt. Det går även att utläsa ur figuren att det är betydligt mindre intensiv trafik på lördagar, vilket tydligt speglar sig i antalet bagage i systemet.

8.3 Antal extravarv

Ytterligare en egenskap som är intressant att studera är hur många väskor som är på extravarv och hur många väskor som har skickats iväg på extravarv p.g.a. att det är fullt vid en viss station. Det är intressant för att det då går att se om det föreligger något kapacitetsproblem vid en eller flera stationer. Med att en väska är på extravarv menas att en väska har skickats till en station⁵⁸ som har varit full och inte har kunna ta emot väskan och därför har den skickats runt ett helt varv på TiltTray-slingan.

8.3.1 Momentant antal som är på extravarv

Det momentana antalet väskor som är på extravarv, d.v.s. hur många väskor som samtidigt är ute på extravarv, är en bra måttstock för att ta reda på vid vilka tider det är stor belastning på systemet. Denna variabel, som i simuleringsmodellen kallas *NoCirculating*, har ett medeltal utslaget på hela veckan på 1,83. Den siffran är dock ganska intetsägande då den även väger in nattetid då anläggningen inte används. Att istället studera ett diagram över variabelns värden under veckan är bättre. Ett sådant diagram återfinns i Figur 8.4.



Figur 8.4 Grundscenario (replikation 1) - Momentant antal på extravarv

⁵⁸ Röntgenstation, MES, bagageficka.

Värdet på variabeln *NoCircualting* varierar under tidens gång, vilket framgår av Figur 8.4.⁵⁹ Som framgår i figuren varierar antalet väskor som är på extravarv under dagen, vilket är helt naturligt. Antalet är som störst under förmiddagen strax innan avgångstid för SK903 och SK945, och det beror naturligtvis på att dessa flighter är USA-flighter som dessutom flygs med stora flygplan⁶⁰ som tar många passagerare.

Det maximala antalet väskor som varit på extravarv samtidigt i någon replikation är 68, medelvärdet av det maximala antalet som varit ute på extravarv är 44,9 – vilket framgår av Tabell 8.3.

Max No Circualting	
Replication	Number
1	42
2	28
3	40
4	68
5	43
6	29
7	65
8	36
9	65
10	33
Avg	44,9

Tabell 8.3 Grundscenario - Maximalt antal väskor på extravarv

8.3.2 Extravarv p.g.a. att MES är full

I simuleringen antas båda MES-platserna vara bemannade dygnet runt. Så är inte fallet i verkligheten då det vid normal drift är såpass låg belastning på MES-stationen att det räcker gott och väl att endast ha en position bemannad. Ett talande bevis för att så är fallet är att av de ca 4900 väskor⁶¹ som passerar igenom MES-stationen i simuleringsmodellen under en vecka så är det endast i medeltal 1,5 väska som skickas på extravarv p.g.a. att det är fullt vid MES-stationen; antalet översteg inte 3 i någon replikation. Att bagage åker på extravarv p.g.a. att MES är full är ett mycket försumbart problem i grundscenariot.

8.3.3 Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Den i särklass största anledningen i absoluta tal till att väskor åker på extravarv är för att det är fullt i Röntgen Level 1, se Tabell 8.4.

⁵⁹ Diagrammet visar alla värden på variabeln, en stapel för varje registrerat värde (en ny registrering sker när en väska går ut på extravarv eller när en kommer in från extravarv).

⁶⁰ Airbus A330.

⁶¹ Det passerar i medeltal 61 270 väskor genom systemet varje vecka, 8% av dessa (d.v.s. ca 4900) kan ej läsas av scannern och skickas därför till MES.

Circulations L1			
Replication	L1 1	L1 2	L1 total
1	1010	1007	2017
2	1105	1044	2149
3	1097	1044	2141
4	945	1057	2002
5	1009	926	1935
6	965	951	1916
7	1050	1012	2062
8	1056	944	2000
9	1022	906	1928
10	944	1068	2012
All	1020,3	995,9	2016,2

Tabell 8.4 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I Tabell 8.4 är antalet väskor uppdelade på de båda inloppen (L1 1 och L1 2). Totalt sett är det alltså i medeltal 2016 väskor som skickas ut på extravarv varje vecka p.g.a. att det är fullt i Röntgen Level 1. Detta ska ställas i relation till att det i medeltal går igenom 61 270 väskor varje vecka genom systemet. De 2016 väskorna som åker ut på extravarv utgör endast 3,3% av det totala antalet. Denna och motsvarande variabler för MES (Tabell 8.3), Röntgen Level 2 (Tabell 8.5) och Bagagefickorna (Tabell 8.6) mäter antalet extravarv som uppkommit. Om en väska som har varit på extravarv anländer och skickas ut på extravarv igen så har den alltså givit upphov till två inkrementeringar av variabeln.

8.3.4 Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Circulations L2			
Replication	L2 1	L2 2	L2 total
1	505	1134	1639
2	639	865	1504
3	561	662	1223
4	543	731	1274
5	578	655	1233
6	537	816	1353
7	615	833	1448
8	540	829	1369
9	644	792	1436
10	659	708	1367
All	582,1	802,5	1384,6

Tabell 8.5 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 8.5 är på samma sätt som Tabell 8.4 uppdelad på de båda inloppen till röntgenmaskinerna. Jämfört med Röntgen Level 1 i Tabell 8.4 så är det färre antal som skickas ut på extravarv – det är dock Level 2-maskinerna som har minst kapacitet eftersom det endast är strax över 30 % av alla väskor som passerar genom Level 2 mot ca 95 % som passerar genom Level 1. Det är ca 7-8% av alla väskor som passerar Level 2 som skickas ut på extravarv p.g.a. att det är fullt där.

8.3.5 Extravarv p.g.a. att bagagefickan är full

Bagage kan också åka på extravarv på grund av att bagagefickan är full. Ibland hinner personalen helt enkelt inte tömma fickorna tillräckligt snabbt innan mer väskor ska hamna där. En ficka anses vara full när någon väska ligger och bryter en fotocellstråle långt upp i rännan, se Figur 8.5.



Figur 8.5 Bagagefickorna med fotocellen utmarkerad

I Figur 8.5, som är samma bild som Figur 2.4, är fotocellerna för ficka 30 och 31 utmarkerade med pilar – om någon väska bryter denna stråle (förutom när väskorna rutschar förbi) anses fickan vara full. Detta är dock inte något stort problem, som framgår av Tabell 8.6.

Antal extravarv p.g.a. Full ficka			
Ficka	Medelantal	Ficka	Medelantal
6	0,1	28	3,6
10	0,1	29	2,2
11	0,3	30	4
12	11,5	31	1,7
13	4	32	0,6
14	2	33	3,7
15	2,1	35	2,4
16	0,3	36	3,6
17	0,3	37	3,7
18	0,5	38	1
19	2,4	39	0,3
20	24,8	40	0,4
21	22,1	41	4,3
22	30	42	9,8
23	0,7	43	7,7
24	4,8	44	6,3
25	3,2	45	1,6
26	1,2	46	0,3
27	0,6	47	0,7
		49	1,2
		Totalt	169,5
		Totalmedel	4,399

Tabell 8.6 Grundscenario - Antal extravarv p.g.a. att fickan är full

I Tabell 8.6 är inte alla fickor uppräknade i tabellen. Det beror på att de fickor som utelämnats inte hade någon väska alls (i någon av de 10 replikationerna) som åkte på extravarv p.g.a. att fickan var full. Problemet med att väskor åker på extravarv p.g.a. att fickan är full är försumbart eftersom det endast är i medeltal 169,5 väskor, eller 0,28% av alla väskor som går igenom systemet som "drabbas".

9 Kapacitetsanalys

I detta kapitel presenteras resultatet från de körningar som gjordes med en utökad trafik för att simulera en tänkt trafikökning.

För att ta reda på anläggningens kapacitet och för att kunna ge en prognos på hur anläggningen kommer klara av ett ökat trafikflöde konstruerades ett antal scenarier för att återspegla den rimliga trafikökningen under den närmaste tiden. Scenarierna utarbetades i samråd med Anders Andersson, tidtabellskoordinator på SAOP. 5 scenarier simulerades utifrån ett trafikökningsperspektiv.

9.1 Scenario A0: Redan klara trafikökningar

I detta scenario tillkommer de flighter som introducerades i trafikprogrammet under hösten 2004 då Malaysia Airlines började flyga ruten KUL-ARN-EWR och omvänt. Flight MH090 avgår till EWR kl. 1630 måndag, torsdag och lördag medan MH091 avgår till KUL kl. 1240 tisdag, fredag och söndag. Flighten flygs med Boeing 777 som tar 278 passagerare. Fr.o.m. tidtabellskiftet den 26 mars 2005 kommer dock MH090/MH091 istället att flygas med Boeing 747 som har plats för 386 passagerare.⁶² Dessutom började charterbolaget Orient Thai Airlines den 11 december 2004 flyga till BKK på lördagar med avgång kl 2210. Den flighten flygs med Boeing 747.

Samtliga trafikökningsscenarier (Scenario A1-A4) är baserade på detta scenario, d.v.s. det är på Scenario A0 som alla extraflighter läggs till, och det är med Scenario A0 som Scenario A1-A4 kommer att jämföras för att studien ska göras mot en så aktuell tidtabell som möjligt.

9.1.1 Genomloppstid för bagage

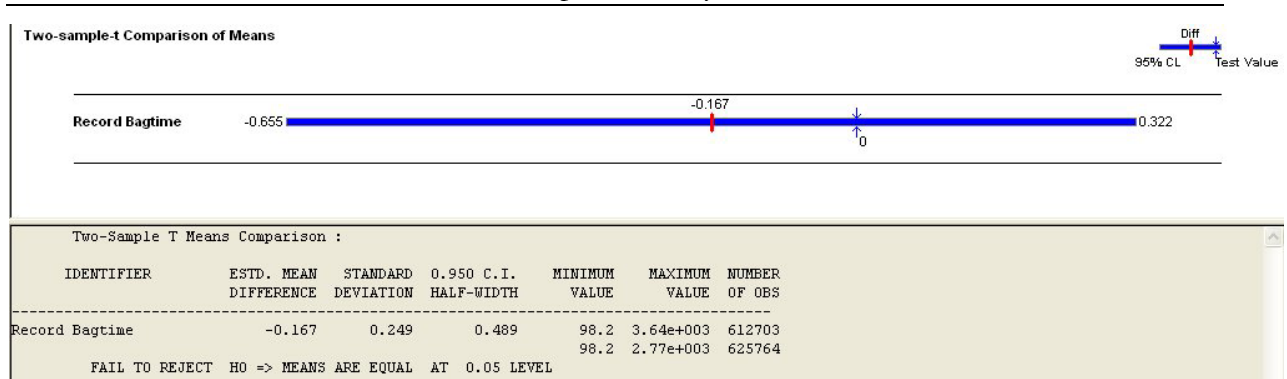
Tabell 9.1 visar värdena för variabeln *Bagtime* vid körningen av detta scenario.

Bagtime			[s]
Replication	Average	Minimum	Maximum
1	284,22	99,18	2419,72
2	284,48	100,58	2482,30
3	283	100,9	2662,72
4	285,15	100,54	2716,93
5	284,75	100,04	2724,36
6	283,59	99,61	2473,96
7	285,04	99,66	2472,10
8	285,72	98,1783	2732,15
9	285,36	100,37	2766,14
10	285,75	98,7728	2721,38
All	284,71	98,1783	2766,14

Tabell 9.1 Scenario A0 - Genomloppstid för bagage

Utslaget på hela trafikveckan så har de 21 nya flighterna endast haft mycket marginell inverkan på den genomsnittsliga genomloppstiden för bagaget. Det är inte någon statistiskt säkerställd skillnad mellan medelvärdena för grundscenariot och Scenario A0, se Figur 9.1.

⁶² Malaysia Airlines,
http://hq.malaysiaairlines.com/mys/eng/flying_with_us/during_your_flight/seat_plan/seat_plan.asp (acc. 2005-03-13)

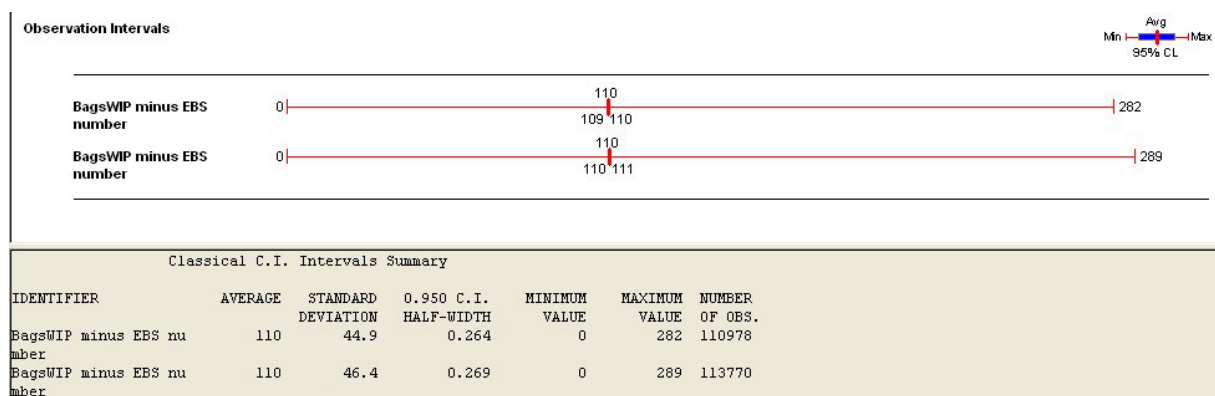


Figur 9.1 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario A0

Figur 9.1 visar en statistisk jämförelse gjord i Arena Output Analyzer för medelvärdet på variabeln *Bagtime* i grundscenariot och Scenario A0. Analysen visar att medelvärdet av skillnaden mellan de båda är -0,167 s, d.v.s. det går i medeltal 0,167 s snabbare för väskorna att ta sig igenom anläggningen i grundscenariot än i Scenario A0. Diagrammet visar det tvåsidiga 95%-iga konfidsintervallet för skillnaden. Detta intervall [-0,655;0,322] innefattar 0, vilket gör att det inte finns någon statistisk säkerställd skillnad mellan de båda medelvärdena.

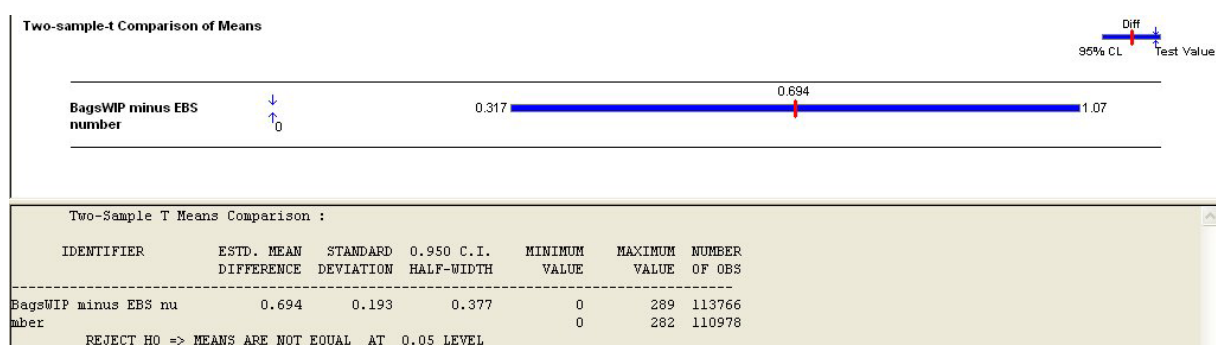
9.1.2 Antal bagage i systemet

Figur 9.2 visar det tidsberoende medelvärdet för grundscenariot (överst) och Scenario A0.



