



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

Examensarbete utfört vid
Inst. för Teknisk Ekonomi och Logistik
Produktionsekonomi
och
ABB AB High Voltage Cables

Utredning om effektivisering av den inre logistiken på *ABB High Voltage Cables*

Författare:
Kristofer Adolfsson & Dan Widerström

Handledare:
Fredrik Olsson, Lunds Tekniska Högskola
Thobias Jemjeby, *ABB AB High Voltage Cables*

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete som har utförts under våren och sommaren 2015 och är den avslutande examinationen på vår civilingenjörsutbildning inom Industriell Ekonomi vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har skrivits på avdelningen för Produktionsekonomi och genomförts på ABB AB *High Voltage Cables* i Karlskrona.

Vi vill tacka ABB i Karlskrona och framför allt vår handledare Thobias Jemjeby, logistikutvecklare, för assistans och vägledning under projektet. Vi vill dessutom tacka alla vi har kommit i kontakt med på ABB; personal på logistikavdelningen, maskinoperatörer, avdelningen för produktionsplanering, driftledare, maskintekniker, produktionsledare, produktionskontrollers med flera, som alla har bidragit till kunskaps- och datainsamling vilket varit avgörande för färdigställandet av arbetet.

Vi vill slutligen också rikta vår tacksamhet till Fredrik Olsson, vår handledare på avdelningen för Produktionsekonomi, som gett oss vägledning för att finna lösningar till problem som uppstått under arbetets gång samt kontinuerlig feedback, vilket hjälpt oss att föra arbetet framåt.

Lund, september 2015

Kristofer Adolfsson & Dan Widerström

Abstract

Title

Investigation on finding a more efficient solution for the internal logistics at ABB High Voltage Cables

Authors

Kristofer Adolfsson and Dan Widerström

Supervisors

Fredrik Olsson, Faculty of Engineering LTH, Lund University
Thobias Jemjeby, ABB AB High Voltage Cables

Background

During some time there have been thoughts on making the logistics department responsible for the entire internal logistics, i.e. transportation of material within production, at ABB Voltage Cables in Karlskrona. Today, machine operators are responsible for the final transportation of material to its place of consumption. As a consequence, numerous people transport material daily. This requires a big number of forklifts in order to have resources of transportation available at all times. In addition, it causes low utilization of many of the trucks used within production.

Purpose

The objective/purpose of this thesis is to investigate whether it is possible to find a cost efficient solution for the internal logistics, i.e. transportation of material between access points and points of consumption, where the logistics department are responsible for all transportation. As a result, the number of forklifts in use should be reduced and personnel made available for other tasks, while at the same time meeting existing supply requirements.

Methodology

The project has been carried out as a simulation study, where a modified version of a step model described in literature, has been used as a basis for the working process. Through a comprehensive current state analysis along with gathering of data, the current process for supplying material internally has been mapped as well as visualized through a number of Current State Maps. From the current state analysis, a model of the current state has been conceptualized and later translated into a simulation model with simulation software called ExtendSim. After verifying and validating the simulation model describing the current state, alternative configurations has been

developed for which four additional simulation models were built. Through analysis of data output from simulation of the models, each model has been evaluated on its ability to fulfill demand for material. In combination with, through literature studies, acquired knowledge about for instance process development and material handling, the models has been compared and analyzed in order to reach a conclusion and final recommendation.

Conclusion

From the analysis of the models, a potential solution for the internal logistics has been identified. The solution is that a forklift resource run by the logistics department is responsible for a big portion of the material transportation, which requires a forklift, within the old factory. In addition, many of the storage areas that have previously been used for storage between the access point and point of consumption are eliminated. Instead, the forklift resource run by the logistics department performs the transportation immediately from the access point to the point of consumption. The solution implicates certain risks that have to be taken into consideration and in order to enable the suggested solution to function in practice additional investigations should be carried out in a few areas. These include alternative solutions for other activities to which the forklifts are used, a system for signaling demand, dimensioning of the points of consumption, requirements on the external logistics and further financial analysis.

Keywords

Internal logistics, material handling, modeling, simulation

Sammanfattning

Titel

Utredning om effektivisering av den inre logistiken på ABB High Voltage Cables

Författare

Kristofer Adolfsson och Dan Widerström

Handledare

Fredrik Olsson, Lunds Tekniska Högskola
Thobias Jemjeby, ABB AB High Voltage Cables

Bakgrund

Det har under en tid funnits tankar på att logistikavdelningen ska ta över ansvaret för all inre logistik, det vill säga materialtransporter inom produktionen, på ABB High Voltage Cables i Karlskrona. Idag är det maskinlinjernas operatörer som har ansvaret för den slutliga transporten av material till dess förbrukningspunkt. Det innebär att det idag är ett stort antal personer som dagligen transporterar material. Detta kräver dels en stor truckpark för att hålla transportresurser tillgängliga under dygnets alla timmar, dels ger det en dålig utnyttjandegrad på många av de truckar som finns i produktionen.

Syfte

Syftet med examensarbetet är att utreda om det går att finna en kostnadseffektiv lösning för den inre logistiken, det vill säga all materialtransport mellan accesspunkter och förbrukningspunkter, där ansvaret för samtliga materialtransporter ligger hos företagets logistikavdelning. Som en följd av detta ska antalet verksamma truckar kunna reduceras och personalresurser från maskinlinjerna frigöras till annan verksamhet, samtidigt som befintliga försörjningskrav tillgodoses.

Metod

Examensarbetet är genomfört i form av en simuleringsstudie, där en modifierad version av en stegmodell för simuleringsstudier beskriven i litteraturen, har använts som stomme för arbetsgången. Genom en omfattande nulägesanalys med tillhörande datainsamling har företagets nuvarande arbets sätt för materialtillförsel kartlagts samt visualiserats i form av flertalet Current State Maps. Utifrån nulägesanalysen har en modell av nuläget kunnat konceptualiseras, vilken senare har översatts till en simuleringsmodell med hjälp av simuleringsmjukvaran ExtendSim. Efter verifiering och validering av simuleringsmodellen som representerar nuläget har alternativa

systemutformningar tagits fram, till vilka ytterligare fyra simuleringsmodeller skapats, kallade konfigurationer. Genom att analysera utdata från simuleringar av modellerna har varje modell utvärderats utifrån dess förmåga att tillgodose materielbehov. Tillsammans med från litteraturstudier insamlad kunskap om bland annat processutveckling och materialhantering har modellerna därefter jämförts och analyserats för att nå en slutsats och slutgiltig rekommendation.

Slutsats

Utifrån analysen som gjorts av de olika modellerna har en möjlig lösning för den inre logistiken identifierats. Denna lösning innebär att en inre logistiker, det vill säga en truckresurs som hanteras av logistikavdelningen, sköter stora delar av materialtransporterna som behöver utföras med motviktstruck i den nuvarande fabriken. Lösningen innebär dessutom att många materialrutor elimineras och att den inre logistikern i dessa fall transporterar material direkt från accesspunkt till förbrukningspunkt. Med lösningen följer vissa risker som måste beaktas och för att möjliggöra att den föreslagna lösningen ska kunna fungera i praktiken behöver ytterligare utredning göras på ett antal områden. Dessa rör alternativa lösningar för övriga aktiviteter till vilka truck används, signaleringssystem för materielbehov, dimensionering av förbrukningspunkter, krav på den yttre logistiken samt ytterligare ekonomisk analys.

Nyckelord

Inre logistik, materialhantering, modellbygge, simulering

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD.....	III
ABSTRACT.....	V
SAMMANFATTNING.....	VII
1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 FÖRETAGSBESKRIVNING	2
1.3 SYFTE	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR	3
1.5 PROBLEMFÖRMULERING	3
1.6 MÅLGRUPP.....	3
1.7 RAPPORTENS DISPOSITION	3
2 METOD	7
2.1 METODVAL.....	7
2.2 SIMULERING	11
2.2.1 Val av simuleringsmodell	13
2.2.2 Genomförande av simuleringsstudie	14
2.3 ARBETSGÅNG FÖR EXAMENSARBETET	20
2.3.1 Problemformulering och fastställning av mål	20
2.3.2 Val av metod	20
2.3.3 Val av simuleringsmjukvara.....	20
2.3.4 Datasamling.....	22
2.3.5 Upprättande av teoretiskt ramverk.....	23
2.3.6 Konceptualisering av nulägesmodell	23
2.3.7 Översättning av modell till simuleringsmodell.....	24
2.3.8 Verifiering och validering av simuleringsmodell.....	24
2.3.9 Försöksplanering	24
2.3.10 Körning och framtagning av alternativa systemutformningar ..	24
2.3.11 Analys av resultat och presentation av slutsats	25
3 TEORETISKT RAMVERK.....	27
3.1 PROCESSUTVECKLING	27
3.1.1 Lean Manufacturing.....	27
3.1.2 Personal	28

3.1.3	<i>Ledare</i>	28
3.2	MATERIALHANTERING	29
3.2.1	<i>Lagerutformning och kostnader</i>	29
3.2.2	<i>Materialpåfyllningsstrategier</i>	30
3.2.3	<i>Minimering av dubbelhantering</i>	33
3.3	VALUE STREAM MAPPING.....	35
3.4	VAL AV FÖRDELNINGAR TILL SIMULERING	36
3.4.1	<i>Val av fördelning vid tillgång till data</i>	36
3.4.2	<i>Val av fördelning vid avsaknad av data</i>	37
4	NULÄGESBESKRIVNING.....	41
4.1	KABELPRODUKTION.....	41
4.1.1	<i>Produkterna</i>	41
4.1.2	<i>Produktionsflöden</i>	42
4.1.3	<i>Produktionsplanering</i>	43
4.1.4	<i>Materielbehov</i>	44
4.1.5	<i>Materialhanteringsutrustning</i>	45
4.2	MATERIALFLÖDEN	46
4.2.1	<i>Ledartillverkning (KA)</i>	48
4.2.2	<i>Segmenthopslagning (HS)</i>	49
4.2.3	<i>Plastisolering (EX)</i>	49
4.2.4	<i>Pappersisolering (SP)</i>	50
4.2.5	<i>Blymantling (EB)</i>	51
4.2.6	<i>Hopslagning (HV)</i>	52
4.2.7	<i>Armering (AR)</i>	52
4.2.8	<i>Skärmning (SM)</i>	53
4.2.9	<i>Plastmantling (EP)</i>	54
4.2.10	<i>Framtida materialflöden</i>	55
4.3	KOSTNADSSTRUKTUR.....	55
4.3.1	<i>Truckkostnader</i>	55
4.3.2	<i>Personalkostnader</i>	55
4.3.3	<i>Maskinkostnader</i>	56
4.3.4	<i>Lagerhållningskostnader</i>	56
5	MODELLBYGGE	57
5.1	KONCEPTUALISERING AV NULÄGESMODELL	57
5.1.1	<i>Typkablar</i>	59

5.1.2	<i>Identifiering av materialtyper och transportbehov</i>	60
5.1.3	<i>Tid mellan transportbehov</i>	60
5.1.4	<i>Transporttid</i>	63
5.1.5	<i>Prioritet</i>	64
5.1.6	<i>Antal tillgängliga truckar vid WC</i>	64
5.1.7	<i>Ställtider truck</i>	65
5.1.8	<i>Beläggningsscenarier</i>	65
5.2	ÖVERSÄTTNING AV NULÄGESMODELL TILL SIMULERINGSMODELL	67
5.2.1	<i>Indata simuleringsmodell</i>	68
5.2.2	<i>Beläggning för respektive maskinlinje</i>	68
5.2.3	<i>Operationstid</i>	68
5.2.4	<i>Försöksplanering</i>	68
5.3	UTDATA FRÅN SIMULERING	69
5.3.1	<i>Medelservicetid</i>	69
5.3.2	<i>Stickprovsvarians servicetid</i>	70
5.3.3	<i>Medeltruckutnyttjande</i>	70
5.3.4	<i>Servicetid för samtliga materielbehov</i>	70
5.3.5	<i>Medelkötid</i>	70
5.3.6	<i>Maximal kötid</i>	71
5.4	KONSTRUKTION AV FÖRSLAGSMODELLER	71
5.4.1	<i>Konfiguration 1</i>	71
5.4.2	<i>Konfiguration 2</i>	72
5.4.3	<i>Konfiguration 3</i>	72
5.4.4	<i>Konfiguration 4</i>	74
6	RESULTAT	75
6.1	RESULTATREDOVISNING	75
6.2	NULÄGE	77
6.3	FÖRÄNDRINGSALTERNATIV	79
6.3.1	<i>Konfiguration 1</i>	79
6.3.2	<i>Konfiguration 2</i>	80
6.3.3	<i>Konfiguration 3</i>	81
6.3.4	<i>Konfiguration 4</i>	82
7	ANALYS	85
7.1	VERIFIERING AV SIMULERINGSMODELL	85
7.2	UTVÄRDERING AV SIMULERINGAR	87

7.2.1	<i>Nulägesmodell</i>	87
7.2.2	<i>Konfiguration 1</i>	88
7.2.3	<i>Konfiguration 2</i>	89
7.2.4	<i>Konfiguration 3</i>	90
7.2.5	<i>Konfiguration 4</i>	90
7.3	JÄMFÖRELSE AV KONFIGURATIONER	91
7.4	KÄNSLIGHETSANALYS	92
7.4.1	<i>Indata</i>	93
7.4.2	<i>Krav på yttre logistiken</i>	93
7.5	KOSTNADSANALYS	94
7.5.1	<i>Truckkostnader</i>	95
7.5.2	<i>Personalkostnader</i>	96
7.5.3	<i>Maskinkostnader</i>	98
7.5.4	<i>Lagerhållningskostnader</i>	99
7.6	DISKUSSION KRING LÖSNINGSFÖRSLAG	99
7.6.1	<i>Korrigerering av orderpolicy för riskutsatta material</i>	100
7.6.2	<i>Nya riktlinjer för SP</i>	101
7.6.3	<i>Ändrad design vid AR</i>	101
7.6.4	<i>Signalering vid material- och transportbehov</i>	101
7.6.5	<i>Övrig användning av truck</i>	102
7.6.6	<i>Frigjorda personalresurser inom produktionen</i>	102
7.6.7	<i>Truckutnyttjande</i>	103
8	SLUTSATS OCH REKOMMENDATION	105
8.1	SLUTSATS	105
8.2	REKOMMENDATION	107
8.2.1	<i>Föreslagen lösning</i>	107
8.2.2	<i>Områden som kräver ytterligare utredning</i>	108
8.3	ANALYSERING AV KOMPLEXA SYSTEM MED BEGRÄNSAD TILLGÄNGLIGHET PÅ DATA	110
9	LITTERATURFÖRTECKNING	113
	BILAGA A	I
	INTERVJUGUIDE FÖR DATAINSAMLING VID MASKINAVSNITTEN	I
	BILAGA B	III
	SIMULERINGSDATA NULÄGESMODELL	III
	BILAGA C	IX
	SIMULERINGSDATA KONFIGURATION 1	IX

BILAGA D	XV
SIMULERINGSDATA KONFIGURATION 2.....	XV
BILAGA E	XXI
SIMULERINGSDATA KONFIGURATION 3.....	XXI
BILAGA F	XXVII
SIMULERINGSDATA KONFIGURATION 4.....	XXVII
BILAGA G	XXXIII
SIMULERINGSDATA KÄNSLIGHETSANALYS	XXXIII

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan industriella revolutionens början har företag och organisationer kontinuerligt växt i termer av storlek och komplexitet (Hillier & Lieberman, 2015, s. 1). Vad som tidigare var små lokala verkstäder för enskilda hantverkare har idag förvandlats till globala miljardföretag. Som en följd av tillväxten har det skett en ökad uppdelning av funktioner och styrning i de här organisationerna, vilket i sin tur har skapat en ny typ av problematik som fortfarande är en stor utmaning för många organisationer. I takt med att företagsfunktioner blir mer specialiserade och självstyrande tenderar de att samtidigt förlora insikt och förståelse för hur deras aktiviteter samverkar med och påverkar andra funktioner samt organisationen i sin helhet. Ett annat problem som uppstått till följd av ökad komplexitet och specialisering inom organisationer är ökade svårigheter med samordning och effektiv allokering av tillgängliga resurser för att leverera bästa möjliga helhetsresultat (Hillier & Lieberman, 2015, s. 1).

I ett antal år har det funnits tankar på att logistikavdelningen ska ta över ansvaret för all inre logistik på ABB enheten *High Voltage Cables*, härnäst refererat till som *HVC*. Den inre logistiken definieras här som all transport inom produktionen, det vill säga mellan materialpunkterna; accesspunkt, materialruta och förbrukningspunkt. Idag sker större delen av materialtransporten inom fabriken i tre steg. Efter att material har godsmottagits och lagerförts görs beställningar av respektive maskinlinjes operatörer. I det första steget ligger ansvaret på logistikavdelningens personal att enligt maskinoperatörernas beställningar transportera produktionsmaterial från lagret till ett antal accesspunkter över fabriksområdet. Från accesspunkterna flyttar logistikpersonalen materialet till de s.k. materialrutorna som normalt ligger i anslutning till maskinlinjerna. I sista steget flyttas ansvaret över på maskinlinjernas operatörer att transportera materialet från materialrutorna till de faktiska förbrukningspunkterna. Det innebär att det idag är ett stort antal personer som dagligen transporterar material. Detta kräver dels en stor truckpark för att hålla transportresurser tillgängliga under dygnets alla timmar, dels ger det en dålig utnyttjandegrad på många av de truckar som finns i produktionen. En annan konsekvens är att mycket tid läggs på att gå från och till truckarna, tid som skulle kunna utnyttjas bättre.

Tillverkning på HVC sker uteslutande enligt produktionsstrategin konstruktion mot order, vilket innebär att samtliga order konstrueras och produceras efter kundens

behov. Produktionsprocesserna kan delas in i kontinuerlig tillverkning (processtillverkning) och montering, vilket i sin tur genererar två olika typer av materialförsörjningsbehov. Den kontinuerliga tillverkningen sker genom extruderingsprocesser som kräver en förhållandevis jämn och kontinuerlig materialtillförsel då processen inte kan avbrytas efter att en längd påbörjats utan negativa konsekvenser i form av omtillverkning, skarvning eller leveransförsening som följd, vilket kan generera mycket stora kostnader. Monteringslinjerna kan till skillnad från processlinjerna startas och stoppas under pågående produktion då detta också är en förutsättning för materialpåfyllning till processerna. Utmärkande för materialtillförseln hos monteringslinjerna som förbrukar ledartråd eller armeringstråd är det stora transportbehov som skapas då alla trådar måste fyllas på samtidigt för att produktionen ska kunna fortlöpa.

1.2 Företagsbeskrivning

ABB är ett världsledande företag inom kraft- och automationsteknik som tillhandahåller lösningar för ökad effektivitet, produktivitet, kvalitet samt minskad miljöpåverkan (About|ABB, 2015). Med en toppmodern produktionsanläggning är ABB genom enheten High Voltage Cables en världsledande leverantör av kabelsystem för högspänd sjö- och landbaserad elkraftsöverföring (Cables|ABB, 2015). Produkttekniskt gör man skillnad på dels sjö- och landkabel, dels vilket isoleringsmaterial som används samt om kabeln är avsedd för växelström eller likström.

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utreda om det går att finna en kostnadseffektiv lösning för den inre logistiken, det vill säga all materialtransport mellan accesspunkter och förbrukningspunkter, där ansvaret för samtliga materialtransporter ligger hos logistikavdelningen. Detta så att antalet verksamma truckar reduceras och personalresurser från maskinlinjerna frigörs till annan verksamhet, samtidigt som befintliga försörjningskrav tillgodoses. De kvarvarande truckarna skall under normal produktionsbeläggning ha en högre utnyttjandegrad med ett mål på en ökning med minst 30 % jämfört med nuläget och samtidigt ha kapacitet för att klara maximal beläggning. Resultatet skall vara mätbart avseende truckutnyttjande samt ekonomiska konsekvenser i form av inventarier och personalkostnader. Uppgiften kräver en nulägesanalys och uppförande av en Current State Map (CSM) som sedan kan jämföras med en Future State Map (FSM) där eventuella föreslagna förändringar presenteras tillsammans med de ekonomiska konsekvenserna av densamma.

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsas till att bara studera och analysera materialtransporter mellan accesspunkter, materialrutor samt maskinlinjernas olika förbrukningspunkter. Övriga interna transportbehov omfattas inte av detta projekt. Arbetet behandlar befintliga samt utvalda delar av framtida produktionslinjer på HVC med visst undantag för PEX-linjerna som har speciella renhetskrav, vilket avgränsar truckarnas access.

1.5 Problemformulering

Målet med arbetet är att utreda om det är möjligt att finna en kostnadseffektiv lösning där logistikavdelningen har hand om all inre logistik, med ovan specificerade undantag, på HVC. Specifikt behöver följande frågor besvaras:

- Finns det en kostnadseffektiv lösning för den inre logistiken där ansvaret för samtliga materialtransporter, med visst undantag för transporter i PEX-linjerna, ligger hos logistikavdelningen? För att en lösning ska vara godtagbar krävs att befintliga försörjningskrav tillgodoses.
- Kan antalet verksamma truckar reduceras så att kvarvarande truckar når en utnyttjandegrad som är minst 30 % högre än i nuläget under normal produktionsbeläggning och samtidigt klarar av att hantera maximal beläggningsgrad?
- Är resultaten från CSM respektive FSM, samt skillnaden mellan dessa, mätbara? Med "mätbara" avses att resultaten är statistiskt säkerställda.
- Är det nya arbetssättet enkelt och funktionellt?

I händelse av att det inte går att finna ett lönsamt sätt att implementera ovanstående kan dessutom alternativa lösningar och förslag presenteras.

1.6 Målgrupp

Arbetet riktar sig primärt mot produktionsavdelningen, P, samt logistikavdelningen, PVW, på HVC som är utfördare av uppdraget. Logistiksystemet som studeras kännetecknas av stora volymer och vikter, med både kontinuerlig tillverkning och montering, i en projekttillverkande produktionsmiljö. Komplexiteten detta medför gör arbetet intressant för företaget med liknande typ av tillverkning och materialflöden samt för studerande inom ämnet logistik då problemet är av en sådan typ att generella lösningsmetoder är svåra att tillämpa.

1.7 Rapportens disposition

För att underlätta för läsaren följer nedan en genomgång av de kapitel som rapporten är uppdelad i med en kort beskrivning av respektive kapitelns innehåll.

Kapitel 1 - Inledning

Kapitel 1 introducerar problemet genom att beskriva dess syfte samt vilka avgränsningar som gjorts, vilket leder fram till ett antal frågeställningar som examensarbetet ämnar svara på. Dessutom ges en kort bakgrund som placerar problemet i en kontext. Slutligen redogör kapitlet kort för examensarbetets målgrupp samt ger läsaren en översikt av rapportens disposition.

Kapitel 2 - Metod

I kapitel 2 beskrivs i detalj den metodik som använts under arbetet. Kapitlet resonerar kring olika metoder och motiverar med stöd ur teorin de metodval som gjorts. Vidare beskriver kapitlet teorin bakom simulering som metod vid operationsanalys samt redovisar arbetsgången, som finns beskriven i litteratur, vid genomförandet av en simuleringsstudie. Slutligen innehåller kapitlet en sammanfattning av examensarbetets arbetsgång utifrån de metodval som gjorts.

Kapitel 3 - Teoretiskt ramverk

Kapitel 3 beskriver det teoretiska ramverk som använts i examensarbetet. Kapitlet innehåller bland annat teori som nyttjats under arbetsgången för att ge ytterligare stöd och vägledning vid användning av de metoder som beskrivs i kapitel 2. Dessa är främst metoder för att beskriva nuläget samt metoder för hur osäkerhet i indata kan hanteras i simuleringsstudier. Dessutom redogör kapitlet för teori som behandlar processutveckling i företag samt grundläggande teori om materialhantering, vilka framför allt har fungerat som stöd för resonemang under analys och diskussion.

Kapitel 4 – Nulägesbeskrivning

Kapitel 4 innehåller en beskrivning av nuläget, baserad på den nulägesanalys som genomförts. Kapitlet ger en detaljerad inblick i tillverkningsprocessen på HVC vilken har legat till grund för konstruktionen av modeller. Kapitlet beskriver bland annat produkter och produktionsflöden, materialhanteringsutrustning samt samtliga materialflöden tillhörande den inre logistiken, vilka också presenteras i form av en CSM.

Kapitel 5 - Modellbygge

Kapitel 5 beskriver arbetet med konceptualisering av en nulägesmodell som representerar de verkliga materialflödena samt översättning av modellen till en simuleringsmodell. Kapitlet presenterar och diskuterar nödvändiga ingående parametervärden i modellerna, vilken utdata som är av intresse, etc. Slutligen beskrivs förslagsmodellerna som utvecklats samt resonemanget bakom.

Kapitel 6 – Resultat

Kapitel 6 innehåller resultat som sammanställts från samtliga simuleringar. Dessutom förklaras de utvärderingskriterier som ligger till grund för analys av resultaten.

Kapitel 7 - Analys

Kapitel 7 inleds med ett resonemang kring riktigheten i resultaten från simuleringarna. Därefter utvärderas varje simuleringsmodell individuellt och genom jämförelse. En kostnadsanalys redogör för vilka kostnader respektive modell medför. Vidare diskuterar kapitlet nödvändiga designförändringar som kompletterar modellerna samt olika riskfaktorer.

Kapitel 8 – Slutsats

Kapitel 8 presenterar en rekommendation samt generaliseringar som kan göras vid analys av liknande system.

2 Metod

2.1 Metodval

För att sätta upp ramar för tillvägagångsättet i ett projekt är det viktigt att välja ett grundläggande arbetssätt, även kallat metodik (Höst, Regnell, & Runeson, 2006, s. 29). Metodiken är till hjälp för att stegvis kunna gå från problemställning och målsättning till att nå ökad förståelse och kunskap för området och slutligen nå ett resultat. Projektets mål och karaktär avgör vilken metodik som är lämpligast. Enligt Höst et al. (2006, s. 29) kan ett projekt beroende på dess övergripande syfte klassificeras som antingen beskrivande, utforskande, förklarande eller problemlösande. Det här examensarbetet har ett fördefinierat problem som uppdragsgivaren söker lösning till, vilket per definition ger arbetet en problemlösande karaktär. För att lösa ett fördefinierat problem krävs dock att det underliggande systemet som problemet tillhör är utförligt beskrivet samt att det finns en djup förståelse för hur systemet fungerar i dess nuvarande utformning. En sådan typ av metodik karaktäriseras dels av beskrivande studier med syfte att utreda och beskriva hur något fungerar, samt utforskande studier vars syfte är att på djupet förstå hur något fungerar (Höst, et al., 2006, s. 29). Detta implicerar att examensarbetet består av flera delstudier med inledande studier av beskrivande och utforskande karaktär följt av en problemlösningstudie.

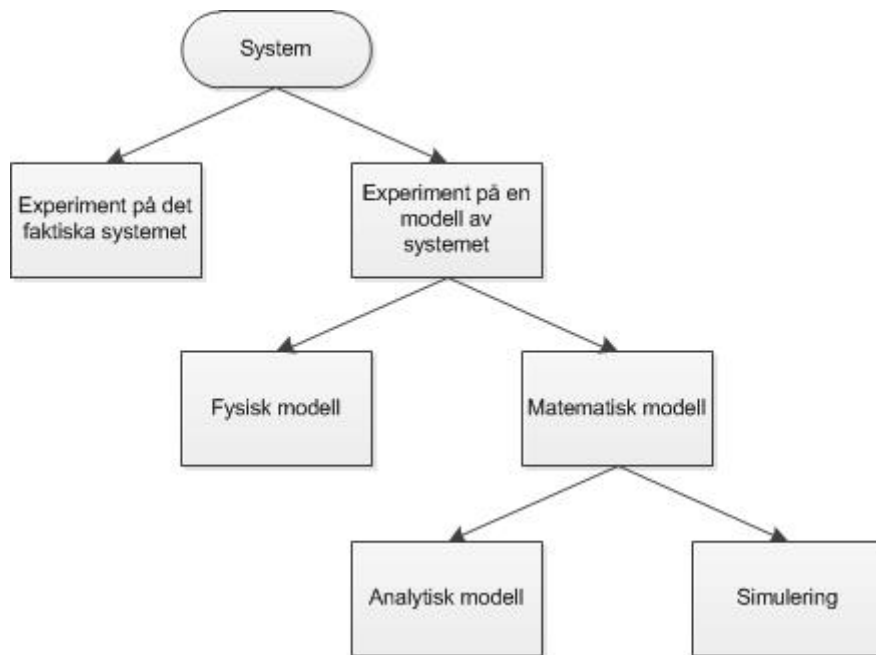
Efter att syfte och mål för ett projekt är definierade följer valet av metod eller en kombination av metoder som anses lämpliga att använda utifrån projektets karaktär (Höst, et al., 2006, s. 30). Inom tillämpade vetenskapsområden, vilket detta examensarbete tillhör, är det framförallt fyra metoder som är av relevans. Dessa är kartläggning, fallstudie, experiment och aktionsforskning. Att kartlägga innebär att beskriva eller förklara nuläget för studerade objekt eller fenomen som är slumpmässigt utvalda och oftast är omfattande i sin karaktär (Höst, et al., 2006, s. 31). Fallstudier syftar likt kartläggningar till att beskriva objekt eller fenomen, dock på en mer djupgående nivå och utan samma möjlighet till generalisering då det som studeras är utvalt med ett specifikt syfte snarare än av slumpmässighet (Höst, et al., 2006, ss. 33-34). Experiment används för jämförelse mellan två eller flera alternativa lösningar (Höst, et al., 2006, s. 36). Genom att variera parametrar och upprepa experimentet kan de olika parametrarnas inverkan på helheten analyseras och uppskattas för att exempelvis finna den mer högpresterande lösningen där alternativ existerar (Höst, et al., 2006, s. 36). Aktionsforskning beskrivas ibland som en variant av fallstudier och i andra fall används fallstudier alternativt kartläggningar som förstudier till aktionsforskning (Höst, et al., 2006, s. 39). Syftet med aktionsforskning är att

förbättra något samtidigt som det studeras. Lösningförslag tas fram genom en iterativ process och är baserade på utvärderingar av tidigare förslag (Höst, et al., 2006, s. 39).

Detta examensarbete grundar sig i att försöka förbättra effektivitet och produktivitet inom en organisation med fokus på utvalda delar av dess aktiviteter. Utifrån beskrivningarna av de fyra metoderna föreslagna av Höst et al. (2006, s. 30) kan det konstateras att samtliga metoder kan vara av intresse för examensarbetet. Projektet studerar och söker alternativa och mer kostnadseffektiva lösningar till ett specifikt system varför experiment eller aktionsforskning är intressant. För att kunna experimentera och ge förslag på nya lösningar krävs dock att systemet förstås till fullo, varför det måste beskrivas på en tillräckligt detaljerad nivå. Detta implicerar att kartläggning och eller fallstudier också är intressanta metoder för ändamålet. En slutsats av detta är att ingen av de ovan nämnda metoderna kan användas i sin enskildhet för att lösa hela problemställningen till examensarbetet. Antingen måste minst två av ovanstående metoder kombineras, exempelvis fallstudier och aktionsforskning då studien fokuserar på ett enskilt specifikt utvalt system till vilket nya mer effektiva lösningar söks, alternativt kan mer specifika metoder undersökas närmare. För just denna typ av projekt som syftar till att försöka förbättra effektivitet och produktivitet inom en organisation föreslår Hillier och Lieberman (2015, s. 2) att det faller sig lämpligt att använda metoder och verktyg som tillämpas inom operationsanalys (OR av eng. *Operations Research*). OR är ett samlingsbegrepp för metoder som syftar till att undersöka eller granska en verksamhet och används för att identifiera och åtgärda problem relaterade till hur olika aktiviteter i en verksamhet ska skötas och koordineras (Hillier & Lieberman, 2015, s. 2). En OR-studie inleds typiskt med noga formulering av problemet och insamling av relevant data (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 2-3). Nästa steg består av att konstruera en vetenskaplig modell som försöker fånga essensen av problemet. Ett antagande görs att modellen är en tillräckligt god representation av verkligheten så att resultat och slutsatser från modellen också ska gälla i verkligheten. För att testa, vid behov ändra, och till slut kunna verifiera antagandet utförs därefter experiment på modellen. Efter att en modell accepterats görs, förutsatt att modellen ska användas vid upprepade tillfällen, en dokumentation av hur den ska appliceras, hur data ska analyseras samt hur en eventuell implementering ska utföras för att slutligen genomföra föreslagna förändringar (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 2-3).