Figur 9.2 Antal bagage i systemet i grundscenariot och Scenario A0 - Tidsberoende medelvärde

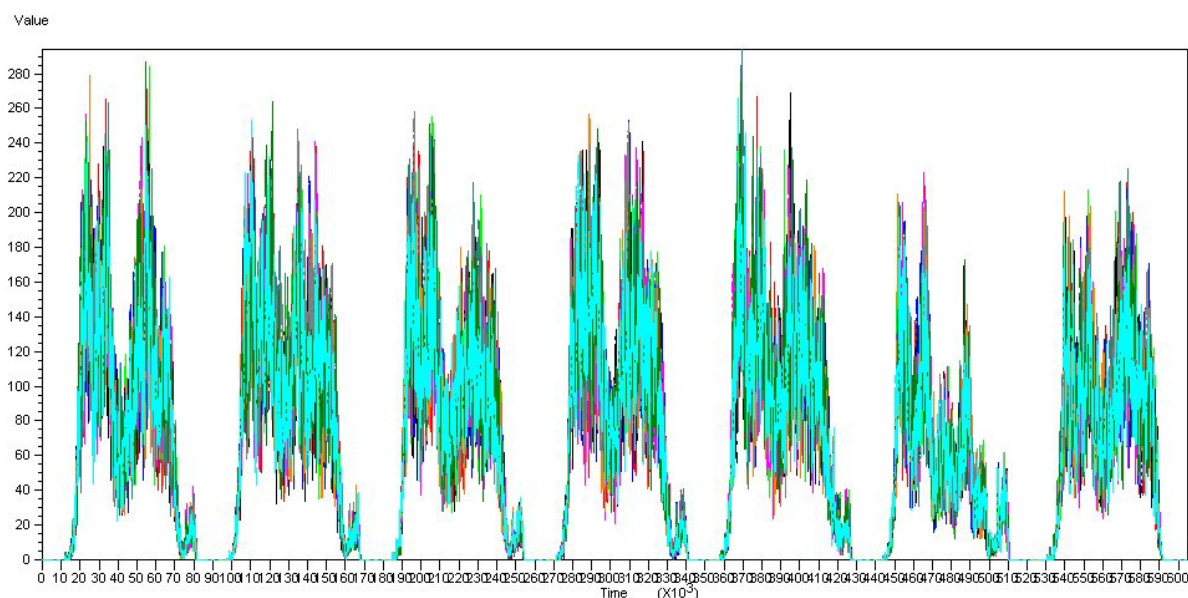
Som synes har det tidsberoende medelvärdet ökat något, det undre medelvärdet ligger något längre till höger än det övre, vilket innebär att medelvärdet för Scenario A0 är lite högre än för grundscenariot, trots att det tabellen under står 110 för båda värdena. Anledningen till detta är samma som förklarades på s 73. Ökningen är liten men statistiskt säkerställd vilket framgår av den statistiska jämförelsen av medelvärden som återfinns i Figur 9.3.



Figur 9.3 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario A0

I medeltal är det alltså 0,694 fler väskor i systemet i Scenario A0 och konfidensintervallet för denna skillnad $[0,317;1,07]$ innefattar inte 0, vilket gör att denna skillnad är statistiskt säkerställd. Det är alltså en mycket liten ökning av antalet bagage i systemet.

Figur 9.4 är ett diagram över antalet bagage i systemet.



Figur 9.4 Scenario A0 (replikation 1) - Antal bagage i systemet - diagram

Om man jämför Figur 9.4 med Figur 8.3 på s 73 ser man att maxantalet väskor i systemet under morgontimmarna visserligen har gått ner något, men i gengäld ligger medelantalet högre än i grundscenariot under de tider som MH090 (må, to, lö em.) respektive MH091 (ti, fr, sö lunchtid) har incheckningstid, vilket är ett förväntat utfall. Nedgången av maxantalet väskor under morgontimmarna är liten och försumbar.

9.1.3 Antal extravarv

Momentant antal väskor på extravarv

Det maximala antalet väskor som varit på extravarv under ett och samma tillfälle i varje replikation framgår av Tabell 9.2.

Max No Circulating		
Replication	A0	Grund
1	33	42
2	24	28
3	27	40
4	61	68
5	45	43
6	33	29
7	50	65
8	28	36
9	40	65
10	54	33
All	39,5	44,9

Tabell 9.2 Scenario A0 - Maximalt antal bagage på extravarv

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har den utökade trafiken inte inneburit någon ökning av det momentana antalet väskor på extravarv. Medelvärde har visserligen sjunkit något, vilket kan tyckas vara konstigt. Det maximala antalet väskor på extravarv är dock ett väldigt osäkert mått eftersom det är mycket starkt beroende av slumpmässigheten i modellen. Det är därför väldigt svårt att dra några slutsatser med hjälp av detta mått. Rimligtvis borde dock inte en såpass liten ökning ha någon signifikant inverkan på antalet väskor på extravarv.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I Tabell 9.3 visas antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1-maskinerna.

Circulations L1			A0	Grund
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	1019	1047	2066	2017
2	1035	1025	2060	2149
3	981	1003	1984	2141
4	994	974	1968	2002
5	954	979	1933	1935
6	990	1021	2011	1916
7	1014	994	2008	2062
8	1000	1030	2030	2000
9	1003	1001	2004	1928
10	1017	909	1926	2012
All	1000,7	998,3	1999	2016,2

Tabell 9.3 Scenario A0 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Av detta resultat går det att dra slutsatsen att inte heller detta är ett mått som påverkas av en såpass ringa trafikökning som det är frågan om i detta fall. Medelvärde har sjunkit något jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) vilket egentligen inte borde ske, men även detta är ett resultat av slumpmässigheten i modellen.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

I Tabell 9.4 återfinns antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2-maskinerna.

Circulations L2			A0	Grund
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	678	887	1565	1639
2	767	790	1557	1504
3	559	808	1367	1223
4	626	889	1515	1274
5	665	943	1608	1233
6	644	781	1425	1353
7	619	920	1539	1448
8	814	984	1798	1369
9	643	1045	1688	1436
10	757	945	1702	1367
All	677,2	899,2	1576,4	1384,6

Tabell 9.4 Scenario A0 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) går det att utläsa att i detta fallet har medelvärde-
ökat med 188 väskor eller 13,9% vilket måste anses som en signifikant ökning. Denna ökning
beror på flight MH090 avgår till EWR 3 ggr i veckan med förhållandevis stora flygplan. Allt
bagage till denna flight måste gå igenom Röntgen Level 2. Att den flighten dessutom avgår i
eftermiddagsrusningen gör att det kan bli högt tryck på Röntgen Level 2-maskinerna vilket gör att
det blir ännu fler väskor som skickas på extravarv. 188 väskor motsvarar ungefär samtliga väskor
på en avgång med MH090 med 2/3 beläggning.

9.2 Scenario A1: Trafikökning Europa

Ett scenario med ett utökat antal flighter till destinationer i Europa med medelstora flygplan
(Boeing 737/Airbus 320) anses vara en rimlig ökning av trafiken de närmaste åren. Dessa plan
har (i Malaysia Airlines konfiguration) plats för 144 passagerare.⁶³ Det är dock inte känt vilka
flygbolag och vilka destinationer som skulle vara aktuella vid en trafikökning. För att inte några
falska rykten ska börja flöda så utökas tidtabellen i detta och alla andra trafikökningsscenarier
med flighter med det icke-existerande flygbolaget *Bernandersson Airways*. I detta scenario infördes
följande flighter:

- BE1 till LGW kl 0555 dagligen
- BE2 till GVA kl 0735 dagligen
- BE3 till AMS kl 1705 dagligen

Antalet passagerare på flighterna sattes till liknande värden som andra flighter som flygs med
samma flygplanstyper.

⁶³ Malaysia Airlines,
http://hq.malaysiaairlines.com/mys/eng/flying_with_us/during_your_flight/seat_plan/seat_plan.asp (acc. 2005-03-13)

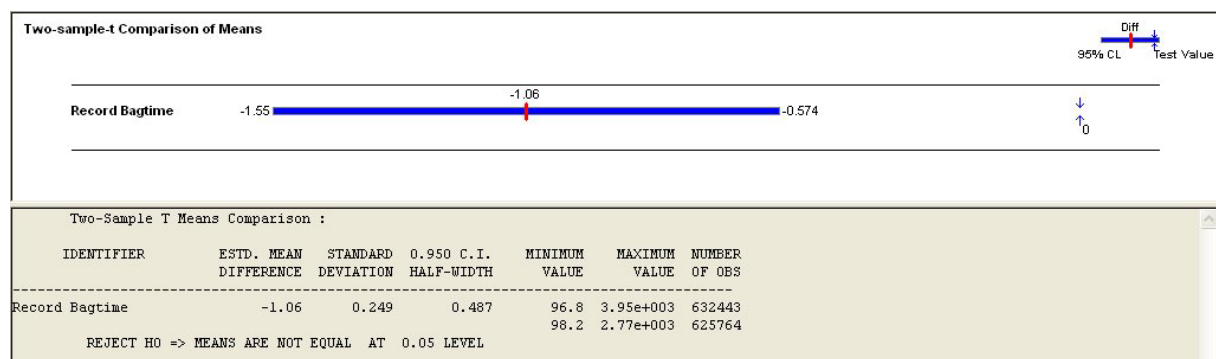
9.2.1 Genomloppstid för bagage

I Tabell 9.5 återfinns variablen *Bagtime* för de 10 replikationerna av Scenario A1.

	A1			A0
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	282,79	98,1979	2700,45	284,22
2	283,8	95,858	3038,39	284,48
3	283,63	96,887	3031,03	283
4	284,17	96,8425	2415,08	285,15
5	282,51	99,61	2467,69	284,75
6	283,7	96,8887	2750,81	283,59
7	285,29	98,5183	2742,45	285,04
8	283,55	98,3176	2786,27	285,72
9	282,98	96,8967	3398,25	285,36
10	284,03	97,2253	3951,33	285,75
All	283,64	96,8425	3951,33	284,71

Tabell 9.5 Scenario A1 - Genomloppstid för bagage

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) verkar det vid en första anblick vara så att medelvärdet av tiden har minskat något trots att trafikmängden och mängden väskor har ökat. Ett statistiskt hypotestest visar att den minskningen faktiskt är statistiskt signifikant, se Figur 9.5.



Figur 9.5 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A1 och A0

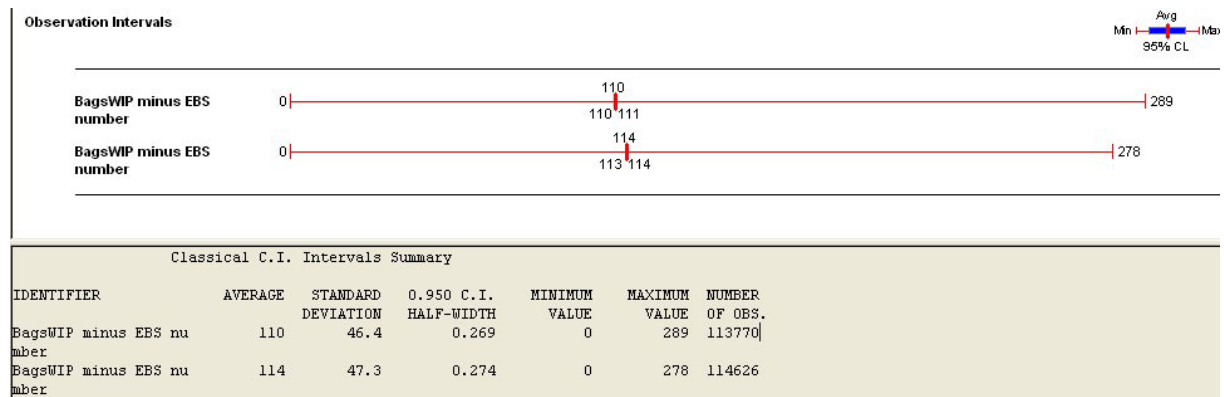
Den statistiska jämförelsen i Figur 9.5 testar om det någon skillnad mellan medelvärdena för variablerna T_{A1} och T_{A0} .⁶⁴ Jämförelsen görs parvis för alla värden genom att beräkna differensen $T_{A1} - T_{A0}$. Om ett 95%-igt konfidensintervall för denna differens spänner över 0 så är det ingen signifikant skillnad mellan de båda medelvärdena. I detta fall ligger medelvärdet för differensen på -1,06 och intervallet är [-1,55;-0,574] vilket kan utläsas av figuren. Det betyder att det är en statistiskt signifikant skillnad och att det faktiskt i medeltal går lite snabbare (0,5 - 1,5 s) för väskorna att ta sig igenom Scenario A1 än Scenario A0. Denna skillnad är dock så liten att den är försumbar.

Att det går snabbare i Scenario A1 är inte konstigt eftersom att en övervägande del av de tillförda väskorna i scenariot kan gå igenom systemet snabbare än det tidigare medelvärdet och på så sätt bidrar de till att medelvärdet sänks.

⁶⁴ T_{A1} = Genomloppstid för bagage i Scenario A1. T_{A0} = Genomloppstid för bagage i Scenario A0.

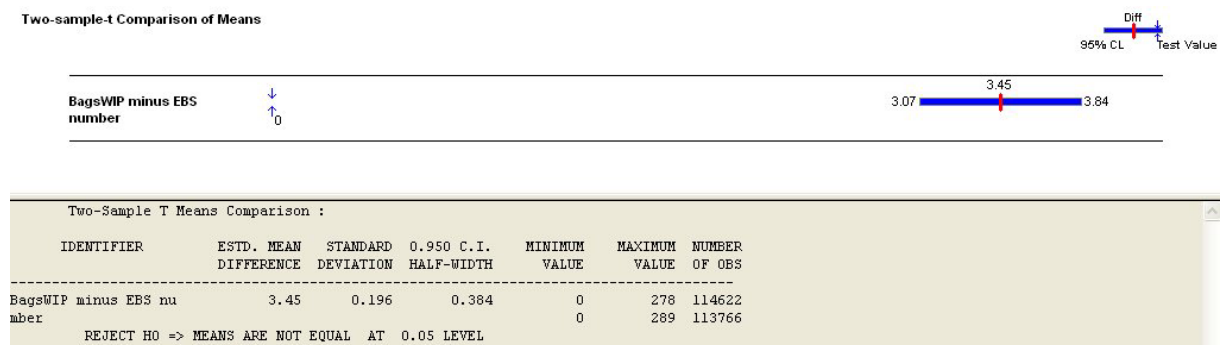
9.2.2 Antal bagage i systemet

Figur 9.6 visar det tidsberoende medelvärdet av antalet bagage i systemet för Scenario A0 (överst) och Scenario A1.



Figur 9.6 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A1 - tidsberoende medelvärde

Som synes i Figur 9.6 har medelvärdet ökat något i Scenario A1. Denna ökning är statistiskt säkerställd, vilket framgår av jämförelsen av medelvärdena i Figur 9.7.



Figur 9.7 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A1 och A0

Denna ökning är helt naturlig eftersom fler flighter naturligtvis ger mer bagage i systemet, i synnerhet när de tillagda flighterna avgår i peaktid.

9.2.3 Antal extravarv

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Tabell 9.6 visar antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1			A1	A0
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	1007	1071	2078	2066
2	1047	1151	2198	2060
3	1037	1102	2139	1984
4	1007	1113	2120	1968
5	1004	1024	2028	1933
6	1081	998	2079	2011
7	1022	1124	2146	2008
8	1234	1044	2278	2030
9	1001	1146	2147	2004
10	1030	1153	2183	1926
All	1047	1092,6	2139,6	1999

Tabell 9.6 Scenario A1 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har antalet ökat med 140,6 väskor, eller 7%. Anledningen till att en såpass liten trafikökning (1% fler väskor) ger ett relativt stort utslag på detta mått är att de nya flighterna är inlagda i peaktid och det är ju då som problemen uppstår eftersom trycket då är som störst.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 9.7 visar antalet extravarv p.g.a. att det var fullt i inloppet till Röntgen Level 2.