Karaktäristiskt för operationsanalys är dess breda synsätt och således dess förmåga att kunna appliceras på många olika områden. OR-studier har genomförts i en mängd olika branscher vilka inkluderar bland annat tillverkning, konstruktion, transport, telekommunikation, finansiell planering, hälsovård, militär och samhällsserviceföretags

framgångar över hela världen (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 2, 5). Typiska metoder som används inom operationsanalys är bland annat linjärprogrammering, dynamisk programmering, köteori, lagerstyrning och simulering (Hillier & Lieberman, 2015). För att fastställa vilket eller vilka metoder inom OR som är lämpade för ett specifikt problem är utgångspunkten att studera det underliggande systemet, vilket kan göras med hjälp av exempelvis kartläggning eller fallstudier för att återkoppla till de metoder som föreslagits av Höst et al. (2006, s. 30). Systemet kan definieras som alla de enheter som interagerar med varandra för att utföra en särskild uppgift (Law & Kelton, 2000, s. 3). Beroende på hur ett system beter sig över tid kan det kategoriseras som antingen diskret eller kontinuerligt. Med ett diskret system åsyftas ett system där varje variabls tillstånd ändras i diskreta tidpunkter medan variablerna ändras kontinuerligt över tid i ett kontinuerligt system. Beroende på hur ett system ser ut finns det olika sätt att studera det, vilket illustreras i Figur 2.1 (Law & Kelton, 2000, s. 3). Att göra fysiska förändringar i det verkliga systemet är att föredra då det som studeras med största säkerhet ger giltiga resultat (Law & Kelton, 2000, s. 4). Angreppsättet kräver dock att det är praktiskt möjligt tillika kostnadseffektivt att göra direkta förändringar i systemet, vilket normalt inte är fallet. Att experimentera i ett verkligt system är ofta väldigt kostsamt och kan störa verksamheten på ett sätt som inte är hanterbart. I andra sällsynta fall kan det som betecknas vara det verkliga systemet egentligen vara ett teoretiskt system och är därför inte möjligt att fysiskt experimentera med. Alternativet till att experimentera med ett verkligt system är att skapa en modell av det. Eftersom modellen är en avbildning av verkliga systemet kan avvikelser i beteende förekomma varför modellens tillförlitlighet måste valideras utifrån hur väl den efterliknar systemet samt med avseende på vilket beslutsunderlag modellen är avsedd att ge upphov till. En modell kan vara antingen fysisk eller matematisk (Law & Kelton, 2000, s. 4). Inom operationsanalys är det framförallt matematiska modeller som är av intresse även om fysiska modeller kan förekomma i såväl nerskalat format och i mer unika fall även i fullstorlek (Law & Kelton, 2000, ss. 4-5). För matematiska modeller gäller att de kan delas in i analytiska modeller eller simuleringsmodeller. Analytiska modeller är generellt att föredra då de kan ge exakt svar, vilket gäller speciellt för enklare system. För mer komplexa system är istället simulering att föredra då de analytiska modellerna av mer komplexa system kan bli så komplexa i sig själva att lösningar är svåra att hitta (Law & Kelton, 2000, s. 5).



Figur 2.1 – Sätt att studera ett system (Law & Kelton, 2000, s.4).

Utifrån de resonemang som beskrivits av Law och Kelton (2000, ss. 4-5) samt den beskrivning av det system som behandlas i detta examensarbete, vilken återfinns i kapitel 4, kan ett antal slutsatser dras angående valet av lämplig metod. Att genomföra experiment i det verkliga systemet kan uteslutas då det dels skulle störa den ordinarie verksamhet som systemägaren bedriver med stora negativa ekonomiska konsekvenser som följd och dels ligger tidsåtgången för att samla in tillräckligt med beslutsgrundande data utanför examensarbetets tidsram. Alltså måste studien genomföras med hjälp av en modell. En fysisk modell av systemet vore i fullstorlek orimligt kostsam medan en nerskalad modell vore svår att mäta och analysera med avseende på de frågor arbetet syftar att besvara. Således återstår en matematisk modell av antingen analytisk eller simuleringskaraktär. Sett till karaktären och komplexiteten av det underliggande systemet är det förhållandevis lätt att utesluta en analytisk modell till förmån för en simuleringsmodell. Detta kan motiveras med att systemet har ett antal källor av variation som måste tas hänsyn till i en representativ modell, vilka skulle vara mycket svåra att modellera analytiskt, varför sannolikheten att nå önskade resultat med en sådan metod vore mycket liten. Ytterligare stöd för att i det här examensarbetet välja simulering som huvudsaklig lösningsmetod ges av Banks, Carson II, Nelson och Nicol (2005, ss. 4-5) som i en sammanställning av tidigare forskning beskriver för vilka situationer simulering lämpar sig väl samt när det inte lämpar sig. Baserat på ovan beskrivning av en generell arbetsgång för OR-studier, beskrivningen

av simulering som metod i avsnitt 2.2 samt den beskrivning av arbetsgången för simuleringsstudier specifikt som görs i avsnitt 2.2.2 kan det argumenteras för att simulering som metod innefattar de flesta om inte alla de metoder som föreslagits av Höst et al. (2006, s. 30). Vilken typ av simuleringsmodell som ska användas för examensarbetets räkning beskrivs i avsnitt 2.2.1.

2.2 Simulering

Syftet med simulering är att med hjälp av en dator imitera beteendet hos ett verkligt system (Hillier & Lieberman, 2015, s. 892). Simulering erbjuder en mängd fördelar som många redan nämnts i föregående avsnitt när användandet av simulering som metod motiveras, men också ett antal nackdelar jämfört med andra metoder. Med stöd från Law och Kelton (2000, ss. 91-92) och Banks, et al. (2005, ss. 5-6) kan några av de övriga viktigaste fördelarna respektive nackdelarna sammanfattas enligt nedan.

Fördelar med simulering:

- Tiden kan komprimeras eller expanderas, vilket möjliggör att simuleringar över lång tid kan genomföras mycket snabbt alternativt studera snabba system i detalj.
- Med simulering är det enkelt att ändra variabler och flöden för att testa existerande såväl som nya system utan att störa pågående verksamheten eller lägga resurser på förvärv av nya delsystem.
- Lätt att jämföra prestandan mellan olika system alternativt mellan olika konfigurationer av samma system.
- Ger förståelse för hur enskilda variabler påverkar systemet i sin helhet samt hur olika variabler interagerar med varandra.

Några nackdelar med simulering:

- Simulering fungerar dåligt för optimeringsproblem då de sällan ger några exakta resultat utan är framförallt lämpligt vid jämförelse av alternativa systemutföranden.
- Att bygga simuleringsmodeller är ett hantverk som lärs över tid och genom erfarenhet. Om olika kompetenta individer ombeds bygga en simuleringsmodell av samma system är det mycket sannolikt att det kommer finnas skillnader i hur de är konstruerade.
- Simuleringsmodeller kan vara dyra och tidskrävande att konstruera och analysera. Om inte tillräckliga resurser används vid modellering och analysering kan resultat från simuleringar vara otillräckliga och därför också oanvändbara.

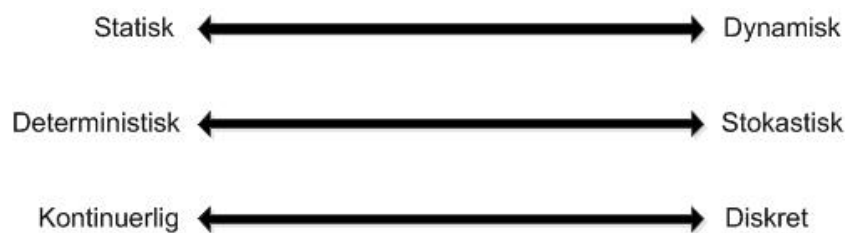
- Den stora mängden data som utvinns ur simuleringar kan vara svår att tolka och beroende på hur bra simuleringsmodellen representerar det verkliga systemet, d.v.s. om modellen inte är verifierat kan informationen som ges av simuleringen vara av begränsad eller till ingen nytta för att beskriva prestandan av det verkliga systemet.

När nackdelar av simulering tas i beaktning angående valet av metod anses simulering fortfarande vara den mest lämpliga metoden för genomförandet av det här examensarbetet. Problemet kräver ingen optimering då det som är av intresse är att finna en alternativ utformning av systemet i fråga som presterar bättre med hänsyn till kostnad och resursutnyttjande än den nuvarande utformningen. Detta implicerar att det är fullt tillräckligt att jämföra olika systemutföranden utifrån samma grunddata för vilket simulering är ett mycket bra alternativ för komplexa system. I och med att simuleringsstudien är en del av ett examensarbete är kostnaden för uppdragsgivaren oberoende av vilken metod som används och vidare antas att tillräckliga kunskapsresurser finns att tillgå studien för att inom rimlig tid kunna konstruera relevanta simuleringsmodeller samt analysera den data som utvinns ur simuleringarna. Huruvida simuleringsmodellerna är representativa för det studerade systemet och hur det kan konfirmeras kommer diskuteras närmare i avsnitt 2.2.2. Förutsatt att simulering är den valda metoden för utförandet av en specifik uppgift finns det en mängd fallgropar att undvika för att säkerställa att studien är av värde. Law och Kelton (2000, ss. 92-93) tar upp ett antal av dessa varav några av de mer väsentliga att undvika inom detta examensarbete är:

- Att vid början av en simuleringsstudie inte ha ett antal väldefinierade mål med studien.
- Att ha en olämplig detaljnivå på sin simuleringsmodell, antingen för detaljerad eller inte tillräckligt detaljerad.
- Att inte lyckas samla in tillräckligt bra data som beskriver det studerade systemet.
- Att inte lyckas ta med tillräckliga källor för slumpmässig variation som finns i det verkliga systemet.
- Att inte ha stöd nog för användandet av särskilda fördelningar i simuleringsmodellens indata och istället bara använda godtycklig fördelning.
- Att jämföra resultat mellan alternativa systemkonfigurationer baserade på enskilda körningar av varje unik konfiguration.
- Att mäta prestandan av olika simuleringsmodeller med hjälp av dåligt valda mätvärden som inte ger den information som simuleringsmodellerna konstruerades för att ge.

2.2.1 Val av simuleringsmodell

Givet att simulering är den valda metoden för att studera och analysera ett system består nästa steg i att bestämma vilken typ av simuleringsmodell som ska användas för att på bästa sätt efterlikna det verkliga systemet. Enligt Law och Kelton (2000, ss. 5-6) kan simuleringsmodeller klassificeras utefter tre dimensioner: *Statisk - Dynamisk*; *Deterministisk - Stokastisk*; *Kontinuerlig - Diskret* (se Figur 2.2). Skillnaden mellan statiska och dynamiska simuleringsmodeller är att statiska modeller är representativa för ett system vid en specifik tidpunkt alternativt ett system där tidsaspekten inte spelar in medan dynamiska modeller representerar system som utvecklas över tid. Huruvida en simuleringsmodell är deterministisk eller stokastisk beror på om den innehåller någon form av slumpmässighet. I helt deterministiska modeller förekommer inga slumpvariabler, varför resultatet för en specifik uppsättning indata har en förutbestämd (deterministisk) utdata. Generellt är det dock inte särskilt vanligt att system verkar utan något som helst slumpelement, vilket medför att de flesta system måste modelleras som stokastiska. Precis som system kan vara diskreta eller kontinuerliga över tid, vilket beskrivits i avsnitt 2.1, gäller detsamma för simuleringsmodeller. I diskreta modeller ändras variablers tillstånd i diskreta tidpunkter medan variablerna i kontinuerliga modeller ändras kontinuerligt över tid. Det är dock ingen självklarhet vilken typ av simuleringsmodell som ska användas förutsatt att det underliggande systemet är av en viss typ. Ett kontinuerligt system kan modelleras med hjälp av en diskret simuleringsmodell och vice versa. Den avgörande faktorn i valet är målet med studien och i grunden ur vilket perspektiv systemet studeras ifrån (Law & Kelton, 2000, ss. 5-6).



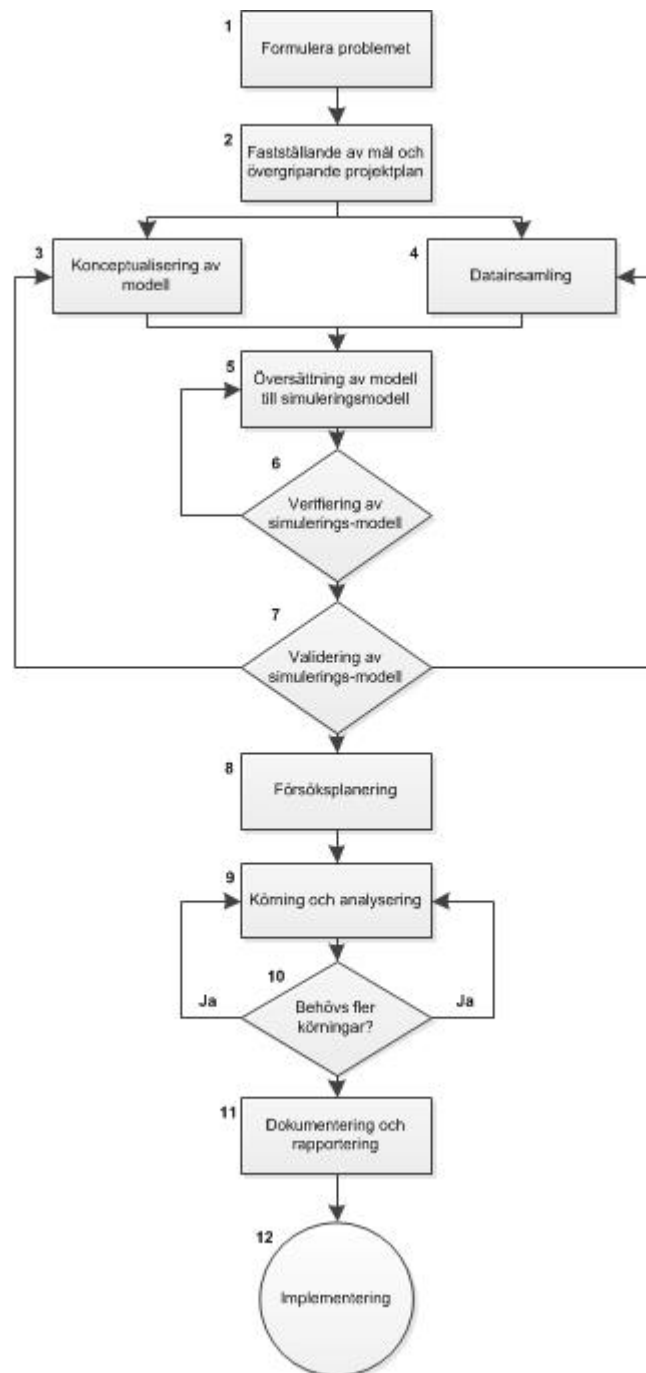
Figur 2.2 - Dimensioner i en simuleringsmodell.

Systemet som ska studeras och modelleras i det här examensarbetet är ett materialförsörjningssystem, vilket kan ses som ett delsystem till produktionssystemet med fokus på interna materialtransporter inom uppdragsgivarens produktionsanläggning. Utifrån beskrivningen av systemet (se kapitel 4) samt målet med den här studien (se avsnitt 1.5) kan ett resonemang föras kring vilket typ av simuleringsmodell som ska användas med avseende på de tre dimensionerna som

diskuterats i föregående stycke. Som framgår av beskrivningen i kapitel 4 innehåller systemet en mängd osäkerheter, vilka måste fångas i simuleringsmodellen som således måste vara av typen stokastisk. Likt variationen i systemet är också tidsaspekten av intresse för studien. Systemet utvecklar sig med tiden, vilket också bör återspeglas i simuleringen för att fånga just hur systemet i dess nuvarande och alternativa utförande kommer att prestera över tid. Av denna anledning bör dynamiska simuleringsmodeller användas. Enligt Law och Kelton (2000, s. 3) är ett system sällan helt kontinuerligt eller helt diskret utan befinner sig mer troligt någonstans däremellan. Detta gäller även för materialförsörjningssystemet som är i fokus i den här studien. Till allra största delen är det diskret men beroende på ur vilket perspektiv det studeras kan kontinuerliga drag särskiljas. Sett till studiens mål är dock en diskret simuleringsmodell att föredra. Alltså ska simuleringsmodellerna som används inom detta examensarbete vara av typen; dynamiska, stokastiska och diskreta.

2.2.2 Genomförande av simuleringsstudie

Som utgångspunkt för genomförandet av en simuleringsstudie bör en lämplig arbetsgång ligga till grund. Förslag på vilka steg som bör ingå i en sådan arbetsgång ges av ett flertal författare, däribland Law och Kelton (2000, s. 84), Banks, et al. (2005, s. 15) och Hillier och Lieberman (2015, ss. 917-921). Stegen som föreslås skiljer sig inte nämnvärt mellan de olika författarna, dock så är arbetsgången beskriven av Banks, et al. (2005, s. 15) den mest detaljerade varför den valts att användas som stomme för den här studien. I arbetsgången diskuteras såväl modeller som simuleringsmodeller, vilket tidigare gjorts i avsnitt 2.1. Utifrån den utläggning som gjordes där, baserad på Law och Kelton (2000, ss. 4-5), görs här definitionen av en modell som en avbildning av ett system i beskrivande termer av ingående objekt samt hur dessa objekt samverkar med varandra. En simuleringsmodell är således en översättning av en modell till ett simuleringsprogram alternativt programmeringsspråk. Stegen som föreslås av Banks, et al. (2005, s. 15) för en simuleringsstudie illustreras i Figur 2.3 och kan beskrivas enligt nedan med stöd från både Law och Kelton (2000) samt Hillier och Lieberman (2015):



Figur 2.3 – Steg i en simuleringsstudie (Banks, et al., s.15, 2005).

1. **Formulera problemet.** Inledningsvis till varje studie bör problemställningen klargöras mellan de som ska undersöka problemet och ledningen (Banks, et

al., 2005, s. 14; Law & Kelton, 2000, s. 84; Hillier & Lieberman, 2015, s. 917). Oberoende av vem som har formulerat problemet är det viktigt att alla inblandade parter förstår och ställer sig bakom problemformuleringen (Banks, et al., 2005, s. 14). Av Figur 2.3 framgår det att problemformuleringen enbart görs i början av ett projekt, vilket kan ses som missvisande då vissa fall kräver att problemet omformuleras utefter att projektet fortlöper (Banks, et al., 2005, s. 14).

2. **Fastställande av mål och övergripande projektplan.** I detta steg ska målet med studien bestämmas, d.v.s. vilka frågor ämnar studien att ge svar på (Banks, et al., 2005, s. 14; Law & Kelton, 2000, s. 84; Hillier & Lieberman, 2015, s. 917). Enligt Banks, et al. (2005, s. 14) bör det utifrån problemformuleringen och de uppsatta målen här tas ställning till huruvida simulering är en lämplig metod eller inte. Förutsatt att lämplighet för simulering antagits ska en övergripande projektplan tas fram (Banks, et al., 2005, s. 14). Projektplanen bör inkludera alternativa systemlösningar, d.v.s. alternativa utformningar av det studerade systemet, samt en metod för att utvärdera och jämföra de olika alternativen som arbetats fram (Banks, et al., 2005, s. 14; Law & Kelton, 2000, s. 85; Hillier & Lieberman, 2015, s. 917). På en mer detaljerad nivå bör projektplanen även inkludera vilka resurser som behövs för genomförande, kostnad, tidsåtgång för respektive delsteg i arbetet samt vilka resultat som respektive steg förväntas ge (Banks, et al., 2005, s. 14; Law & Kelton, 2000, s. 84). Enligt Law och Kelton (2000, s. 85) bör också valet av programvara göras i detta steg, något som både Banks, et al. (2005, s. 16) samt Hillier och Lieberman (2015, s. 918) föreslår görs först i ett senare steg.
3. **Konceptualisering av modell.** För att konstruera en modell av ett specifikt system finns generella riktlinjer att gå efter, dock saknas specifika instruktioner som underlättar byggandet av tillräckligt bra och lämpliga modeller (Banks, et al., 2005, s. 14). Att avbilda ett system i en modell kan anses vara lika mycket en konstform som en vetenskap. För att lyckas bygga en representativ och användbar modell finns ett antal viktiga saker att tänka på. En bra modell är en approximation av ett system, innehållande enbart det som är nödvändigt för att nå de mål som modellen är avsedd för snarare än en exakt kopia av systemet. Som regel bör en modell från början alltid göras så enkel som möjligt varefter komplexitet kan adderas efter behov till en punkt då modellen faktiskt är tillräcklig för att uppnå dess avsedda mål. Att bryta mot den regeln ökar endast behovet av resurser till projektet utan att tillföra något mer av större värde. För att fånga endast det viktigaste i ett system och

göra modellen så enkel som möjligt är det dessutom värdefullt att göra olika antaganden om systemet och dess beteende (Banks, et al., 2005, s. 14). Gällande modellens detaljnivå anser Law och Kelton (2000, s. 85) att följande bör tas i beaktning:

- Projektets mål
- Hur prestanda mäts
- Tillgänglighet av data
- Trovärdighet
- Begränsningar hos använd programvara
- Åsikter tillhörande sakkunniga experter
- Begränsningar i tid och pengar

Innan en faktisk simuleringsmodell börjar utvecklas kan en validering av modellen göras för att kontrollera att den är en bra representation av det verkliga systemet (Law & Kelton, 2000, s. 85; Hillier & Lieberman, 2015, s. 918). Detta bör undersökas genom att rådfråga personer med ingående förståelse för hur systemet fungerar och gå igenom modellen grundligt tillsammans med dessa. Vanligtvis leder detta till att felaktiga antaganden upptäcks och rättas till samt att nya antaganden och förenklingar kan göras där det tidigare var oklart hur mycket detaljer som krävdes (Law & Kelton, 2000, s. 85; Hillier & Lieberman, 2015, s. 918).

4. **Datainsamling.** Beroende på modellens komplexitet och omfattning kan det variera vilken indata som behövs, varför det är av stor vikt att under utveckling och vid förändringar av en modell ta reda på om ny data behövs alternativt om redan insamlad data blir oanvändbar (Banks, et al., 2005, s. 16). I de flesta fall är den data som samlas in till för att kunna skapa sannolikhetsfördelningar (Law & Kelton, 2000, s. 85; Hillier & Lieberman, 2015, s. 917). Dessa kommer generellt bara kunna uppskattas men är nödvändiga för att kunna simulera representativa scenarion av systemet och generera slumpmässiga observationer (Hillier & Lieberman, 2015, s. 917). Vid datainsamling bör multipla källor användas till samma data om möjligt för att säkerställa att insamlad data är korrekt (Law & Kelton, 2000, s. 85). Generellt tar datainsamling en stor del av tiden för genomförandet av en simuleringsstudie (Banks, et al., 2005, s. 16). Av den anledningen rekommenderas att datainsamlingen startas i samband med att byggandet av modellen börjar (Banks, et al., 2005, s. 16).
5. **Översättning av modell till simuleringsmodell.** Precis som de flesta verkliga system innehåller förenklade modeller av systemen stora mängder data samt krav på beräkningskapacitet (Banks, et al., 2005, s. 16). För att göra modellen

hanterbar måste den således föras över till ett datorbaserat format. Det finns flera olika typer av programvara för simulering (Banks, et al., 2005, s. 16). Vid enklare typer av simulering kan det göras i en så kallad spreadsheet-mjukvara som exempelvis Excel medan det vid mer omfattande simulering måste användas ett generellt programmeringsspråk alternativt ett specialdesignat simuleringsprogram (Hillier & Lieberman, 2015, s. 918).

6. **Verifiering av simuleringsmodell.** Att verifiera en simuleringsmodell är att fastställa att den fungerar på det sätt den är tänkt att göra utifrån de parametrar och den logik som modellen den översätts från innehåller (Banks, et al., 2005, s. 16). Oftast utförs detta steg till största del med hjälp av sunt förnuft och kunskap om modellen och mjukvaran som översättningen sker till (Banks, et al., 2005, s. 16).
7. **Validering av simuleringsmodell.** Att validera en simuleringsmodell är att kontrollera att den replikerar det underliggande systemet på ett tillfredsställande sätt (Banks, et al., 2005, s. 16; Law & Kelton, 2000, s. 86). Detta steg är normalt en iterativ process där jämförelser mellan systemets beteende och simuleringsmodellens beteende ligger till grund för identifiering av avvikande beteende hos simuleringsmodellen (Banks, et al., 2005, s. 16). Med hjälp av avvikelserna kan simuleringsmodellen justeras för att minska gapet till hur systemet uppför sig. Iterationerna fortsätter till dess att simuleringsmodellen anses vara en tillräckligt bra representation av systemet (Banks, et al., 2005, s. 16).
8. **Försöksplanering.** Innan simuleringsmodellen används måste en försöksplanering göras (Banks, et al., 2005, s. 16; Law & Kelton, 2000, s. 86; Hillier & Lieberman, 2015, ss. 919-920). I försöksplaneringen fastställs vilka alternativa utformningar av systemet som ska simuleras samt bestämmelser om hur lång tid som ska simuleras, hur många gånger simuleringen ska replikeras per körning och hur lång initieringstiden för en simulering ska vara (Banks, et al., 2005, s. 16; Law & Kelton, 2000, s. 86; Hillier & Lieberman, 2015, ss. 919-920).
9. **Körning och analysering.** Med en försöksplanering gjord följer utförandet samt efterföljande analys av simuleringskörningarna (Banks, et al., 2005, s. 17; Law & Kelton, 2000, s. 86; Hillier & Lieberman, 2015, s. 920). I analysen görs en uppskattning av hur bra respektive systemutformning presterar utifrån den i steg 2 fastställda metod för jämförelse av olika alternativ (Banks, et al., 2005, s. 17). Utöver uppskattningar av respektive mätvärde bör även ett konfidensintervall erhållas ur simuleringen för att få en indikation på mätvärdenas sannolikhet (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 920-921). Ofta blir

resultatet att några få olika systemkonfigurationer visar sig vara ungefär lika bra. Ytterligare simuleringar kan då utföras för dessa för att bättre kunna jämföra dem. Dessutom kan finjusteringar göras i vissa konfigurationer som sedermera kräver ytterligare simuleringar (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 920-921).

10. **Behövs fler körningar?** Efter att planerade körningar är genomförda och analyserade bör beslut tas om huruvida ytterligare körningar behöver genomföras och om så är fallet föregås dessa körningar av upprättandet av en ny försöksplanering (Banks, et al., 2005, s. 17).
11. **Dokumentering och rapportering.** Under genomförandet av ett simuleringsprojekt bör såväl simuleringsmodeller som allt arbete som görs samt alla beslut som tas under projektet dokumenteras (Banks, et al., 2005, s. 17; Law & Kelton, 2000, s. 86). Dokumentering av simuleringsmodeller är ett viktigt steg som underlättar återanvändning och modifiering av dem vid en senare tidpunkt samt ökar möjligheten att andra än de som byggt simuleringsmodellen kan använda den då de med hjälp av dokumentationen enklare kan förstå hur den fungerar och är uppbyggd (Banks, et al., 2005, s. 17; Law & Kelton, 2000, s. 86). Att dokumentera övrigt som hör projektet till är ett sätt att kontinuerligt förse intressenter med information kring projektets framfart samt möjliggöra att eventuella felaktigheter identifieras så tidigt som möjligt (Banks, et al., 2005, s. 17). I slutet av ett projekt bör resultat med tillhörande analys dokumenteras och presenteras för beslutsfattare i den fråga som undersökts (Banks, et al., 2005, s. 17; Law & Kelton, 2000, s. 86; Hillier & Lieberman, 2015, s. 921).
12. **Implementering.** Förutsatt att förändringar ska göras baserat på de resultat och analyser som tagits fram med hjälp av simuleringsstudien berör sista steget implementeringen av dessa förändringar (Banks, et al., 2005, s. 17). För en framgångsrik implementering påpekar Banks, et al. (2005, ss. 17-18) vikten av att dels genomföra samtliga tidigare steg på ett så bra sätt som möjligt samt att de slutgiltiga modellägarna, d.v.s. de som tar beslut utifrån modellens agerande, är i hög grad involverade under projektets gång för att de ska ha förståelse och tillit för det som har gjorts och ska göras (Banks, et al., 2005, ss. 17-18).

2.3 Arbetsgång för examensarbetet

2.3.1 Problemformulering och fastställning av mål

Första steget av arbetet var att formulera problemet med avsikt att säkerställa att uppdragsgivare och examensarbetare hade samma uppfattning om vad som skulle göras och vad som var målet med studien. Detta gjordes inledningsvis genom ett möte mellan examensarbetarna och nyckelpersoner på företaget, däribland handledaren, logistikchefen och produktionsplaneringschefen, där de olika redan definierade målpunkterna för arbetet diskuterades. Dessutom diskuterades bakgrunden till problemet, avgränsningar, tidsram, etc. Med det som utgångspunkt började ett detaljerat syfte och problem formuleras tillsammans med rimliga avgränsningar. Arbetet avstämde kontinuerligt med handledaren på ABB för att se till att det stämde överens med deras mål samt med handledare vid LTH för att säkerställa att examensarbetet uppnår en tillfredsställande akademisk nivå. Bakgrund, avgränsningar, problem och frågeställningar finns i sin helhet presenterade i kapitel 1.

2.3.2 Val av metod

Efter att problem och frågeställningar klargjorts bestod nästa steg i att bestämma en lämplig metod för genomförandet av projektet. Teorigrundade resonemang runt valet av metod är beskrivna i avsnitt 2.1 där också slutsatsen drogs att simulering är den mest lämpliga metoden för det specificerade problemet. Givet från teorin att det finns olika typer av simuleringsmodeller togs också beslut om vilken typ av simuleringsmodell som skulle användas. Beslut togs att en dynamisk-stokastisk-diskret simuleringsmodell skulle användas, vilket motiverades med hjälp av resonemang runt det underliggande systemets karaktär som beskrivs i litteraturen och finns redovisat i avsnitt 2.2.1. Då simulering fastställdes som metod för examensarbetet samt typen av simuleringsmodell valts, genomfördes relevant litteratur efter typiska tillvägagångssätt för simuleringsstudier. Detta resulterade i den beskrivning för genomförande av simuleringsstudier som redovisas i avsnitt 2.2.2, vilken också ligger till grund för hur resterande del av examensarbetet genomfördes.

2.3.3 Val av simuleringsmjukvara

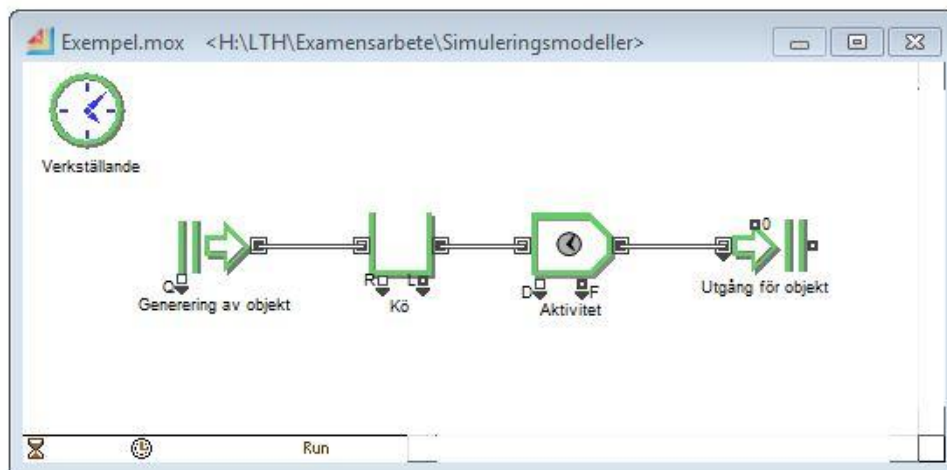
Då steg 1 och 2 som beskrivs i avsnitt 2.2.2 redan har avhandlats i föregående avsnitt 2.3.1, med undantag för val av programvara för simulering, följde ett beslut huruvida valet av programvara skulle följa här näst. Banks, et al. (2005, s. 16) samt Hillier & Lieberman (2015, s. 918) anser att valet kan göras efter att en konceptuell modell av det underliggande systemet tagits fram medan det enligt Law & Kelton (2000, s. 85)

bör göras redan i detta skede. Beslut togs att i detta ställningstagande följa rekommendationen som ges av Law & Kelton med motivering att kunna använda den valda programvaran i de nästkommande stegen, konceptualisering av modell och datainsamling, för att få stöd i hur simuleringsmodellen kan byggas och exakt vilken data som behövs för byggandet av simuleringsmodellen och senare körning av den.

Valet av simuleringsmjukvara är av stor vikt vid en simuleringsstudie (Law & Kelton, 2000, s. 203). Mjukvaran som används måste vara flexibel och lätt nog att använda för att simuleringen dels ska kunna genomföras men också ge korrekta resultat. Simuleringsmodeller byggs normalt antingen i ett generellt programmeringsspråk som exempelvis C eller C++ eller i ett speciellt simuleringsprogram som är designat för den typ av simulering som ska utföras (Law & Kelton, 2000, s. 203). Som nämnt under punkt 5 i avsnitt 2.2.2 kan så kallad spreadsheet-mjukvara också användas, dock begränsat till förhållandevis mycket enkla simuleringsmodeller. Fördelarna med generella programmeringsspråk är att de oftast ger bättre flexibilitet, kan exekveras snabbare förutsatt att programmet är välskrivet samt att de generellt kräver mindre resurser för anskaffning (Law & Kelton, 2000, ss. 203-204). Historiskt är generella programmeringsspråk mycket använda just på grund av deras höga flexibilitet men i takt med att specialdesignade simuleringsprogram fått utökade funktioner och blivit mer flexibla har dessa ökat i popularitet (Hillier & Lieberman, 2015, ss. 918-919). Användning av specialdesignade simuleringsprogram reducerar ofta tiden det tar att bygga simuleringsmodeller eftersom de har många av de funktioner som vanligtvis används inbyggda i programmet (Law & Kelton, 2000, ss. 203-204). I och med den reducerade tidsåtgången dras ofta den totala kostnaden ner för projekt som använder simulering. Simuleringsprogrammen gör det också generellt lättare att underhålla och modifiera befintliga simuleringsmodeller samt ger bättre möjligheter att upptäcka fel då programmen automatiskt kollar efter många typer av problem (Law & Kelton, 2000, ss. 203-204). Många av dessa simuleringsprogram innehåller även animationer som kan visualisera simuleringarna, vilket på grund av dess ökade förmåga att kommunicera simuleringen gjort att dem ökat i popularitet (Hillier & Lieberman, 2015, s. 919).

För genomförande av simuleringsstudien i detta examensarbete har simuleringsmjukvaran ExtendSim valts med motivering att examensarbetarna sedan tidigare har mycket erfarenhet av att använda programmet samt att spara tid när de olika simuleringsmodellerna ska byggas. I ExtendSim används grafisk programmering och programmet kan användas för att bygga 2D- såväl som 3D-modeller (Imagine That Inc., 2013). Simuleringsmodeller byggs genom sammanlänkning av olika förprogrammerade block med varierande funktioner (Law & Kelton, 2000, ss. 219-

220). Varje block har ett användargränssnitt för olika inställningar och inmatning av parametervärden (Banks, et al., 2005, s. 124). Utöver de förprogrammerade blocken tillåter programmet även programmering av egna block (Imagine That Inc., 2013). Dessutom har det inbyggt stöd för interaktion med dels generella programmeringsspråk samt med andra vanliga filformat för förenklad in- och utmatning av data (Imagine That Inc., 2013). Figur 2.4 illustrerar ett exempel på hur ett enkelt kösystem kan se ut i ExtendSim.



Figur 2.4 - Exempel på ett enkelt kösystem modellerat i ExtendSim.

2.3.4 Datainsamling

För att kunna skapa en representativ modell av nuläget som grund till en simuleringsmodell krävdes omfattande datainsamling. Precis som illustrerat i Figur 2.3 genomfördes datainsamlingen parallellt med konceptualiseringen av en nulägesmodell men också med det senare steget som innebär en översättning av nulägesmodellen till en simuleringsmodell, vilket gjordes med avsikt att säkerställa en representativ översättning. Under utvecklingen av nulägesmodellen gjordes flertalet förändringar i både modell och simuleringsmodell då tillräcklig data inte kunde samlas in eller då översättningen från modell till simuleringsmodell inte fungerade enligt önskemål. Som nämnt av Banks, et al. (2005, s. 16) gjordes i samband med förändringar en utvärdering av vilka av redan insamlad data som fortfarande var relevant samt vilken ny data som behövde samlas in.

I teorin görs en distinktion mellan kvantitativ och kvalitativ data (Höst, et al., 2006, s. 30). Till kvantitativ data tillhör sådan som kan räknas alternativt klassificeras, t.ex. antal, andel, vikt, färg etc. medan kvalitativ data innefattar ord och beskrivningar

(Höst, et al., 2006, s. 30). För examensarbetets räkning samlades både kvalitativ och kvantitativ data in, vilket gjordes dels genom intervjuer med maskinoperatörer såväl som truckpersonal, logistikutvecklare, produktionsledare, produktionsplanerare, produktionscontroller och andra nyckelpersoner, dels ur företagets affärssystem samt interna dokument. För att förenkla arbetet med att göra en nulägesbeskrivning och skapa en modell användes av uppdragsgivaren tillhandahållna kartor över anläggningen samt flödesdiagram och processkartor över produktionsplaneringsprocessen.

2.3.5 Upprättande av teoretiskt ramverk

Parallellt med datainsamlingen och upprättandet av en nulägesmodell utfördes litteraturstudier för att identifiera möjliga arbetsmetoder för att lösa och analysera problemet. Till de ämnen som ansågs relevanta för arbetet hör exempelvis processutveckling och materialhantering.

2.3.6 Konceptualisering av nulägesmodell

För att kunna utveckla en modell över nuläget gjordes först en nulägesbeskrivning för att förstå systemets fulla komplexitet samt kartlägga de olika materialtransporter som görs i samband med produktion på företaget. Baserat på data som samlats in om de interna transportsystemens och det övergripande produktionssystemets utformning och funktion kunde en konceptuell modell av nuläget sedan tas fram med utgångspunkt ur teorin kring modellkonceptualisering som beskrivs av Banks, et al. (2005, s. 14) samt Law & Kelton (2000, s. 85), se avsnitt 2.2.2 punkt 3. För att uppnå en lämplig detaljnivå hos modellen gjordes konceptualiseringen iterativt med hänsyn dels till de punkter föreslagna av Law & Kelton (2000, s. 85) samt den löpande validering av både modell och underliggande antaganden som gjordes mellan examensarbetare och handledaren på företaget. Faktorer som hade störst inverkan var tillgänglighet på data, begränsningar hos den använda programvaran, hur prestanda ska mätas samt modellens trovärdighet. Som nämnts i avsnitt 2.3.3 är en del av de data som beskriver väsentliga delar av systemen otillgänglig alternativt osäkra, varför detta spelade stor roll i modellutformandet och renderat i flertalet förenklingar och antaganden, vilket är just vad som föreslås av Banks, et al. (2005, s. 14) vid framtagning av modeller. Samtidigt finns det begränsningar i dels den kunskap examensarbetarna har för mer avancerade funktioner i simuleringsprogramvaran som modellen översätts till och dels i programvaran i sig, vilket medfört att korrigeringar av modellen tvingats fram med anledning av att de inte kunnat översättas på ett tillfredsställande sätt till en simuleringsmodell.

2.3.7 Översättning av modell till simuleringsmodell

Som framgår i föregående avsnitt gjordes översättningen från modell till simuleringsprogramvaran allteftersom den konceptuella modellen växte fram med avsikt att kontrollera att varje del av modellen faktiskt kunde översättas till simuleringsprogramvaran och ge upphov till en representativ simuleringsmodell.

2.3.8 Verifiering och validering av simuleringsmodell

Simuleringsmodellen verifierades genom att köra den i animerat läge. På detta sätt kunde alla objekt som rör sig i simuleringsmodellen visuellt observeras för att säkerställa att de rör sig så som de borde enligt den underliggande logik som modellen är byggd utefter. I de fall det ansågs tidskrävande att köra modellen med de riktiga parametervärdena gjordes korrigeringar av dessa under testkörningar för att snabbare tvinga fram situationer där säkerställning av simuleringsmodellens logik var speciellt nödvändig. Under testerna togs dessutom extra dataobservationer ut från simuleringsmodellen för att på så sätt stärka verifieringen samt kontrollera att data som utvinns ur simuleringsmodellen är rimlig.

Validering av simuleringsmodellen gjordes dels i samråd med handledaren på företaget som har en djup förståelse för de underliggande system som simuleringsmodellen avser att representera och dels genom att jämföra data över truckutnyttjande mellan simuleringsmodellen och det verkliga truckutnyttjandet.

2.3.9 Försöksplanering

Som teorin (Banks, et al., 2005, s. 16; Law & Kelton, 2000, s. 86; Hillier & Lieberman, 2015, ss. 919-920) argumenterar för gjordes en försöksplanering i den utsträckning det var möjligt. Bestämmelser gjordes för hur lång tid som skulle simuleras, hur många gånger respektive simulering skulle replikeras per körning samt initieringstiden. Tanken med simuleringsarbetet var att simulera ett nuläge och därefter utforma alternativa konfigurationer av systemet med resultatet av föregående simuleringsmodell som utgångspunkt. Av denna anledning kunde alternativa utformningar av systemet som skulle simuleras inte fastställas innan dess att föregående simuleringsmodell var körd och resultatet från den studerat.

2.3.10 Körning och framtagning av alternativa systemutformningar

Genomförandet av simuleringsmomentet initierades genom att köra simuleringsmodellen som representerar nulägesbeskrivningen, varefter utdata från simuleringen sammanställdes och studerades. Utifrån simuleringsutdata hämtad från nulägesmodellen, idéer från företaget, teori inom materialhantering och lagerstyrning

samt egen erfarenhet utvecklades systemkonfigurationer i simuleringsmodellformat. Processen upprepades sedan, då med utdata från samtliga redan utförda simuleringar tillgänglig, till dess att modellerna som tagits fram ansågs täcka behovet av systemutformningar och simuleringsresultat för att kunna göra en fullgod analys och slutligen ge en rekommendation.

2.3.11 Analys av resultat och presentation av slutsats

Utdata från samtliga simuleringar sammanställdes och analyserades först var för sig varefter de olika konfigurationerna jämfördes med nulägesmodellen. Analysen bygger dels på kvantitativ data från simuleringar och kostnadsbilder och dels på de antaganden som respektive modell bygger på. Där diskuteras olika riskfaktorer och eventuella konsekvenser för simuleringsmodellernas giltighet. Slutligen användes den sammanlagda analysen för att bygga en slutsats och ge företaget en rekommendation på hur systemet kan effektiviseras och vad som måste göras för att företaget ska ta sig dit.

3 Teoretiskt ramverk

3.1 Processutveckling

Ett företag som inte kontinuerligt utvecklas har svårt att nå långsiktig framgång. För att ett företag ska behålla sin konkurrenskraft är processutveckling en viktig faktor (Ståhl, 2010, s. 271). För framgångsrik processutveckling är det dessutom viktigt att göra detta på rätt sätt (Ståhl, 2010, s. 271). Avsnitt 3.1.1 - 3.1.3 nedan behandlar utvalda teoridelar som beskriver arbetssätt och faktorer att beakta vid utveckling av processen i ett företag.

3.1.1 Lean Manufacturing

För att ett företag skall kunna vara långsiktigt konkurrenskraftigt och framgångsrikt är det en förutsättning att fortlöpande produktionsutveckling sker i form av ständiga förbättringar (Ståhl, 2010, s. 271). Lean Production används ofta i dagligt tal för att beskriva en filosofi som bygger på detta tankesätt och vars framgångsfaktor är att i en organisation förvalta och samtidigt utveckla produktionssystemet (Ståhl, 2010, s. 271). Begreppet är brett och metoderna som bygger upp filosofin kan tolkas på delvis olika sätt beroende på förutsättningar och utgångspunkt. Ett övergripande mål för filosofin, i synnerhet delen som brukar benämnas Lean Manufacturing och som behandlar tillverkning, är emellertid att eliminera slöseri och förluster (Ståhl, 2010, s. 274).

Ett arbetssätt som förenar i princip alla tolkningar av Lean Manufacturing är en stark strävan att reducera lagernivåerna i ett företag. Reducerade lagernivåer kan likställas med ökad lageromsättningshastighet. En ökad lageromsättningshastighet innebär i sin tur ökad kapitalomsättningshastighet vilket resulterar i ökad lönsamhet (Ståhl, 2010, s. 302). En annan effekt av lagerreducering, som lyfts fram inom Lean Manufacturing, är att minskade lagernivåer på sikt och till en viss gräns reducerar förluster och störningar i förädlingsprocessen (Ståhl, 2010, s. 305). Höga lagernivåer har förvisso den viktiga egenskapen att skydda mot störningar och kvalitetsproblem, men kan samtidigt innebära att dem inte upptäcks. Genom lägre lagernivåer visualiseras problemen varefter orsakerna till problemen kan identifieras samt åtgärdas. När problemen som ger upphov till störningar och kvalitetsproblem åtgärdats så att dessa eliminerats, kan lagernivåerna sänkas ytterligare. En kontinuerlig process startar som innebär både successiv ökning av kvalitet och produktivitet samt minskade lagernivåer (Ståhl, 2010, s. 305).

Filosofin om Lean Manufacturing påtalar som nämns ovan eliminering av slöseri och förluster. Det har dock lyfts fram kritik mot filosofin som pekar på de negativa

konsekvenser som tankesättet riskerar att föra med sig (Ståhl, 2010, ss. 298-299). Ett exempel är onödiga aktiviteter, vilka med det tankesätt som appliceras inom Lean Manufacturing bör klassas som slöseri och därför ska elimineras. Onödiga aktiviteter kan vara transporter, väntetider, pauser etc. Kritiken riktar sig mot att när dessa typer av aktiviteter elimineras så ökar pressen på operatörerna då dessa små störningar tidigare gav dem chansen till kortare vila. Konsekvensen blir att en eliminering av onödiga aktiviteter förvisso ökar produktiviteten genom högre tidsutnyttjande av operatörerna, men samtidigt riskerar att få till följd att arbetare slits ut snabbare (Ståhl, 2010, ss. 298-299).

3.1.2 Personal

För att förbättringsarbeten skall vara framgångsrika är det av yttersta vikt att arbetet är förankrat även hos personalen (Bergman & Klefsjö, 2010, s. 46). Detta är även ett område som ofta lyfts fram inom Lean Manufacturing (Ståhl, 2010, s. 284). För att kunna utnyttja de positiva effekterna av förbättringsarbete krävs att alla anställda ges möjligheten att känna sig delaktiga och aktivt vara med i beslutsfattandet och arbetet. Nyckelord är kommunikation, delegering och utbildning, vilka Bergman & Klefsjö (2010, s. 46) åskådliggör genom att referera till tre punkter som Jan Carlzon beskriver i boken "Moments of truth":

- Det viktigaste för en person är att veta och känna att hen behövs.
- När en person tillåts ta ansvar så frigörs resurser som annars inte skulle gjorts tillgängliga.
- En person som inte har information kan inte ta ansvar. En person som har information kan inte undvika att ta ansvar.

(Bergman & Klefsjö, 2010, s. 46).

Med andra ord måste en anställd få chansen att känna engagemang, stolthet och ansvar för att kunna göra ett bra jobb (Bergman & Klefsjö, 2010, s. 46). Vid processutveckling bör anställda involveras genom att utnyttja deras processkunskaper för att identifiera problem och arbeta fram förbättringsförslag (Ståhl, 2010, s. 289). Att personalen dessutom får vara delaktig i arbetet som gäller utformningen av deras egen arbetsplats ökar motivationen och tillfredsställelsen (Ståhl, 2010, s. 289).

3.1.3 Ledare

En mycket viktig hörnsten i processutveckling och förbättringsarbete är ledarskapet (Bergman & Klefsjö, 2010, s. 48). För att möjliggöra ett framgångsrikt och långsiktigt hållbart förbättringsarbete är starkt och engagerat ledarskap essentiellt, vilket behöver lysa igenom ledarskapet på alla nivåer i organisationen. Anledningen är att för att

kunna skapa engagemang och förpliktelse från de anställda krävs att chefer på alla nivåer visar samma inställning. Nycklarna här är trovärdighet, tydlig kommunikation samt agera som exempel (Bergman & Klefsjö, 2010, s. 48).

3.2 Materialhantering

Materialhantering kan definieras som förflyttning och hantering av varor inom ett logistiksystems anläggningar (Jonsson & Mattson, 2005, s. 73). En anläggning kan vara ett lager, terminal, tillverkningsanläggning, etc. Förflyttning av varor är materialförflyttningar som görs mellan olika lagrings- och hanteringspunkter. Hanteringen kan exempelvis vara sortering eller ompackning (Jonsson & Mattson, 2005, s. 73). I avsnitt 3.2.1 - 3.2.3 beskrivs generell teori om materialhanteringen som utnyttjas under arbetet.

3.2.1 Lagerutformning och kostnader

Transport- och hanteringskostnader är direkta kostnader associerade med fysisk hantering, förflyttning och lagring av gods längs materialflödet (Jonsson & Mattson, 2005, s. 129). Som beskrivs i avsnitt 4.2 så genererar kabeltillverkningen på HVC stora mängder materialförflyttningar. De stora flödena och mängden arbetsstationer gör att den totala tiden som spenderas på att flytta material blir stor och därmed ger upphov till betydande kostnader.

En tumregel för ett lagers utformning (eng. layout) är att den ska möjliggöra för många hanteringar per mantimme (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 49). Detta kan exemplifieras genom att tänka sig en tredjepartslogistiker som lagrar pallar med material för kunds räkning. En truckarbetare får generellt ersättning per arbetad timme. Samtidigt faktureras kunden för arbetet som utförs, det vill säga typiskt två hanteringar för varje pall, in och ut. För att maximera vinsten är det alltså fördelaktigt att sträva efter att kunna utföra många hanteringar på så kort tid som möjligt (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 49). Det finns olika sätt på vilka det går att åstadkomma detta. Ett sätt redogörs för nedan, medan avsnitt 3.2.3 diskuterar ämnet ytterligare.

Tiden det tar att utföra en förflyttning av material innebär en kostnad. Jämfört med tiden det tar att utföra transporter, så är skillnader i ställtid för en truck att lasta på eller lasta av en pall av olika material förhållandevis liten, vilket gör att ställtiden kan betraktas som en fast kostnad (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 49). För en truck som hanterar en pall åt gången kan den rörliga personalkostnaden då estimeras till tiden det tar att köra från mottagning, via lagerplats, till utskeppning. Därtill tillkommer ytterligare kostnader, exempelvis kostnader associerade med sträckan som

trucken färdas tom, det vill säga från den plats trucken befinner sig till den plats där arbetet ska utföras. Denna kostnad är dock omöjlig att uppskatta om det inte på förhand är känt var trucken befinner sig innan arbetet ska utföras (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 49). Slutsatsen blir att genom att välja lagerplatser på ett sätt som reducerar restiden kan antalet hanteringar per mantimme ökas (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 51).

3.2.2 Materialpåfyllningsstrategier

I avsnitt 4.2 beskrivs hur beställningar av material till materialrutorna görs av operatörer vid maskinlinjerna. Rutiner för när materialbeställningar sker varierar för olika material och maskinlinjer. Som framgår i avsnitt 4.1.2 är vissa av produktionslinjerna processlinjer som inte får stanna, vilket innebär att material alltid måste finnas tillgängligt. I dessa fall är det av yttersta vikt att ha en strategi för hur materialfyllningen ska ske och ha kontroll över mängden material som finns till förfogande.

3.2.2.1 Lagerposition

För att kunna utnyttja strategier för materialpåfyllning krävs kontroll över hur mycket material som finns att tillgå på en lagerplats eller i en maskin (Axsäter, 2006, s. 46). Materialpåfyllningsstrategier (eller lagerstyrningssystem) handlar om att veta när och i vilken kvantitet material ska beställas. Dessa bör baseras på mängden lagrat material, förväntad efterfråga samt olika kostnadsfaktorer (Axsäter, 2006, s. 46).

Mängden lagrat material kan naturligt tolkas som det fysiska lagersaldot (Axsäter, 2006, s. 46). Vid beslut om när nytt material ska beställas behöver dock hänsyn även tas till utestående beställningar, det vill säga material som redan har beställts till lager men ännu inte anlänt, samt restorder, det vill säga material som redan efterfrågats men ännu inte levererats. Det som ligger till grund för materialpåfyllningsbeslut definieras därför som *lagerpositionen*, enligt $\text{lagerposition} = \text{fysisk mängd i lager} + \text{utestående beställningar} - \text{restorder}$. Kostnader för lagerhållning och eventuell bristkostnad baseras istället på *lagernivån*, vilken definieras som $\text{lagernivå} = \text{fysisk mängd i lager} - \text{restorder}$ (Axsäter, 2006, s. 46).

3.2.2.2 Kontinuerlig eller periodisk kontroll

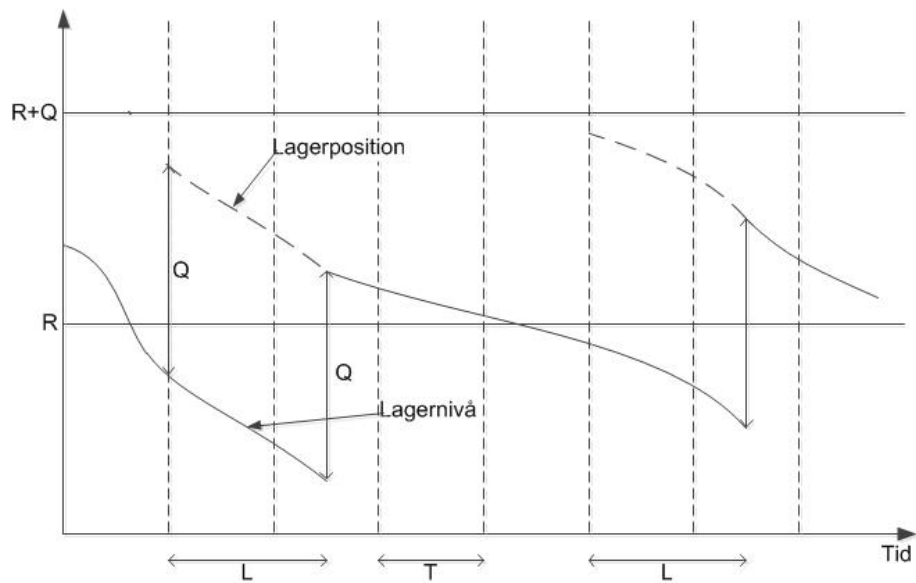
För att kunna fatta beslut om beställningar genom ett lagerstyrningssystem måste lagerpositionen övervakas och inspekteras. Detta kan göras antingen kontinuerligt eller periodiskt vid specifika tidpunkter (Axsäter, 2006, s. 47). Om lagerpositionen kontrolleras kontinuerligt kommer en beställning skickas precis i det ögonblick

lagerpositionen når en tillräckligt låg, förutbestämd, nivå. Beställningen kommer att levereras efter en viss ledtid, L , som är tiden från beställningsbeslut tills att beställningen anlämt. Ledtiden består förutom transporttid också av tid för förberedelse av ordern, administration, inspektion, mottagande av ordern, etc. Om lagerpositionen istället endast kontrolleras vid specifika tidpunkter i konstanta intervall tillkommer parametern T , d.v.s. tidsintervallet mellan inspektionerna. Ju kortare tidsintervallet är desto mer lik kontinuerlig inspektion blir strategin (Axsäter, 2006, s. 47).

Det finns både fördelar och nackdelar med de två alternativen (Axsäter, 2006, s. 47). En fördel med kontinuerlig inspektion är det reducerar den nödvändiga storleken på säkerhetslager jämfört med vid periodisk inspektion. Lagerpositionen vid beställningspunkten måste vid kontinuerlig inspektion ta hänsyn till och skydda mot variation i efterfrågan under ledtiden L . Vid periodisk inspektion måste lagerpositionen istället skydda mot variation i efterfrågan under tiden mellan två inspektioner, T , plus ledtiden, L . Detta eftersom om lagerpositionen vid ett inspektionstillfälle inte genererar en beställning, så är nästa möjliga beställningstillfälle efter tiden T , och tiden till nästa möjliga leverans blir därmed $T + L$. Periodisk inspektion har i sin tur fördelar i de fall då beställning av olika artiklar med fördel kan koordineras. Dessutom är det ofta billigare att kontrollera i intervall än att göra det kontinuerligt (Axsäter, 2006, s. 47).

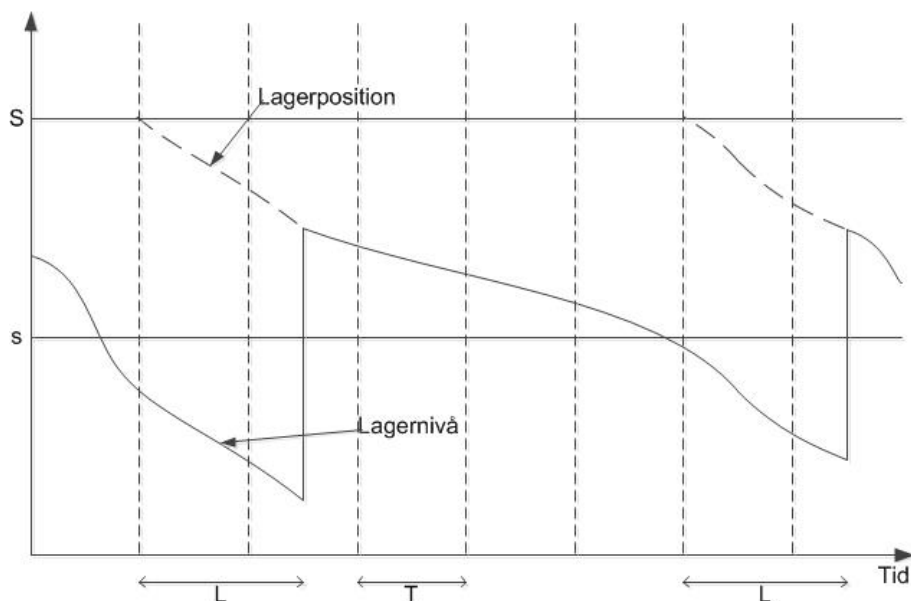
3.2.2.3 Beställningspolicy

En vanlig beställningspolicy i lagerstyrningssystem är (R, Q) policyn (Axsäter, 2006, s. 48). Policyn går ut på att det finns en beställningspunkt, R , och en orderkvantitet, Q . När lagerpositionen når nivån för R så läggs en beställning av material som motsvarar kvantiteten Q . Om både efterfrågan och inspektion av lagerpositionen är kontinuerlig kommer alltid beställningspunkten R att träffas precis. Vid periodisk inspektion av lagerpositionen eller om efterfrågan kan vara fler än en enhet så kommer en ny beställning ofta triggas när lagerpositionen understiger R . I dessa fall innebär det också att lagerpositionen inte kommer nå en nivå motsvarande $R + Q$ efter genomförd beställning, se Figur 3.1. Värt att notera är att lagerpositionen är oberoende av ledtiden L (Axsäter, 2006, s. 48).



Figur 3.1 - (R, Q)-policy med periodisk inspektion och kontinuerlig efterfrågan (Axsäter, s.48, 2006).

En annan vanlig beställningspolicy, som är väldigt lik (R, Q), är (s, S) policyn (Axsäter, 2006, s. 49). När lagerpositionen når nivån för beställningspunkten, s, så beställs material upp till maximala nivån S. Vid kontinuerlig inspektion av lagerpositionen och kontinuerlig efterfrågan kommer (R, Q) och (s, S) vara exakt lika förutsatt att $R=s$ och $Q=S$. Om beställningspunkten, s, däremot inte träffas exakt, som kan vara fallet vid periodisk inspektion, så försvinner likheten. Till skillnad från (R, Q) policyn som inte når upp till lagerpositionen $R + Q$ i detta fall, så kommer (s, S) policyn att göra en beställning så att lagerpositionen når den maximala nivån S, vilket illustreras i Figur 3.2. En variant på (s, S) policyn, kallad S policy, beställer alltid upp till lagernivån S, oberoende av den aktuella lagerpositionen, såvida efterfrågan inte är noll. Vid kontinuerlig inspektion av lagerpositionen kallas denna policy för en (S-1, S) policy, vilken alltid kommer beställa upp till S, så fort det uppstår en efterfrågan (Axsäter, 2006, s. 49).



Figur 3.2 - (s, S)-policy med periodisk inspektion och kontinuerlig efterfrågan (Axsäter, s.50, 2006).

I enkla system går det, under mycket generella antaganden, att visa att det är optimalt att använda en (s, S) policy (Axsäter, 2006, ss. 49-50). Skillnaderna mot (R, Q) policyn är dock små och i praktiken är det ofta enklare att använda en förutbestämd orderkvantitet som är fallet i en (R, Q) policy. Oberoende av vilken metod som används så kvarstår uppgiften att välja parametrarna R och Q respektive s och S. Vad som är optimala nivåer för dessa ur ett kostnadsperspektiv beror bland annat på efterfrågan samt order- och lagerhållningskostnad (Axsäter, 2006, ss. 49-50).

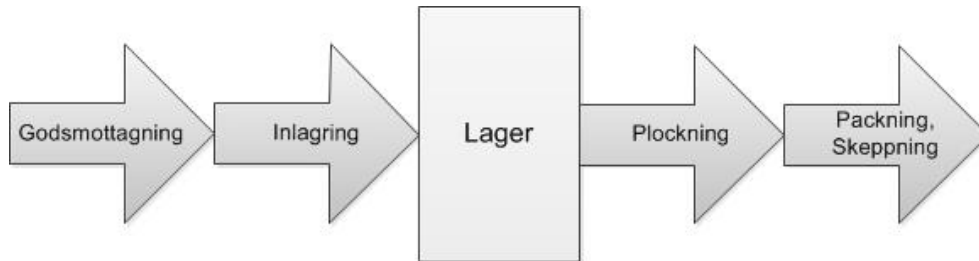
3.2.3 Minimering av dubbelhantering

I avsnitt 4.2 beskrivs flödet för den inre logistiken vid HVCs produktionslinjer. Ofta tar material vägen från lager, via en accesspunkt, till en materialruta. Från materialrutan flyttas det därefter ett sista steg till en förbrukningspunkt. Det nuvarande flödet innebär att material plockas upp, förflyttas, samt ställs ner ett antal gånger genom processen för materialtillförsel.

3.2.3.1 Materialflöde

Flödet av material genom de flesta lager ser ut på ungefär samma sätt (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 21). Det består generellt av godsmottagning och transport av inlevererat material till lagerplats, lagring, samt plock från lager och transport till

skeppning (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 21). Flödet kan sammanfattas som i Figur 3.3.



Figur 3.3 – Generellt flöde för material som lagras (Bartholdi & Hackman, s.21, 2010).

En generell regel är att material i så hög utsträckning som möjligt ska röra sig kontinuerligt genom denna sekvens av aktiviteter (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 22). En modell som argumenterar för detta är den så kallade Flödesmodellen (eng. The Fluid Model), vilken betraktar värdekedjan som en vätska som flödar genom ett rör vars segment har en varierande vidd (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 11). I smalare segment pressas vätskan igenom snabbare än i segment som är vidare. Vidden på röret kan exempelvis föreställas vara storleken på ett lager vid en punkt i värdekedjan, där större lager innebär att varorna flödar långsammare än i ett mindre lager (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 11). Modellen föreslår ett antal riktlinjer för lagerdesign, bland annat:

- Håll varor i rörelse; undvik start och stop då detta innebär dubbelhantering och kräver extra utrymme.
- Undvik layouter som hindrar jämnt och smidigt flöde.
- Identifiera och eliminera flaskhalsar i flödet.

(Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 11).

Varje gång en enhet ställs ner måste den också plockas upp igen. Det är detta fenomen som kallas dubbelhantering, vilket är en kostnad som kan bli väldigt betydande när alla former av dubbelhantering summeras och bör således undvikas (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 22).