Circulations L2			A1	A0
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	615	854	1469	1565
2	789	718	1507	1557
3	745	753	1498	1367
4	723	871	1594	1515
5	734	716	1450	1608
6	587	937	1524	1425
7	713	1004	1717	1539
8	592	880	1472	1798
9	587	773	1360	1688
10	718	996	1714	1702
All	680,3	850,2	1530,5	1576,4

Tabell 9.7 Scenario A1 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har medelantalet väskor sjunkit något, det är dock försumbart. De slutsatser som kan dras av detta är att den utökade trafiken till Europa inte har någon större inverkan på antalet som åker på extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full. En annan slutsats är att det är USA-flighter som har störst inverkan på detta mått.

9.3 Scenario A2: Trafikökning USA

Ett annat troligt scenario är att det kommer fler flighter till USA. I detta scenario har en sådan flight lagts till Scenario A0, nämligen flight BE4 till ORD kl 0715 dagligen. BE4 flygs med en Boeing 777 som i Malaysia Airlines konfiguration har plats för 278 passagerare.⁶⁵

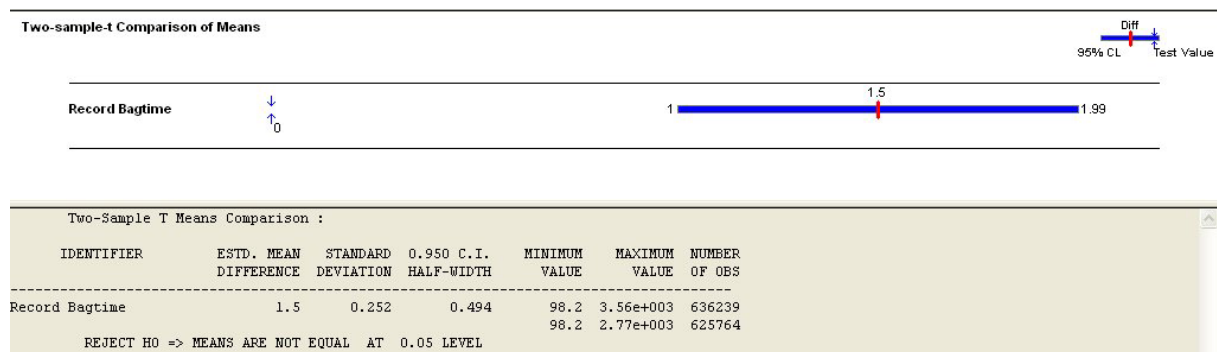
9.3.1 Genomloppstid för bagage

Tabell 9.8 visar genomloppstiden för bagaget i Scenario A2.

Bagtime	A2 [s]			A0
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	286,4	99,27	3030,38	284,22
2	285,29	99,55	2795,92	284,48
3	285,55	99,53	3019,91	283
4	286,8	103,03	2473,05	285,15
5	285,9	100,61	2726,9	284,75
6	286,74	99,51	3020,03	283,59
7	285,88	99,63	3039,99	285,04
8	286,41	98,1739	3558,55	285,72
9	286,73	99,56	3010,4	285,36
10	286,35	99,66	2423,28	285,75
All	286,21	98,1739	3558,55	284,71

Tabell 9.8 Scenario A2 - Genomloppstid för bagage

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) har bagagets genomloppstid ökat något, vilket är ett förväntat utfall. Denna ökning på 1,5 s är statistiskt säkerställd vilket visas i Figur 9.8.



Figur 9.8 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A2 och A0

Även i detta scenario är förändringen av genomloppstiden för bagaget försumbart liten. Det är ett förväntat utfall eftersom trafikökningen i Scenario A2 är av liknande omfattning som den i Scenario A1.

9.3.2 Antal bagage i systemet

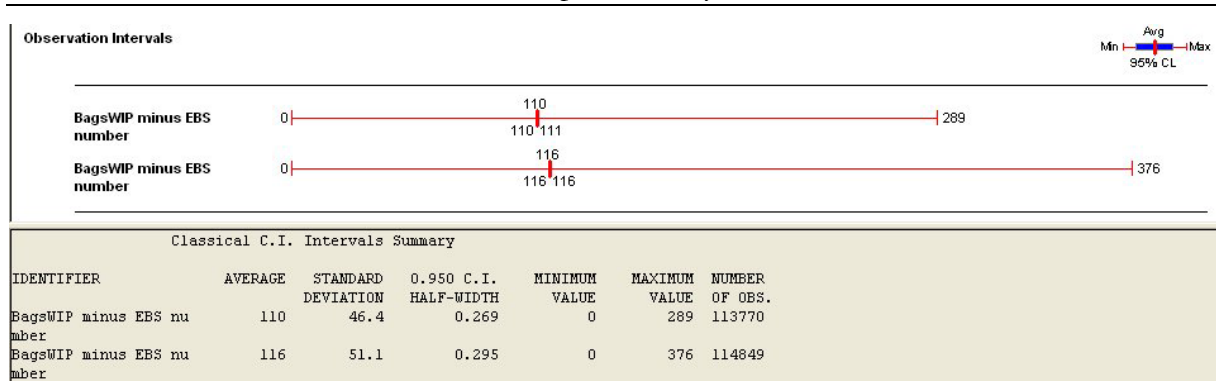
Figur 9.9 visar det tidsberoende medelvärde av antal bagage i systemet för Scenario A2 (överst) och Scenario A0.

⁶⁵ Malaysia Airlines,

http://hq.malaysiaairlines.com/mys/eng/flying_with_us/during_your_flight/seat_plan/seat_plan.asp (acc. 2005-03-13)

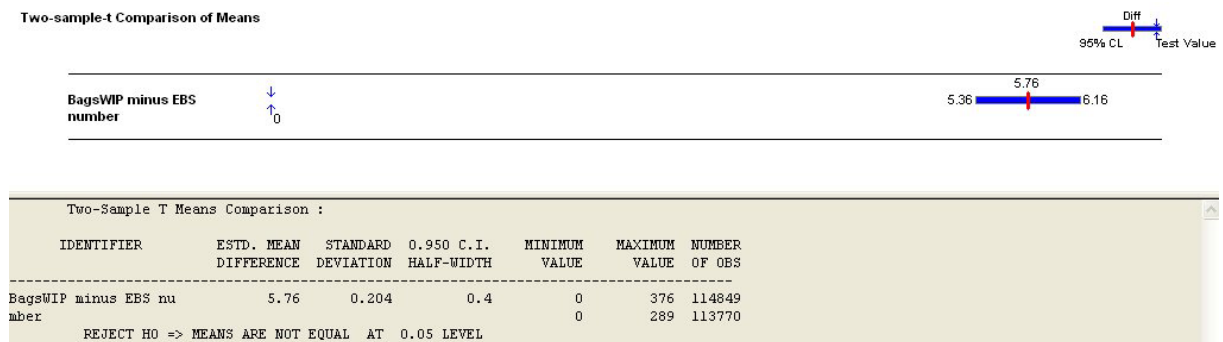
Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

9 Kapacitetsanalys



Figur 9.9 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A2 - tidsberoende medelvärde

Som synes är medelvärdet i Scenario A2 högre än i Scenario A0, vilket är ett förväntat utfall eftersom mer trafik ger fler väskor. Ökningen är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 9.10.



Figur 9.10 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A2 och A0

I detta scenario är ökningen fortfarande ganska liten (5,5%).

9.3.3 Antal extravarv

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Tabell 9.9 visar antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1			A2	A0
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	997	1084	2081	2066
2	1023	987	2010	2060
3	966	978	1944	1984
4	963	993	1956	1968
5	954	943	1897	1933
6	938	970	1908	2011
7	978	1001	1979	2008
8	911	932	1843	2030
9	960	873	1833	2004
10	924	989	1913	1926
All	961,4	975	1936,4	1999

Tabell 9.9 Scenario A2 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I detta scenario har antalet väskor som åker på extravarv sjunkit något jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen). Denna sänkning är dock så liten att den är försumbar. Att antalet inte ökat är inte så konstigt eftersom den tillagda flighten är en USA-flight och USA-flighters bagage passerar inte Röntgen Level 1.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 9.10 innehåller antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2.

Circulations L2			A2	A0
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	841	1149	1990	1565
2	827	1136	1963	1557
3	847	947	1794	1367
4	816	1098	1914	1515
5	801	1084	1885	1608
6	826	1114	1940	1425
7	833	1264	2097	1539
8	919	1133	2052	1798
9	1076	1059	2135	1688
10	926	1006	1932	1702
All	871,2	1099	1970,2	1576,4

Tabell 9.10 Scenario A2 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Denna variabel har ökat markant jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen). Denna ökning beror på att det är en USA-flight som har lagts till i tidtabellen och allt USA-bagage åker till Level 2.

9.4 Scenario A3: Trafikökning Asien

Asien är en växande marknad för Sverige, både när det gäller turism och affärsresor. Det är därför rimligt att anta att det kommer komma fler flighter till Asien. I detta scenario har flight BE5 till HKG kl. 1730 dagligen lagts till. Denna flight flygs med Boeing 747 som i Malaysia Airlines konfiguration har plats för 386 passagerare.⁶⁶

⁶⁶ Malaysia Airlines,

http://hq.malaysiaairlines.com/mys/eng/flying_with_us/during_your_flight/seat_plan/seat_plan.asp (acc. 2005-03-13)

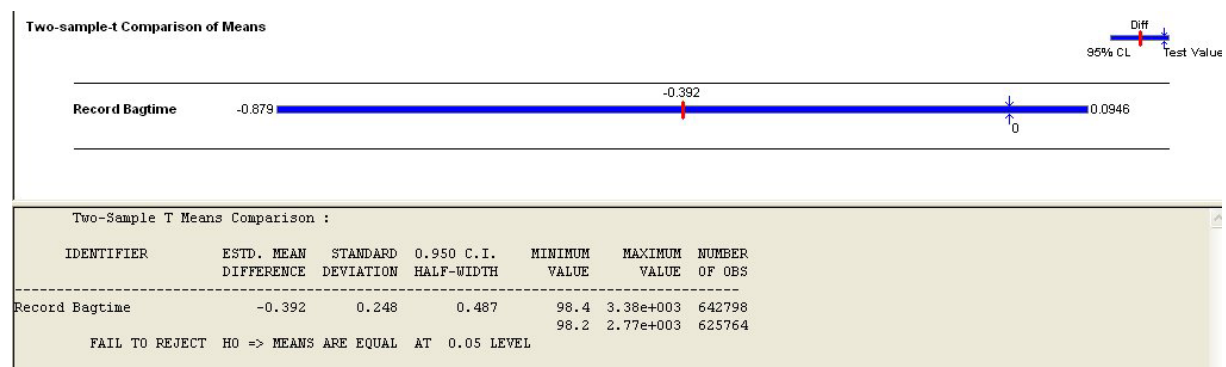
9.4.1 Genomloppstid för bagage

Tabell 9.11 visar resultatet för bagagets genomloppstid i Scenario A3.

Bagtime	A3 [s]			A0
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	284,33	99,53	2469,62	284,22
2	284,92	99,36	2735,07	284,48
3	283,4	98,3722	2790,35	283
4	284,29	99,61	2417,74	285,15
5	284,06	98,6765	2472,44	284,75
6	284,57	99,57	3383,58	283,59
7	285,4	99,23	2712,78	285,04
8	283,55	99,54	3144	285,72
9	283,58	99,41	3031,52	285,36
10	285,04	99,6	2741,99	285,75
All	284,31	98,3722	3383,58	284,71

Tabell 9.11 Scenario A3 - Genomloppstid för bagage

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har bagagets genomloppstid minskat något. Denna minskning är inte statistiskt säkerställd, vilket framgår av Figur 9.11.



Figur 9.11 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A3 och A0

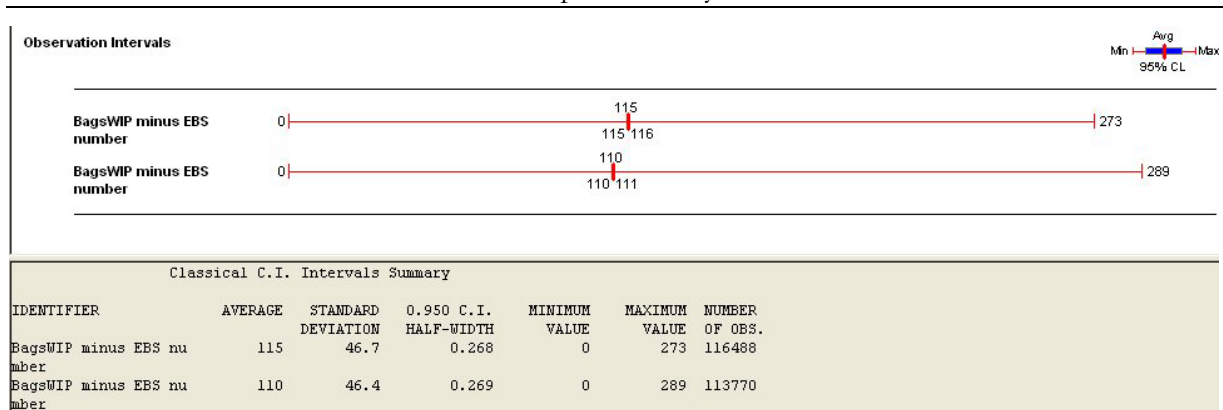
En såpass liten trafikökning som ett (visserligen stort) plan om dagen i slutet av eftermiddagsrusningen har alltså ingen statistiskt säkerställd inverkan på bagagets genomloppstid, vilket är en för anläggningen bra egenskap.

9.4.2 Antal bagage i systemet

Figur 9.12 visar det tidsberoende medelvärdet av antalet bagage i systemet för Scenario A3 och Scenario A0.

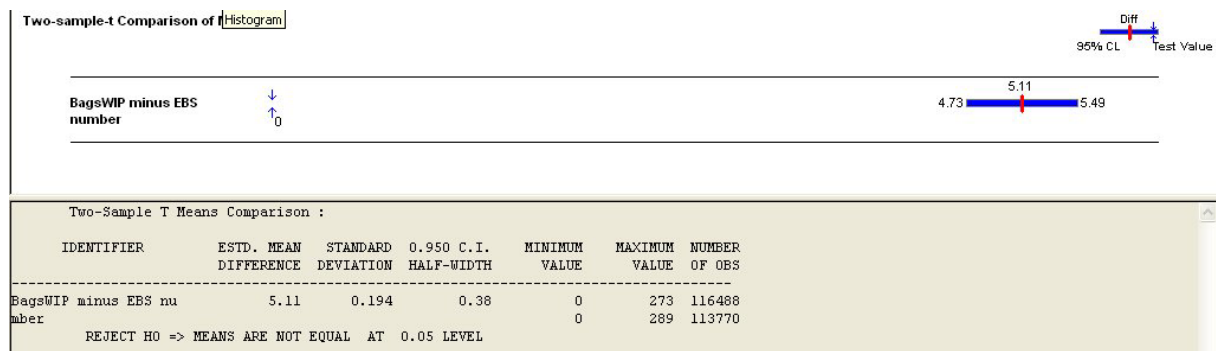
Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

9 Kapacitetsanalys



Figur 9.12 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A3 - tidsberoende medelvärde

Som synes så har medelantalet bagage ökat jämfört med Scenario A0. Denna ökning är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 9.13.



Figur 9.13 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A3 och A0

Ökningen är som synes ganska stor. Det beror på att det är ett stort plan som lagts in i tidtabellen och att det lagts in i eftermiddagsrusningen då det redan är ett stort antal väskor i anläggningen.