3.2.3.2 Lagerplatsutnyttjande

Gångar (eng. aisles) som används för att ta sig till och från lagerplatser är icke inkomstgenererande utrymme, varför dessa bör reduceras i den utsträckning det är möjligt (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 58). Ett sätt att göra detta på är genom

att lagra pallar i rader (eng. lanes) som delar en och samma gångutrymme (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 58).

En konsekvens av att lagra pallar i rader är antingen utökad dubbelhantering eller sämre utnyttjande av utrymme (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 59). Vid lagring av pallar med olika material i samma rad krävs flytt av pallar som står "utanför" den pall som flytten avser. För att undvika dubbelhantering är det därför vanligt att en rad dedikeras helt till pallar av en och samma typ av material. Konsekvensen av detta blir dock en kostnad för outnyttjade lagerplatser. När pallen på den första platsen i en rad plockas blir lagerplatsen ledig men kan inte utnyttjas av pallar med annat material. Vid användande av FIFO regler kan platsen inte användas överhuvudtaget utan att det innebär dubbelhantering (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 59).

Ju fler pallplatser en rad innehåller, desto större bli kostnaden för outnyttjat utrymme (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 59). Den första pallplatsen i en rad som är k pallar djup och används till pallar som "rör på sig" lika snabbt kommer utnyttjas endast $1/k$ av tiden. Den andra utnyttjas $2/k$ av tiden och så vidare. Den här typen av slöseri kallas *honeycombing*. Ju djupare rader desto mer känsliga är de för *honeycombing*. Samtidigt behöver grunda rader mer utrymme för åtkomlighet i form av gångutrymme (Bartholdi, III & Hackman, 2010, s. 59).

3.3 Value Stream Mapping

För att med framgång kunna effektivisera verksamheten i ett företag är en grundläggande förutsättning att ha god kännedom om hur existerande rutiner och processer ser ut. En kartläggning av processer och flöden i företaget är en viktig utgångspunkt för att kunna identifiera områden som kan förbättras samt prioritera insatserna till de områden som har störst betydelse och förbättringspotential i förhållande till arbetsinsats och kostnad för att genomföra effektivisering (Jonsson & Mattson, 2005, s. 491). Produktionsprocessen hos HVC kännetecknas av ett stort antal materialflöden som med fördel bör illustreras för att nå full förståelse om deras utformning, se avsnitt 4.2.

Value stream, eller värdeflöde, innebär flödet genom en process från att ett behov skapas till att alla aktiviteter associerade med att tillfredsställa behovet är genomförda och avslutade (Nash & Poling, 2008, s. 1). Detta innebär att värdeflödet kan definieras olika på olika nivåer och från olika synvinklar. I en tillverkande process brukar det övergripande värdeflödet beskrivas som från den punkt en order tas emot till den punkt då produkten levererats och betalning mottagits från kund. På "golvet" i den tillverkande processen däremot, definieras värdeflöden typiskt som från den

punkt då råmaterial anländer till den punkt då den färdiga produkten transporteras iväg (Nash & Poling, 2008, s. 1). Inom ramen för detta arbete kan värdeflöde användas som definition för materialflödet till och inom respektive produktionslinje.

Value Stream Mapping är ett verktyg för att kartlägga flöden och samtidigt åskådliggöra dessa så att de blir "synliga" (Nash & Poling, 2008, s. 1). Meningen är att en Value Stream Map ska underlätta för alla väsentliga delar i en organisation att visualisera och förstå processen. Arbetssättet har blivit hastigt accepterat i kretsar som arbetar med kontinuerlig förbättring. Detta på grund av dess förmåga att kunna samla, analysera och presentera information under en komprimerad tidsperiod (Nash & Poling, 2008, s. 1).

Value Stream Maps ritas som bilder av processen, bestående av logiska, ofta standardiserade, pilar och figurer som representerar flödet genom processen (Nash & Poling, 2008, s. 2). Value Stream Maps kan även delas in i två typer: Current State Maps beskriver det nuvarande verkliga flödet. Future State Maps representerar istället en vision av hur flödet skulle kunna se ut i framtiden om förändringar och förbättringar görs i processen (Nash & Poling, 2008, s. 2).

3.4 Val av fördelningar till simulering

Nästan alla verkliga system innehåller en eller flera källor av slumpmässighet (Law & Kelton, 2000, s. 292). Ofta består indata av en mängd olika värden i ett visst intervall. Det kan till exempel handla om tillverkningsstid eller tider mellan ankomster i någon form av kösystem, vilka sällan är konstanta. Det går att utifrån detta dra slutsatsen att ankomsttiderna är delvis slumpmässiga och följer någon form av fördelning. Vid simulering av system som innehåller indata med slumpmässighet behöver en sannolikhetsfördelning specificeras för dessa för att kunna skapa en representativ bild av verkligheten (Law & Kelton, 2000, s. 292). Alternativt kan indata användas direkt i simuleringen som den är genom en s.k. empirisk fördelning (Law & Kelton, 2000, s. 296). Utmaningen ligger i att utifrån indata kunna bestämma vilken typ av fördelning eller fördelningsfunktion som skall användas (Law & Kelton, 2000, ss. 292, 296).

3.4.1 Val av fördelning vid tillgång till data

Under förutsättningen att data finns att tillgå förekommer ett antal olika tillvägagångssätt för att specificera en fördelning till en mängd insamlad slumpmässig data, varav tre vanliga presenteras nedan:

1. Insamlad faktisk data används direkt i simuleringen, d.v.s. simuleringen använder sig uteslutande av värden som samlats in, vilka ge upphov till en empirisk fördelning.
2. De insamlade datavärdena används för att hitta och definiera en empirisk fördelningsfunktion som appliceras i simuleringen.
3. Standardiserade tekniker för statistisk slutledning används för att anpassa en teoretisk fördelning till insamlad data. Detta kan exempelvis vara en Poisson- eller exponentialfördelning. Hypotestester utförs därefter för att avgöra hur pass väl den valda fördelningen efterliknar fördelningen av indata. Om den teoretiska fördelningen visar sig vara en god estimering av verkligheten används den vid simuleringen.

(Law & Kelton, 2000, s. 296).

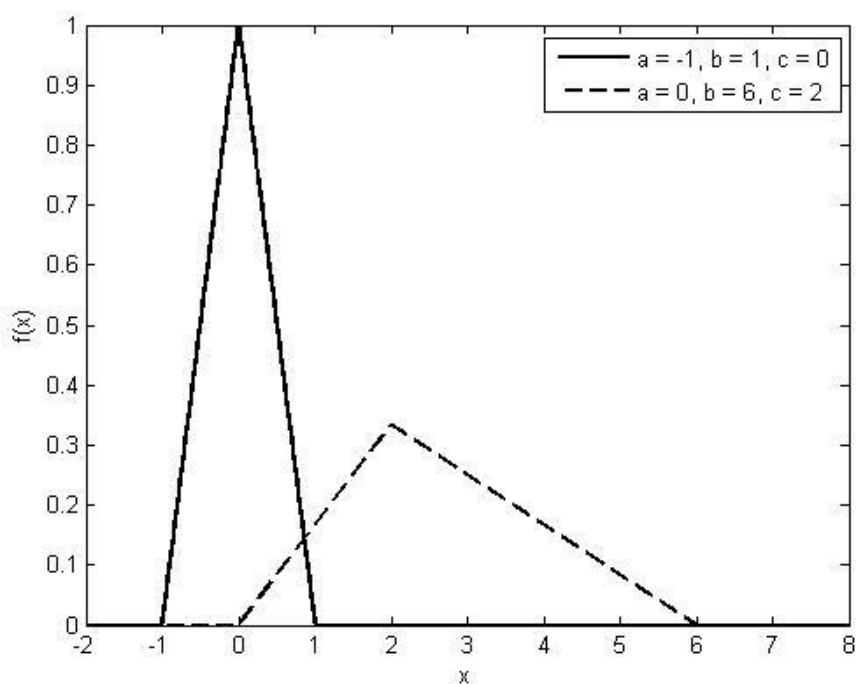
Tillvägagångssätt 1 har begränsningar i form av att simuleringen inte kan göra annat än att återskapa vad som redan har hänt i verkligheten samt att dataunderlaget sällan är tillräckligt stort för att genomföra önskade simuleringar (Law & Kelton, 2000, s. 296). Tillvägagångssätt 2 undviker dessa begränsningar genom dess förmåga att kunna generera vilka värden som helst inom ett från indatavärdena givet intervall. Tillvägagångssätt 1 är däremot användbart när syftet med simuleringen är att jämföra ett existerande system med förslag på ett nytt framtida system eller för att validera en simuleringsmodell genom att jämföra utdata från modellen med utdata från det verkliga systemet. I de fall det är möjligt att passa in en teoretisk fördelningsfunktion för indata, det vill säga använda sig av tillvägagångssätt 3, är det generellt att föredra framför att använda en empirisk fördelning. Anledningarna till detta är många, bland annat att den teoretiska fördelningen jämnar ut "ojämnheter" som ofta uppstår i en empirisk fördelning, i synnerhet när mängden datavärden är liten. Dessutom kan en empirisk fördelning generellt inte generera värden som ligger utanför intervallet av observerad data (det är möjligt att komma runt detta, men kräver då att antaganden görs om systemet), vilket i många fall kan vara ett helt felaktigt antagande. En teoretisk fördelning har däremot inte samma begränsning (Law & Kelton, 2000, s. 297).

3.4.2 Val av fördelning vid avsaknad av data

I många simuleringsstudier är det av olika anledningar inte är möjligt att samla nödvändig indata (Law & Kelton, 2000, s. 386). Det kan till exempel handla om att systemet som skall simuleras inte alls existerar eller att tidsrymden för studien omöjliggör tillräcklig datainsamling. I dessa fall finns två typiska heuristiska tillvägagångssätt, som i praktiken ofta används i simuleringsstudier, för att välja en passande fördelning (Law & Kelton, 2000, s. 386).

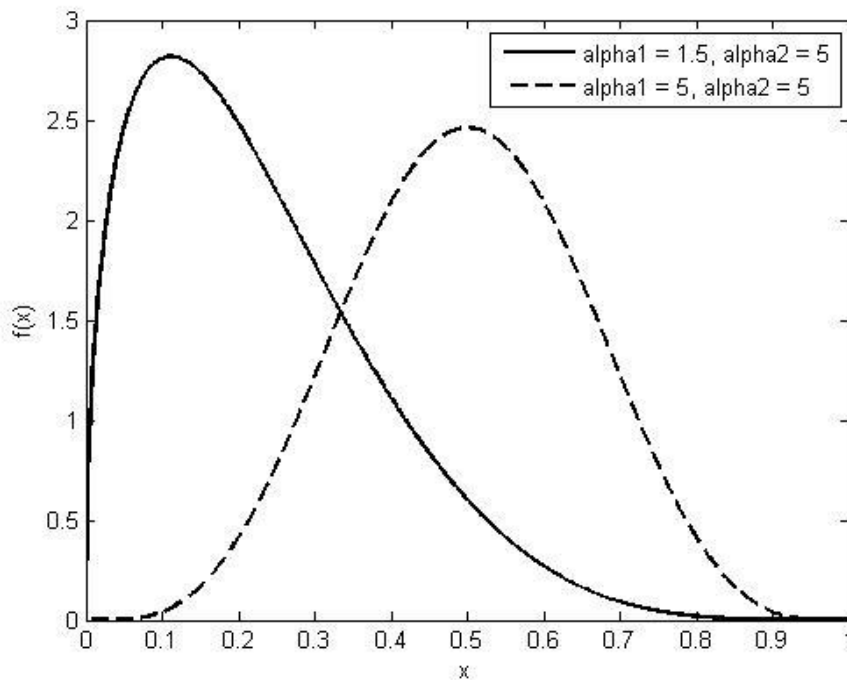
Oberoende av vilken heuristisk metod som används så är det första nödvändiga steget att identifiera ett intervall, $[a, b]$, i vilket slumpvariabeln X tros ligga med en sannolikhet nära 1 (Law & Kelton, 2000, s. 386). Subjektiva uppskattningar av värdena a och b fås genom att fråga personer med kännedom i processen om deras mest optimistiska respektive pessimistiska uppskattning om, exempelvis, hur lång tid det tar att utföra den uppgift som metoden skall appliceras på. När intervallet $[a, b]$ identifierats är nästa steg att tillämpa en fördelningsfunktion på det givna intervallet. Fördelningsfunktioner som vanligen används är antingen en triangelfördelning eller en betafördelning (Law & Kelton, 2000, ss. 386-387).

Vid användning av triangelfördelning ombuds samma personer som uppskattade intervallet $[a, b]$ att ge en subjektiv uppskattning av vilket det mest troliga värdet är (Law & Kelton, 2000, s. 386). Detta värde, c , är typvärdet, det vill säga det mest vanligt förekommande värdet, i fördelningen av X . Alltså, med a , b och c givna antas slumpvariabeln X ha en triangelfördelning i intervallet $[a, b]$ med typvärde c (Law & Kelton, 2000, s. 386). Figur 3.4 visar exempel på täthetsfunktioner för olika triangelfördelningar.



Figur 3.4 - Exempel på täthetsfunktion för triangelfördelningar med parametrarna a , b och c .

Ett andra tillvägångssätt är att anta att slumpvariabeln X har en betafördelning på intervallet $[a, b]$ (Law & Kelton, 2000, s. 387). Betafördelningen innehåller parametrarna α_1 och α_2 som "formar" fördelningen. Denna metod är flexiblar än användning av triangelfördelning då den kan anta många olika former. Svårigheten ligger dock i att specificera fördelningen helt genom att bestämma parametrarna α_1 och α_2 . Ett antagande som kan göras om det helt saknas kännedom annat än att intervallet är $[a, b]$ är att slumpvariabeln X har samma sannolikhet att anta vilket värde som helst i intervallet $[a, b]$. I dessa fall är $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, vilket resulterar i en likformig fördelning, $U(a, b)$. Ett annat antagande är att $\alpha_1 > \alpha_2 > 1$, vilket innebär att fördelningen av X är "vriden åt höger" det vill säga att det är större sannolikhet att slumpvariabeln X antar värden närmre b . Detta är ofta ett realistiskt antagande i de fall X beskriver tiden det tar att utföra en viss uppgift (Law & Kelton, 2000, s. 387). Figur 3.5 innehåller exempel på täthetsfunktioner för olika betafördelningar.



Figur 3.5 - Exempel på täthetsfunktioner för betafördelningar med parametrarna α_1 (alpha1) och α_2 (alpha2).

Ibland används triangel- eller betafördelningar för att fånga slumpmässighet trots att det är möjligt att samla in tillräcklig data, ofta av bekvämlighet (Law & Kelton, 2000, s. 387). Detta kan dock leda till stora felaktigheter och det är i allra högsta grad

fördelaktigt att istället samla in faktisk data om slumpmässigheten om det finns möjlighet till det (Law & Kelton, 2000, ss. 387, 389).

4 Nulägesbeskrivning

4.1 Kabelproduktion

4.1.1 Produkterna

På HVC designas och tillverkas högspänningskablar helt efter kundens behov, s.k. konstruktion mot order. Kabelkonstruktionen beror primärt av fyra faktorer; användningsområde d.v.s. om den ska läggas i marken (landkabel) eller i vatten (sjökabel), strömtypen den är avsedd för (växelström, AC eller likström, DC) samt vilken spänningsnivå och överföringskapacitet den ska ha. Spänningsnivå och överföringskapacitet är i sig beroende av ett antal faktorer där ledarkonstruktionen, isoleringsmaterial och strömtyp är de mest avgörande. Ytterligare en faktor som är kopplad till de redan nämnda är valet av isoleringsmaterial. Här görs en distinktion mellan plastisolerade (PEX) kablar och pappersisolerade (MI, massaimpregnerade) kablar. Utifrån dessa faktorer kan produktsortimentet något förenklat delas in i fyra kategorier; *Land*, *DC*, *AC* och *MI*, vilka beskrivs kort i Tabell 4.1. Att kabeltypernas konstruktion skiljer sig åt innebär dels att det krävs olika antal ingående material i tillverkningsprocesserna samt att ingående operationer varierar. I nästa avsnitt görs en övergripande beskrivning av de olika förädlingsoperationerna samt hur de ovan beskrivna typkabelkonstruktionerna rör sig genom produktionen.

Tabell 4.1 – Sammanställning av olika kabeltyper (Källa: *Land* (HVDC Underground cables|ABB, 2015), *DC* (HVDC Submarine cables|ABB, 2015), *AC* (HVDC Submarine cables|ABB, 2015), *MI* (HVDC MI cables|ABB, 2015).

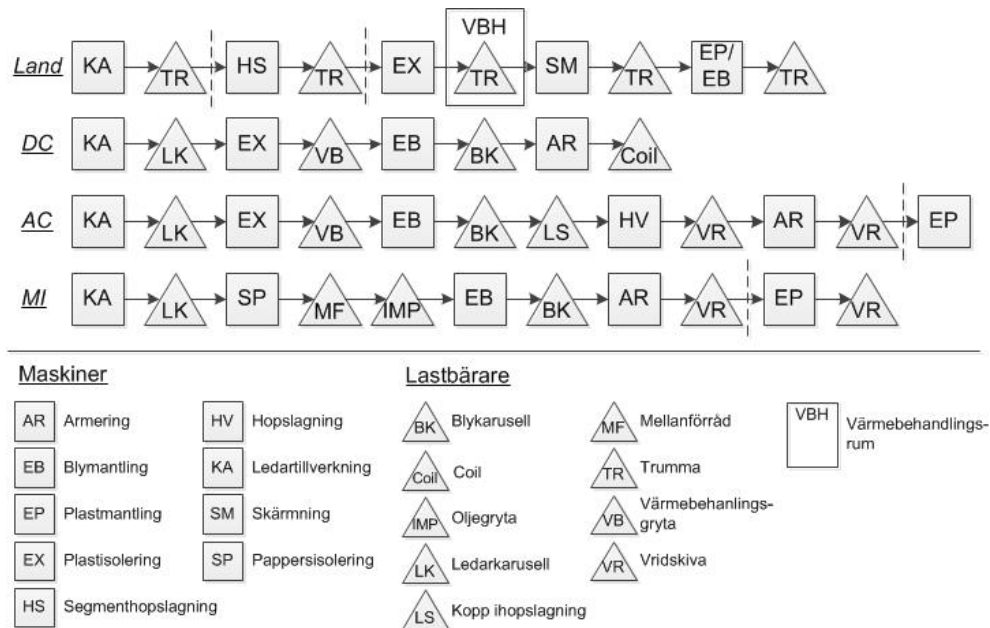
Beskrivning av kabeltyper				
Utseende (Bild)				
Kabeltyp	Land	DC	AC	MI
Användningsområde	Land	Sjö	Sjö	Sjö
Strömtyp	DC	DC	AC	DC
Isoleringsmaterial	PEX	PEX	PEX	MI

4.1.2 Produktionsflöden

Vägen en kabel färdas genom produktionen beror på vilken typ av kabel det är och således dess konstruktion. Inom produktionen kan man göra skillnad på två typer av förädlingsoperationer och två typer av lastbärare. Förädlingsoperationerna kan delas in i *kontinuerlig tillverkning* och *montering*. Det som huvudsakligen skiljer de kontinuerliga tillverkningslinjerna och monteringslinjerna åt är möjligheten att starta och stanna maskinerna under pågående produktion. Förädlingsoperationerna som faller under kategorin kontinuerlig tillverkning (processtillverkning) karaktäriseras av att maskinerna inte kan stängas av medan en kabellängd produceras, vilket ställer stora krav på materialtillförseln som under pågående operation aldrig får upphöra. De operationer som tillhör kategorin är extruderingsoperationerna för *plastisolering* (EX), *blymantling* (EB) och *plastmantling* (EP). Vid produktion körs extruderingsmaskinerna med en konstant hastighet, vilket gör att materialförbrukningshastigheten också är närmast konstant under en operation varför materielbehovet och därmed transportbehovet är till stor grad mycket förutsägbart. Resterande operationer; *ledartillverkning* (KA), *segmentledarhopslagning* (HS), *pappersisolering* (SP), *hopslagning* (HV), *armering* (AR) och *skärmning* (SM), faller alla inom kategorin montering och karaktäriseras specifikt av att de kan startas och stannas under pågående produktion utan att förstöra kabeln. Vad som är speciellt med vissa av dessa linjer i materialförsörjningssynpunkt är att de vid påfyllningsbehov av framförallt tråd (ledar- och armeringstråd) kräver mycket stora mängder material vid diskreta tidpunkter, vilket genererar ett stort transportbehov som måste tillfredsställas innan produktionen kan återupptas.

Som nämnts används två olika typer av lastbärare inom produktionen. Definitionen av en lastbärare i detta sammanhang är en kropp vars syfte är att möjliggöra lagring av kabel mellan olika tillverkningsoperationer. I vissa fall kan lastbäraren utgöra en del av förädlingsprocessen. Vid produktion av landkabel och i bland inom vissa steg vid sjökabelproduktion används *trummor* (TR). Användning av trummor motiveras främst av att landkablar måste distribueras på land via infrastruktur med begränsad viktkapacitet men också av att vissa delar av produktionsflödet för landkabel i dagsläget enbart kan producera till och från trummor. I trumflödet används också så kallade *värmebehandlingsrum* (VBH) för efterbehandling till EX. Trummorna varierar i storlek och som princip används en större trumma efter varje förädlingsoperation som en kabel passerar. Begränsningen med trummor är att hanterbarheten försämras i takt med att storleken ökar till en gräns där storlek och vikt på trumma och kabel inte längre går att hantera med hjälp av den hanteringsutrustning som finns tillgänglig i fabriken. Då sjökablar distribueras och förläggs med hjälp av specialbyggda fartyg finns

en helt annan möjlighet att producera längre kabellängder. Så istället för trummor används horisontellt roterande skivor som beroende på var i produktionsflödet de används varierar i storlek och utformning samt har olika benämningar; *ledarkarusell* (LK), *värmebehandlingsgrytor* (VB), *mellanförråd* (MF), *oljegryta* (IMP), *blykarusell* (BK), *kopp hopslagning* (LS), *vridskiva* (VR) och *coilplats* (Coil). I Figur 4.1 beskrivs produktionsflödet för de generella kabeltyper som nämns i avsnitt 4.1.1.



Figur 4.1 - Generellt produktionsflöde för kabeltyperna Land, DC, AC och MI (Produktionsflöde HVC [Omarbetad], 2015).

4.1.3 Produktionsplanering

En första grovplanering av ett projekt görs redan vid offertstadiet för att kunna ge den potentiella kunden en leveranstid. Vid erhållet projekt görs en teknisk beredning innan det förs in i huvudplaneringen. Projekt delas beroende på storlek in i olika leveranslängder. Hur lång en leveranslängd är varierar men begränsas av storleken på kabeln, det vill säga vikt per längdenhet och ytterdiameter samt av den lastbärare som används för leverans. För landkablar är en leveransstrumma detsamma som en leveranslängd och inom produktionen så samlas normalt ett antal leveranslängder i en produktionsorder och för större landkabelprojekt används flera produktionsorder. Vid planering och beredning av sjökablar görs indelningen på ett annat sätt. Större projekt delas först in i olika leveranslängder varefter varje leveranslängd delas in i olika produktionsorder. En produktionsorder tillhörande ett större projekt följer flödet

genom fabriken innan längden slutligen skarvas¹ på en leveranslängd. AC-kablar skiljer sig på så sätt att de består av tre hopslagna enledarkablar. Beroende på den totala leveranslängden kan en produktionsorder följa genom hela flödet medan större projekt kräver att flera produktionsorder tillåts ingå i en ny produktionsorder som innehåller operationerna för hopslagning och armering. Produktionsorder stannar inom huvudplaneringen tills fyra veckor innan planerad start då de faller in i detaljplaneringen. Utifrån flertalet inre och yttre faktorer med direkt eller indirekt påverkan på verksamhetens förmåga att utföra planlagda tillverkningsoperationer är omplaneringar vanligt förekommande i såväl huvudplaneringen som i detaljplaneringen.

4.1.4 Materielbehov

Kablar byggs upp genom att stegvis addera skikt av varierande material och funktion på en strömledare som också den är uppbyggd på ett liknande sätt. Av funktionella såväl som estetiska skäl är det av stor vikt att varje tillverkningsoperation adderar ett skikt som ger kabeln en närmast cylindrisk form. I varje kabelkonstruktion finns värden specificerade för hur tjockleken på extruderade skikt får variera samt för vilken stigning³ som ska användas på material som lindas runt kabeln. I konstruktionsvärdena finns dels ett nominellt värde men också minimum- och maximumvärden för tjocklek och stigning. Baserat på de nominella värdena finns för varje produktionsorder ett specificerat materielbehov för respektive material i en stycklista (eng. *Bill of Materials, BOM*). På grund av toleranserna i konstruktionerna är den materielmängd som finns angiven i stycklistan till varje produktionsorder inte nödvändigtvis densamma som den mängd material som faktiskt används. Beroende på ingående kabeldiameter och maskininställningar kan det verkliga materielbehovet skilja sig mycket från det nominella behovet. I praktiken betyder detta att det till varje produktionsorder finns ett minimum- och ett maximumvärde för mängden av respektive ingående material som behövs och som en naturlig följd kan den totala differensen mellan beräknat och använt material bli större desto längre kabeln är. Materielbehovet för enskilda produktionsorder beror dessutom på produktionsutfallet av tidigare operationer inom ordern. Av olika anledningar är det inom produktion av högspänningskablar vanligt att längden på en kabellängd inte helt överensstämmer med vad som står i produktionsordern. Problemet som följer av osäkerheten i de ingående faktorerna är att det på förhand inte kan fastställas exakt hur mycket material som kommer att gå åt till en specifik operation förrän dess att operationen är utförd.

¹ Skarvning innebär att två kabellängder sätts samman till en kabellängd.

4.1.5 Materialhanteringsutrustning

Verksamheten på HVC kännetecknas av stora volymer och höga vikter vilket genererar ett behov av olika typer av utrustning för materiella transporter och lyft. I fabriken och på fabriksområdet finns allt från stationär till mobil utrustning för lyft och transporter i ett kapacitetsintervall från ett par hundra kilogram upp till hundratals ton. Den mobila utrustningen består i huvudsak av ett 30-tal truckar av varierande storlek och lyftkapacitet för att kunna tillfredsställa olika sorters transportbehov. Samtliga truckar tillhandahålls och administreras av logistikavdelningen medan endast drygt hälften, däribland alla med en lyftkapacitet över sju ton, används av logistikavdelningens egen personal. Förutom truckar förfogar logistikavdelningen även över ett antal andra fordon, däribland en terminaldragare som används för materialtransporter mellan huvudlagret och produktionsanläggningen. Resterande truckar är tilldelade olika avdelningar inom organisationen varav den största andelen används av maskinoperatörer från produktionsavdelningens verkstadsgren där samtliga maskinavsnitt ingår.

Generellt kan sägas att varje maskinavsnitt har en motviktstruck dedikerad för transporter av material och utrustning inom det maskinavsnittet. Undantag är ledartillverkningen och plastisoleringen som har två motviktstruckar vardera samt ledarsegmenthopslagningen, skärmningen och plastmantlingen som dels av geografiska skäl och dels på grund av en tidigare organisationsstruktur, delar på en motviktstruck gemensamt. Även om motviktstruckarna är tänkta att i första hand utnyttjas inom ett visst maskinavsnitt förekommer det att de lånas mellan olika maskinavsnitt då de av någon anledning inte har tillgång till sin egen truck eller behöver en extra. Samtliga motviktstruckar som används av produktionsavdelningen är eldrivna och måste således laddas eller bytas batteri på emellanåt, vilket gör dem otillgängliga under kortare stunder. Utöver materialtransporter brukas motviktstruckarna av maskinoperatörerna till en mängd olika aktiviteter, oftast kopplade till för- och efterställ av maskinlinjer i samband med produktionsoperationer. Tabell 4.2 visar en sammanställning över de motviktstruckar som är dedikerade för användning av operatörer inom produktionen. Beroende på vilka material som används samt vilka specifika förhållanden och transportbehov som finns vid de olika maskinavsnitten har de utöver de eldrivna motviktstruckarna också tillgång till handtruckar, telfrar, traverser och annan specialutrustning för att tillfredsställa de specifika behoven.

Tabell 4.2 - Lista över verksamma truckar inom produktion samt utnyttjandegrad. - = Data saknas. * = baserad på avläsning från perioden 15/9 2014 - 12/11 2014. ** = baserad på avläsning från perioden 15/9 2014 - 23/4 2015. *** = Kajen är en yta på fabriksområdet där truck ibland används för speciella aktiviteter och alltså ingen maskinlinje.

Truckar i produktionsavsnitten		
Truck	Maskinavsnitt	Utnyttjandegrad
01	EX [torn]	-
02	EX [golv]	4,3% *
07	EB	4,5% **
08	AR, Kajen***	8,4% **
10	KA	5,1% **
15	KA	5,9% *
19	SM, EP, (AR)	6,2% *
21	HV	2,0% **
25	SP	0,7% **

4.2 Materialflöden

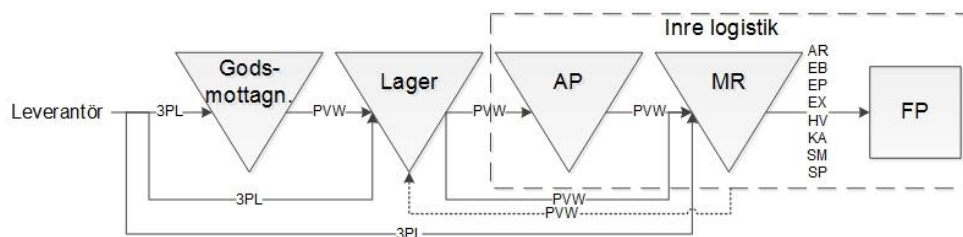
Materialflödena som är av intresse för detta examensarbete är de som i inledning och syftesbeskrivning definierades tillhöra den inre logistiken, vilket innefattar samtliga transporter mellan definierade materialpunkter för interna transporter, vilka beskrivs närmare i Tabell 4.3. Som regel i dagens verksamhet är endast logistikavdelningens personal behöriga att utföra materialförflyttningstransaktioner i affärssystemet varför inte några sådana transaktioner görs inom maskinavsnitten när material fysiskt förflyttas mellan de interna materialpunkterna och maskinerna av maskinoperatörerna.

Tabell 4.3 - Definition av materialpunkter inom HVC.

Definiering av materialpunkter	
Materialpunkt	Definition
Accesspunkt (AP)	Mellanlagringspunkt för material som transporteras mellan lager och materialruta/förbrukningspunkt, fysisk plats är som regel en yta mellan två portar in i fabriken (sluss).
Materialruta (MR)	Lager i anslutning till och systemmässigt tillhörande maskin/maskinavsnitts försörjningsområde.
Förbrukningspunkt (FP)	Lagerpunkt i direkt anslutning till maskinlinje och den sista punkt som lagrar pallar, systemmässigt tillhörande maskin/maskinavsnitts försörjningsområde.

Med utgångspunkt i att examensarbetets syfte är att finna en effektivare utformning av materialflödet är det av intresse att förstå hela materialflödet från leverantör till förbrukningspunkt då utformningen av materialflödet som inte tillhör den inre logistiken i minst en punkt interagerar med den inre logistiken. I Figur 4.2 illustreras

hela materialflödet från leverantör till förbrukningspunkt med en tydlig markering av vad som tillhör den inre logistiken samt vilken avdelning eller part som är ansvarig för respektive transportsteg. Den generella flödesprocessen startar med att material transporteras från leverantör via en tredjeparts transportleverantör till godsmottagningen där logistikavdelningen ansvarar för lagerföring av det inkommande materialet. I nästa steg ska materialet förflyttas från lagret till maskinlinjerna. Detta görs i dagsläget för de flesta material upp till tre gånger per dag genom att logistikavdelningen, utifrån operatörernas interna beställningar i affärssystemet, lastar sin terminaldragare och transporterar materialet till en av flera accesspunkter där logistikavdelningens personal också ansvarar för vidare transport mellan accesspunkten och beställande maskinlinjes materialruta. I Tabell 4.3 definieras en accesspunkt som utrymmet mellan två efterföljande portar in i fabriken, det vill säga en sluss. Utrymmet i slussarna är uttalade renområden, vilket ställer krav på att de två portarna som omsluter utrymmet inte får vara öppna samtidigt. Portarna är stora och tar relativt lång tid att öppna och stänga, vilket medför att transporttiden räknat från avlastning av terminaldragare via accesspunkt till materialruta blir avsevärt längre jämfört med om materialet kunde köras direkt från terminaldragare till materialruta utan hänsyn till att accesspunkten är ett renområde. Normalt fylls slussen först från ena hållet vid avlastning från terminaldragaren och töms sedan helt från andra hållet, detta för att minimera tiden som portarna måste öppnas och stängas. Från materialrutorna är det maskinoperatörerna själva som ansvarar för transportererna till de olika materialens respektive förbrukningspunkt. Som framgår av figuren förekommer avvikelser från det generella materialflödet. Vissa material går direkt från lager till materialruta medan andra kan lastas av direkt från leverantör till materialruta. Anledningen till avvikelserna varierar beroende på material, lagringsmöjligheter och förbrukande maskinlinje. I avsnitt 4.2.1 - 4.2.10 beskrivs materialflödet för varje enskild maskinlinje på en mer detaljerad nivå för respektive materialtyp som maskinlinjen kan förbruka.

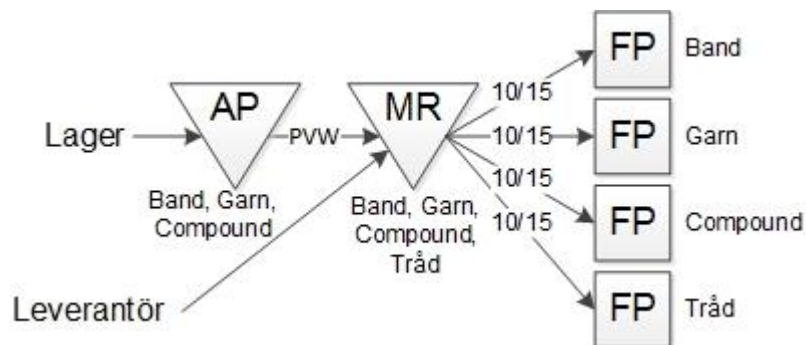


Figur 4.2 - Generell beskrivning över materialflödet på HVC samt avdelning ansvarig för transportererna.

Vid varje maskinlinje förbrukas minst ett men oftast flera olika material åt gången. Kraven som ställs på materieltillförseln till respektive maskinlinje skiljer sig i karaktär beroende på om den definieras som en processlinje med kontinuerlig tillverkning eller en monteringslinje, vilket gjorts för respektive maskinavsnitt i avsnitt 4.1.2. Processlinjernas jämna materialförbrukning skapar som tidigare nämnt ett relativt kontinuerligt och förutsägbart transportbehov medan monteringslinjernas förbrukning är av en mer diskret karaktär där det finns större utrymme för variation i materieltillförseln. Variationen möjliggörs av att produktionshastigheten för en monteringslinje inte behöver vara konstant utan kan anpassas efter behov. Materialpåfyllningsprocessen för en monteringslinje kan närmast liknas vid ett inre maskinställ vars tidsåtgång också kan variera. I båda fallen är den mänskliga faktorn den i huvudsak styrande.

4.2.1 Ledartillverkning (KA)

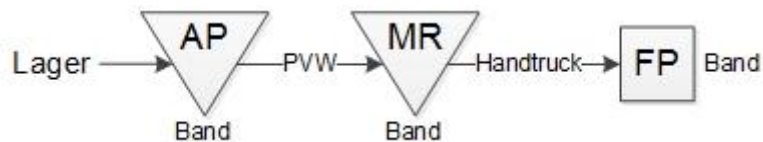
Ledartillverkning faller under kategorin monteringsoperationer. Maskinlinjer tillhörande KA delar gemensamt på två materialrutor medan förbrukningspunkter är individuella för respektive linje. Ledartråd inlevereras direkt från leverantören till ett intilliggande lager som tillhör maskinavsnittet varför det här definieras som en materialruta. Därifrån transporteras tråden med hjälp av motviktstruck vidare till ett antal olika förbrukningspunkter i anslutning till maskinerna. Resterande material transporteras av logistikavdelningen från lagret till en accesspunkt utanför KA-hallen varpå de också förflyttar materialet in till en för maskinavsnittet gemensam materialruta. När behov uppstår är det sedan operatörerna som med motviktstruck förflyttar materialet från materialrutan till de olika förbrukningspunkter som finns. Materialflödena sammanfattas i Figur 4.3.



Figur 4.3 - Generell illustration av materialflödet i KA.

4.2.2 Segmenthopslagning (HS)

Segmenthopslagning är en monteringsoperation som görs i maskinlinjer under beteckningen HS. Operationen används endast för vissa speciella ledarkonstruktioner, främst inom produktkategorin Land enligt tidigare definition. Allt material som används till segmenthopslagning inkommer via en utav accesspunkterna varifrån PVW också transporterar det till en avlastningsplats i anknnytning till linjerna, ty möjligheten att transportera hela vägen till förbrukningspunkten är begränsad på grund av en trång passage. Då avlastningsplatsen är ett måste att använda kan den för enkelhetens skull definieras som en materialruta. Från materialrutan transporteras materialet av operatörer med handtruck till respektive förbrukningspunkt. Med andra ord kräver linjer av typen HS inga transporter med egen motviktstruck. Materialflödet för HS kan gestaltas enligt Figur 4.4.

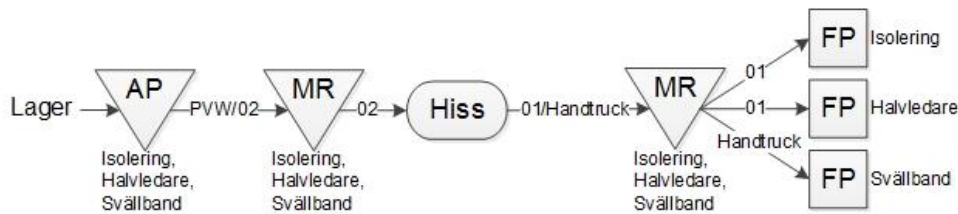


Figur 4.4 - Generell illustrering av materialflödet i HS.

4.2.3 Plastisolering (EX)

Extrudering av plast är en kontinuerlig tillverkningsprocess som utförs i maskinlinjer av typen EX. Vid plastisolering gäller särskilda renhetskrav som innebär att materialet måste skyddas från yttre orenheter. Med anledning av detta skiljer sig materialhanteringsprocessen för EX-linjerna något jämfört med övriga maskinavsnitt. Allt material som ska till EX körs in via en egen accesspunkt, direkt i anslutning till materialrutan på marknivå, PEX-lagret. På grund av renhetskraven används en av maskinavsnittets egna motviktstruckar för vidare transport av materialet från accesspunkten till materialrutan. Ofta görs detta av logistikpersonalen i samband med avlastningen och undantagsvis av operatörerna själva. Medan PEX-lagret är beläget på marknivå finns förbrukningspunkterna placerade på olika våningsplan i det torn som rymmer de vertikala maskinlinjerna. För materialtransporter mellan olika plan används en materialhiss. På grund av renhetskraven måste alla pallar och förpackningar plastas in innan de ställs i hissen, ett arbete som kräver användande av motviktstruck. När ett nytt materielbehov signaleras tas materialet till inplastningsmaskinen innan det ställs i hissen. För plastmaterialen gäller också att pallar först lyfts upp på en speciell stålpall innan dess att inplastning sker, detta också som en åtgärd för att säkerställa att renhetskraven uppfylls. Uppe i tornet på planet för plastförbrukning finns maskinavsnittets andra motviktstruck för de behov som finns där. När materialhissen

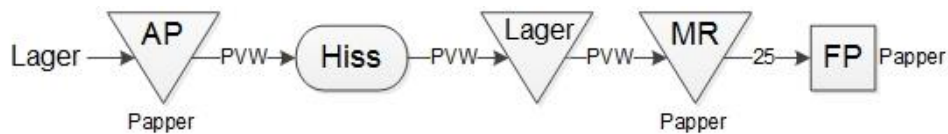
kommer upp med plastmaterial ställs det på en ny linje- och materialspecifik materialruta som fungerar som buffert, vilken är nödvändig för att reducera de risker som finns med beroendet av hisstransport. Från materialrutan lyfts materialet upp till förbrukningspunkten, vilket också det görs med hjälp av motviktstrucken. Dessförinnan har trucken flyttat ut en tom materialbehållare från förbrukningspunkten samt flyttat in en pall material från bufferten till maskinen. Transport av svällband uppe i tornet hanteras enbart med handtruck. Materialflödena för EX kan sammanfattas enligt Figur 4.5.



Figur 4.5 - Generell illustration av materialflödet i EX.

4.2.4 Pappersisolering (SP)

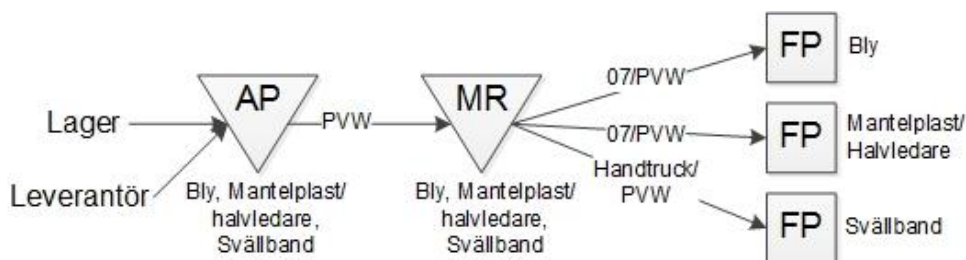
I spinneriet finns monteringslinjer kallade SP vars funktion är att lägga på pappersisoleringen på MI-kablar. Ett nytt logistiskt arbetssätt är under utveckling för SP, varför det i nuläget saknas ett bestämt tillvägagångssätt för hur transport till förbrukningspunkter kommer att ske och vilken avdelning som ansvarar för de olika transportstegen. Således beskrivs nedan det i nuläget mest troliga förhållningssättet. Spinneriet, maskinlinjer och materialpunkter inkluderat är beläget på ett entresolplan, vilket nås med hiss. Materialtransporten från accesspunkt till hiss sköts av PVW. Från hissen transporteras materialet vidare till ett papperslager för att senare tas till materialrutan, vilket i båda fall också görs av personal från logistikavdelningen. Vilken truck som logistikavdelningen ska använda på entresolplanet är fortfarande inte bestämt. Maskinavsnittet har en truck som ska användas för materialtransport från materialruta till förbrukningspunkt och kan eventuellt också användas av logistikavdelningen. Alternativet är att låta logistikavdelningens truck åka med upp i hissen för att även utföra transporten till materialrutorna. Konsekvensen blir då att bara ca 2 pallar kan transporteras i hissen åt gången till skillnad från ca 3-4 annars. Figur 4.6 ger ett exempel på hur materialflödet skulle kunna se ut.



Figur 4.6 - Generell illustration av materialflödet i SP.

4.2.5 Blymantling (EB)

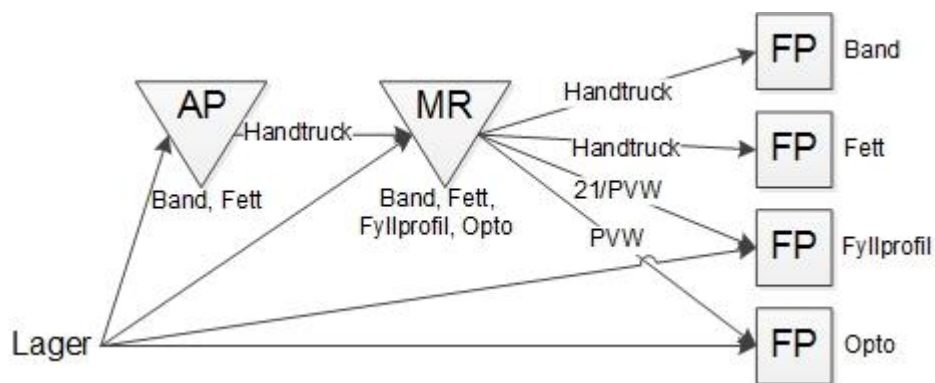
Blymantling är likt plastisolering en extruderingsoperation och går således under kategorin kontinuerlig tillverkning. Extrudering av blymantel sker i produktionslinjer benämnda EB. Material till blylinjerna ankommer från lager samt i enskilda fall direkt från leverantör, via en accesspunkt, varifrån logistikpersonal förflyttar materialet in till materialrutan. Generellt lagerförs bly i ett intilliggande lager direkt vid godsmottagning, varifrån det sedan transporteras via en accesspunkt och vidare in till materialrutan av PVW. Övrigt material ankommer som regel till accesspunkten med hjälp av terminaldragaren från huvudlagret, varifrån PVW också transporterar det hela vägen till materialrutan. När materialen ställts på materialrutan ligger ansvaret på operatörerna att vid behov förflytta materialen till deras respektive förbrukningspunkter med undantag för vissa särskilda transporter som utförs av logistikavdelningen. Blytackor måste p.g.a. dess höga vikt i kombination med dess fysiska form och avsaknaden av pall alltid förflyttas med motviktstruck. Mantel- och halvledarmaterial förflyttas idag också med hjälp av motviktstruck från materialrutan till sina förbrukningspunkter som ligger precis i anslutning till materialrutan varför förflyttningarna ofta inte är mer än någon enstaka meter. Anledningen att motviktstruck behövs är att materialet står på sjöpallar som inte kan förflyttas med exempelvis handtruck. Svällband förflyttas oftast med handtruck mellan materialruta och förbrukningspunkt då transportvägen är trång och svåråtkomlig även om transporter med motviktstruck förekommer. Materialflödena för EB kan sammanfattas enligt Figur 4.7.



Figur 4.7 - Generell illustration av materialflödet i EB.

4.2.6 Hopslagning (HV)

För hopslagningslinjer, HV, finns vissa variationer i materialflödet. Band och fett som ska till HV lastas av på accesspunkter alternativt materialrutor i direkt anslutning till de egna portarna av PVW. Därifrån transporteras materialet med hjälp av handtruckar, telfer och hiss vidare till materialrutor och förbrukningspunkter. På grund av mycket trånga ytor och olika golvnivåer finns det ingen möjlighet att här använda en motviktstruck. Profiler ställs vanligtvis av på en materialruta alternativt utanför portarna då det av utrymmesskäl inte garanterat får plats på någon materialruta inne vid maskinerna. Vid byte av profiltrummor förflyttar maskinoperatörerna själva en trumma i taget med hjälp av den egna motviktstrucken till förbrukningspunkten varifrån assistans kan ges av en speciell lyftanordning. P.g.a. mycket hög vikt på optofibertrummor transporteras de normalt direkt till förbrukningspunkten av PVW och i enskilda fall går transportererna via mellanlagring på en materialruta. Materialflödet för HV sammanfattas i Figur 4.8.

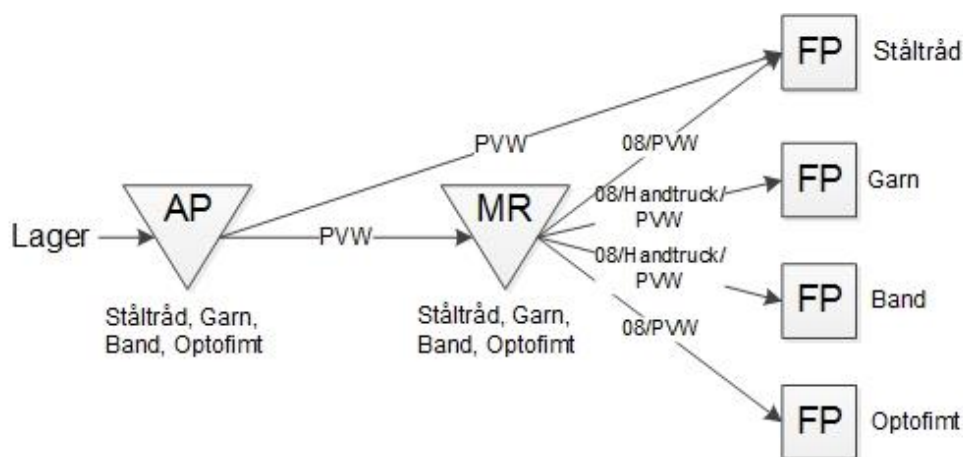


Figur 4.8 - Generell illustrering av materialflödet i HV.

4.2.7 Armering (AR)

Armering är en monteringsoperation som görs på alla sorters sjökablar. För maskinlinjer inom AR finns små vilket i hur vissa material hanteras vid olika förbrukningspunkter, vilket innebär att dessa material har olika förutsättningar för materialpåfyllnadsprocessen. Allt material ankommer via en accesspunkt, antingen från huvudlagret eller ett lagringsutrymme som används specifikt för ståltråd. Armeringstråd godsmottages precis som ledartråd och bly direkt till en lagringsyta som förser samtliga linjer med material via accesspunkten. Från accesspunkten transporteras ståltråden direkt till förbrukningspunkten alternativt till en intilliggande materialruta. Som en konsekvens av den materialhanteringsutrustning som används vid en av förbrukningspunkterna för ståltråd måste en motviktstruck finnas tillgänglig

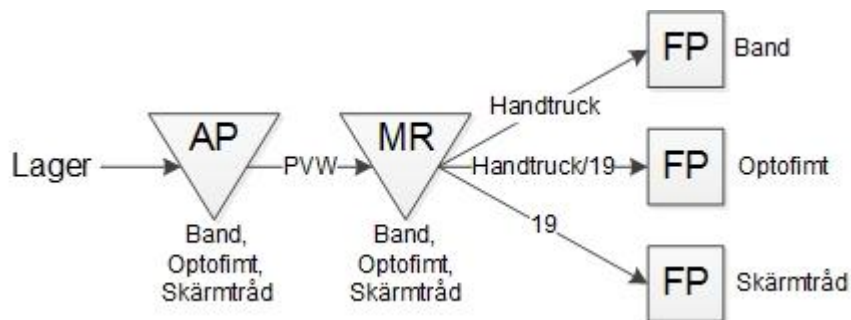
under hela tiden för materialpåfyllningsprocessen. Vid övriga förbrukningspunkter för ståltråd gäller inte detta då en annan typ av materialhanteringsutrustning används, varför inget behov av motviktstruck finns vid dessa förbrukningspunkter. Övrigt material transporteras av PVW från huvudlagret via accesspunkten och vidare in till materialrutor och i undantagsfall direkt till förbrukningspunkter. För det övriga materialet som placeras på en materialruta använder operatörer antingen motviktstruck eller handtruck beroende på material och utrymme, för att utföra den sista transporten från materialruta till förbrukningspunkt. I vissa fall kan den sista transporten fram till förbrukningspunkterna av de övriga materialerna också utföras av PVW. Materialflödet för AR kan sammanfattas enligt Figur 4.9.



Figur 4.9 - Generell illustration av materialflödet i AR.

4.2.8 Skärmning (SM)

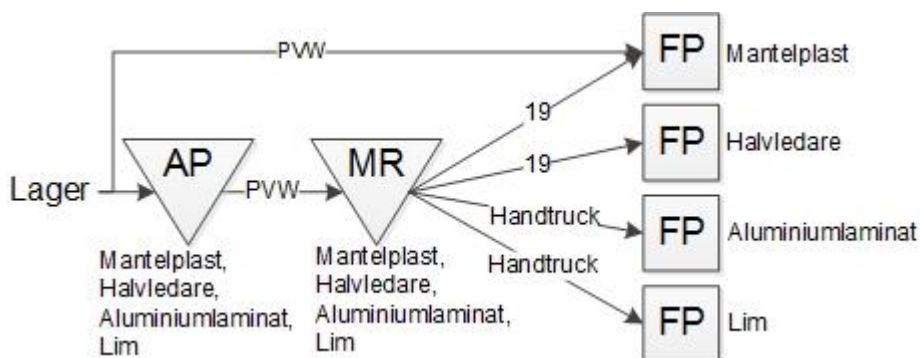
Skärmning är en monteringsoperation som utförs i maskinlinjer av typen SM på vissa landkabelkonstruktioner. Samtliga material ankommer till materialrutor vid SM via en accesspunkt genom transport och avlastning utförd av PVW. Från materialruta transporteras materialet av operatörer till de olika förbrukningspunkterna med hjälp av en handtruck eller motviktstruck. Alternativt kan PVW ställa skärmtråd direkt på förbrukningspunkt. Flödet av material kan representeras genom Figur 4.10.



Figur 4.10 - Generell illustration av materialflödet i SM.

4.2.9 Plastmantling (EP)

Plastmantling är en extruderingsoperation och faller således inom kategorin kontinuerlig tillverkning. Operationen används framförallt vid tillverkning av kabeltypen Land (se Tabell 4.1) men som framgår i Figur 4.1 kan operationen även utföras på kablar av typen AC. Beroende på vilken kabeltyp som tillverkas skiljer sig materialflödena åt. Vid plastmantling av AC-kablar används normalt bara mantelplast vilket då transporteras hela vägen fram till förbrukningspunkt av PVW. För mantling av Landkablar är antalet ingående material normalt fler än vid mantling av AC-kablar. Materialflödet som då används påminner mer om det generella flödet beskrivet i avsnitt 4.2 som gäller för de flesta maskinlinjer. Material transporteras till en materialruta från huvudlagret via en accesspunkt. Från materialrutan transporterar maskinoperatörerna själva material med handtruck eller motviktstruck, beroende på material, till de olika förbrukningspunkterna. Materialflödena för EP finns sammanfattade i Figur 4.11.



Figur 4.11 - Generell illustration av materialflödet i EP.

4.2.10 Framtida materialflöden

I avsnitt 4.2.1 - 4.2.9 beskrivs nuvarande materialflöden och i vissa fall även tilltänkta flöden samt flöden som följer av pågående konstruktion av nya maskinlinjer. För de tillkommande flödena gäller generellt att exakta arbetssätt inte är helt fastställda varför avvikelser från det beskrivet i avsnitten ovan kan förekomma. Utöver dessa flöden finns även andra planerade och pågående utökningar av materialflödena men som av olika anledningar exkluderats från detta arbete.

4.3 Kostnadsstruktur

För att enligt examensarbetets problemformulering kunna finna en kostnadseffektiv lösning för den inre logistiken måste relevanta kostnader relaterade till den interna materiallogistiken klargöras. Utifrån diskussion med representanter på företaget har kostnader kopplade till följande aktiviteter identifierats som drivande för den inre logistiken; *truckar, personal, maskiner, lager*. I avsnitt 4.3.1 - 4.3.4 förklaras dessa närmare samt hur de här antas påverka kostnaden för den inre logistiken.

4.3.1 Truckkostnader

Samtliga truckar som används inom den inre logistiken går under leasingavtal som även inkluderar service. Truckarna är av olika storlek och lyftkapacitet för att kunna tillgodose respektive maskinlinjes behov, varför den årliga kostnaden skiljer sig mellan olika truckar. Utöver leasingkostnaden tillkommer även reparationskostnader, vilka tillkommer utöver den service som ingår i leasingavtalen, samt utbildningskostnader. Kostnaderna för utbildning syftar på den utbildning som gör maskinoperatörerna behöriga att bruka de truckar som finns tillgängliga inom de olika maskinavsnitten. Utbildningskostnaden består dels av kostnaden för grundutbildning som ges till nya operatörer samt kostnaden för repetitionsutbildning, vilken alla operatörer med truckbehörighet måste genomgå vart femte år. Per år räknar företaget med att upp till 20 personer behöver gå grundutbildning medan behovet för repetitionsutbildning berör 40-50 personer årligen.

4.3.2 Personalkostnader

Personalkostnaden för den inre logistiken kan definieras som den tid operatörer samt truckförare från logistikavdelningen spenderar i en truck utförandes materialtransporter som tillhör den inre logistiken. Kostnaden för maskinoperatörerna täcks som beskrivs i avsnitt 4.3.3 av maskinkostnaden vid produktion men då de utför en materialtransport kan tiden de lägger på det översättas till en kostnad som istället tillfaller den inre logistiken. Ett exempel på en tänkbar konsekvens av att

maskinoperatörer utför materialtransporter under pågående produktion är att kvalitetsfel kan uppstå då den operatören under tiden för materialtransporten inte kan vara lika uppmärksam på vad som händer i förädlingsprocessen och med produkten.

4.3.3 Maskinkostnader

De maskinkostnader som kan kopplas till den inre logistiken är kostnaden för att en viss maskin står stilla på grund av att det saknas ingående produktionsmaterial. Att produktionsmaterial saknas kan bero av ett flertal faktorer som inte alla beror på den inre logistiken, varför inte heller alla kostnader för maskinstillestånd orsakade av materialbrist kan tilldelas den inre logistiken. Endast då material godkänt för användning finns på lager och helt enkelt inte hunnit transporteras till rätt plats vid rätt tid kan den inre logistiken bekostas. Kostnaden för ett maskinstillestånd på grund av materialbrist orsakad av försenad transport av den inre logistiken kan antas vara densamma som maskinkostnaden, vilken också inkluderar kostnaden för det antal operatörer som maskinen kräver för drift.

4.3.4 Lagerhållningskostnader

Lagerhållningskostnaderna som berör den inre logistiken är i första hand saldonga ute vid maskinlinjerna. När material placeras på en lagerplats tillhörande ett maskinavsnitt eller en maskinlinje, d.v.s. en materialruta eller förbrukningspunkt försämras noggrannheten av saldonga i systemet. Systemmässigt görs ingen skillnad på materialrutor och förbrukningspunkter och när material förbrukas i maskinerna så förbrukas material från saldonga enligt en nominell kvantitet, vilken på grund av toleranser i konstruktionen inte behöver överensstämja med den verkliga förbrukningen. Då förbrukning i systemet också bara sker när producerade metrar stämplas av i systemet, vilket normalt endast görs ett par gånger per dag vid produktion, kan detta generera stora fel i saldonga. Rent kostnadsmässigt innebär det att det faktiska värdet av lagerfört material är osäkert, vilket i sin tur kan leda till stilleståndskostnader på grund av materialbrist orsakade av att material inte köpts in då det enligt saldonga funnits på plats.

5 Modellbygge

5.1 Konceptualisering av nulägesmodell

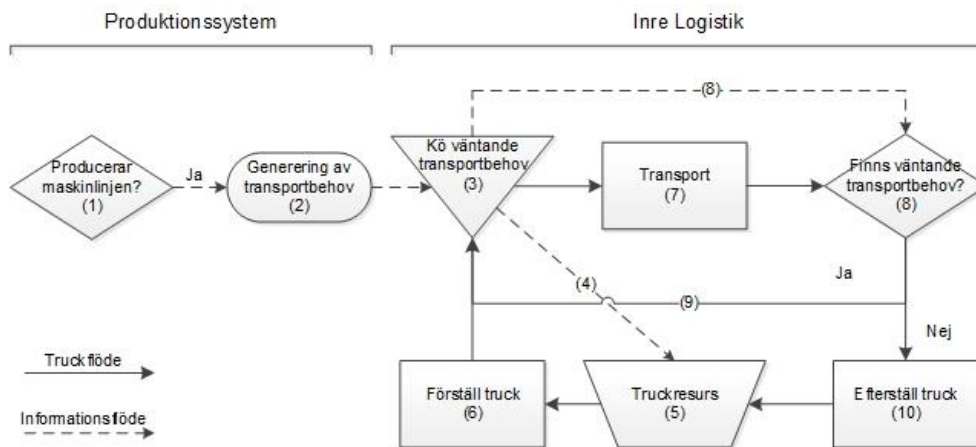
Systemet som ska modelleras är det interna materialtransportsystem på HVC som i tidigare stycke definierats som den inre logistiken vars begränsningar redovisats för i avsnitt 4.2 och illustrerats i Figur 4.2. Den inre logistiken kan tillsammans med ett annat internt materialtransportsystem, den yttre logistiken också det nämnt i avsnitt 4.2, ses som ett undersystem till produktionssystemet på HVC. Att modellera hela produktionssystemet i hög detalj är en komplex uppgift. Med utgångspunkt ur teorin för modellbygge, beskriven i avsnitt 2.2.2 steg 3, bör en modell vara så enkel som möjligt och bör ses som en approximation av ett system samt enbart innefatta de komponenter som är väsentliga för att uppnå de mål som modellen är avsedd för. Modellen bör med andra ord utgå från enklast möjliga approximation varefter en ökad komplexitet bör tillföras till dess att den anses vara tillräckligt detaljerad för att uppnå de avsedda målen.

För att kunna modellera det aktuella systemet på ett tillfredsställande sätt har processen utgått ifrån de övergripande mål som studien bygger på, nämligen att finna en kostnadseffektiv lösning där logistikavdelningen ansvarar för all inre logistik med undantag för eventuella begränsningar beskrivna i avsnitt 1.4. För att modellen ska vara behjälplig för detta ändamål måste den dels kunna översättas till en simuleringsmodell, dels kunna konfigureras för att översättas till nya simuleringsmodeller som är bra representationer av alternativa systemutformningar samt generera för målet relevant och jämförbar data. Med stöd från handledare och annan personal på företaget, med kännedom om såväl produktionsflöden, kabelkonstruktioner och tillverkningsprocesser, har en för systemet och ändamålet representativ modell utvecklats. Parallellt med att modellen konstruerats har dess olika delar översatts till simuleringsprogrammet för att säkerställa att den slutgiltiga modellen i sin helhet kan översättas till en simuleringsmodell. I de fall modellen inte kunnat översättas till en simuleringsmodell på ett tillfredsställande sätt, har modellen omarbetats för att möjliggöra konstruktionen av en representativ simuleringsmodell.

Modellen som konstruerades kan delas in i två huvudkomponenter. Den ena komponenten är en representation av systemet för den inre logistiken. Den inre logistiken är i sig beroende av dels materialförsörjning från den uppströms yttre logistiken, dels från materielbehovet som de olika maskinerna ger upphov till under produktionsprocesserna. Enligt nulägesbeskrivningen av materialflödena i avsnitt 4.2 är ansvaret för den inre logistiken uppdelad mellan yttre logistik från PVW och maskinoperatörerna. De yttre logistikerna från PVW är som regel ansvariga för

transport av material fram till materialrutorna, d.v.s. transporter mellan accesspunkt och materialruta medan maskinoperatörerna vid respektive maskinlinje själva ansvarar för transport av material från materialruta till förbrukningspunkt. Genom antagandet att den yttre logistiken alltid är framgångsrik med att förse materialrutorna med de material och kvantiteter som efterfrågas har detta system kunnat rationaliseras bort från modellen. Antagandet görs med motivering att operatörer alltid kan beställa material till materialrutorna så att den yttre logistiken har mer än tillräckligt med tid på sig att transportera dit materialet, vilket också speglar hur systemet fungerar i verkligheten. Om materialbrister vid materialrutor tillåtits i modellen hade resultaten troligtvis sett något annorlunda ut men då det både hade komplicerat modellen och gjort den till en sämre avbildning av det verkliga systemet togs beslut att inte tillåta materialbrister vid materialrutorna. Följaktligen innefattar modellen enbart de materialtransporter som idag görs av maskinoperatörer med truck som är dedikerad till respektive maskinlinje, det vill säga generellt transporter mellan MR och FP. Den berör alltså inte materialtransporter som logistikavdelningen genomför och inte heller transporter som sker med handtruck. Förutom transporter som utförs idag innehåller nulägesmodellen även framtida materialtransporter i den norra fabriken. I modellen antas att samtliga transporter tas om hand av en truckresurs som sköts av PVW, vilket är den tänkta lösningen då fabriken tas i bruk. Det nedströms materiellbehov som produktionsprocesserna genererar går däremot inte att rationalisera bort på samma sätt då det är detta som i sin tur ger upphov till behovet av materialtransporter. Således är produktionssystemet, förenklat till en nivå där det bara genererar transportbehov, den andra huvudkomponenten i modellen.

Förenklat kan modellen beskrivas med hjälp av Figur 5.1. Med en beräknad sannolikhet antas en maskinlinje antingen producera eller stå planerat still under en viss tid (1). Om en maskinlinje antas producera antas den generera transportbehov (2) av respektive materialtyp som ingår i tillverkningsoperationen, med en viss intensitet. Transportbehoven placeras i en kö (3) i väntan på att en ledig truckresurs ska utföra transportbehoven. Signal (4) ges till en truckresurs (5) om att ett transportbehov finns. Truckresursen har en förställtid (6) innan den utför transportaktiviteten (7). Efter avslutad transport kontrollerar (8) truckresursen om det finns väntande transportbehov och om så är fallet tas den transporten hand om direkt (9) utan att trucken behöver ställas tillbaka. Om det inte finns något väntande transportbehov går truckresursen genom en efterställtid (10) varefter den åter är tillgänglig för att tillgodose nya transportbehov. Exakt hur uppbyggnaden av modellen är gjord beskrivs närmare i detalj i avsnitt 5.1.1 - 5.1.8 medan de faktiska ingångsvärdena presenteras först i avsnitt 5.2.1- 5.2.4.