9.4.3 Antal extravarv

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I Tabell 9.12 återfinns antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1			A3	A0
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	1122	1152	2274	2066
2	1164	1111	2275	2060
3	1052	1132	2184	1984
4	1160	1126	2286	1968
5	1110	1123	2233	1933
6	1048	1035	2083	2011
7	1160	1222	2382	2008
8	1064	1077	2141	2030
9	1056	1079	2135	2004
10	1072	1155	2227	1926
All	1100,8	1121,2	2222	1999

Tabell 9.12 Scenario A3 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har antalet som åker på extravarv ökat med ca 10%. Denna ökning beror på att den nya flighten avgår i eftermiddagspeaken då det är relativt högt tryck på röntgenmaskinerna. Att då lägga till en stor flight borde resultera i att trycket på röntgenmaskinerna ökar. Det antagandet stämmer väl överens med utfallet av antalet väskor som åker på extravarv.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 9.13 innehåller antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2.

Circulations L2			A3	A0
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	731	842	1573	1565
2	698	928	1626	1557
3	713	718	1431	1367
4	651	866	1517	1515
5	672	872	1544	1608
6	724	858	1582	1425
7	740	892	1632	1539
8	758	878	1636	1798
9	769	968	1737	1688
10	652	1022	1674	1702
All	710,8	884,4	1595,2	1576,4

Tabell 9.13 Scenario A3 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Denna variabel har också ökat något jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen), dock är denna ökning såpass liten (strax över 1%) att den är försumbar.

9.5 Scenario A4: Trafikökning Europa, USA och Asien

Scenario A4 innefattar samtliga de föregående (A1-A3), d.v.s. följande flighter har lagts till till Scenario A0:

- BE1 till LGW kl. 0555 dagligen (A320)
- BE2 till GVA kl. 0735 dagligen (A320)
- BE3 till AMS kl. 1705 dagligen (A320)
- BE4 till ORD kl. 0715 dagligen (B777)
- BE5 till HKG kl. 1730 dagligen (B747)

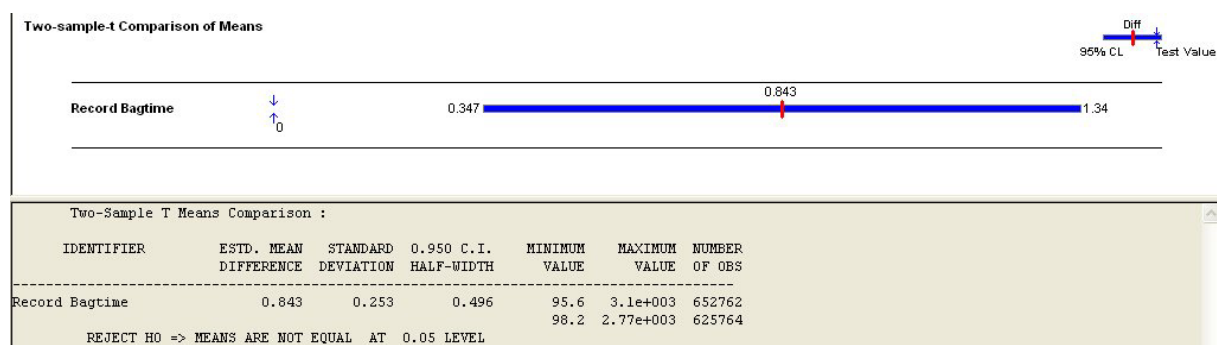
9.5.1 Genomloppstid för bagage

Tabell 9.14 innehåller genomloppstiden för bagaget i Scenario A4.

Bagtime [s]				A0
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	284,16	98,1834	2962,4	284,22
2	286,47	95,61	3012,38	284,48
3	285,05	98,1822	3005,92	283
4	285,28	100,2	3026,08	285,15
5	285,51	96,5445	2699,54	284,75
6	284,95	98,2933	2701,55	283,59
7	287,59	98,0569	2726,97	285,04
8	285,41	98,4178	2458,94	285,72
9	285,83	95,7059	3099,05	285,36
10	285,22	97,4253	2667,97	285,75
All	285,55	95,61	3099,05	284,71

Tabell 9.14 Scenario A4 - Genomloppstid för bagage

Den genomsnittliga genomloppstiden har ökat något jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen). Denna ökning är statistiskt säkerställd, se Figur 9.14.

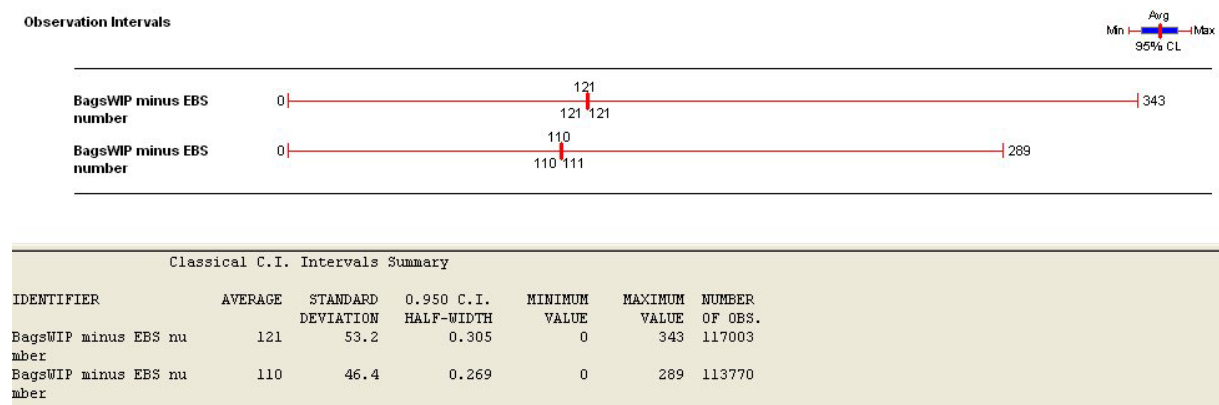


Figur 9.14 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan Scenario A4 och A0

Av detta resultat går det att dra slutsatsen att genomloppstiden för bagage genom systemet inte kommer att påverkas nämnvärt de närmaste åren eftersom ökningen i Scenario A4 är 0,8 s, vilket är försumbart.

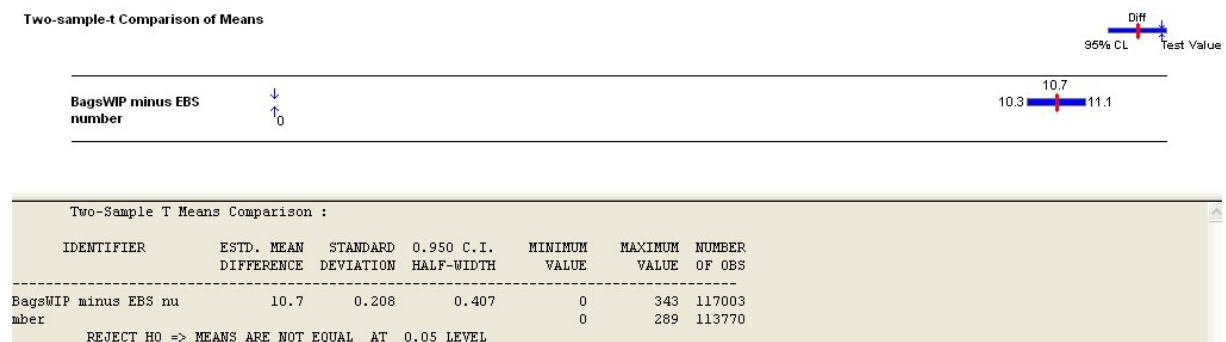
9.5.2 Antal bagage i systemet

Figur 9.15 visar det tidsberoende medelvärdet av antalet bagage i systemet i Scenario A4 (överst) och Scenario A0.



Figur 9.15 Antal väskor i systemet i Scenario A0 och A4 - tidsberoende medelvärde

Att antalet bagage i systemet ökar vid en ökad trafik är helt naturligt. Ökningen i detta scenario är statistiskt säkerställt, se Figur 9.16.



Figur 9.16 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan Scenario A4 och A0

Att ökningen av antalet bagage blir såpass stor i detta scenario beror på att det är stora flighter och flighter som lagts till i peaktid.

9.5.3 Antal extravarv

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I Tabell 9.15 redovisas antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1 i Scenario A4.

Circulations L1			A4	A0
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	1034	1005	2039	2066
2	1135	1127	2262	2060
3	1055	1105	2160	1984
4	1094	1179	2273	1968
5	1153	1086	2239	1933
6	1001	1013	2014	2011
7	1098	1067	2165	2008
8	1155	1153	2308	2030
9	1021	1129	2150	2004
10	1077	1090	2167	1926
All	1082,3	1095,4	2177,7	1999

Tabell 9.15 Scenario A4 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har antalet ökat, vilket är naturligt eftersom trafiken ökat. Ökningen är på ca 8%.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 9.16 visar antalet extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2.

Circulations L2			A4	A2	A0
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total	L2 total
1	692	1335	2027	1990	1565
2	1108	1221	2329	1963	1557
3	826	1187	2013	1794	1367
4	958	1065	2023	1914	1515
5	1008	1081	2089	1885	1608
6	1006	1142	2148	1940	1425
7	1104	1233	2337	2097	1539
8	815	1260	2075	2052	1798
9	1000	1209	2209	2135	1688
10	1007	1079	2086	1932	1702
All	952,4	1181,2	2133,6	1970,2	1576,4

Tabell 9.16 Scenario A4 - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med Scenario A0 (högra kolumnen) så har antalet bagage som åker på extravarv ökat med 35,3% i genomsnitt. Detta är en markant ökning som beror mestadels på den tillagda USA-fligheten. Även jämfört med Scenario A2 (näst högra kolumnen) så har antalet extravarv ökat, här med 8%.

9.6 Gemensamt för samtliga kapacitetsanalysscenarier

9.6.1 Maximalt antal väskor på extravarv

Tabell 9.17 visar hur många väskor som mest varit på extravarv samtidigt i de olika scenarierna.

Max No Circulating					
Replication	A0	A1	A2	A3	A4
1	33	37	47	57	40
2	24	43	26	48	33
3	27	39	29	39	46
4	61	23	56	32	36
5	45	25	31	26	28
6	33	59	48	42	38
7	50	49	34	31	61
8	28	43	44	28	32
9	40	45	35	35	50
10	54	36	50	47	36
Avg	39,5	39,9	40	38,5	40

Tabell 9.17 Jämförelse av maximalt antal väskor på extravarv

När man studerar Tabell 9.17 ser man att visserligen är medelvärdena av variabeln i de olika scenarierna ganska lika varandra, men man ser också att i de olika replikationerna är antalet väldigt olika, minsta antalet är 23, högsta är 61. Då detta är en max-variabel är den väldigt känslig för slumpmässighet i indata, vilket är anledningen till att spridningen på utfallet blir så stor. Det skulle behövas köras fler replikationer för att få ett mer representativt medelvärde för denna variabel.

9.6.2 Extravarv p.g.a. att MES är full

I samtliga kapacitetsanalysscenarier har det inte varit några som helst problem med att det skulle vara fullt i inloppet till MES-stationen, antalet har legat på mellan 2 och 5 väskor per vecka i samtliga scenarier.

9.6.3 Extravarv p.g.a. att fickan är full

Att det är fullt i bagagefickan har inte varit ett problem i något av kapacitetsanalysscenarierna. Antalet väskor som åker på extravarv p.g.a. detta har legat på ungefär samma försvinnande låga nivå som i grundscenariot, se Tabell 8.6 på s 77.

10 Känslighetsanalys

Detta kapitel innefattar resultatet av de körningar som gjordes för att analysera hur känsligt systemet är för störningar samt för att hitta flaskbalsar.

Känslighetsanalys scenarierna togs fram för att påvisa systemets förmåga att hantera att vissa vitala funktioner slutar fungera. Känslighetsanalyserna togs fram i samråd med personal på Arlanda och på LfV Teknik. Samtliga känslighetsanalys scenarier är baserade på grundscenariot som presenterades i kapitel 8.

10.1 Scenario B: Kommunikationen med BSM-centralen försvinner

BSM-centralen ligger i London och därifrån skickas information ut till bagagesorteringsanläggningar i hela Europa. Om länken mellan bagagehanteringssystemet och BSM-centralen skulle försvinna innebär det att bagagehanteringssystemet inte skulle kunna tolka den information som finns på bagagetaggen. Det innebär att allt bagage i så fall skulle hamna i MES.

I detta scenario var förutsättningen att kommunikationen med BSM-centralen låg nere mellan kl 0000 och 1200 under måndagen.

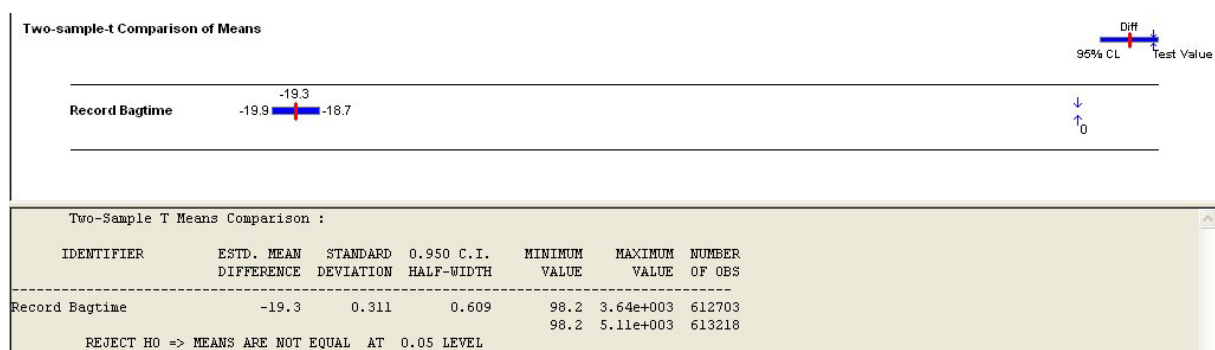
10.1.1 Genomloppstid för bagage

Tabell 10.1 visar den genomsnittliga genomloppstiden för bagaget.

Bagtime				
	B			Grund
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	303,57	100,39	4542,07	286,09
2	303,90	98,23	5111,36	284,7
3	303,45	99,61	3846,51	284,52
4	305,70	101,92	5082,77	284,22
5	304,17	101,55	4803,59	284,94
6	304,53	98,24	4567,51	283,97
7	303,60	100,90	4137,86	284,57
8	304,41	98,32	4242,98	283,15
9	302,86	99,59	4183,57	284,88
10	302,12	100,93	3987,62	284,37
All	303,831	98,2252	5111,36	284,54

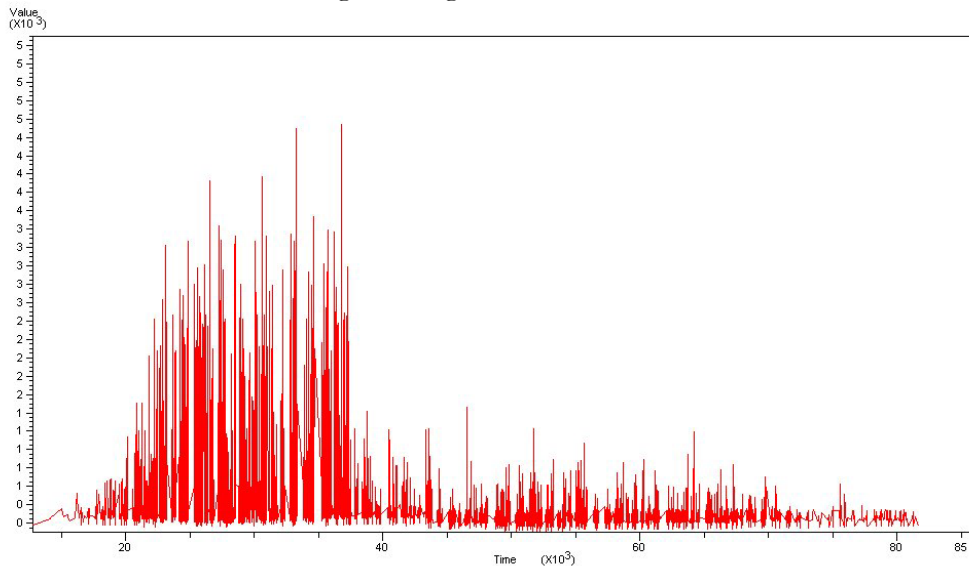
Tabell 10.1 Scenario B - Genomloppstid för bagage

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har den genomsnittliga genomloppstiden ökat markant. Medelgenomloppstiden har ökat med ca 19 sekunder. Denna ökning är statistiskt säkerställd, vilket framgår av Figur 10.1.