Figur 5.1 - Nulägesmodell.

5.1.1 Typkablar

Som beskrivs i avsnitt 4.1.1 går det att dela in företagets produktsortiment i fyra kategorier: Land, DC, AC och MI. Dessa kan benämnas som fyra olika kabeltyper. Materielbehovet för respektive kabeltyp kan skilja sig betydligt men även för två order av samma kabeltyp kan materielbehovet variera i väsentlig grad på grund av skillnader i deras konstruktioner. Det är emellertid en stor del av materielbehovet som ser likadant ut för order av samma kabeltyp, oavsett kabelkonstruktion, och skillnaderna som kan uppstå mellan olika order av samma kabeltyp är därför delvis begränsat. Således är det möjligt att, genom att identifiera ett visst antal typiska order, täcka upp merparten av det aggregerade materielbehovet för respektive kabeltyp.

I samförstånd med handledaren på företaget togs beslutet att plocka fram tre olika order som representerar olika kabelkonstruktioner, så kallade typorder, för respektive kabeltyp. Med andra ord togs totalt tolv olika order ut, tre order för respektive kabeltyp, som ansågs vara en god representation av de olika kablar som har producerats samt de som antingen är under pågående produktion eller som senare ska tillverkas. En förutsättning för att en specifik order skulle kunna tas ut, vare sig den redan levererats eller ännu inte börjat tillverkas, var att tillräcklig produktionsdata fanns att tillgå i affärssystemet. Identifieringsprocessen för typkablarna bestod dels i att diskutera med i huvudsak handledaren, planeringspersonal och produktionsberedare om vilka order som kan vara av intresse och dels att gå igenom projekt i företagets orderhistorik de senaste 5-6 åren samt den befintliga orderstocken. Genom att titta på kablarna utifrån ett antal parametrar såsom kabeldiameter, spänningsnivå, ingående material m.m. kunde slutligen tolv olika typkablar identifieras och valideras tillsammans med handledaren på företaget.

Typkablarna återfinns inte direkt i modellen men är väsentlig för generering av mycket indata till modellen. Nedan listas vad typkablarna har använts till;

- Identifiera materialtyper och transportbehov för respektive maskin, se avsnitt 5.1.2.
- Bestämning av parametervärden för tider mellan transportbehov, se avsnitt 5.1.3.
- Bestämning av transporttider, se avsnitt 5.1.4.
- Framtagning av beläggningsscenarier, se avsnitt 5.1.8.

5.1.2 Identifiering av materialtyper och transportbehov

I beskrivningen av modellen som ges ovan i avsnitt 5.1, framgår att modellen inte gör skillnad på olika kabeltyper, vilket motiveras mer ingående i avsnitt 5.1.3. Följden av att modellen inte tar hänsyn till att olika kabeltyper tillverkas är att samtliga maskinlinjer endast har två tillstånd, antingen producerar de eller så står de planerat stilla. Förenklingen innebär således också ett det i praktiken endast tillverkas en typ av kabel i samtliga maskiner. Genom att jämföra strukturlistorna från samtliga tolv typkablarna som tidigare identifierats för varje tillverkningsoperation har ett visst antal materialtyper valts ut som anses vara en god representation för ingående materialtyper av samtliga typkablarna. På så sätt har tolv varierande strukturlistor reducerats till en och avsevärt förenklat modellen.

Med materialtyper för samtliga tillverkningsoperationer bestämda var nästa steg att identifiera transportbehoven vid respektive maskinlinje för dessa materialtyper. Genom intervjuer med maskinoperatörer vid samtliga maskinlinjer kunde de olika transportbehoven för alla materialtyper som används vid respektive maskinlinje kartläggas, vilket tidigare återgavs i avsnitt 4.2. Som regel i modellen har transporter som utförs med handtruck uteslutits ur modellen då dessa inte påverkar behovet av truckresurser samt att de i många fall ändå inte kan utföras med motviktstruck. I de fall både motviktstruck och handtruck kan användas har ett separat beslut tagits i varje unikt fall huruvida transporten ska utföras med motviktstruck och därmed inkluderas i modellen eller exkluderas med motivering att transporten förläggs till handtruck.

5.1.3 Tid mellan transportbehov

För att göra modellen till en representativ avbild av det verkliga systemet måste materielbehov genereras för samtliga identifierade materialtyper. För modellens skull kan materielbehov direkt översättas till transportbehov, vilket är vad modellen till stor del bygger på. Precis som i det verkliga systemet bör genereringen av transportbehov ske vid diskreta tidpunkter, vilket ger upphov till en intensitet, d.v.s. en frekvens med

vilka nya transportbehov uppstår. I de flesta verkliga system finns en eller flera källor av slumpmässighet (se avsnitt 3.4), vilket gäller även det studerade systemet som har flera källor av slumpmässighet. Tiden mellan transportbehov är en av dessa källor till slumpmässighet. Från systemet är det dock känt att tiderna inte kan anta precis vilka värden som helst utan är begränsat till ett intervall med en undre och en övre gräns, varför ett antagande kan göras att data som beskriver systemet följer någon form av fördelning.

För att i ett senare skede kunna översätta modellen till en simuleringsmodell och utföra simuleringar med data innehållande slumpmässighet måste således sannolikhetsfördelningar specificeras för dessa data, vilket gör systemavbildningen representativ i en högre grad. I avsnitt 3.4.1 beskrivs tre vanliga tillvägagångsätt för specificering av sannolikhetsfördelningar utifrån insamlad slumpmässig data. Men som nämns i avsnitt 3.4.2 är det av olika anledningar inte alltid möjligt att samla nödvändig data för att använda sig av de i avsnitt 3.4.1 föreslagna tillvägagångsätten, vilket har varit fallet för den här studien. I avsnitt 3.4.2 presenteras två heuristiska tillvägagångsätt som är förhållandevis vanligt förekommande vid simuleringsstudier för val av fördelningar. Första steget, oberoende av vilket tillvägagångsätt som används, består i att identifiera ett intervall $[a, b]$, i vilket slumpvariabeln X tros ligga med en sannolikhet nära 1. I denna studie motsvarar a och b den lägsta respektive högsta materialförbrukningshastigheten för en viss materialtyp i en specifik tillverkningsoperation, vilket i modellen kan översättas till tiden mellan två transportbehov för materialtypen under förutsättning att en beställningspolicy appliceras. Som föreslås i teorin har dessa värden erhållits genom att fråga personer med hög processkänedom om deras subjektiva uppskattningar, vilket i det specifika fallet ansågs vara cheferna för maskinlinjerna. För ett antal materialtyper kunde rimliga uppskattningar inte erhållas. Intervallen för dessa materialtyper uppskattades istället genom att beräkna och analysera förbrukningshastigheterna för dessa materialtyper hos typkablarna som tidigare identifierats.

Enligt teorin består nästa steg efter att intervallet $[a, b]$ erhållits i att tillämpa en lämplig sannolikhetsfunktion på intervallet. för samtliga materialtyper i respektive tillverkningsoperation jämfördes de två tillvägagångsättens tillämpbarhet i denna studie, varefter beslut togs att använda triangelfördelningar för samtliga materialtyper till förmån för alternativet som var den något mer komplexa betafördelningen. Som yrkas på i teorin ombads samma personer som uppskattade intervallet $[a, b]$ att ge en subjektiv uppskattning av vilket det mest troliga värdet för materialförbrukningshastigheten är för respektive materialtyp. Detta värde, c , är typvärdet, det vill säga det mest vanligt förekommande värdet, i fördelningen av X .

Precis som för värdena för a och b, kunde inte rimliga värden på c uppskattas för samtliga materialtyper genom maskinlinjecheferna. För att uppskatta dessa värden studerades data tillhörande typkablarna som också gjordes vid uppskattning av vissa materialtypers värden på a och b. Alltså, med a, b och c givna antas slumpvariabeln X ha en triangelfördelning i intervallet [a, b] med typvärde c.

Som nämnt tidigare, för att passa in fördelningarna i modellen, var tolkningen av parametervärdenas innebörd tvungen att ändras på och därmed krävdes också en korrigering av värdena i sig. Istället för förbrukningshastigheten skulle parametervärdena representera tiden mellan transportbehov för respektive materialtyp. Översättningen och korrigeringen av parametervärdena har gjorts med hjälp av informationen listad nedan för respektive materialtyp;

- Uppskattad värden på minimal, maximal samt typisk förbrukningshastighet uttryckt i styck, kilogram eller meter per timme, d.v.s. ovan beskrivna fördelningsparametrar a, b och c.
- Kvantitet räknat i styck, kilogram eller meter per lastbärare.
- Tillämpade beställningspolicys, d.v.s. beställningspunkt (mängden material eller lastbärare som är kvar på materialpunkten innan nytt material körs dit) och orderkvantitet (mängden material eller lastbärare som transporteras till aktuell materialpunkt när behov finns).
- Kvantitet räknat i antal lastbärare som respektive påfyllningsbehov genererar.

Kvantiteter per lastbärare av samma materialtyp kan variera av olika anledningar, varför uppskattningar gjorts även för dessa. Uppskattningarna har gjorts tillsammans med godsmottagningspersonal tillhörande PVW, handledaren samt operativa inköpare på företaget. Tillsammans har en standardkvantitet uppskattats för respektive materialtyp och maskinlinje. Genom att be maskinoperatörer och yttre logistiker uppskatta när material i termer av lastbärare flyttas mellan materialpunkter samt den ungefärliga mängd lastbärare som flyttas vid varje behov, kunde beställningspolicys för respektive materialtyp approximeras. Som regel kan sägas att samtliga materialtyper går under en $(S - 1, S)$ alternativt (R, Q) beställningspolicy (se avsnitt 3.2.2.3). De materialtyper som förbrukas långsamt, d.v.s. materialtyper var transportbehov genereras med en förhållandevis låg intensitet antingen sett till enskilda lastbärare eller hela maskinuppsättningar, tenderar att följa en $(S - 1, S)$ beställningspolicy med 1 och 2 som dominerande värden för S. För de materialtyper som antas följa en (R, Q) beställningspolicy varierar beställningspunkter och orderkvantiteter i större grad. Antal lastbärare som behövs för att tillgodose respektive påfyllningsbehov av en viss materialtyp skiljer sig i vissa fall beroende på vilken kabeltyp som tillverkas eller mer precist, kabelns konstruktion. För att göra modellen enkel har en kvantitet för antal

lastbärare fastställts för respektive materialtyp. Detta har gjorts dels genom att beräkna kvantiteterna som gäller för typkablarna och dels med information om tillämpade beställningspolicies enligt ovan. För att göra modellen mer robust har, i de fall variationen varit hög mellan olika typkablar, kvantiteterna skattats medvetet högt.

Resultatet av processen som beskrivs ovan, och det som utnyttjats i simuleringsmodellen, var följaktligen värden som beskriver en triangelfördelning för tiden mellan transportbehov för varje materialtyp vid respektive maskinlinje.

5.1.4 Transporttid

Att utföra en materialtransport med truck tar tid, vilket påverkar dels truckens utnyttjandegrad men också andra materialtransporter som beroende på när behovet av dem signaleras, kan placeras i kö för att servas vid ett senare tillfälle då truckresursen som ska utföra transporten åter är tillgänglig. För att kunna mäta truckutnyttjandet samt den totala tiden det tar att tillgodose ett materialbehov är det nödvändigt att känna till hur lång tid det tar att utföra en materialtransport. En komponent som beskriver detta är den faktiska tiden det tar att plocka upp material, transportera materialet från en materialpunkt till en annan, ställa ner materialet och köra tillbaka till den första materialpunkten för att eventuellt plocka upp nytt material alternativt ställa tillbaka trucken och återgå till arbetet vid maskinen. Data som beskriver denna tid samlades in genom intervjuer med en till två operatörer vid varje maskinlinje. De tillfrågade ombads att uppskatta tiden det tar att utföra motsvarande från varje materialruta till respektive förbrukningspunkt för samtliga material som hanteras vid maskinlinjen.

Med informationen från intervjuerna kunde varje identifierat transportbehov vid respektive maskinlinje tilldelas en transporttid. Då vissa av de identifierade transportbehoven omfattade fler pallar än vad en truck kan transportera per runda fick uppskattningar göras angående hur många rundor trucken behövde köra för att sedan multiplicera med den tid som operatörerna angivit för en enskild transport. För att uppskatta hur många rundor en truck behövde köra för att utföra respektive transportbehov studerades strukturlistorna för typkablarna. Utifrån typkablarnas strukturlistor uppskattades ett, med hänsyn till samtliga typkablers varierande konstruktion, representativt behov av respektive material och tillsammans med information om de olika truckarnas kapacitet, i termer av lastbärare (t.ex. pallar) per transportrunda, kunde en total transporttid beräknas. För de flesta material gäller att behovet ryms på en lastbärare, vilket genererar endast en transportrunda medan för vissa material som t.ex. armeringstråd och ledartråd krävs betydligt fler transportrundor. För transporter inom SP samt vissa transporter inom AR och EB

uppskattades transporttiden genom att titta på transporttiden för liknande transporter vid andra maskinlinjer.

Transporttiderna antas i modellen vara konstanta. I verkligheten kan de variera p.g.a. en mängd faktorer såsom operatörens truckvana, exakt placering på var lastbäraren lyfts upp och sätts ner, om det finns returpallar, tillfälliga hinder på transportsträckan etc.

5.1.5 Prioritet

Som beskrivs i avsnitt 4.1.2 utförs vissa operationer inom kabeltillverkningen i s.k. processlinjer, vilka inte kan stannas under pågående produktion av en kabellängd utan att kabeln förstörs. Det är därför nödvändigt att material alltid finns tillgängligt vid dessa linjer. En konsekvens är att materialtransporter till dessa linjer behöver prioriteras när det finns flera väntande transporter i kö. Maskinlinjerna som faller under kategorin och behöver prioriteras framför andra är extruderingslinjerna EX, EB och EP. I modellen får således materiellbehov vid dessa linjer en prioritet som gör att de prioriteras framför alla andra. Prioriteringsregeln appliceras dock enbart för materialtransporter som sker till förbrukningspunkt, vilket innebär att transporter från accesspunkt till materialruta inte har prioritet. Ytterligare prioriteringsregler inom respektive kategori anses inte nödvändigt.

5.1.6 Antal tillgängliga truckar vid WC

I Tabell 4.2 redogörs vid vilka maskinavsnitt de olika truckarna inom produktionen är stationerade i nuläget. I modellen görs ett par antaganden som skiljer sig från informationen i tabellen;

- Truck 01 tillhörande EX exkluderas från modellen med motivering att den aldrig får lämna sitt våningsplan i tornet för att materialtransporterna uppe i tornet inte ska riskeras att utebli p.g.a. avsaknad av truck.
- Truck 08 används enligt Tabell 4.2 vid AR såväl som vid Kajen. I modellen antas trucken alltid finnas tillgänglig för ARs räkning då ingen tillverkning sker vid Kajen.
- Truck 19 dedikeras helt till transporter vid maskinavsnitten SM och EP. Alltså används denna truck aldrig till transporter inom AR i modellen som i verkligheten kan förekomma.
- En ny truckresurs opererad endast av personalresurser från PVW tilldelas specifika delar av maskinavsnitten AR och EB.

I övrigt används resterande truckar av de maskinavsnitt som anges i Tabell 4.2. Det faktum att det förekommer att truckar lånas mellan olika maskinavsnitt samt att de ibland är otillgängliga på grund av att de behöver laddas ignoreras i modellen. Att ta med det hade avsevärt ökat komplexiteten i att modellera och översätta till simuleringsmodellen. Till saken hör också att lån av truckar mellan maskinavsnitt inte är alltför förekommande och egentligen inte är meningen att ske samt att laddning ofta inte hindrar materialtransporter, varför fenomenen kan försummas i modellen.

5.1.7 Ställtider truck

Förutom den faktiska transporttiden så påverkas tiden för att tillgodose ett materielbehov också av en ställtid för trucken. Ställtiden kan delas upp i en förställtid, som beskriver tiden det tar att ta sig till trucken och köra trucken till materialrutan, och efterställtid, som beskriver tiden det tar att köra tillbaka trucken till dess utgångsposition och ta sig tillbaka till maskinlinjen. Liksom för transporttiden fick maskinoperatörer uppskatta dessa tider vilket resulterade i att varje material vid respektive maskinlinje kunde tilldelas två konstanter som beskriver dess ställtider. Ställtiderna för varje material sammanställdes för respektive maskinlinje varefter en tid för förställ respektive efterställ, som uppskattades vara representativ för maskinlinjens samtliga material, fastställdes. För att förenkla modellen jämfördes de olika ställtiderna för truckarna vid samtliga maskinlinjer varefter en tid för förställ och en tid för efterställ kunde enas om vara representativa för samtliga truckar undantaget PVW2. Ställtiderna för truckarna, PVW2 undantaget, uppskattades till två minuter för både förställ och efterställ. För PVW2 gäller som beskrivet i föregående avsnitt att truckresursen opereras helt av en person från PVW. Här har ett antagande gjorts att personen inte kommer att lämna trucken efter genomförd transport. Antagandet medför att efterställtiden kan elimineras helt med motivering att det fortfarande finns en förställtid som alltid utnyttjas, även om en ny transport väntar direkt efter en precis genomförd transport. Förställtiden för truckresursen PVW2 har uppskattats till tre minuter baserat på uppskattningar av truckförare inom PVW samt storleken av fabriksområdet för maskinlinjerna den avser försörja.

5.1.8 Beläggningsscenarier

Olika ordertyper innebär att tillverkning delvis sker vid olika maskinlinjer eller åtminstone i olika hög utsträckning vid respektive maskinlinje. Med andra ord, liksom att materielbehovet beror på vilka order som tillverkas så påverkas maskinlinjernas beläggningsgrad av vilka order som tillverkas. Fastän företaget har en orderstock med kända order och historisk data över beläggningsgrad för de olika maskinerna är det närmast omöjligt att säga exakt hur beläggningen på maskinlinjerna kommer att se ut i

framtiden då det finns mängder med faktorer som påverkar på både kort och lång sikt hur denna kommer att se ut. Med anledning av detta togs ett beslut tillsammans med handledaren på företaget, om att generera totalt fem olika beläggningsscenarier. Genom att skapa flera beläggningsscenarier kan simuleringsmodellen utvärderas hur den presterar utifrån hur olika delar av produktionsflödet är belastat.

5.1.8.1 Maskinbegränsningar

På HVC sker tillverkning som regel dygnet runt, året om. Men på grund av att maskinerna bl.a. behöver servas har dess kapacitet, det vill säga antal tillgängliga timmar under ett år, en begränsning som måste beaktas. Denna kapacitet är olika för respektive maskinlinje och kan uttryckas som en procentsats av alla timmar på ett år. Vid skapandet av olika scenarion är det därför nödvändigt att se till att beläggningen på respektive maskinlinje inte överstiger kapaciteten.

Kapaciteten som nämns ovan är något av en teoretisk kapacitet. Det finns ytterligare en begränsning som uppstår genom hur företaget väljer att bemanna fabriken vilket ger upphov till vad som kan benämnas verklig kapacitet. Under vissa perioder väljer företaget att reducera antal mantimmar per dygn i fabriken, vilket också tillfälligt reducerar kapaciteten. Begränsningen som kommer av den verkliga kapaciteten behöver således också beaktas vid skapandet av scenarier men bör däremot inte ses som en definitiv begränsning som i fallet med den teoretiska kapaciteten.

5.1.8.2 Koppla typkablar till beläggningsgrad

Med tillhandahållen information från produktionsplaneringschefen och handledaren på företaget över den för hela produktionsflödet troligtvis mest kapacitetsbegränsande operationstypen konstruerades ett beräkningsprogram för framtagning av maskinbeläggning. I programmet anges antalet timmar respektive typkabel ska tillverkas vid den kapacitetsbegränsande maskintypen under alla tillgängliga timmar under ett år. Med hjälp av tidigare insamlad data beskrivande produktionshastigheten för samtliga tillverkningsoperationer för respektive typkabel, beräknar programmet hur många timmar de övriga maskinlinjerna används till följd av antalet timmar som den kapacitetsbegränsande maskintypen belagts med. Genom att dividera den resulterande totala tiden varje maskinlinje används med totalt antal tillgängliga timmar under ett år erhålls beläggningsgraden för respektive maskinlinje.

I de fall det finns två eller flera maskinlinjer för en och samma operationstyp har det totala antalet produktionstimmar fördelats mellan dessa. Fördelningen varierar dels mellan vilken typ av maskinlinje det är, med hänsyn till dess kapacitet och förmåga att tillverka en viss typkabel i termer av kabeldiameter och kabeltyp, samt mellan olika

scenarier. Vid generering av scenarierna kontrollerades att beläggningsgraden för respektive maskinlinje inte översteg dess kapacitet. I Tabell 5.1 beskrivs förutsättningar och begränsningar för de fem scenarier som togs fram. Scenarierna är framtagna i samråd med handledare och produktionsplaneringschef på företaget för att spegla dels antalet transporter vid nuvarande kapacitet i fabriken samt antalet transporter vid planerade eller potentiella kapacitetsökningar. Som grund för samtliga scenarier frånsett scenario 2 ligger produktionsutfallet för ett tidigare verksamhetsår. Vid kapacitetsökningar i de senare scenarierna (3-5) har förhållandet mellan utfallet av de olika kabeltyperna försökts hållits närmast konstant. I scenario 2 har förhållandet mellan utfallen för de olika kabeltyperna justerats för ökad produktion av landkabel med avsikt att se hur det slår mot antalet materialtransporter då produktionsflödet för landkablar skiljer sig mot övriga tre kabeltyper som är konstruerade för sjöbruk.

Tabell 5.1 – Förutsättningar och begränsningar för beläggningsscenarioer.

Beläggningsscenarioer	
Scenario	Förutsättningar och begränsningar
1	- Verklig kapacitet
2	- Verklig kapacitet - Inkluderar utökad kapacitet för AR och EB
3	- Teoretisk kapacitet - Inkluderar utökad kapacitet för AR och EB
4	- Teoretisk kapacitet - Inkluderar utökad kapacitet för AR, EB och ZA
5	- Teoretisk kapacitet - Inkluderar utökad kapacitet för AR, EB och ZA - Reducering av operationstid i samtliga maskiner med 5 % genom produktionsutveckling

Utöver förutsättningarna och begränsningarna beskrivna i Tabell 5.1 grundar sig scenarierna på olika produktionsutfall baserat på mängd tillverkad kabel av respektive kabeltyp. I alla scenarier har beläggningen maximerats utifrån givna förutsättning.

5.2 Översättning av nulägesmodell till simuleringsmodell

Som beskrivs i bl.a. avsnitt 2.3.6 samt 5.1 har översättningen av nulägesmodellen till en simuleringsmodell gjorts parallellt med utvecklingen av nulägesmodellen. Genom att direkt översätta tillägg och förändringar i modellen till simuleringsmodellen har det kontrollerats att utformningen av modellen faktiskt går att översätta till simuleringsprogrammet på ett tillfredsställande sätt. I de fall översättningen misslyckats, har modellen omarbetats till dess att en representativ simuleringsmodell konstruerats. Under översättningen har hänsyn även tagits till att de utdata som efterfrågas, se avsnitt 5.3, ska kunna utvinnas på ett hanterbart sätt ur simuleringsmodellen.

5.2.1 Indata simuleringsmodell

I Tabell B.1 – B.5 i Bilaga B återfinns en detaljerad lista över vilka materialtransporter som utförs av respektive truckresurs, transporttider, fördelningsparametervärden samt prioritet för respektive materialtransport i simuleringsmodellen för nuläget.

5.2.2 Beläggning för respektive maskinlinje

Avsnitt 5.1.8 beskrev hur scenarion togs fram vilka resulterade i olika beläggningsgrader för varje maskinlinje. I modellen används denna beläggning för att avgöra under hur stor del av simuleringen varje maskinlinje tillåts skapa materielbehov. Mer specifikt används en empirisk fördelning som slumpmässigt säger att en maskinlinje antingen är igång med en sannolikhet som motsvarar beläggningsgraden för aktuellt scenario, eller så står maskinen still med en sannolikhet motsvarande ett minus beläggningsgrad. I modellen antas således att en maskinlinje antingen producerar eller står planerat stilla under ett visst tidsspänn, vars tid beskrivs nedan i avsnitt 5.2.3.

5.2.3 Operationstid

Tiden det tar att färdigställa en tillverkningsoperation beror dels på vilken typ av operation som ska utföras samt vilken maskinlinje som används för utförande av operationen, dels av kabelns konstruktion och längd. Genom muntlig kommunikation med produktionsplanerare samt genom att studera företagets planeringssystem har ett tidsintervall för respektive maskinlinje uppskattats. I modellen används dessa tider för att bestämma i vilka intervall nya beslut tas om huruvida en maskin ska producera eller inte. Utifrån insamlad data sattes ett minimum- respektive maximumvärde. En rektangelfördelning med dessa min- och maxvärden används i modellen för att ta fram en slumpmässig tid, T , för tidsspänn. Med andra ord, var T :e timme, som beskriver tidsspänn för respektive maskinlinje, görs en slumpberäkning, baserad på beläggningsgraden som beskrivits ovan i avsnitt 5.2.2, som avgör om maskinen producerar de kommande T timmarna eller om den står still.

5.2.4 Försöksplanering

För att få ett så säkert resultat som möjligt är det fördelaktigt att simulera över lång tid och dessutom köra flera simuleringsrundor för respektive simuleringsmodell. Den simuleringssetup som använts är tio upprepade simuleringsrundor över tre år vardera, varför en simulering kör en tid motsvarande totalt 30 år. Initieringstiden för modellen antas vara försumbar då det i verkliga systemet förekommer att fabriken startas om helt efter att samtliga maskinlinjer stått stilla samtidigt p.g.a. fabrikstäckande

underhållsstopp. Som framgår av avsnitt 5.1.8 kommer modellen köras i fem separata försök med olika belägningsgrader på maskinlinjerna som skiljer försöken åt. Alternativa systemutformningar som ska simuleras beskrivs i avsnitt 5.4.

5.3 Utdata från simulering

Syftet med att konstruera en modell av nuläget är dels att jämföra resultat från motsvarande simuleringsmodell med verklig data för att verifiera modellen, men också för att ha en utgångspunkt och referensram som grund vid utveckling av möjliga förändringar och konstruktion av modeller till dessa samt för att analysera och jämföra nuläget med förändringsförslag. För att kunna genomföra önskade analyser av såväl nulägesmodellen som eventuella modeller innehållande förändringsalternativ måste modellernas motsvarande simuleringsmodeller generera utdata som möjliggör analyserna. Följande utdata identifierades som nödvändiga för att möjliggöra denna analys:

- Medelservicetid för respektive material.
- Servicetidens stickprovsvarians för respektive material.
- Medelutnyttjandegrad för respektive truck.
- Kötid för varje enskilt genererat materielbehov.
- Medelkötid för allt material som transporteras av en truck, för respektive truck.
- Maximal kötid för material för respektive truck.

Avsnitt 5.3.1 - 5.3.6 beskriver hur och varför dessa data mätes.

5.3.1 Medelservicetid

Servicetid definieras som tiden från att ett materielbehov skapas till att behovet är tillgodosett. Servicetiden kan delas in i två delar: Transporttid och kötid. Transporttiden är en fördefinierad konstant tid för respektive material, som beskrivs i avsnitt 5.1.4. Kötiden fås från simuleringen och anger tiden ett materielbehov behöver vänta på att servas. Medelservicetiden mäts som den genomsnittliga kötiden för respektive material, plus dess transporttid. Den som utdata använda medelservicetiden är det slutliga medelvärdet av medelvärdena från respektive simuleringsrunda.

Medelservicetiden används för att jämföra den med tiden mellan transportbehov (se avsnitt 5.1.3), vilket för de flesta material kan betraktas som den tid trucken har på sig att tillgodose behovet, under antagandet att aktuell förbrukningspunkt har en buffert motsvarande mängden av ett materielbehov.

5.3.2 Stickprovsvarians servicetid

Servicetidens stickprovsvarians beräknas på motsvarande sätt som medelservicetiden. Värdet som används som utdata är medelvärdet av stickprovsvariansen av kötiden från respektive simuleringsrunda. Variansen används för att beräkna stickprovstandardavvikelse för varje material vilket fungerar som ett komplement till medelservicetiden och används tillsammans med denna vid analysen som beskrivs i avsnittet ovan.

5.3.3 Medeltruckutnyttjande

Truckutnyttjande beskriver i vilken grad en truck används. En truck är i användning när den utför en materialtransport samt under dess ställtider direkt före och efter materialtransporten. Den totala tiden trucken används divideras med den totala tillgängliga tiden för att få dess utnyttjandegrad. Måttet som används, medeltruckutnyttjande, är medelvärdet av truckutnyttjandegraden från respektive simuleringsrunda. Medeltruckutnyttjandet används dels för att verifiera nulägesmodellen genom att jämföra utdata från simuleringen med insamlad data om truckarnas faktiska utnyttjandegrad. Dessutom fungerar den som analysverktyg vid utvärdering samt konstruktion av nya konfigurationer.

5.3.4 Servicetid för samtliga materielbehov

Servicetiden definieras i avsnitt 5.3.1 som tiden från att ett materielbehov skapas till dess att det är servat, d.v.s. den unika kötiden för varje enskild transport adderat med den konstanta transporttiden för varje enskilt material. Data för varje materielbehovs servicetid utvinns från en simuleringsrunda för varje modell för att få en bild av servicetidernas fördelning för varje material vid respektive maskinlinje. Denna samlade data används för att analysera hur vanligt det är att servicetiden för ett materielbehov överstiger parametervärdena för transportintensiteten tillhörande det aktuella materialet.

5.3.5 Medelkötid

Kötiden definieras på samma sätt som ovan (avsnitt 5.3.4). Måttet som används för medelkötid är här kopplat till respektive truckresurs, det vill säga ett materielbehovs kötid läggs på den truck som har ansvar för transport av det specifika behovet. Medelkötiden beskriver hur lång tid i genomsnitt ett materielbehov kopplat till en viss truck behöver vänta. Måttet som används är medelvärdet av medelkötiderna för respektive simuleringsrunda. Medelkötiden används vid utvärdering samt konstruktion av nya konfigurationer.

5.3.6 Maximal kötid

Den maximala kötiden beräknas för kön tillhörande varje enskild truckresurs. Värdet definieras som den längsta tiden något materielbehov har stått i kö i väntan på truckresursen som ansvarar för samtliga transportbehov i den specifika kön. Måttet som används är det maximala värdet av samtliga simuleringsrundor för varje enskild modell och scenario. Värdet ger en direkt uppskattning av hur lång tid samtliga materielbehov som servas av samma truckresurs kan tvingas vänta i kö som längst.

5.4 Konstruktion av förslagsmodeller

Utöver simuleringsmodellen som är översatt från nulägesmodellen beskriven i avsnitt 5.1, har totalt ytterligare fyra simuleringsmodeller konstruerats, hädanefter refererade som *Konfiguration 1*, *Konfiguration 2*, *Konfiguration 3* samt *Konfiguration 4*. Dessa simuleringsmodeller representerar olika modellkonfigurationer av nulägesmodellen och är således också baserade på simuleringsmodellen av nuläget. Konfigurationsmodellerna har tagits fram och översatts till simuleringsprogrammet en efter en med utgångspunkt dels ur resultaten av de tidigare simuleringsmodellerna, d.v.s. *Konfiguration 1* bygger på resultat från simuleringen av nulägesmodellen medan *Konfiguration 2* bygger på resultaten från både *Konfiguration 1* och nulägesmodellen o.s.v., dels med hjälp av relevant teori inom områdena materialhantering, lagerstyrning etc. som finns beskriven i kapitel 3.