Figur 10.1 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario B

Denna ökning av genomloppstiden beror på att när kommunikationen med BSM-centralen är nere så hamnar allt bagage i MES. I MES finns det bara plats för fyra väskor åt gången i inloppen, vilket betyder att väskor snabbt får åka på extravarv vilket tar ungefär 5 minuter extra. Därför är genomloppstiden för bagage mycket högre under den tid som kommunikationen med BSM-centralen är nere, vilket framgår av Figur 10.2.



Figur 10.2 Scenario B (replikation 1) - Genomloppstid för bagage under måndagen

Figur 10.2 visar värdet på variabeln *Bagtime* under måndagen⁶⁷. Som synes är genomloppstiden för bagaget mycket högre under den tid då kommunikationen med BSM-centralen inte fungerar, vilket i scenariot är fallet fram till klockan 1200, eller under de 43 200 första sekunderna. Genomloppstiden för bagaget under denna är i storleksordningen tio gånger högre än normalt (jämför med eftermiddagen då BSM-kommunikationen åter fungerar). Ett inte försumbart antal väskor kan ta över 1,5 h på sig att ta sig igenom systemet.

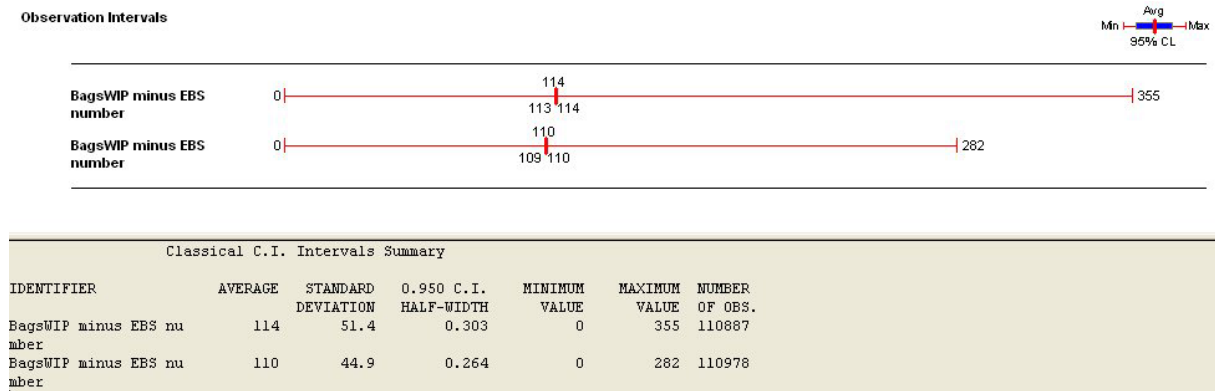
10.1.2 Antal bagage i systemet

I Figur 10.3 visas det tidsberoende medelvärdet av antalet bagage i systemet för Scenario B (överst) och för Grundscenariot.

⁶⁷ Diagrammet visar de registrerade värdena på variabeln för samtliga väskor under måndagen.

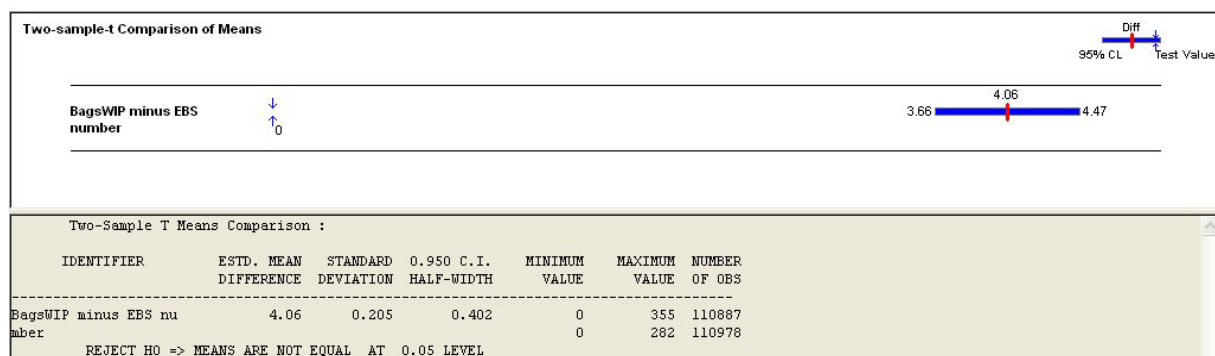
Kapacitets- och känslighetsanalys av bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats

10 Känslighetsanalys



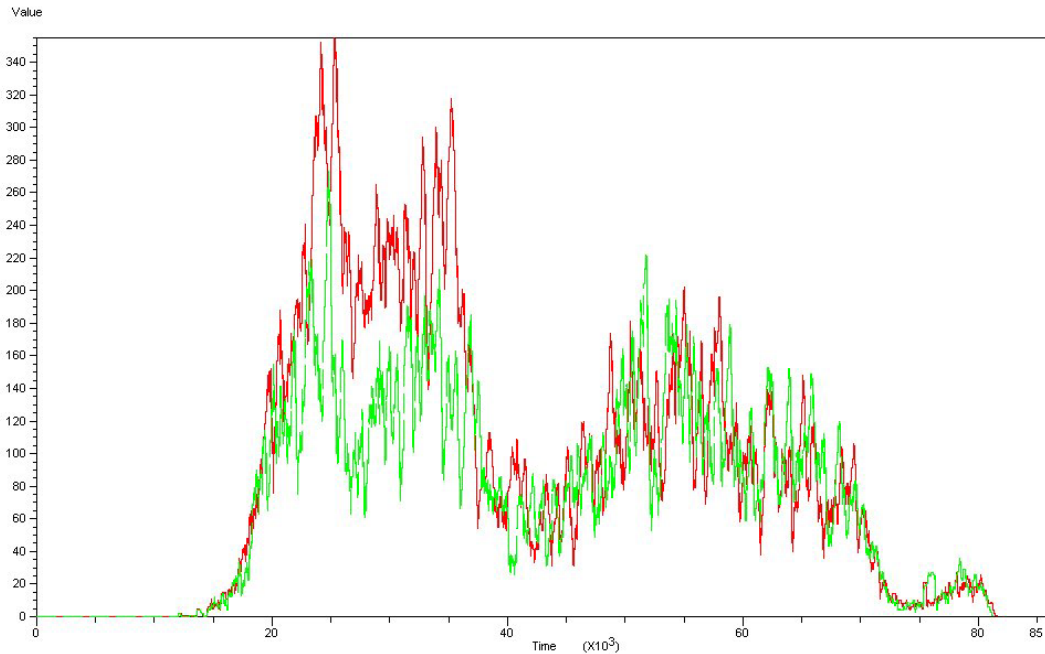
Figur 10.3 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario B - tidsoberoende medelvärde

Det tidsoberoende medelvärdet har ökat något, denna ökning är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 10.4.



Figur 10.4 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario B

Att medelantalet bagage har ökat är helt naturligt då inflödet av väskor i systemet är oförändrat samtidigt som det tar mycket längre tid för väskorna att ta sig igenom systemet under måndagsförmiddagen. Värt att notera är att det får såpass stort utslag som 4% ökning när BSM-kommunikationen endast var nere under 1/14 av den studerade tiden. Figur 10.5 visar medelantalet väskor i systemet under måndagen för Scenario B (röd kurva) och Grundscenariot (grön kurva).



Figur 10.5 Antal bagage i systemet under måndagen - Diagram för grundscenariot och Scenario B (replikation 1)

Om man studerar de båda kurvorna i Figur 10.5 ser man att det är klart fler väskor i systemet i Scenario B under den tid BSM-kommunikationen är ur funktion. På eftermiddagen då kommunikationen fungerar är det ingen signifikant skillnad i antalet bagage i systemet i de båda scenarierna. Skillnaden på morgonen är ganska stor och det är denna skillnad som drar upp medelvärdet för hela veckan som diskuterades tidigare.

10.1.3 Antal extravarv

Momentant antal väskor på extravarv

Tabell 10.2 visar det maximala momentana antalet väskor som befinner sig på extravarv i Scenario B.

Max No Circulating		
	B	Grund
Replication	Number	Number
1	102	42
2	108	28
3	106	40
4	119	68
5	106	43
6	109	29
7	109	65
8	109	36
9	112	65
10	117	33
All	109,7	44,9

Tabell 10.2 Scenario B - Maximalt momentant antal på extravarv

Som synes har denna variabel ökat kraftigt jämfört med grundscenariot (högra kolumnen). Visserligen är detta en mycket slumpmässighetskänslig variabel, men denna ökning som är på över 140% måste anses vara statistiskt säkerställd. Ökningen beror på att det blir en mycket stor belastning på MES-stationen när BSM-kommunikationen är nere. Denna belastning klarar inte MES-stationen av att ta hand om och det blir fullt i inloppet vilket leder till att många väskor måste åka på extravarv.

Extravarv p.g.a. att MES är full

Tabell 10.3 visar antalet extravarv som uppstått p.g.a. att inloppet till MES är full.

Circulations MES			
Replication	MES 1	MES 2	MES tot
1	1701	1571	3272
2	1449	1788	3237
3	1492	1784	3276
4	1940	1429	3369
5	1711	1551	3262
6	1536	1683	3219
7	1672	1459	3131
8	1690	1882	3572
9	1513	1695	3208
10	1398	1514	2912
All	1610,2	1635,6	3245,8

Tabell 10.3 Scenario B - Extravarv p.g.a. att MES är full

Som synes har denna variabel ökat kraftigt i detta scenario, i grundscenariot var antalet mellan 1 och 3 utslaget på hela veckan. Nu är det alltså ca 3250, och samtliga dessa uppkommer under den tid då BSM-kommunikationen är nere. Under en halv dag passerar ungefär 4500 väskor genom systemet, vilket innebär att över 70% av alla väskor under denna tid ska ha åkt på extravarv, om

samtliga dessa väskor bara hade åkt på ett varv var. Så är det inte, utan många väskor har åkt mer än ett extravarv, och mer än 30% av väskorna under denna tid har gått igenom systemet utan att åka på extravarv p.g.a. att det är fullt i inloppet till MES.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

I Tabell 10.4 redovisas antalet extravarv som uppstått p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1			B	Grund
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	968	1027	1995	2017
2	1073	1033	2106	2149
3	942	939	1881	2141
4	1059	1015	2074	2002
5	1028	945	1973	1935
6	958	952	1910	1916
7	1033	1138	2171	2062
8	998	1128	2126	2000
9	1034	935	1969	1928
10	1068	948	2016	2012
All	1016,1	1006	2022,1	2016,2

Tabell 10.4 Scenario B - Extravarv p.g.a. Röntgen Level 1 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så är det ingen märkbar skillnad mellan de båda scenarierna. Det är ett förväntat utfall eftersom att kommunikationen med BSM-centralen inte bör ha någon större påverkan på vid vilka tidpunkter det blir högt tryck på Level 1-maskinerna och hur många väskor det drabbar.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 10.5 visar antalet extravarv som uppkommit p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2.

Circulations L2			B	Grund
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	579	742	1321	1639
2	652	739	1391	1504
3	459	837	1296	1223
4	614	714	1328	1274
5	688	712	1400	1233
6	526	753	1279	1353
7	591	747	1338	1448
8	523	621	1144	1369
9	508	723	1231	1436
10	585	677	1262	1367
All	572,5	726,5	1299	1384,6

Tabell 10.5 Scenario B - Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) är det inte någon markant skillnad i resultatet för denna variabel heller. Medelvärde har sjunkit något och det beror på modellens slumpmässighet.

10.2 Scenario C: En Röntgen Level 1-maskin är ur funktion

Det händer då och då att en röntgenmaskin slutar fungera. Dessa stopp kan ha alla möjliga orsaker och de kan vara olika långa, allt ifrån ett par minuter till många timmar.

I detta scenario är den ena Level 1-röntgenmaskinen ur funktion från måndag kl 00:00:00 till måndag kl 23:59:59. Det innebär att under hela måndagen är röntgenkapaciteten för Level 1 nedsatt till hälften.

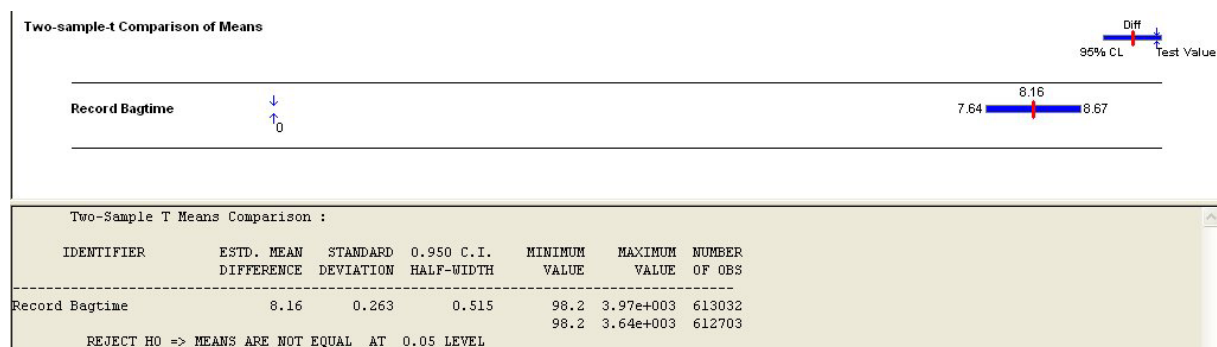
10.2.1 Genomloppstid för bagage

Tabell 10.6 visar genomloppstiden för bagaget i Scenario C.

Bagtime C				Grund
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	292,75	100,89	2775,71	286,09
2	292,06	99,27	2788,51	284,7
3	292,40	99,63	2757,38	284,52
4	293,65	99,63	2723,34	284,22
5	292,37	100,53	2413,10	284,94
6	292,87	100,88	2589,88	283,97
7	292,65	100,86	2708,58	284,57
8	292,43	98,25	2444,67	283,15
9	293,50	99,17	3969,51	284,88
10	292,33	100,58	2707,94	284,37
All	292,701	98,2477	3969,51	284,54

Tabell 10.6 Scenario C - Genomloppstid för bagage

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har den genomsnittliga genomloppstiden ökat med ca 8 sekunder. Denna ökning är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 10.6.

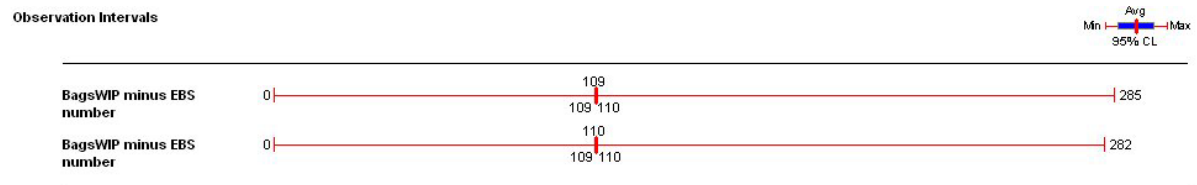


Figur 10.6 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario C

Att genomloppstiden ökar beror på att det under ett helt dygn endast finns en Röntgen Level 1-maskin tillgänglig, vilket gör att det oftare är fullt i inloppet till denna vilket resulterar i att fler väskor skickas på extravarv och därmed får en ökad genomloppstid med ca 5 minuter (per varv).

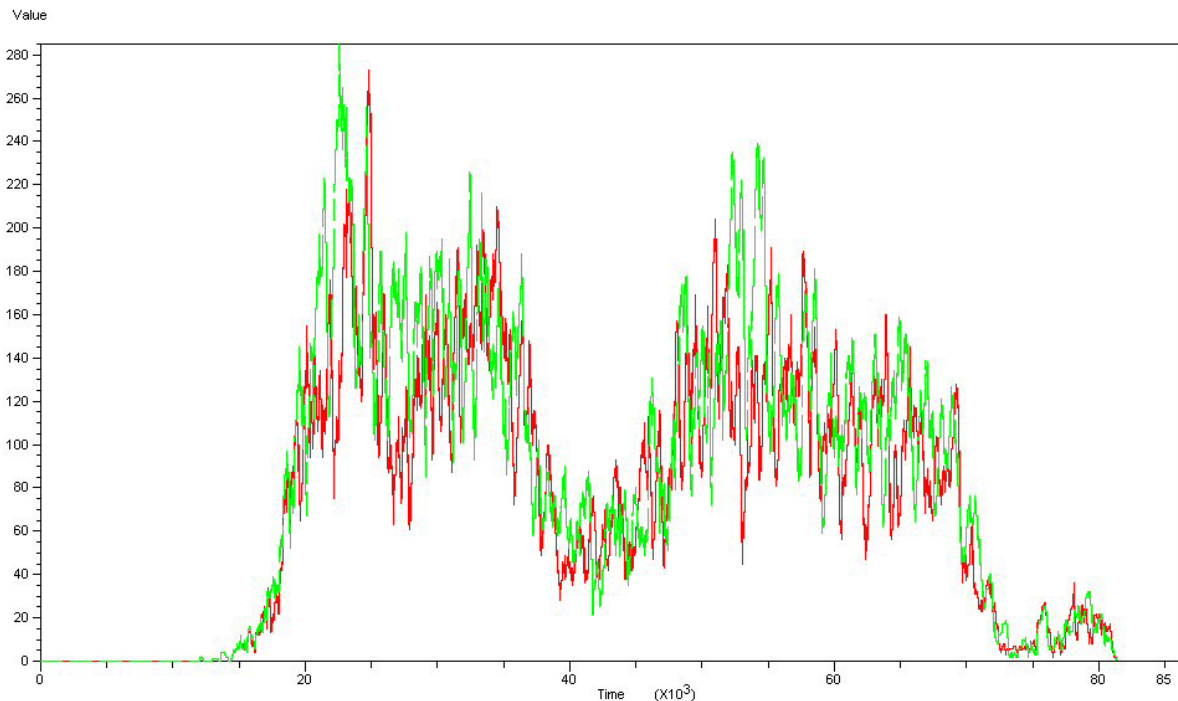
10.2.2 Antal bagage i systemet

Figur 10.7 visar det tidsberoende medelvärdet av antalet väskor i systemet för Scenario C (överst) och för grundscenariot.



Figur 10.7 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario C - tidsberoende medelvärde

De båda medelvärdena skiljer sig inte nämnvärt, båda konfidensintervallen börjar med 109 väskor och slutar med 110 väskor. Skillnaden mellan de båda medelvärdena är 0,37 vilket är försumbart. Detta kan tyckas vara konstigt då både bagagets genomloppstid och antalet extravarv ökar. Figur 10.8 visar antalet bagage i systemet under måndagen.



Figur 10.8 Diagram över antal bagage i systemet under måndagen i grundscenariot och Scenario C (replikation 1)

I Figur 10.8 visas antalet bagage i grundscenariot (röd kurva) och i Scenario C (grön kurva). De båda kurvorna följs åt under större delen av tiden, det är bara på tre distinkta ställen (mellan 20 och 25, 25 och 30 samt från 50 till 57 ks) som antalet bagage är märkbart högre i Scenario C, trots att den ena Röntgen Level 1-maskinen är ur funktion under hela dygnet. Utslaget på hela veckan ger inte dessa skillnader någon signifikant verkan på medelantalet väskor i systemet. Av detta kan slutsatsen dras att den fungerande röntgenmaskinen klarar av att ta emot en stor del av väskorna som var avsedda för den trasiga maskinen. Det är endast i rusningstid som problem uppstår och de problem som uppstår anses vara av hanterbar art, väskorna kommer igenom anläggningen, det tar dock bara lite längre tid för vissa.

10.2.3 Antal extravarv

Momentant antal väskor på extravarv

I Tabell 10.7 återfinns det maximala momentana antalet väskor som är ute på extravarv för Scenario C.

Max No Circulating		
	C	Grund
Replication	Number	Number
1	45	42
2	43	28
3	45	40
4	58	68
5	47	43
6	50	29
7	48	65
8	40	36
9	74	65
10	53	33
All	50,3	44,9

Tabell 10.7 Scenario C - Maximalt momentant antal bagage på extravarv

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) har denna variabel ökat något. Det är dock en ganska ringa ökning och när man studerar spridningen på variabeln i de olika replikationerna så ser man att den är stor, och därför går det inte att säga att ökningen är statistiskt signifikant. Att det momentana antalet väskor på extravarv eventuellt ökar i detta scenario har sin naturliga förklaring då det under rusningstid på måndagen endast finns 50% kapacitet i Röntgen Level 1 vilket då inte är riktigt tillräckligt.

Extravarv p.g.a. att MES är full

Även i detta scenario är antalet väskor som åker på extravarv försvinnande litet (storleksordningen 2-4 väskor/vecka) vilket gör detta till ett ointressant mått.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Tabell 10.8 innehåller det antal extravarv som uppkommit eftersom att det har varit fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1		C		Grund	Grund	Grund
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 1	L1 2	L1 total
1	2851	772	3623	1010	1007	2017
2	2871	917	3788	1105	1044	2149
3	2967	819	3786	1097	1044	2141
4	3053	827	3880	945	1057	2002
5	2907	800	3707	1009	926	1935
6	2860	764	3624	965	951	1916
7	2946	911	3857	1050	1012	2062
8	2934	892	3826	1056	944	2000
9	2807	779	3586	1022	906	1928
10	2838	860	3698	944	1068	2012
All	2903,4	834,1	3737,5	1020,3	995,9	2016,2

Tabell 10.8 Scenario C - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Jämfört med grundscenariot (de tre högra kolumnerna) så är det en markant ökning (ca 185%) av antalet extravarv från den första maskinen och en minskning med 16% från den andra maskinen. Det har sin naturliga förklaring i att det var den andra maskinen som var ur funktion under måndagen och därmed användes den bara under 6/7 av tiden vilket gör att det absoluta antalet väskor som åker på extravarv minskar där. Den första röntgenmaskinen fick ta emot allt bagage under den tiden som den andra röntgenmaskinen var nere vilket resulterade i att det fortare blev fullt i inloppet till den första maskinen och då skickades många väskor ut på extravarv. Detta gjorde att antalet extravarv ökade med över 180% i den första maskinen och med över 85% totalt.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 10.9 innehåller det antal extravarv som uppstår p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2 i Scenario C.

Circulations L2		C		Grund
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	646	762	1408	1639
2	553	752	1305	1504
3	560	700	1260	1223
4	683	693	1376	1274
5	541	651	1192	1233
6	553	647	1200	1353
7	633	653	1286	1448
8	462	764	1226	1369
9	523	714	1237	1436
10	565	718	1283	1367
All	571,9	705,4	1277,3	1384,6

Tabell 10.9 Scenario C - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har även i detta scenario antalet extravarv minskat något, trots att de förändringar som gjorts inte bör påverka denna variabel. Dock är spridningen på variabeln i de olika replikationerna ganska stor vilket gör att det går att säga att den minskning som uppstått beror på modellens slumpmässighet.

10.3 Scenario D: En Röntgen Level 2-maskin är ur funktion

Även Level 2-maskinerna är ibland ur funktion. I detta scenario är den ena Level 1-röntgenmaskinen ur funktion mellan torsdag kl 00:00:00 och torsdag kl 23:59:59.

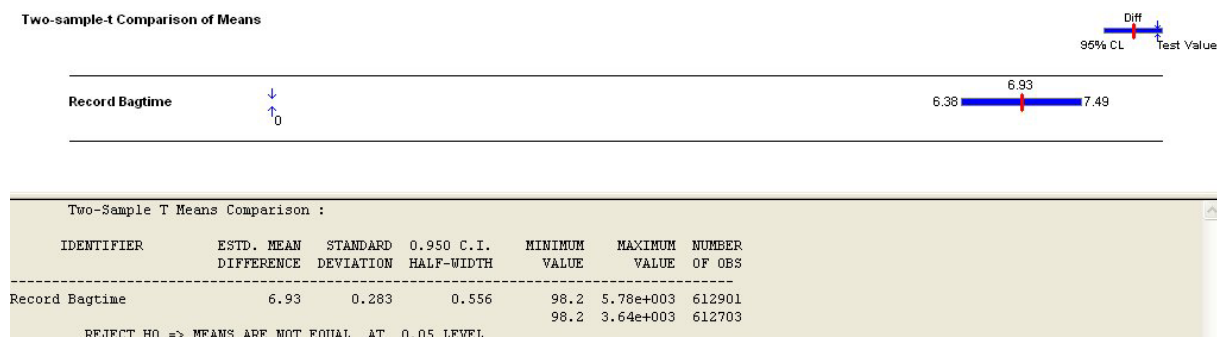
10.3.1 Genomloppstid för bagage

I Tabell 10.10 återfinns genomloppstiden för bagaget i Scenario D.

Bagtime [s]				Grund
Replication	Average	Minimum	Maximum	Average
1	293,24	100,88	4876,25	286,09
2	290,02	99,5	5777,39	284,7
3	290,85	98,2057	4932,97	284,52
4	292,33	99,51	4864,08	284,22
5	290,04	99,51	4310,31	284,94
6	293,09	99,53	5164,55	283,97
7	290,94	98,2127	3634,56	284,57
8	289,81	99,54	5170,57	283,15
9	291,87	98,209	4585,72	284,88
10	292,57	98,1941	5364,83	284,37
All	291,476	98,1941	5777,39	284,54

Tabell 10.10 Scenario D - Genomloppstid för bagage

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har den genomsnittsliga genomloppstiden ökat. Denna ökning är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 10.9.

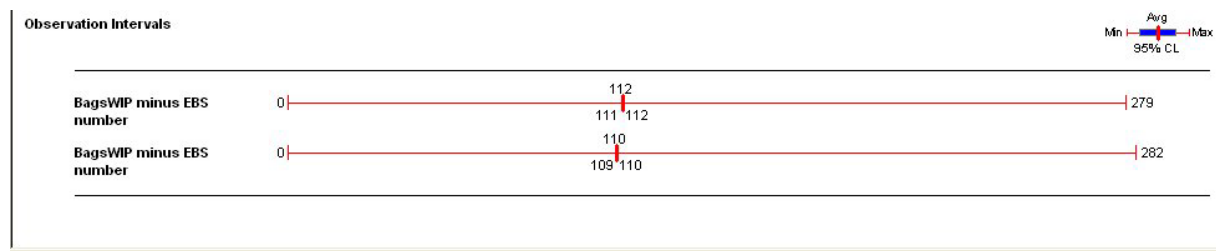


Figur 10.9 Genomloppstid för bagage - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario D

Ökningen av den genomsnittsliga genomloppstiden beror i detta scenario på att kapaciteten i Röntgen Level 2 är nedsatt till 50% under onsdagen. Detta gör att det snabbt blir fullt i inloppet till den fungerande röntgenmaskinen vilket leder till att många väskor åker på extravarv - i synnerhet under den period som incheckningen av USA-bagage pågår. Dessa väskor får då en längre genomloppstid vilket drar upp den genomsnittsliga genomloppstiden.

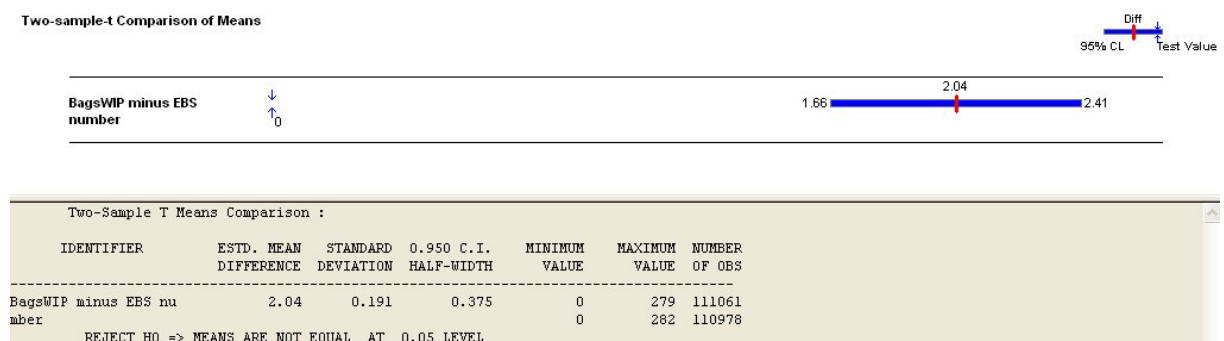
10.3.2 Antal bagage i systemet

Figur 10.10 visar det tidsberoende medelvärdet av antalet bagage i systemet för Scenario D (överst) och grundscenariot.



Figur 10.10 Antal väskor i systemet i grundscenariot och Scenario D - tidsberoende medelvärde

Medelvärdet av antalet bagage i systemet har ökat något, och denna ökning är statistiskt säkerställd vilket framgår av Figur 10.11.



Figur 10.11 Antal bagage i systemet - Jämförelse mellan grundscenariot och Scenario D

Att antalet bagage i systemet ökar är ett förväntat utfall då det är mycket bagage som åker på extravarv under tiden USA-flighterna checkas in när endast den ena Röntgen Level 2-maskinen fungerar. Det innebär att medelantalet bagage i systemet ökar.

10.3.3 Antal extravarv

Momentant antal väskor på extravarv

Tabell 10.11 visar det maximala momentana antalet väskor på extravarv i Scenario D.

Max No Circulating		
	D	Grund
Replication	Number	Number
1	62	42
2	68	28
3	66	40
4	75	68
5	65	43
6	74	29
7	64	65
8	60	36
9	69	65
10	90	33
All	69,3	44,9

Tabell 10.11 Scenario D - Maximalt momentant antal bagage på extravarv

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har antalet ökat. Denna ökning får anses vara signifikant då de flesta medelvärden för variabeln ligger högre i Scenario D än i grundscenariot. Denna ökning beror på att det är mycket stort tryck på den fungerande Level 2-röntgemaskinen när USA-flighterna checkas in, vilket leder till att många väskor hamnar på extravarv.

Extravarv p.g.a. att MES är full

Även i detta scenario är antalet väskor som åker på extravarv försvinnande litet (storleksordningen 2-4 väskor/vecka) vilket gör detta till ett ointressant mått.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Tabell 10.12 visar antalet extravarv som uppkommer p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 1.