5.4.1 Konfiguration 1

Simuleringarna av nulägesmodellen gav resultat vad gäller truckutnyttjandegrad, se kapitel 6, Tabell 6.4, som indikerade att det fanns goda möjligheter att drastiskt minska det totala antalet verksamma truckar. En naturlig lösning att utgå från var därför den utgångsvision som tillhandahölls av företaget, nämligen att transportererna som i nuläget utförs av maskinoperatörerna istället ska utföras av en person från PVW som ansvarar för materialtransporterna vid samtliga maskinlinjer, eventuellt exkluderat maskinlinjer med redan högt truckutnyttjande alternativt speciella försörjningskrav.

Denna nya truckresurs, benämnd PVW1, tar över samtliga materialtransporter mellan materialrutor och förbrukningspunkter med undantag för de delar av AR och EB som redan försörjs av PVW2 samt EX som motiveras behålla nuvarande arbetssätt p.g.a. speciella transportvägar via hiss, extremt högt försörjningskrav samt resultatet från simuleringen av nulägesmodellen. Liksom i nuläget så sköts materialtransporter till materialrutorna helt av den yttre logistiken från PVW och modellen antar sedermera att det alltid finns material tillgängligt på materialrutorna. PVW2 arbetar på samma sätt som i nuläget, det vill säga att den hanterar samtliga materialtransporter, inklusive

transporter från accesspunkt, för specifika delar av maskinavsnitten AR och EB. En detaljerad lista över vilka materialtransporter som utförs av respektive truckresurs, transporttider, fördelningsparametervärden samt prioritet för respektive materialtransport i Konfiguration 1 återfinns i Tabell C.1 – C.5 i Bilaga C.

Likt truckresursen PVW2 skulle ytterligare en truckresurs tillhörande PVW i praktiken inte ha någon fast utgångsposition till vilken den måste köras efter utförd materialtransport. Därför antas i modellen att denna nya truckresurs inte heller har någon efterställtid. Förställtiden förlängs något jämfört med den för truckarna tillhörande maskinavsnitten eftersom det genomsnittliga avståndet trucken måste förflytta sig för att nå en materialruta ökar jämfört med truckarna i nuläget. Baserat på uppskattningar från truckförare på PVW fastställdes förställtiden för PVW1 till 3 minuter likt förställtiden för truckresursen PVW2.

5.4.2 Konfiguration 2

Resultaten från simuleringar av Konfiguration 1, se avsnitt 6.3.1, visar att en ensam truckresurs i PVW1 kan få problem att tillfredsställa alla materielbehov utan att köer bildas i sådan utsträckning att vissa maskinlinjer måste stanna. En potentiell lösning är att lägga till ytterligare en truckresurs och låta två truckar tillsammans sköta materialförflyttningarna som PVW1 ansvarar för. Således är detta vad som görs i Konfiguration 2 som förutom den extra truckresursen i PVW1, är identisk med Konfiguration 1. För en detaljerad lista som beskriver indata för Konfiguration 2, se Tabell D.1 – D.5 i Bilaga D.

5.4.3 Konfiguration 3

En följd av att låta truckresurser i produktionsanläggningen skötas av PVW var möjligheten att låta dessa truckresurser sköta materialtransporter, förutom från materialruta till förbrukningspunkt, även från accesspunkt till materialruta, vilket redan är fallet för PVW2. En konsekvens av att samma truck sköter materialförflyttningarna hela vägen från accesspunkt till förbrukningspunkt är att det i många fall då går att eliminera materialrutan. Detta skulle effektivisera materialflödet genom att ta bort överflödiga lagringspunkter, vilket även stöds av teorin (avsnitt 3.2.3) om att undvika dubbelhantering.

Förutsatt att förbrukningspunkterna inte ska tvingas utökas markant i storlek kan de inte lagra samma mängd material som tidigare lagrats på materialrutorna, vilket får ett antal konsekvenser. Genom att låta den inre logistikern överta ansvar för transportererna från accesspunkterna minskar tiden för varje transportrunda för de yttre logistikerna, vilket möjliggör fler och tätare leveranser av material från huvudlagret till

accesspunkterna. Generellt kan endast en mindre mängd material förvaras vid en förbrukningspunkt p.g.a. begränsade ytor, vilket medför att transporter från accesspunkter som regel måste ske med samma intensitet som de tidigare skett från materialrutorna. Med hänvisning till tidigare resonemang om att yttre logistik med det nya materialflödet kan leverera oftare och med högre intensitet, har antagandet gjorts att den yttre logistiken alltid är framgångsrik med att förse accesspunkterna med material. En förutsättning för att antagandet om att material alltid finns tillgängligt vid accesspunkter ska fungera i praktiken, är att beställningspunkterna för aktuella materialtyper kompenserar för tiden från en beställning läggs till dess att yttre logistik har levererat materialet till accesspunkten. I syfte att hålla modellen såväl som simuleringsmodellen förhållandevis enkel har ovan beskrivna förutsättning för att modellen ska fungera i praktiken inte inkluderats i modellen. För materialtyper som förbrukas långsamt har en $(S - 1, S)$ beställningspolicy (se avsnitt 3.2.2.3) antagits precis som i nulägesmodellen och tidigare konfigurationer. För de flesta materialtyper gäller här att $S = 2$, vilket i praktiken innebär att för dessa material finns som regel två uppsättningar eller lastbärare varifrån operatörer förbrukar material från den ena och har den andra som buffert då den första tar slut och nästa beställning ännu inte transporterats till förbrukningspunkten. Som oftast finns dock undantag där S av olika skäl antingen inte kan överstiga 1 alternativt har S ökats något för att minska risken att materialbrist ska uppstå. På samma sätt har (R, Q) beställningspolicy antagits för övriga materialtyper med individuellt satta beställningspunkter och orderkvantiteter. Som nämnt ovan kan korrigeringar av beställningspunkterna behöva göras för att modellen ska kunna användas i det verkliga systemet.

De tidigare resultaten från simulering av Konfiguration 1 och 2 (se avsnitt 6.3.1 och 6.3.2 respektive) indikerade att en truckresurs kan få problem att tillfredsställa alla behov i tid. Detta gällde i synnerhet för SP, varför materialförflyttningar från materialruta till förbrukningspunkt vid den maskinlinjen förläggs till maskinoperatörerna och den egna trucken i modellen, medan truckresurs PVW1 sköter transporten fram till materialruta. Som i tidigare konfigurationer har EX kvar sin truck och operatörerna ansvarar som innan för samtliga transporter från materialrutan. Transporten fram till materialrutan fortsätter ligga under de yttre logistikernas ansvarsområde. Vidare har EP fått behålla sin materialruta då det baserat på resultatet från Konfiguration 1, se avsnitt 6.3.1, finns en viss risk med försörjningen av mantelmaterial till förbrukningspunkten när PVW1 endast består av en truckresurs. Den enda förändringen som görs inom PVW2-resursens ansvarsområde från tidigare är att materialtransporter tillhörande AR går direkt från accesspunkt till förbrukningspunkt, varför materialrutan för AR i detta fall också elimineras.

Sammanfattningsvis bygger Konfiguration 3 på att de flesta materialrutor tas bort och att en truckresurs som sköts av PVW ansvarar för merparten av materialtransporterna som i huvudsak går direkt från accesspunkt till förbrukningspunkt. I vissa fall där materialrutor finns kvar utökas truckresursens ansvar till att även inkludera transporten mellan accesspunkt och materialruta. Likt tidigare modeller antas den yttre logistiken alltid vara framgångsrik med att förse i det här fallet såväl accesspunkter som materialrutor med material. Antagandet är något mer riskfyllt än för tidigare modeller då de nya flödena och arbetssättet skiljer sig mycket från nuläget. Samtidigt motiveras antagandet med att tiden från att ett material beställs till dess att det som absolut senast bör finnas tillgängligt vid önskad materialpunkt är, med något enstaka undantag, många gånger kortare än tiden som logistiksystemet faktiskt har på sig att utföra transporten, varför några problem med tillgänglighet bör uppstå. De undantag som identifierats har i modellen kompenserats för genom ändrade beställningspunkter och kan, om simuleringarna av modellen indikerar att tillgängligheten kan vara bristfällig, korrigeras ytterligare. En detaljerad beskrivning av mellan vilka punkter materialförflyttningar görs samt vilken truckresurs som utför dessa finns i Tabell E.1 - E-5 i Bilaga E.

5.4.4 Konfiguration 4

Resultaten från simuleringar av Konfiguration 3, se avsnitt 6.3.3, indikerade att de maskinlinjer som använder material som inte kan ha en fysisk buffert vid förbrukningspunkten, riskerar att inte få sina materielbehov tillgodosedda i tid. Anledningen är att avsaknaden av en buffert innebär att behovet måste tillgodoses vid den tidpunkt då materialet i maskinen tar slut och ska fyllas på. I praktiken innebär det att truckresursen måste vara tillgänglig precis när behovet uppkommer, vilket den sällan kommer att vara i Konfiguration 3.

Konfiguration 4 bygger på samma design som Konfiguration 3, med undantaget att ytterligare truckar tilldelas AR och HV för att operatörerna själva ska kunna ta hand om de materialtransporter som faller under det som beskrivits i stycket ovan vid dessa maskinlinjer. Transporten som i denna modell görs med den egna truckresursen i AR är en konsekvens av utformningen av en av förbrukningspunkterna för ståltråd, nämnt i avsnitt 4.2.7. Under förutsättningen att förbrukningspunkten görs om så att den kan hantera en hel maskinuppsättning åt gången, kan det transportbehovet uteslutas helt och utdata den genererar ignoreras i analysen. I Tabell F.1 – F.5 i Bilaga F återges detaljerad information om Konfiguration 4.

6 Resultat

6.1 Resultatredovisning

Från respektive simuleringskörning hämtades data som beskriver dels förmågan att tillgodose transportbehoven, dels hur de olika truckresurserna används. Som framgår av avsnitt 5.2.4 kördes varje scenario av respektive simuleringsmodell 10 gånger där varje runda motsvarar en verklig tid på tre år, vilket innebär att en körning motsvarar totalt 30 år. Från dessa 30 år har medelvärde och stickprovsvarians av servicetiden plockats ut för respektive material och återfinns för respektive simuleringsmodell i bilagorna B-F.

Baserat på de 10 körningarna för respektive modell och scenario togs ett 99 procentigt konfidensintervall fram för medelvärde och stickprovsvarians för respektive material. Då många av mätvärdena ligger förhållandevis nära noll jämfört med storleken på standardavvikelsen valdes ett ensidigt konfidensintervall med en övre gräns. Valet av en övre gräns motiveras också med att avvikelser under mätvärdena för medelvärde och stickprovsvarians är ointressanta för statistisk säkerställning då det endast är av intresse att veta hur ofta dessa värden avviker uppåt. Det intuitiva valet av fördelning till konfidensintervallet hade varit att anta att utdata följer en normalfördelning, men på grund av få mätpunkter (10 mätpunkter, d.v.s. en mätpunkt per körning) förkastades normalfördelningen till förmån för t-fördelningen. t-fördelningen är snarlik normalfördelningen med skillnad att den är mindre koncentrerad i centrum och har längre svansar, d.v.s. att den lämpar sig bättre när antalet mätpunkter är få och osäkerheten större.

För en av de tio simuleringskörningar som gjordes för varje enskild modell och scenario togs samtliga servicetider ut, tidigare beskrivet i avsnitt 5.3.4. Servicetidernas medelvärde och stickprovsvarians kontrollerades med hjälp av ovan beskrivna konfidensintervall för att statistiskt säkerställa de enskilda simuleringsrundornas representativitet gentemot de tio simuleringskörningar som gjordes för varje modell och scenario. Den statistiska kontrollen redovisas genom en färgkodning av den enskilda körningens medelvärde och stickprovsvarians av medelvärdet enligt Tabell 6.1. Resultaten av den statistiska kontrollen finns redovisade för respektive modell och scenario i bilagorna B-F. Efter den statistiska kontrollen sammanställdes och jämfördes servicetiderna för respektive material mot det materialets ingående parametervärden för dess fördelningsfunktion för transportintensiteten, det vill säga tiden mellan att transportbehov uppstår. Detta gjordes med anledningen av att kunna utvärdera modellerna utifrån deras förmåga att tillgodose ett materielbehov innan ett nytt materielbehov uppstår, vilket kan översättas som tiden det tar att förbruka det material

som finns kvar vid maskinlinjen, som i förlängningen innebär att materialbrist uppstår om inte det tidigare uppkomna materielbehovet servats vid denna tidpunkt. Detta gäller under antagandet att förbrukningspunkten rymmer material som motsvarar två materielbehov och att nytt materielbehov uppstår när material motsvarande ett materielbehov återstår.

Tabell 6.1 – Färgkodning för statistisk säkerställning av simuleringsdata.

Statistisk säkerställning av resultat	
Resultat	Resultatet är statistiskt säkerställt enligt ett övre ensidigt 99 % konfidensintervall
Resultat	Resultatet är inte statistiskt säkerställt enligt ett övre ensidigt 99 % konfidensintervall

Utvärderingen är, som nämnts ovan, gjord genom att jämföra samtliga servicetider för varje material från en körning med värdena för materialets transportintensitet. I tur och ordning undersöktes hur stor del av det sammanlagda antalet transporter av ett material som understeg min-, typ-, och maxvärdet i respektive fördelningsfunktion. Enligt Tabell 6.2 nedan fick varje material en färgkodning som anger hur väl de klarade av att servas mot respektive parametervärde. Färgkodningen baseras på hur stor andel av transportererna för respektive material som sker inom tiden för materialets fördelningsparametrar för intensiteten av transportbehov. Gränserna som satts för färgkodningen saknar faktisk vetenskaplig anknytning utan är bestämda enligt vad som uppskattats rimligt för att med relativt god säkerhet kunna avgöra huruvida ett simuleringsresultat är bra eller inte sett till hur det verkliga systemet skulle påverkas av motsvarande servicenivå. Resultaten från samtliga simuleringsmodeller och scenarier finns redovisade i tabellformat i bilagorna B-F.

Tabell 6.2 – Bedömningskriterier för färgkodning baserat på servicenivå.

Bedömningskriterier färgkodning	
X = 100%	X = kvoten mellan antalet observationer med en servicetid mindre än parametervärdet och det totala antalet observationer
100% > X ≥ 97,5%	
X < 97,5%	

Utifrån färgkodningen ovan gjordes därefter en sammantagen bedömning för varje scenario för att avgöra om modellen får godkänt, knappt godkänt, eller icke godkänt vad gäller att tillgodose materielbehov för respektive material. Detta gjordes enligt Tabell 6.3 nedan. En bock innebär att modellen får godkänt för materialtransporter för det aktuella materialet i aktuellt scenario. Ett utropstecken betyder att modellen

endast får knappt godkänt och ett kryss betyder att modellen inte får godkänt för det aktuella materialet.

Tabell 6.3 – Bedömning av servicenivå för enskilda material och scenarion.

Bedömning servicenivå			
✓	Min	Max	Typ
!	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
✗	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ
	Min	Max	Typ

Ett par av materialtransporterna är inte möjliga att bedöma enligt kriterierna som beskrivits ovan. Dessa är transport av fyllprofil till HV samt transport av armeringstråd till en av förbrukningspunkterna inom AR. Anledningen att de berörda materialtransporterna inte kan bedömas på samma sätt som övriga är för att påfyllningen av dessa material inte lyder under samma princip som det som beskrivits ovan och således är jämförelsen mellan dess servicetider och transportintensiteten inte användbar som utvärderingsmetod. Istället värderas modellens prestation vad gäller dessa transporter genom att studera medelservicetiden samt dess standardavvikelse. För att få godkänt får tiden inte avvika nämnvärt från transporttiden, det vill säga kötiden för dessa materielbehov måste vara nära noll.

6.2 Nuläge

I Tabell 6.4 och Tabell 6.5 presenteras resultat från simuleringarna av nulägesmodellen i form av dels förmågan att tillgodose transportbehov enligt utvärderingskriterierna som beskrivits i föregående avsnitt samt resultat som beskriver truckarnas användning. Fullständiga resultat finns presenterade i Bilaga B tabellerna B.1 – B.5. För beskrivning av nulägesmodellen, se avsnitt 5.1 och 5.2.

Tabell 6.4 – Sammanställning av resultat, från simulering av nuläget, baserat på uppnådd servicenivå för respektive material. * = materialet har utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Resultat - Nuläge									
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truckresurs	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	KA	Tråd	Lager->FP	KA	✓	✓	✓	✓	✓
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	✓	✓	✓	✓	✓
3	KA	Svällgarn/Compound	MR->FP	KA	✓	✓	✓	✓	✓
4	KA	Segmentledarband	MR->FP	KA	✓	✓	✓	✓	✓
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	✓	✓	✓	✓	✓
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
7	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	✓	✓	✓	✓	✓
9	EB	Bly	MR->FP	EB	✓	✓	✓	✓	✓
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	✓	✓	✓	✓	✓
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
15	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
16	HV	Fyllprofil*	MR->FP	HV	✓	✓	✓	✓	✓
17	HV	Fyllprofil*	MR->FP	HV	✓	✓	✓	✓	✓
18	AR	Armeringstråd*	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
22	AR	Armeringstråd	Lager->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
26	AR	Stålbånd	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
28	AR	Armeringstråd	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
32	AR	Armeringstråd	AP->MR	PVW2	-	!	!	!	!
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	✓	✓	✓	✓	✓
35	EP	Halvledare	MR->FP	EP/SM	✓	✓	✓	✓	✓
36	SM	Skärtråd	MR->FP	EP/SM	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 6.5 – Sammanställning av truckdata, från simulering av nuläget.

Resursutnyttjande - Nuläge															
Truckresurs	Utnyttjandegrad					Medelkötid (h)					Max kötid (h)				
	Scenario	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4
AR	14,6%	9,2%	11,8%	13,9%	14,5%	0,15	0,13	0,15	0,15	0,16	3,16	3,19	3,11	3,11	3,26
EB	5,1%	3,6%	4,0%	4,7%	4,9%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,32	0,34	0,31	0,36	0,34
EP/SM	0,3%	1,3%	0,3%	0,5%	0,4%	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,20	1,18	0,64	1,32	1,07
EX	33,0%	33,4%	37,8%	37,6%	39,7%	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,01	0,96	0,97	0,97	0,96
HV	1,9%	2,0%	2,2%	2,1%	2,4%	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,69	0,67	0,67	0,70	0,70
KA	3,4%	4,3%	4,2%	4,5%	4,8%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	1,75	1,91	2,00	1,94	1,95
PVW2	0,0%	22,7%	24,9%	24,9%	26,3%	0,00	0,14	0,15	0,15	0,16	0,00	3,30	3,04	3,11	3,30
SP	5,7%	12,9%	12,7%	16,9%	17,8%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

6.3 Förändringsalternativ

På samma sätt som resultaten från simuleringen av nulägesmodellen sammanställts ovan presenteras resultat från simuleringarna av respektive konfigurationsmodell i avsnitten 6.3.1 - 6.3.4.

6.3.1 Konfiguration 1

Tabell 6.6 och Tabell 6.7 innehåller resultat från simuleringar av Konfiguration 1. Fullständiga resultat finns presenterade i Bilaga C tabellerna C.1 – C.5. För beskrivning av nulägesmodellen, se avsnitt 5.4.1.

Tabell 6.6 – Sammanställning av resultat, från simulering av Konfiguration 1, baserat på uppnådd servicenivå för respektive material. * = materialet har utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Resultat - Konfiguration 1									
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truckresurs	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
3	KA	Svällgarn/Compound	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
4	KA	Segmentledarband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
7	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
15	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
16	HV	Fyllprofil*	MR->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
17	HV	Fyllprofil*	MR->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
18	AR	Armeringstråd*	MR->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
22	AR	Armeringstråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	!	!
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
26	AR	Stålbånd	MR->FP	PVW1	!	✓	✓	✓	!
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
28	AR	Armeringstråd	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
32	AR	Armeringstråd	AP->MR	PVW2	-	!	!	!	!
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	-	!	!	!	!
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	!	!	!	✓	!
35	EP	Halvledare	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
36	SM	Skärmtråd	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 6.7 Sammanställning av truckdata, från simulering av Konfiguration 1.

Resursutnyttjande - Konfiguration 1															
Truckresurs	Utnyttjandegrad					Medelkötid (h)					Max kötid (h)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
EX	33,3%	33,6%	37,9%	38,2%	39,9%	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,97	0,98	0,94	1,01	0,93
PVW1	31,6%	34,6%	37,7%	42,8%	45,5%	0,24	0,22	0,28	0,29	0,32	4,52	5,74	6,56	5,35	5,29
PVW2	0,0%	22,9%	24,2%	25,0%	26,3%	0,00	0,14	0,15	0,15	0,16	0,00	3,02	3,23	2,90	3,11

6.3.2 Konfiguration 2

Tabell 6.8 och Tabell 6.9 innehåller resultat från simuleringar av Konfiguration 2. Fullständiga resultat finns presenterade i Bilaga D tabellerna D.1 – D.5. För beskrivning av Konfiguration 2, se avsnitt 5.4.2.

Tabell 6.8 – Sammanställning av resultat, från simulering av Konfiguration 2, baserat på uppnådd servicenivå för respektive material. * = materialet har utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Resultat - Konfiguration 2									
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truckresurs	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	KA	Tråd	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
2	KA	Swällband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
3	KA	Swällgarn/Compound	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
4	KA	Segmentledarband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
7	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	PVW1	!	!	!	!	!
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
13	EB	Swällband	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
15	EB	Mantel, Swällband	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
16	HV	Fyllprofil*	MR->FP	PVW1	!	!	!	!	!
17	HV	Fyllprofil*	MR->FP	PVW1	!	!	!	!	!
18	AR	Armeringstråd*	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
22	AR	Armeringstråd	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
28	AR	Armeringstråd	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
32	AR	Armeringstråd	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	-	!	!	!	!
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
35	EP	Halvledare	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
36	SM	Skärtråd	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 6.9 – Sammanställning av truckdata, från simulering av Konfiguration 2.

Resursutnyttjande - Konfiguration 2															
Truckresurs	Utnyttjandegrad					Medelkötid (h)					Max kötid (h)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
EX	34,3%	33,6%	38,0%	37,6%	39,5%	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,97	0,99	1,01	0,97	0,93
PVW1	15,8%	17,0%	19,0%	21,9%	22,6%	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	1,94	2,07	1,96	2,17	1,99
PVW2	0,0%	22,2%	24,8%	25,6%	26,5%	0,00	0,14	0,15	0,15	0,16	0,00	2,87	3,06	2,91	3,25

6.3.3 Konfiguration 3

Tabell 6.10 och Tabell 6.11 innehåller resultat från simuleringar av Konfiguration 3. Fullständiga resultat finns presenterade i Bilaga E tabellerna E.1 – E.5. För beskrivning av Konfiguration 3, se avsnitt 5.4.3.

Tabell 6.10 – Sammanställning av resultat, från simulering av Konfiguration 3, baserat på uppnådd servicenivå för respektive material. * = materialet har utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Resultat - Konfiguration 3									
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truckresurs	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
3	KA	Svällgarn/Compound	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
4	KA	Segmentledarband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	-	✓	-	-	-
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
8	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	✓	✓	✓	✓	✓
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PVW1	✓	✓	✓	!	!
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
12	EB	Bly	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
15	EB	Mantel	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
21	HV	Fyllprofil*	Lager->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
22	HV	Fyllprofil*	Lager->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
23	AR	Armeringstråd*	Lager->FP	PVW1	✗	✗	✗	✗	✗
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	!	✓
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
26	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
27	AR	Armeringstråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
28	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	!	!	!	!	!
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
30	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
31	AR	Stålbånd	AP->FP	PVW1	!	!	!	!	!
32	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
33	AR	Armeringstråd	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	!	!
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
36	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
37	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	!	!	!	!	!
38	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
39	EP	Mantel/Halvledare/ Aluminiumlaminat	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
40	SM	Skärmtråd	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
41	SM	Band	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 6.11 – Sammanställning av truckdata, från simulering av Konfiguration 3.

Resursutnyttjande - Konfiguration 3															
Truckresurs Scenario	Utnyttjandegrad					Medelkötid (h)					Max kötid (h)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
EX	33,6%	33,4%	37,7%	37,5%	40,2%	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,95	1,00	0,98	0,95	1,00
PVW1	38,5%	37,9%	41,2%	47,2%	50,7%	0,33	0,34	0,39	0,45	0,51	6,85	12,28	7,85	8,07	15,93
PVW2	0,0%	17,6%	20,2%	20,6%	20,2%	0,00	0,09	0,10	0,10	0,10	0,00	1,83	2,23	2,04	2,05
SP	5,5%	13,2%	13,3%	17,0%	17,7%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

6.3.4 Konfiguration 4

Tabell 6.12 och Tabell 6.13 innehåller resultat från simuleringar av Konfiguration 4. Fullständiga resultat finns presenterade i Bilaga F tabellerna F.1 – F.5. För beskrivning av Konfiguration 4, se avsnitt 5.4.4.

Tabell 6.12 – Sammanställning av resultat, från simulering av Konfiguration 4, baserat på uppnådd servicenivå för respektive material. * = materialet har utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Resultat - Konfiguration 4									
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truckresurs	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
3	KA	Svällgarn/Compound	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
4	KA	Segmentledarband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	-	✓	-	-	-
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
8	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	✓	✓	✓	✓	✓
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	✓	✓	✓	✓	✓
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PVW1	✓	✓	✓	!	!
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
12	EB	Bly	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
15	EB	Mantel	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
21	HV	Fyllprofil*	MR->FP	HV	✓	✓	✓	✓	✓
22	HV	Fyllprofil*	MR->FP	HV	✓	✓	✓	✓	✓
23	AR	Armeringstråd*	MR->FP	AR	✓	✓	✓	✓	✓
24	AR	Armeringstråd	Lager->MR/FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
25	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	!
26	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
27	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
28	AR	Armeringstråd	Lager->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
29	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	!	✓	!	!	!
30	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
31	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
32	AR	Stålbånd	AP->FP	PVW1	✓	!	!	!	!
33	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
34	AR	Armeringstråd	AP->FP	PVW2	-	!	✓	!	!
35	AR	PP-garn s	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
36	AR	PP-garn f	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
37	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	-	✓	✓	✓	✓
38	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	!	!	!	!	!
39	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
40	EP	Mantel/Halvledare/ Aluminiumlaminat	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	!
41	SM	Skärtråd	AP->FP	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓
42	SM	Band	AP->MR	PVW1	✓	✓	✓	✓	✓

Tabell 6.13 – Sammanställning av truckdata, från simulering av Konfiguration 4.

Resursutnyttjande - Konfiguration 4															
Truckresurs	Utnyttjandegrad					Medelkötid (h)					Max kötid (h)				
Scenario	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
AR	5,7%	3,4%	6,3%	7,0%	6,3%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
EX	33,0%	33,4%	38,2%	37,5%	39,3%	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,96	0,95	0,94	0,98	0,98
HV	1,8%	1,9%	1,9%	2,1%	2,3%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,70	0,69	0,67	0,70	0,68
PVW1	34,6%	35,1%	36,9%	43,3%	44,7%	0,26	0,27	0,29	0,36	0,38	6,11	6,92	5,48	7,11	7,31
PVW2	0,0%	18,0%	20,7%	20,8%	21,1%	0,00	0,09	0,10	0,10	0,10	0,00	2,06	1,91	2,21	2,08
SP	5,5%	12,9%	12,8%	16,9%	17,8%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

7 Analys

7.1 Verifiering av simuleringsmodell

Ett delsyfte med skapandet av en nulägesmodell var att verifiera att den generella modellstrukturen svarade bra överens med verkligheten. Med det menas att de förenklingar och antaganden som gjorts, vilka ligger till grund för modellen, samt indata är korrekta i det avseende att resultaten från simuleringarna kan anses vara rimliga. Det huvudsakliga sättet detta kunde göras på var genom en jämförelse mellan insamlad data om truckarnas utnyttjandegrad och motsvarande resultat från simuleringarna.

Den från insamlad data verkliga utnyttjandegraden för respektive truck återfinns i avsnitt 4.1.5, Tabell 4.2. De fullständiga resultaten för truckutnyttjandet från simuleringarna av respektive scenario av nulägesmodellen finns presenterade i avsnitt 6.2, Tabell 6.5. Jämförelsen bör göras främst mot scenario 1 då beläggningen i scenariot är den som stämmer bäst överens med tidsperioden från vilken verkliga data är hämtad. I Tabell 7.1 nedan listas truckutnyttjandet från scenario 1 samt den verkliga utnyttjandegraden för respektive truck.

Tabell 7.1 - Jämförelse av utnyttjandegrad för respektive truck mellan insamlad data och resultat från simulering av scenario 1. - = data saknas. * = baserad på avläsning från perioden 15/9 2014 - 12/11 2014. ** = baserad på avläsning från perioden 15/9 2014 - 23/4 2015. *** = PVW2 beskriver en idag icke existerande truckresurs som därav saknar data för nuläget, dessutom används den inte i scenario 1.

Jämförelse truckutnyttjande					
Truck	Nuläge			Simulering nulägesmodell	
	Maskinavsnitt	Utnyttjandegrad		Maskinavsnitt	Utnyttjandegrad
01	EX [tom]	-		EX [tom]	-
02	EX [golvl]	4,3%	*	EX [golvl]	33,0%
07	EB	4,5%	**	EB	5,1%
08	AR, Kajen	8,4%	**	AR	14,6%
10	KA	5,1%	**	KA	3,4%
15	KA	5,9%	*	KA	3,4%
19	SM, EP, (AR)	6,2%	*	SM, EP	0,3%
21	HV	2,0%	**	HV	1,9%
25	SP	0,7%	**	SP	5,7%
PVW2***	AR, EB	-		AR, EB	0,0%

Till tabellen ovan kan följande kommentarer läggas:

- Truckarnas verkliga utnyttjandegrad kommer från mätningar om deras användning över en relativt begränsad tidsperiod. För att kunna göra en exakt

jämförelse skulle det verkliga materialflödet från tidsperioden behöva återskapas.

- Den verkliga utnyttjandegraden är mätt på tiden som hjulen på trucken rullar. Utnyttjandegraden från simuleringen bygger på hela den tid det tar att tillgodose ett materielbehov. Detta gör att simuleringsmodellen ger ett högre värde för tiden en truck används för att tillgodose ett materielbehov då trucken i många fall inte rullar under hela processen.
- I verkligheten används truckarna vanligtvis till andra aktiviteter än enbart materialtransport, vilket innebär att de verkliga värdena för utnyttjandegraden, utöver materialtransporter, även bygger på annan användning.
- Lån av truckar mellan olika maskinlinjer förekommer i verkligheten, vilket gör att hela den verkliga utnyttjandegraden inte kan fullständigt kopplas till ett enda maskinavsnitt.

Med ovanstående punkter i åtanke kan en utvärdering göras. Siffrorna för EB samt HV kan direkt konstateras ligga tillräckligt nära varandra. Gällande KA ligger förvisso resultatet från scenario 1 något lägre än den verkliga utnyttjandegraden, men i verkligheten används dessa truckar till flertalet andra aktiviteter än materialtransporter, vilket kan anses förklara skillnaden.

Truck 08 används i simuleringen för alla materialtransporter i AR och truck 19 enbart för transporter inom EP och SM. I verkligheten lånas truck 19 av AR i hög utsträckning vilket ökar den verkliga utnyttjandegraden för truck 19 och följaktligen sänker truck 08s användande. Dessa fakta förklarar rimligen skillnaderna och om den verkliga utnyttjandegraden för truck 08 slås ihop med den för truck 19 och jämförs med det totala utnyttjandet för AR samt EP och SM från simuleringen, så stämmer dessa siffror bra överens.

Den stora skillnaden vad gäller EX kan tyckas orimlig. Faktum är dock att merparten av den tid det tar att tillgodose ett materielbehov i EX så står trucken still, vilket gör att denna tid inte är medräknad i den verkliga utnyttjandegraden. Det finns dock frågetecken för om detta faktum kan förklara hela skillnaden, men vilket kan uttydas ur resultaten från simuleringen (se avsnitt 6.2) servas alla materielbehov i EX utan problem trots den höga belastningen på truckresursen. Dessutom, eftersom inga ändringar görs på EX i någon av de följande konfigurationerna så påverkas den vidare analysen inte av detta frågetecken.

Skillnaden i SP förklaras av att maskinlinjen inte har använts för annat än testkörningar under tidsperioden som den verkliga utnyttjandegraden är baserad på och jämförelsen är därför omöjlig att göra.