Circulations L1			D	Grund
Replication	L1 1	L1 2	L1 total	L1 total
1	989	1011	2000	2017
2	1131	969	2100	2149
3	1018	972	1990	2141
4	975	1064	2039	2002
5	1063	915	1978	1935
6	1079	947	2026	1916
7	968	1069	2037	2062
8	981	969	1950	2000
9	987	846	1833	1928
10	972	987	1959	2012
All	1016,3	974,9	1991,2	2016,2

Tabell 10.12 Scenario D - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 1 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så är det inte någon signifikant skillnad i resultaten av denna variabel, vilket är naturligt eftersom det är samma mängd väskor som kommer in och Röntgen Level 1-maskinerna fungerar hela tiden.

Extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Tabell 10.13 visar antalet extravarv som uppkommer p.g.a. att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2 i Scenario D.

Circulations L2			D	Grund
Replication	L2 1	L2 2	L2 total	L2 total
1	491	2426	2917	1639
2	506	2134	2640	1504
3	443	2177	2620	1223
4	464	2283	2747	1274
5	501	2043	2544	1233
6	464	2339	2803	1353
7	573	2050	2623	1448
8	506	2179	2685	1369
9	621	2304	2925	1436
10	519	2534	3053	1367
All	508,8	2246,9	2755,7	1384,6

Tabell 10.13 Scenario D - Antal extravarv p.g.a. att Röntgen Level 2 är full

Jämfört med grundscenariot (högra kolumnen) så har antalet extravarv ökat betydligt. Denna ökning beror naturligtvis på att det på torsdagen blir för hög belastning på den fungerande röntgenmaskinen vilket leder till att många väskor åker ut på extravarv.

10.4 Gemensamt för alla känslighetsanalysscenarier

10.4.1 Extravarv p.g.a. att fickan är full

I samtliga känslighetsanalysscenarier har fickorna tömts på samma sätt som i grundscenariot. I och med att antalet bagage som kommer in i systemet inte har ökat så har detta lett till att antalet extravarv som uppstår p.g.a. att bagagefickorna är fulla inte förändrats i något kapacitetsanalysscenario.

11 Tolkning och analys av resultat

I detta kapitel tolkas och analyseras de resultat som körningarna av de olika kapacitets- och känslighetsscenarierna har genererat. Dessutom redovisas slutsatser och rekommendationer för fortsatt arbete.

11.1 Kapacitetsanalys

Ur kapacitetshänseende fungerar bagageanläggningen på ett mycket tillfredsställande sätt, den förväntade trafikökningen inom de närmaste åren klarar anläggningen av att hantera. Ett bra mått på detta är att titta på hur många väskor som har kommit försent⁶⁸ till bagagefickan under veckan, och detta mått redovisas i Tabell 11.1.

BagTooLate	
Scenario	Medelantal
Grund	139,14
A0	128,83
A1	129,80
A2	128,56
A3	132,27
A4	158,80

Tabell 11.1 Kapacitetsanalys - Antal väskor som kommer försent till bagagefickan

Denna variabel är ganska känslig för slumpmässighet i indata, vilket är förklaringen till att antalet är mindre i Scenario A0 än i grundscenariot och även till att antalet är mindre i Scenario A2 än i Scenario A0, trots att det är mer trafik och därmed fler väskor. I Scenario A4 är det alltså i medeltal ca 159 väskor i veckan som inte hinner med rätt flyg, vilket inte är en särskilt stor ökning jämfört med Scenario A0. Dessutom är det en förhållandevis låg siffra som måste anses vara acceptabel. Det bör dock vara ett uttalat mål att få ner detta antal till så nära noll som möjligt för att hålla bagagehanteringen på Arlanda på så hög kvalitetsnivå som möjligt.

Röntgen Level 2-maskinerna utgör dock en flaskhals i systemet. Den tillagda USA-fligheten i Scenario A2 ger en ökning av antalet extravarv på grund av att det är fullt i inloppet till Röntgen Level 2 på 25% (jämför Tabell 9.10 på s 89 med Tabell 9.4 på s 83). Den genomsnittliga genomloppstiden utslaget på hela veckan har ökat med ca 1,5 s (se Figur 9.8 på s 87) det kan tyckas vara en liten ökning, men det bör ha i åtanke att det endast är en ny flight per dag som ger en ökning på en variabel med ett väldigt litet konfidensintervall - vilket gör att den tillagda fligheten i Scenario A2 har en stor inverkan på anläggningens prestanda. Det tidsberoende medelvärde av antalet bagage i systemet har ökat med nästan 6 väskor (se Figur 9.10 på s 88) vilket även det är en stor ökning. Av detta går det att dra slutsatsen att Röntgen Level 2-maskinerna är en svag punkt i systemet - om trafiken till USA utökas⁶⁹ med fler flighter eller om även andra länder än USA börjar kräva att bagage ska skiktröntgas så kommer det att uppstå kapacitetsproblem i anläggningen.

⁶⁸ En väska anses ha kommit försent om den anländer i bagagefickan 15 minuter eller mindre före STD.

⁶⁹ Trafiken till USA kommer att utökas i och med att Continental Airlines kommer att börja flyga till EWR i juni 2005. Flight CO69 kommer avgå kl 0925 dagligen och flygs med Boeing 757-200 som har plats för 172 passagerare. Källor:

<http://www.continental.com/travel/tcTimetable.asp?SID=C8CC135B03BF445A9FD35069EADF015B&ST=TT&FS=OW&SS=SP> (acc. 2005-03-24)

<http://www.continental.com/Travel/inflight/aircraft/752.asp?SID=C8CC135B03BF445A9FD35069EADF015B> (acc. 2005-03-24)

En annat potentiellt kapacitetsproblem för anläggningen är antalet bagagefickor. Vid vissa tillfällen under veckan används i Scenario A4 48 av de 49 tillgängliga bagagefickorna⁷⁰, vilket gör att anläggningen under dessa tider nyttjar antalet bagagefickor till max med dagens fickallokeringsmetod. Författaren anser dock att dagens fickallokeringsmetod är ganska ineffektiv, de flesta flighter tilldelas två fickor, en del flighter som flygs med små plan får en ficka och flighter som flygs med stora plan (interkontinentala flighter) tilldelas tre fickor. De flighter som får fler än en ficka tilldelas alltid intilliggande fickor, det gör att anläggningen inte används optimalt. Exempel, om en flight som behöver två fickor ska avgå kl 1500 så öppnas de fickorna kl 1300. Om då t.ex. ficka 41 och 44 är lediga men 40, 42, 43 och 45 är upptagna så kan flighten med dagens fickallokeringsmetod inte tilldelas fickorna 41 och 44 eftersom de inte ligger intill varandra utan det skulle behöva hittas två intilliggande fickor för flighten. Detta är inte ett effektivt nyttjande av anläggningen då fickorna är beroende av varandra.

11.2 Känslighetsanalys

Resultatet av känslighetsanalysen är tyvärr inte lika bra som för kapacitetsanalysen. Systemet är mycket sårbart om vissa vitala funktioner slutar fungera. Tabell 11.2 visar antalet väskor som kommer försent i de olika känslighetsanalys scenarierna.

BagTooLate	
Scenario	Medelantal
Grund	139,14
B	204,53
C	148,68
D	166,48

Tabell 11.2 Känslighetsanalys - Antal väskor som kommer försent till bagagefickan

Som synes så har antalet sena väskor ökat mest i Scenario B. När kommunikationen med BSM-centralen försvinner blir det stora problem i anläggningen - allt bagage skickas till MES-stationen. MES-stationen är inte dimensionerad för att ta emot så mycket bagage, många väskor åker på extravarv (se Tabell 10.3 på s 101) vilket leder till längre genomloppstid för väskorna. Antalet väskor som kommer försent på grund av att BSM-kommunikationen är nere är ungefär 60 st på 12 h (eller 9 effektiva timmar; mellan 0000 och 0300 är det inga väskor i systemet) är i och för sig ganska lite, men det är inte acceptabelt. Dessutom förutsätter simuleringen att båda MES-platserna är bemannade hela tiden och att dessa alltid kan ta emot bagage, vilket kanske inte alltid är fallet. När BSM-kommunikationen försvinner blir det stora problem, vilket gör denna till en mycket sårbar del av anläggningen.

När en Röntgen Level 2-maskin går sönder blir det också problem, genomloppstiden för bagage utslaget på hela veckan ökar med ungefär 6 s (se Figur 10.9 på s 107), vilket betyder att genomloppstiden för de bagage som går genom Röntgen Level 2 under torsdagen är markant högre än normalt. Antalet extravarv fördubblas nästan (jämför Tabell 10.13 på s 110 med Tabell 8.5 på s 76), vilket innebär att under torsdagen blir det nästan 7 gånger fler extravarv än normalt på grund av att det är fullt i inloppet till Röntgen level 2. I medeltal 27 väskor blir försenade på grund av att Röntgen Level 2-kapaciteten är nedsatt till hälften.

⁷⁰ Det är 50 fickor i anläggningen, men ficka 34 används för att lagra icke-röntgat bagage vid de tillfällen då dessa av någon anledning inte kan röntgas. Ficka 34 används inte för vanlig bagagehantering.

I och med att utloppen från de båda Röntgen Level 2-maskinerna går samman till ett enda transportband (se Figur 2.1 på s 19) utgör det enda transportbandet en flaskhals i systemet för om den går sönder så lamslås hela Röntgen Level 2, vilket inte är bra.

Det blir även problem när en Röntgen Level 1-maskin slutar fungera, dock inte lika stora problem som när Röntgen Level 2-maskinen går ner. Visserligen ökar den genomsnittliga genomloppstiden för bagage med ca 8 s (se Figur 10.6 på s 103) och antalet extravarv ökar med ca 85% (jämför Tabell 10.8 på s 106 med Tabell 8.4 på s 76), siffror som är i paritet med Röntgen Level 2, men i och med att det är såpass mycket mer bagage som går genom Level 1 än Level 2 så blir den totala påverkan mindre per väska. Exempel:

Antag att 95% av allt bagage passerar genom Röntgen Level 1 (allt utom USA-flighterna). I grundscenariot passerar 61 270 väskor genom anläggningen, 95% av dessa är 58 207. 1/7 av dessa, 8315, passerar genom systemet på måndagen, då ena Level 1-maskinen är ur funktion. Under måndagen uppkommer det $3737,5^{71} - 2016,2^{72} = 1721$ extravarv utöver de som redan var i grundscenariot. Om vi antar att alla väskor som åker på extravarv åker ett varv var så har alltså ca 21% av alla väskor under måndagen åkt på extravarv.

Om vi nu gör samma räkning för Röntgen Level 2 och antar att 35%⁷³ av allt bagage passerar genom Röntgen Level 2 får vi:

$$35\% \text{ av } 61\,270 = 21444,5$$

$$1/7 \text{ av } 21444,5 = 3063,5$$

$$2755,7^{74} - 1384,6^{75} = 1371,1$$

$$1371,1/3063,5 = 45\%$$

En icke-fungerande Röntgen Level 1-maskin är ett problem som sänker kapaciteten markant om det pågår i en längre tid. Problemet är dock inte lika stort som om en Level 2-maskin skulle gå sönder eller om kommunikationen med BSM-centralen skulle brytas.

11.3 Rekommendationer för fortsatt arbete

Ur kapacitetshänseende klarar anläggningen av den förväntade utökningen av trafiken den närmaste tiden, med vissa förbehåll. Tidtabellerna bör läggas så att det inte checkas in mer än två USA-fligheter samtidigt eftersom kapaciteten i Röntgen Level 2-maskinerna är begränsad. Förhoppningsvis kommer Röntgen Level 2-maskinernas kapacitet att öka i och med att bagageanläggningen byggs ihop med den nya anläggningen i T5A. Det rekommenderas varmt åt LFV att en simuleringsstudie liknande denna på hur de båda anläggningarna fungerar tillsammans görs. Tillverkaren Crisplant har gjort sådana studier innan T5A togs i bruk, författaren anser dock att en studie av det integrerade bagagehanteringssystemet bör göras efter att det tagits i bruk.

Fickallokeringsmetoderna bör ses över då denna studie visar att med nuvarande fickallokeringsmetod så kommer kapacitetstaket gällande antalet bagagefickor nås väldigt snart. Det är också en intressant faktor att titta på vilken inverkan de 25 bagagefickorna i T5A-anläggningen får på anläggningens kapacitet.

⁷¹ Tabell 10.8

⁷² Tabell 8.4

⁷³ USA-flighterna (5%) samt de 30% som inte godkändes i Level 1

⁷⁴ Tabell 10.13

⁷⁵ Tabell 8.5

Det bör även utvärderas huruvida det går att öka effektiviteten på utsläppspositionerna och se om anläggningen kapacitet ökar om det går att skicka ut väskor på varannan bricka istället för på var tredje.

Att anläggningen är känslig för störningar är ett problem, där kommunikationen med BSM-centralen är den största anledningen till oro då detta skapar stora problem i anläggningen och mycket högt tryck på MES-positionerna. För ett worst-casescenario som Scenario B (se avsnitt 10.1 på s 97) så är antalet MES-positioner för litet eller kapaciteten i dem för låg - om anläggningen ska byggas efter ett worst-casescenario så måste antalet MES-positioner ökas.

Ett annat problem är Röntgen Level 2-maskinerna. Konstruktionen av utloppet tillbaka till TiltTray-slingan utgör en sårbar flaskhals och denna konstruktion bör ses över snarast. När en av dessa är ur funktion blir det mycket högt tryck på den andra, och många av de väskor som ska röntgas i Level 2 åker på extravarv. Level 2-maskinernas låga kapacitet är ett problem och de har även haft vissa tillförlitlighetsproblem vilket har gjort att de har varit ur funktion mycket. Mot bakgrund av detta bör det utredas om maskinerna ska bytas mot andra, mer tillförlitliga maskiner med högre kapacitet om det finns eller om antalet Level 2-maskiner ska utökas. Det bör dessutom göras en riskanalys på vad som händer om fler länder än USA börjar kräva att bagage ska skiktröntgas (Level 2-röntgas). Sådana beslut kan komma att få stora konsekvenser för bagagehanteringen. Det är naturligtvis intressant även ur denna aspekt att göra en simuleringsstudie på den kombinerade CB/T5A-anläggningen.

Det rekommenderas varmt att en handlingsplan för hur dessa störningar och konsekvenserna av dem ska minimeras tas fram snarast.

Kapaciteten i Röntgen Level 1 får dock anses som god även om en av röntgenmaskinerna är ur funktion (Se avsnitt 10.2 på s 103) så klarar den andra maskinen av att ta emot allt bagage utan att alltför många väskor missar sina flighter. Det bör dock strävas efter en "nära-nollvision" i detta hänseende eftersom en väska som missar sin flight innebär minst en missnöjd flygpassagerare, vilket aldrig är bra. Att ha en väl fungerande bagagehantering kan vara en nog så viktig faktor när man vill locka flygbolag till att öppna nya linjer från en flygplats.

12 Referensförteckning

12.1 Tryckta källor

12.1.1 Böcker

Banks J. (ed.) – *Handbook of Simulation – Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*, John Wiley & Sons Inc., New York 1998.

Banks, J., Carson II, J.S. & Nelson, B.L. – *Discrete-event System Simulation, 2nd edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River N.J. 1999.

Barkman, J. & Palmerius A., - *Differentieringsgradens inverkan på Kriminalvårdens platsbehov – en simuleringsstudie*, Linköpings universitet, IPE, Linköping 2004.

Kelton, W. D., Sadowski, R.P. & Sadowski, D.A. – *Simulation with Arena, 2nd edition*, McGraw-Hill Higher Education, Boston 2002.

Kelton, W. D., Sadowski, R.P. & Sturrock, D.T. – *Simulation with Arena, 3rd Edition*, McGraw-Hill Higher Education, Boston 2004.

Körner, S. & Wahlgren, L. - *Statistisk dataanalys*, Studentlitteratur, Lund 2000.

Law A. & Kelton W.D. – *Simulation modeling and analysis, 3rd edition*, McGraw-Hill Higher Education, Boston 2000. ISBN 0-07-059292-6.

12.1.2 Rapporter

FKI/Logistex/Crisplant, *Stockholm-Arlanda Airport, LFV 1999-1253-071, Baggage Handling System, North Terminal Plant - Product Specification*, Rev 1_2, 12 september 2002.

Ljung, N. *Operativ handbok – Bagagehanteringssystem, centralbyggnad Nord* – LFV interndokument Ta/NaLj 03:31 version 03.00.

12.1.3 Artiklar

Allet, T. – *Top 100 Airports*, Airliner World issue december 2003, s 32.

Fröberg, P. – *Hopp om vändning efter två svåra år*, Insikt nr 1 2004, s 2.

12.2 Internetkällor

Continental Airlines

<http://www.continental.com/travel/tcTimetable.asp?SID=C8CC135B03BF445A9FD35069EADF015B&ST=TT&FS=OW&SS=SP> (acc. 2005-03-24)

Continental Airlines

<http://www.continental.com/Travel/inflight/aircraft/752.asp?SID=C8CC135B03BF445A9FD35069EADF015B> (acc. 2005-03-24)

FKI/Logistex Crisplant

http://www.crisplant.com/cp_profile.htm (acc. 2004-03-16)

Luftfartsverket

<http://www.lfv.se/site/lfv/about/facts.asp> (acc. 2004-02-13)

Luftfartsverket

<http://www.lfv.se/site/library/arsred/arsred2k.html> (acc. 2004-02-13)

Malaysia Airlines

http://hq.malaysiaairlines.com/mys/eng/flying_with_us/during_your_flight/seat_plan/seat_plan.asp (acc. 2005-03-13)

Bilaga 1 Statistiska fördelningar

I denna bilaga redovisas definitioner på de statistiska fördelningar som använts.

B1.1 Normalfördelning

Beteckning: $Norm(\mu, \sigma)$

μ = medelvärde (väntevärde)

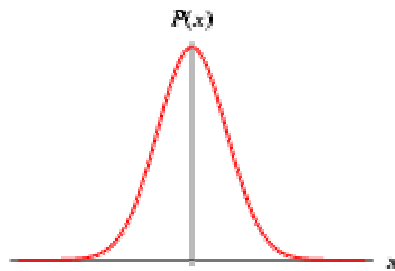
σ = standardavvikelse

Fördelningsfunktion:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}$$

$x \in (-\infty; \infty)$

Varians: σ^2



Figur B 1.1 Normalfördelning - Fördelningskurva (symmetrisk kring μ)

Källa: <http://mathworld.wolfram.com/NormalDistribution.html> (acc. 2005-04-25)

B1.2 Triangulär fördelning

Beteckning: $Tria(a, c, b)$

a = minvärde

b = maxvärde

c = typvärde

Fördelningsfunktion:

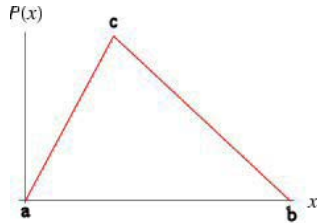
$$P(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c < x \leq b \end{cases}$$

$$x \in (a; b)$$

$$a < c < b$$

$$\text{Medelvärde: } (a + b + c)/3$$

$$\text{Varians: } (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)/18$$



Figur B 1.2 Triangelfördelning - Fördelningskurva

Källa: <http://mathworld.wolfram.com/TriangularDistribution.html> (acc. 2005-04-25)

B1.3 Likformig fördelning

Beteckning: $Unif(a, b)$

a = minvärde

b = maxvärde

Fördelningsfunktion:

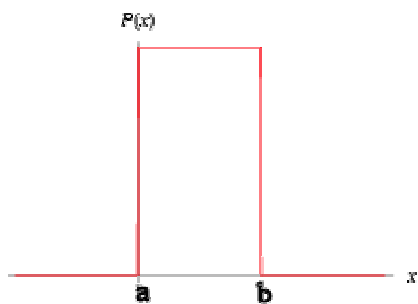
$$P(x) = 1/(b - a)$$

$$x \in (a; b)$$

$$a < b$$

$$\text{Medelvärde: } (a + b)/2$$

$$\text{Varians: } (b - a)^2/12$$



Figur B 1.3 Likformig fördelning - Fördelningskurva

Källa: <http://mathworld.wolfram.com/UniformDistribution.html> (acc. 2005-04-26)

Bilaga 2 Anläggningsdata

I denna bilaga redovisas data om bagagehanteringsanläggningen som varit viktig vid konstruerandet av modellen.

B2.1 Längd på löpande band

All data över längderna på de löpande banden är tagna från tillverkarens specifikation.⁷⁶

Conveyor at Check-In desks						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	Scale conv. Module	1960	500			3,92
2	Dispatch conv. Module	1020	630			1,62
total length		2980			total time	5,54
average velocity			538,00			

Tabell B 2.1 Band vid incheckningsdiskar

Alla 20 incheckningsdiskar har identiska band.

Conveyor at Check-In to Tilt-tray 1						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	CI1-30	21 000	1 200			17,50
2	CI1-31	4 398	1 000	180	1 400	4,40
3	CI1-32	11 200	800			14,00
4	CI1-33	14 800	800			18,50
5	CI1-34	2 199	800	90	1 400	2,75
6	CI1-35	8 500	800			10,63
7	CI1-36	2 000	1 000			2,00
8	CI1-37	1 466	1 200	60	1 400	1,22
9	CI1-38	2 000	1 200			1,67
total length		67 563			total time	72,66
average velocity			929,85			

Tabell B 2.2 Band från incheckningsbatteri 1 till TiltTray

Tabell B 2.2 innehåller data över det löpande band som går bakom incheckningsdiskarna 71-80 och ner till TiltTray-anläggningen, den sträckan är som synes 67,5 m lång. Värt att nämnas är att det endast är väskor från incheckningsdisk 71 som åker hela sträckan på CI1-30. Detta eftersom att det är på ut på den delen som väskorna matas när de kommer från incheckningsdiskarna. De väskor som checkas in vid incheckningsdisk 80 matas på i slutet av CI1-30 vilket gör att det tar betydligt kortare tid än 72,66 s för dem att komma till TiltTray.

⁷⁶ FKILogistex/Crisplant, *Stockholm-Arlanda Airport, LfV 1999-1253-071, Baggage Handling System, North Terminal Plant - Product Specification*, Rev 1_2, 12 september 2002.

Conveyor at Check-In to Tilt-tray 2						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	CI2-30	21 000	1 200			17,50
2	CI2-31	4 398	1 000	180	1 400	4,40
3	CI2-32	15 600	800			19,50
4	CI2-33	1 200	800			1,50
5	CI2-34	2 199	800	90	1 400	2,75
6	CI2-35	9 500	800			11,88
7	CI2-36	2 000	1 000			2,00
8	CI2-37	1 466	1 200	60	1400	1,22
total length		57 363			total time	60,74
average velocity			944,35			

Tabell B 2.3 Band från incheckningsbatteri 2 till TiltTray

Naturligtvis gäller samma situation för detta incheckningsbatteri som för det föregående.

Conveyor at Xray Level 1 Line 1						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	SL2-01	1 200	1 000			1,20
2	SL2-02	1 200	600			2,00
3	SL2-03	1 900	500			3,80
4	SL2-04	3 000	500			6,00
5	SL2-05	2 370	700	97	1400	3,39
6	SL2-06	1 950	800			2,44
total length		11 620			total time	18,82
average velocity			617,32			

Tabell B 2.4 Band för första röntgenmaskinen i Level 1

Conveyor at Xray Level 1 Line 2						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	SL1-01	1 200	1 000			1,20
2	SL1-02	1 200	600			2,00
3	SL1-03	1 900	500			3,80
4	SL1-04	1 200	500			2,40
5	SL1-05	2 199	700	90	1 400	3,14
6	SL1-06	1 350	800			1,69
total length		9 049			total time	14,23
average velocity			635,96			

Tabell B 2.5 Band för andra röntgenmaskinen i Level 1

Conveyor at Xray Level 2 Line 1						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	SL3-01	1 200	1 000			1,20
2	SL3-02	1 200	800			1,50
3	SL3-03	2 900	600			4,83
4	SL3-04	916	600	30	1 750	1,53
5	SL3-05	2 000	1 000			2,00
6	SL3-06	2 000	800			2,50
7	SL3-07	3 600	600			6,00
8	SL3-08	1 100	500	45	1 400	2,20
9	SL3-09	2 000	600			3,33
10	SL3-10	1 610	1 000			1,61
total length		18 526			total time	26,70
average velocity			693,78			

Tabell B 2.6 Band för första röntgenmaskinen i Level 2

Conveyor at Xray Level 2 Line 2						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	SL4-01	1 200	1 000			1,20
2	SL4-02	1 200	800			1,50
3	SL4-03	3 900	600			6,50
4	SL4-04	916	500	30	1 750	1,83
5	SL4-05	2 500	1 000			2,50
6	SL4-06	2 000	800			2,50
7	SL4-07	3 600	600			6,00
8	SL4-08	2 800	600			4,67
total length		18 116			total time	26,70
average velocity			678,53			

Tabell B 2.7 Band för andra röntgenmaskinen i Level 2

Conveyor at Xray Level 2 Line 1+2						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	SL4-09	2 600	600			4,33
2	SL4-10	2 199	600	90	1 400	3,67
3	SL4-11	2 900	600			4,83
4	SL4-12	2 199	600	90	1 400	3,67
5	SL4-13	1 200	600			2,00
6	SL4-14	9 800	600			16,33
7	SL4-15	9 200	600			15,33
8	SL4-16	2 199	600	90	1 400	3,67
9	SL4-17	5 000	800			6,25
10	SL4-18	1 466	1 000	60	1 400	1,47
total length		38 763			total time	61,54
average velocity			629,84			

Tabell B 2.8 Band för utsläpp från röntgen Level 2

Eftersom de båda banden från Röntgen Level 2 går ihop till ett efter röntgenmaskinerna så presenteras data för det gemensamma utsläppsbandet i Tabell B 2.8.

Conveyor at MES Line 1						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	ME2-01	1 200	1 250			0,96
2	ME2-02	1 400	700			2,00
3	ME2-03	4 500	400			11,25
4	ME2-04	2 200	400			5,50
5	ME2-05	1 466	600	60	1 400	2,44
6	ME2-06	1 200	800			1,50
total length		11 966			total time	23,65
average velocity			505,89			

Tabell B 2.9 Band vid första MES-stationen

Conveyor at MES Line 2						
Part	Description	Length (mm)	velocity (mm/s)	angle (degrees)	radius (mm)	time (s)
1	ME1-01	1 200	1 250			0,96
2	ME1-02	1 400	700			2,00
3	ME1-03	4 500	400			11,25
4	ME1-04	2 000	400			5,00
5	ME1-05	1 466	600	60	1 400	2,44
6	ME1-06	2 400	800			3,00
total length		12 966			total time	24,65
average velocity			525,93			

Tabell B 2.10 Band vid andra MES-stationen

Bilaga 3 Flygbolag, Flygplatser och flygplanstyper

B3.1 Flygbolag

Operators		
Number	Op code	Full name
1	BLX	Britannia Airways
2	BT	Air Baltic
3	CA	Air China
4	DK	My Travel Airways
5	DM	Maersk Air
6	FI	Icelandair
7	JK	Spanair
8	JU	Jat
9	JZ	Skyways
10	KF	Blue1
11	LBT	Nouvel Air Tunisie
12	LH	Lufthansa
13	LO	LOT Polish Airlines
14	MA	Malev Hungarian Airlines
15	NB	Sterling
16	NVR	Novair
17	OK	Czech Airlines CSA
18	OS	Austrian Airlines
19	OV	Estonian Airlines
20	SK	SAS Scandinavian Airlines
21	SU	Aeroflot
22	TE	Lithuanian Airlines
23	TG	Thai Airways
24	WF	Widerøe
25	MH	Malaysia Airlines
26	TO	Orient Thai Airlines
27	BE	Bernandersson Airways

Tabell B 3.1 Flygbolag

B3.2 Flygplatser

Destination					
Number	Code	Full name	Number	Code	Full name
1	ACE	Lanzarote	30	MAD	Madrid-Barajas
2	AGP	Malaga	31	MAN	Manchester
3	AMS	Amsterdam-Schipol	32	MIR	Monastir
4	ATH	Athens	33	MLA	Malta
5	BCN	Barcelona	34	MUC	München
6	BEG	Belgrade	35	NCE	Nice
7	BGO	Bergen	36	ORD	Chicago-O'Hare
8	BHX	Birmingham	37	OSL	Oslo-Gardemoen
9	BKK	Bangkok	38	OUL	Oulu
10	BLL	Billund	39	PEK	Beijing
11	BLQ	Bologna	40	PMI	Palma de Mallorca
12	BRU	Brussels	41	PRG	Prague
13	BUD	Budapest	42	PVK	Preveza Lefkas
14	CDG	Paris-Charles de Gaulle	43	RHO	Rhodes
15	CPH	Copenhagen	44	RIX	Riga
16	DAM	Damascus	45	SVO	Moscow-Sheremetyevo
17	DUB	Dublin	46	TKU	Turku
18	DUS	Düsseldorf	47	TLL	Tallinn
19	EDI	Edinburgh	48	TMP	Tampere-Pirkkala
20	EWB	New York-Newark	49	TRF	Oslo-Sandefjord
21	FRA	Frankfurt am Main	50	TXL	Berlin-Tegel
22	GVA	Geneva	51	VAA	Vaasa
23	HAM	Hamburg	52	WAW	Warsaw
24	HEL	Helsinki-Vantaa	53	VIE	Vienna
25	KEF	Reykjavik-Keflavik	54	VNO	Vilnius
26	LED	S:t Petersburg	55	ZRH	Zürich
27	LHR	London-Heathrow	56	KUL	Kuala Lumpur
28	LIN	Milan-Linate	57	LGW	London-Gatwick
29	LIS	Lisbon	58	HKG	Hong Kong

Tabell B 3.2 Flygplatser

B3.3 Flygplanstyper

Aircraft		
Number	Code	Full name
319	319	Airbus 319
320	320	Airbus 320
321	321	Airbus 321
322	322	Airbus 320-200
333	333	Airbus 330-300
733	733	Boeing 737-300
734	734	Boeing 737-400
735	735	Boeing 737-500
736	736	Boeing 737-600
738	738	Boeing 737-800
739	73G	Boeing 737-700
739,5	73H	Boeing 737-800 (winglets)
744	744	Boeing 747-400
747	747	Boeing 747
752	752	Boeing 757-200
762	762	Boeing 767-200
1001	AR1	Avro RJ 100
1007	AR7	Avro RJ 70
1008	AR8	Avro RJ 85
1032	A32	Airbus 320
1201	CR1	Canadair Regional Jet 100
1202	CR2	Canadair Regional Jet 200
1207	CR7	Canadair Regional Jet 700
1210	CRJ	Canadair Regional Jet
1303	DH3	De Havilland DHC-8-300
1304	DH4	De Havilland DHC-8-400
1308	DH8	De Havilland DHC-8-800
1404	EM4	De Havilland DHC-8
1414	ER4	Embraer RJ 145
1550	F50	Fokker 50
1570	F70	Fokker 70
2281	M81	McDonnell-Douglas MD81
2282	M82	McDonnell-Douglas MD82
2283	M83	McDonnell-Douglas MD83
2287	M87	McDonnell-Douglas MD87
2293	M93	McDonnell-Douglas MD93
2820	S20	Saab 2000

Tabell B 3.3 Flygplanstyper