Sammanfattningsvis kan konstateras att för samtliga truckar, möjligtvis undantaget EX, är skillnaderna antingen små eller går att förklaras. Faktumet att de båda procentsiffrorna inte bygger på exakt samma beläggning gör det dock svårt att definitivt säga att simuleringsmodellen är en korrekt gestaltning av verkligheten. Det viktiga för analysen är däremot främst att modellen signifikant inte underskattar truckarnas användning för transport av material, vilket enligt ovanstående resonemang är en slutsats som bör kunna dras.

7.2 Utvärdering av simuleringar

I kapitel 5, beskrivs de olika simuleringsmodellernas konstruktion samt förs ett resonemang kring anledningarna till varför de specifika konfigurationerna skapades. I avsnitt 7.2.1 - 7.2.5 utvärderas varje modell ytterligare, med resultaten från simuleringarna som återfinns i kapitel 6 som grund för analysen.

7.2.1 Nulägesmodell

Som beskrivs i avsnitt 7.1 var en stor del av syftet med att konstruera en nulägesmodell att jämföra med verklig data för verifikation av modellen. Utöver detta fungerade nulägesmodellen som en grund vid skapandet av de efterföljande konfigurationerna och som referens för jämförelser modellerna emellan.

I avsnitt 7.1 ovan dras slutsatsen att nulägesmodellen är en för arbetet tillräckligt god modell av verkligheten. Något som styrker detta ytterligare, eller åtminstone inte ger någon anledning att förkasta påståendet, är att resultaten från simuleringarna av modellen visar att det aldrig uppstår några problem att uppfylla kraven för alla materialflöden som existerar i nuläget som ställts för att truckarna ska kunna tillgodose alla materielbehov utan att materialbrist uppstår, se avsnitt 6.2, Tabell 6.4. Detta är för nuläget i allra högsta grad rimligt då det är detta arbetssätt som praktiseras i det verkliga systemet idag. Resultatet från simuleringen stärker således också företagets övertygelse om att det går att reducera antalet truckar verksamma med materialtransporter.

Truckresursen PVW2 genomför i modellen materialtransporter inom AR och EB. Materialtransporterna kommer till följd av en ökad kapacitet som inte finns idag, vilket medför att det finns en osäkerhet dels kring materialflödenas utformning samt värden för olika indata. Indata för till modellen är baserade på planerad

förbrukningshastighet och antaganden snarare än historisk data. Följaktligen är resultaten från simuleringen som rör dessa materialflöden svåranalyserade och något som inte lagts något särskilt fokus på.

Från resultaten i avsnitt 6.2, Tabell 6.4, går det att utläsa att den genomsnittliga kötiden för alla maskinlinjer vid samtliga scenarion är mycket liten eller nära noll om den ofrånkomliga förställtiden för trucken dras bort. Detta tyder på att enda gången det uppstår kö är när två eller flera materielbehov skapas vid en linje inom den tid det tar att slutföra det första av dessa, vilket gör att det under en kort tidsperiod skapas en kö men som trucken snabbt klarar av att arbeta ner till noll igen. Det är också sådana extremfall som ger upphov till den maximala kötiden, se Tabell 6.5, vilken förvisso är stor eller till och med extrem jämfört med medelvärdet, men inte alls osannolik när flera behov uppstår samtidigt. Detta eftersom vissa materielbehov tar mellan en och två timmar att tillgodose, se Tabell B.1 – B.5 i Bilaga B. Att truckutnyttjandegraden dessutom generellt är mycket låg, vilket innebär att trucken står oanvänd en kraftig majoritet av den tillgängliga tiden, styrker denna teori ytterligare.

7.2.2 Konfiguration 1

I konfiguration 1 är det intressanta att utvärdera hur en enda truckresurs, PVW1, klarar av att sköta samtliga materialtransporter, vilka tidigare utfördes av flertalet truckar. Undantaget PVW1s ansvar är EX samt de delar av EB och AR som likt nuläget sköts av PVW2, vilka hanteras på samma sätt som i nulägesmodellen och därför inte kräver någon ytterligare analys för Konfiguration 1.

Resultaten från konfiguration 1 som kan ses i Tabell 6.6 i avsnitt 6.3.1 visar att truckresursen PVW1 för flertalet material inte klarar av att uppfylla kraven för godkänt servande av materielbehov. Framför allt är det för materielbehoven med de strikta kraven att de behöver servas direkt när behov uppstår som det blir problem i samtliga scenarion. Dessa är som bekant fyllprofil till HV samt armeringstråd till en av förbrukningspunkterna inom AR. Anledning att dessa materialtransporter inte får godkänt för något av scenariona i konfigurationen är att medelservicetiden som kan ses i Bilaga C, Tabell C.1 – C.5, överstiger den minsta möjliga servicetiden (förställtid + transporttid) med i genomsnitt 10-20 minuter, oberoende av scenario, vilket innebär ett stillestånd motsvarande minst denna tid vid varje påfyllnadsbehov.

Konfiguration 1 får inte heller godkänt för transport av pappersmaterial i SP i något av scenariona. Anledningen är att transportintensiteten är hög, se Tabell C.1 – C.5 i

Bilaga C, vilket ställer stora krav. Efter att modellerna för detta arbete skapades har beslut dock tagits av företaget att vid framtida tillverkning i SP så kommer operatörer vid maskinlinjen inte att utföra materialtransporterna från materialruta till förbrukningspunkt, varför dessa resultat kan bortses ifrån.

Vidare visar resultaten att det kan uppstå problem för ett antal av de övriga materielbehoven, vilka kan identifieras som de gula utropstecknen i Tabell 6.6. För dessa får konfigurationen således endast knappt godkänt. I nästan alla fall som dessa problem med materialtransporterna kan uppstå så kan det endast ske om transportintensiteten är nära sin maxnivå. Med andra ord, vid normal materialförbrukning så uppstår i de allra flesta fall inte någon materialbrist.

Övriga resultat som går att utläsa från simuleringarna av Konfiguration 1 visar att truckutnyttjandegraden fortfarande är på en relativt låg nivå och att medelkötiden är tillräckligt låg för att problem normalt ska uppstå mycket sällan. Det stämmer överens med faktumet att det bara är i extremlägen som konfigurationen inte får helt och hållet godkänt för vissa materialtransporter. Detta borde dessutom lätt kunna lösas genom enkla förändringar av beställningspunkt och orderkvantitet, vilket diskuteras mer i avsnitt 7.6.1. Undantaget är de särskilda kraven vid HV och AR, vars problem är svårösta för den gällande designen i Konfiguration 1.

7.2.3 Konfiguration 2

Konfiguration 2 skapades för att undersöka om de problem som kan uppstå i Konfiguration 1 försvinner i fallet då två truckresurser får dela på ansvaret att sköta alla transporter, fortfarande med undantag för materialtransporter i EX samt delar av AR och EB enligt tidigare beskrivningar.

Problemen i Konfiguration 1 gällde framför allt påfyllning av fyllprofil till HV samt armeringstråd till en av förbrukningspunkterna inom AR. I Konfiguration 2 blir dessa materialtransporter knappt godkända, se avsnitt 6.3.2, Tabell 6.8. Med två truckresurser blir medelservicetiden för dessa maskinlinjer kraftigt förkortad jämfört med Konfiguration 1 och stillestånden vid byte i dessa maskinlinjer blir således kortare. Faktum kvarstår att en viss väntetid existerar vilket hindrar konfigurationen från att bli helt godkänd gällande dessa materielbehov.

De potentiella problemen som kan uppstå för övriga materielbehov i Konfiguration 1 är med två truckresurser i Konfiguration 2 eliminerade. Medelkötiden för PVW1 är inte mycket större än truckens förställstid vilket signalerar att det är mycket ovanligt att materielbehov behöver vänta en längre tid på att servas.

7.2.4 Konfiguration 3

Materialtransporterna i Konfiguration 3 skiljer sig från de i tidigare modeller genom att truckresurs PVW1 tar hand om många av materialtransporterna hela vägen från accesspunkten för material där detta är möjligt. Som en konsekvens kan flera materialrutor elimineras. Totalt sett ökar dock antalet möjliga transporter som truckresursen ansvarar för. En skillnad mot tidigare konfigurationer är att SP sköter sina egna materialtransporter från materialruta till förbrukningspunkt som i nulägesmodellen.

Resultaten från simuleringar av Konfiguration 3 påminner i hög utsträckning om de från Konfiguration 1. Liksom i Konfiguration 1 får denna konfiguration inte godkänt vad gäller de materialtransporterna med särskilda krav i AR och HV. Anledningen är även den samma, det vill säga att medelservicetiden är så stor att den ger upphov till betydande stilleståndstid vid byte.

Övriga resultat visar att Konfiguration 3 endast får knappt godkänt för flertalet materialtransporter, se avsnitt 6.3.3, Tabell 6.10. Det innebär alltså att det kan uppstå problem med materialtillförseln vid dessa maskinlinjer när förbrukningshastigheten ligger nära den maximala nivån.

Slutligen går att konstatera att Konfiguration 3, bortsett från materialtransporterna med särskilda krav, i ett normalläge är en fungerande design för materialtillförsel. Detta styrks av att truckutnyttjandegraden fortfarande är under 50 % och att medelkötiden håller sig på en stabil nivå för samtliga scenarion, vilket kan ses i avsnitt 6.3.3, Tabell 6.11. Samma tabell visar dock att i extrema fall kan kötiden springa iväg rejält vilket skulle få konsekvenser för materialtillförseln.

7.2.5 Konfiguration 4

Konfiguration 4 skapades för att finna en lösning på problemen med materialtransporter till AR och HV som genomgående funnits i de tidigare konfigurationerna. Lösningen i modellen var att med Konfiguration 3 som bas addera extra truckar till AR och HV i syfte att operatörerna själva får utföra materialtransporterna med de särskilda kraven likt nulägesmodellen. Förändringen lättar således arbetsbördan för truckresursen PVW1. Vad som kan tilläggas till analysen är som redan diskuterat i avsnitt 5.4.4 vid framtagning av konfigurationen, att transporten som truckresursen för AR adderades till modellen för, relativt enkelt kan exkluderas ur modellen förutsatt att ett antagande om en ny design för laddning av maskinen med det aktuella materialet görs. Som en direkt konsekvens blir således även trucken överflödig från modellen.

Resultaten, som kan ses i avsnitt 6.3.4, Tabell 6.12, visar att lösningen som beskrivs ovan gör att konfigurationen får godkänt för dessa materialtransporter. Anledningen till detta är att truckresurserna ARs och HVs mycket låga arbetsbörda resulterar i minimal medelservicetid och näst intill obefintlig standardavvikelse på denna tid. Utnyttjandegraden för dessa truckar blir dock mycket låg, se avsnitt 6.3.4, Tabell 6.13, men de fyller samtidigt ett viktigt syfte.

Introduceringen av två nya truckresurser gör att arbetsbördan för PVW1 mycket riktigt sjunker jämfört med Konfiguration 3, vilket syns på dess utnyttjandegrad som är jämförelsevis lägre. Dessutom är den maximala kötiden som uppmätts när situationen blir extrem ungefär halverad, jämför Tabell 6.11 och Tabell 6.13.

Liksom för Konfiguration 3 så kan problem fortfarande uppstå för vissa materialtransporter för vilka modellen således endast får knappt godkänt. Dessa problem och eventuella lösningar diskuteras vidare i avsnitt 7.6.

7.3 Jämförelse av konfigurationer

Målet med att skapa olika konfigurationer var att utifrån resultaten från simuleringar av dessa göra en utvärdering och sedermera nå fram till ett förslag på en framtida lösning för materialflödet på HVC. En sådan lösning behöver inte vara en exakt kopia av vald konfiguration, utan kan innehålla ytterligare designförändringar, se avsnitt 7.6. I detta avsnitt görs en jämförelse mellan konfigurationerna samt nulägesmodellen med syfte att identifiera styrkor och svagheter.

Konfiguration 1 är en gestaltning av visionen om att använda en truckresurs som sköts av PVW för att utföra merparten av materialförflyttningarna från materialruta till förbrukningspunkt vid dagens maskinlinjer. Denna visade sig dock skapa problem vid vissa linjer. Därför skapades Konfiguration 2, som testade om dessa problem eliminerades om istället två truckresurser får sköta samma materialförflyttningar. Resultaten blev förvisso bättre och några problem eliminerades, men ett antal kvarstod. Dessa var i synnerhet problemen som uppkommer vid maskinavsnitten AR och HV, som för vissa material har särskilda krav vid materialpåfyllning. Dessutom, som beskrivs i kostnadsanalysen i avsnitt 7.5.2, så innebär en extra truckresurs en stor kostnad i form av ytterligare heltidsanställningar för materialtransporter. Slutsatsen var att ingen av dessa båda konfigurationerna sannolikt var en fullgod lösning för materialflödet på HVC.

Konfiguration 3 går tillbaka till en lösning där en truckresurs används för att försörja merparten av dagens maskinlinjer, dock med förändringar i designen av materialflödet, vilket beskrivits i tidigare avsnitt. Liksom för Konfiguration 1 och Konfiguration 2 så

kvarstår problemen i AR och HV. Konfiguration 3 skapades dock i första hand för att utvärdera hur truckresursen klarar av det ökade ansvaret i form av fler olika möjliga materialförflyttningar jämfört med konfiguration 1. Därför ignoreras materialförflyttningarna med särskilda krav en kort stund. Jämförelsen visar att det ökade antalet möjliga materialförflyttningar endast marginellt påverkar hur truckresursen presterar jämfört med i Konfiguration 1. De problem som kan uppstå gör endast detta i extrema situationer och som beskrivs i avsnitt 7.6 kan dessa undvikas genom enkla förändringar. Till skillnad från Konfiguration 1 så innehåller Konfiguration 3 färre lagringspunkter för material, vilket innebär totalt färre materialtransporter om transporter som genomförs av yttre logistikpersonal räknas in i Konfiguration 1.

Konfiguration 4 bygger vidare på Konfiguration 3, men med målet att lösa problemen vid AR och HV. Truckar som sköts av operatörer vid berörda maskinlinjer sattes in i syfte att lösa dessa problem genom att dessa är avsedda att endast utföra dessa materialtransporter. Lösningen gör att problemen elimineras och samtidigt minskar arbetsbördan för PVWs truckresurs. Liksom i Konfiguration 3 så kan problem fortfarande uppstå men som nämnts så är dessa problem relativt enkla att lösa.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att Konfiguration 4 är den enda konfigurationen som klarar av att hantera materialtransporterna med särskilda krav. I övrigt klarar samtliga konfigurationer av att tillgodose materielbehovet om inte extrema situationer uppstår, t.ex. att samtliga maskinlinjer skulle vara igång samtidigt och samt att alla materielbehov uppstår närmast samtidigt. Det är dock nödvändigt att en lösning klarar av att hantera även dessa situationer då de kan ge upphov till stora kostnader om de inträffar och problem faktiskt uppstår som resulterar i stillestånd. Vidare är designen för materialflödet i konfigurationerna 3 och 4 som nämnts att föredra framför den i konfiguration 1 och 2. Således dras slutsatsen att konfiguration 4, utifrån resultaten från samtliga simuleringar, är bäst lämpad av konfigurationsmodellerna att jobba vidare med.

7.4 Känslighetsanalys

Simuleringsmodellerna som konstruerats och körts som en del av detta projekt är baserade på en mängd mer eller mindre motiverade antaganden, vilkas riktighet kan vara avgörande för resultatens trovärdighet. Nedan följer två avsnitt som diskuterar simuleringsmodellernas känslighet dels för de indata de matats med samt de antaganden som gjorts angående den yttre logistiken och dess påverkan på resultatet.

7.4.1 Indata

Simuleringarna som ligger till grund för beslutsfattandet i arbetet utnyttjar underliggande indata som beskriver tillverkningsprocessen. Dessa indata har dels samlats in genom muntlig kvalitativ datainsamling, dels genom kvantitativ analys av data från affärssystem och intern dokumentation. Gemensamt för merparten av all data är att den antingen är uppskattad i samförstånd med företagsrepresentanter eller förenklad för att kunna användas i simuleringmodellerna. Detta gör att viss försiktighet krävs när slutsatser skall dras utifrån resultat från simuleringarna.

En första åtgärd för att undersöka riktigheten i insamlad data var att jämföra utdata från simuleringar av nulägesmodellen med verklig data. Som beskrivits i avsnitt 7.1 så gav denna jämförelse anledning att anta att simuleringmodellen var en god nog beskrivning av verkligheten, vilket således kan tolkas som att använd indata, med dess bakomliggande uppskattningar och antaganden, var rimlig.

En princip som applicerades under hela datainsamlingsprocessen var att generellt vid osäkerhet när specifika värden skulle uppskattas så valdes ett värde som ställer högre krav på modellen. Det kan exempelvis vara uppskattning av transporttid för ett material som sattes till ett något högre värde, snarare än ett lägre, för att undvika att tidsåtgången underskattas. Detta gör modellerna mer robusta och om resultaten från simuleringarna indikerar att en truckresurs klarar av att tillgodose ett visst materielbehov, så skall den även klara av det i praktiken.

För att ytterligare säkerställa resultatens trovärdighet gjordes ett försök där transporttiderna höjdes för merparten av materialen i Konfiguration 1 varefter en simulering kördes av scenario 3 på samma sätt som övriga simuleringmodeller körts och där samma resultatdata hämtades, analyserades och sammanställdes som för övriga körningar. Vid en jämförelse av resultaten som kan ses i Tabell G.1 i Bilaga G med de för körningen av Konfiguration 1 och scenario 3, se Tabell C.3 Bilaga C, ses att det är i stort sett samma material som är i riskzonen. Utökas jämförelsen till att innefatta scenarierna 4 och 5 av Konfiguration 1, se Tabell C.4 och C.5, så kan slutsatsen dras att det till en början är exakt samma material som kommer att påverkas om transporttiderna skulle vara för lågt satta. Anledningen till att vissa transporttider samt samtliga fördelningsparametrar för intensiteten av uppkomsten av materialtransporter är oförändrade är att de redan ansetts kompensera för en tillräckligt stor felmarginal.

7.4.2 Krav på yttre logistiken

För nulägesmodellen såväl som för konfigurationerna 1 och 2 görs ett antagande om att den yttre logistiken alltid på ett framgångsrikt sätt förser materialrutorna med

tillräcklig mängd material i tillräckligt god tid för att materialbrister vid maskinlinjerna aldrig ska uppstå. Motiveringen som gjorts för detta antagande i tidigare avsnitt anses vara tillräckligt för att undanröja tvivel om att antagandet skulle medföra någon som helst risk för resultatens trovärdighet.

Konfigurationerna 3 och 4 utgår, till skillnad från övriga modeller, från att materialtransporter som tidigare utfördes av den yttre logistiken, det vill säga från accesspunkt till materialruta, istället sköts av den inre truckresursen, kallad PVW1. Detta betyder att den yttre logistikens arbetsbörda minskas då de endast behöver sköta transporter från lager till accesspunkt. Samtidigt innebär lösningen att många materialrutor försvinner, vilka tidigare har fungerat som lagerpunkter samt att material istället transporteras direkt från accesspunkt till förbrukningspunkt. Materialrutorna möjliggjorde att flertalet pallar av ett material kunde transporteras på samma gång från lager, via accesspunkt, och placeras på en materialruta. Med elimineringen av materialrutor försvinner möjligheten att förvara större mängder material inom ett WC, vilket betyder att materialtransporter från lager till accesspunkt måste göras med högre frekvens. Som beskrivs i avsnitt 4.2 görs denna transport idag upp till tre gånger per dygn för de flesta material. För den föreslagna lösningen behöver dessa transporter göras oftare, men i dagsläget innebär varje transport ett stort arbete, där varje runda innehåller stora mängder material, och stor tidsåtgång, då arbetet innefattar materialtransport hela vägen till materialruta. Med den nya designen tar rundorna kortare tid då materialet endast transporteras fram till accesspunkten och varje runda innehåller en mindre mängd material, vilket i sig innebär att en runda kan antas gå snabbare. Risker som finns är att den yttre logistiken inte klarar av att leverera material till accesspunkterna i den frekvens som krävs. Tidsbesparingarna som görs per runda enligt resonemanget ovan bedöms dock vara så pass stort att den totala tidsåtgången som kan härledas till materialtransport från lager till produktionen inte blir större än att den yttre logistiken klarar av att genomföra det med de resurser som finns tillgängliga i nuläget.

7.5 Kostnadsanalys

I avsnitt 4.3 beskrivs fyra olika kostnader som är starkt kopplade till den inre logistiken, dessa är kostnader för truckar, personal, maskinstillstånd samt lager. I samtliga fall är kostnaderna svåra att uppskatta då de beror av en mängd faktorer som i sig är än svårare eller närmast omöjliga att bestämma. Med utgångspunkt ur resultaten av scenario 1 för samtliga simuleringsmodeller har en kostnadsanalys genomförts. Alternativt hade samtliga scenarier kunnat jämföras men då merparten av kostnadskomponenterna är grova uppskattningar samt att vissa kostnader är

oberoende av scenario, t.ex. kostnader för truckar, ansågs det inte addera tillräckligt mervärde åt analysen att jämföra samtliga scenarier. Scenario 1 valdes med motivering att det påverkar de modeller som presterar sämst sett till servicenivå minst, vilket innebär att kostnaderna troligtvis är i underkant mot vad de blir i verkligheten. Vidare är alla scenariospecifika kostnader baserade på utdata från en av de tio körningar som gjordes för varje unikt scenario och simuleringsmodell.

7.5.1 Truckkostnader

Som beskrivet i avsnitt 4.3.1 så består kostnader för truckar i huvudsak av tre komponenter; leasingkostnader, reparationskostnader samt förarutbildningskostnader. Ytterligare en kostnad som skulle kunna inkluderas är leasingkostnader för extra batterier till truckarna men då det är svårt att uppskatta hur många extra batterier som behövs för de olika konfigurationsmodellerna har detta exkluderats. Med enkel logik så genererar färre truckar ett lägre behov och därmed en lägre kostnad.

Leasingkostnaderna är för de flesta truckar kända med undantag för de truckar som benämns PVW1 respektive PVW2, ty dessa inte finns i dagens truckpark. För dessa undantag har en uppskattning gjorts att de bör behöva lyftkapacitet motsvarande den största av de truckar som används inom produktionen i dagsläget, d.v.s. den tillhörande maskinavsnitt HV. Följaktligen blir den uppskattade leasingkostnaden densamma som den faktiska leasingkostnaden för truck 21 som används vid just maskinavsnitt HV.

Reparationskostnaderna är uppskattade utifrån den totala årskostnaden för samtliga truckar i den existerande truckparken, vilken inkluderar även de truckar som inte används inom produktionen. Tillsammans med logistikchefen som har närmast budgetansvar för den aktuella kostnadskomponenten, uppskattades reparationskostnaden för truckarna i produktionen till ca 23 000 SEK per truck och år.

Kostnader för truckförarutbildning kan delas in i kostnader för dels grundutbildning och dels repetitionsutbildning. För kostnadsanalysen har en uppskattning gjorts att varje maskinavsnitt genererar ett behov motsvarande en grundutbildning och ca en femtedel av dess personalstyrka för repetitionsutbildning per år. Utbildningskostnaderna är uppskattade till 3 500 SEK och 1 000 SEK för grund- respektive repetitionsutbildning och är baserade på offertförslag ifrån potentiella utbildningsleverantörer som företaget tidigare använt sig utav.

I Tabell 7.2 redovisas de uppskattade årliga kostnaderna kopplade till truckarna för nulägesmodellen samt de olika konfigurationerna. Som kan utläsas ur tabellen

genererar nulägesmodellen den högsta kostnaden på ca 950 000 SEK att jämföra med Konfiguration 1 som ger den lägsta kostnaden motsvarande ca 440 000 SEK, alltså en skillnad på över 500 000 SEK. Analysen tar bara hänsyn till truckar som används till materialtransporter tillhörande den inre logistiken. I verkligheten kan kostnaderna vara högre i de fall truckarna anses nödvändiga för andra typer av aktiviteter tillhörande produktionen.

Tabell 7.2 - Uppskattad årskostnad för truckar inom produktionen.

Truck	Truckkostnader			Nuläge	Konfiguration			
	Årskostnad (SEK)	Årlig reparationskostnad ca (SEK)	Utbildningskostnad per år ca (SEK)		1	2	3	4
1	18312	23 000	11 500	1	1	1	1	1
2	39036	23 000	0	1	1	1	1	1
7	41088	23 000	13 500	1	0	0	0	0
8	56484	23 000	15 500	1	0	0	0	1
10	53772	23 000	7 500	1	0	0	0	0
15	63288	23 000	0	1	0	0	0	0
19	78000	23 000	0	1	0	0	0	0
21	138000	23 000	12 500	1	0	0	0	1
25	16584	23 000	13 500	1	0	0	1	1
PVW1*	138000	23 000	1 000	0	1	2	1	1
PVW2*	138000	23 000	1 000	1	1	1	1	1
SUMMA (SEK)				947 564	438 848	600 848	491 932	760 416

7.5.2 Personalkostnader

Personalkostnaden för den inre logistiken har tidigare definierats som den tid operatörer och truckförare från logistikavdelningen spenderar i en truck utförandes materialtransporter som tillhör den inre logistiken. I avsnitt 4.3.2 nämns att kostnaden för maskinoperatörerna är inkluderade i maskinkostnaden vid produktion men att kostnaden för tiden då de utför en materialtransport teoretiskt skulle kunna tillfalla den inre logistiken. En tänkbar konsekvens av detta var ökad risk för kvalitetsfel under tiden för en materialtransport då operatören inte kan vara lika uppmärksam på vad som händer i förädlingsprocessen och med produkten. Så vad kostnaden här egentligen handlar om är var den tillfaller och med det till vad personalresursen utnyttjas.

Genom att multiplicera antalet transporter per år av respektive materialtyp med dess transporttid samt en ungefärlig timkostnad för en operatör har ungefärliga resurskostnader kunnat beräknas. Antalet årliga transporter bygger på ett genomsnitt av de transportaktiviteter över tre år som redovisas i tabellerna i Bilaga B. Vidare bygger kostnaderna för respektive modell på körningarna av scenario 1. Anledningen att scenario 1 har valts är att det är det scenario som jämförelsevis med de andra scenarierna ger nulägesmodellen bäst möjligheter, vilket innebär att det blir svårare för konfigurationerna att prestera bra. Med andra ord, om någon av konfigurationerna

ändå anses prestera bättre i scenario 1 så kommer de med största sannolikhet prestera bättre än nulägesmodellen även i övriga scenarier. Således ansågs det inte tillföra analysen något större värde att göra analysen för fler scenarier. Dock bör det tas i beaktning att ett kanske mer troligt beläggningsscenario för framtiden är mer likt något av scenario 3, 4 eller 5 där nulägesmodellen alltså skulle prestera sämre med avseende på att kostnaden sprids ut mer på maskinoperatörer. I Tabell 7.3 redovisas resultatet av beräkningarna beskrivna ovan för respektive simuleringsmodell.

Tabell 7.3 - Personalkostnader för materialtransporter med truck inom den inre logistiken. Kostnaderna är uppskattade utifrån simuleringsresultaten av scenario 1 för respektive simuleringsmodell. *Truckresursen PVW2 är i scenario 1 används inte i scenario 1.

Personalkostnader					
Maskinavsnitt	Nuläge	Konfiguration			
		1	2	3	4
AR	804 123	-	-	-	360 100
EB	189 497	-	-	-	-
EP/SM	15 961	-	-	-	-
EX	1 736 656	1 724 089	1 796 456	1 783 115	1 732 754
HV	104 486	-	-	-	137 002
KA	348 118	-	-	-	-
PVW1	-	1 490 943	1 409 427	2 006 418	1 764 462
PVW2*	0	0	0	0	0
SP	126 498	-	-	123 981	122 737
SUMMA (SEK)	3 325 338	3 215 032	3 205 883	3 913 514	4 117 055

Ur Tabell 7.3 kan utläsas att den totala personalkostnaden för trucktransporter tillhörande den inre logistiken i nuläget uppgår till ca 3,3 MSEK. Här bör nämnas att precis som för konfigurationerna 1 och 2 är kostnaderna som i dessa tre fall tilldelas de yttre logistikerna som utför transporter mellan accesspunkt och materialruta exkluderad, vilket förklarar de högre kostnaderna i konfigurationerna 3 och 4 då de senare inkluderar all transport från accesspunkt och nedströms till materialruta och förbrukningspunkt. I tidigare analys har resonemang förts kring att transporter och därmed kostnader för AR samt SP kan ignoreras, vilket för denna analys får positiva konsekvenser för Konfiguration 4 vars totalkostnad sjunker med närmare 500 TSEK. Vid jämförande av nuläget och Konfiguration 4, AR och SP exkluderat, framgår att personalresurser motsvarande ca 1,5 MSEK kan frigöras från materialtransporter inom maskinlinjerna till annan verksamhet vid maskinlinjerna. Kostnaden för PVW2 kan antas vara densamma för samtliga modeller, nulägesmodellen inkluderad, varför den är ointressant i diskussionen.

En annan direkt konsekvens av en ny systemutformning med truckresurserna PVW1 och PVW2 samt ett nytt arbetssätt är att PVW troligtvis behöver utöka sin personalstyrka. Eftersom resurserna måste finnas tillgängliga dygnet runt kommer ny personal ingå i befintligt 5-skift, vilket kan innebära en mycket stor kostnad för varje ny resurs som behövs. Då en ny systemutformning troligtvis kan innebära en viss omstrukturering av personalen inom PVW är det svårt att i nuläget uppskatta kostnaden för eventuell ny personal varför denna kostnad uteslutits ur den här analysen men bör göras i en mer detaljerad kostnadsanalys.

7.5.3 Maskinkostnader

Som beskrivet i avsnitt 4.3.3 kan maskinkostnader läggas på den inre logistiken i de fall den inre logistiken är ansvarig för misslyckandet att leverera produktionsmaterial till maskinlinjerna i tid, varför produktionen har tvingats stå oplanerat still. Kostnaden dessa stopp kan uppskattas som den tid en maskin tvingats stå stilla på grund av en misslyckad transport multiplicerat med maskinens timkostnad. En kostnad kan uppstå för samtliga de transporter som inte sker i tid. Samtidigt kan den årliga kostnaden för många av dessa uppskattas vara försumbar i sammanhanget, varför dessa har exkluderats från kostnadsberäkningarna. Baserat på resultaten av simuleringarna finns det fyra material som kan antas generera betydande kostnader då servicenivån för materialen ligger klart under önskad nivå. I Tabell 7.4 redovisas uppskattningar av dessa kostnader, där nuläget antas representera en kostnad motsvarande 0 SEK för samtliga material. Kostnaderna bygger på differensen i medelservicetid jämfört med nulägesmodellen, årligt antal transporter uppskattat från simuleringsdata från scenario 1 av respektive konfigurationsmodell samt en ungefärlig maskintimkostnad för aktuella maskinlinjer.

Tabell 7.4 - Stilleståndskostnader som konsekvens av otillräckliga materialtransporter. Kostnaderna är uppskattade utifrån simuleringresultaten av scenario 1 för respektive simuleringsmodell.

Stilleståndskostnader						
Maskin	Materialtyp	Nuläge	Konfiguration			
			1	2	3	4
SP	Papper (Alla typer)	0	6 436 589	756 824	0	0
HV	Fyllprofil	0	472 090	53 321	709 051	1 566
AR	Armeringstråd	0	254 348	-28 774	496 963	-86 855

Som kan utläsas ur tabellen är kostnaden för SP av betydande storlek för både Konfiguration 1 och Konfiguration 2. I de andra konfigurationerna har SP åter en egen truck för de transporter, varför kostnaden också blir noll som för nuläget. Men som nämnt i avsnitt 7.2.2 har beslut tagits av företaget som gör att den här transporten

och därmed kostnaden kan ignoreras. För HV-maskinlinjerna genereras betydande kostnader för konfigurationerna 1 och 3. Räknat varje scenario för sig, överstiger den sammanlagda kostnaden för de orsakade stillestånden kostnaden för den truck som används i nuläget, jämför Truck 21, Tabell 7.2. Motsvarande kostnad för Konfiguration 4, där HV återigen har en egen truck kan anses försumbara och motiverar således att truckresursen återinförs. Kostnaden som uppstår i AR för konfigurationerna 1 och 3 överstiger också kostnaden för en egen truck precis som fallet med HV. De negativa kostnader som uppstår i konfigurationerna 2 och 4 skulle kunna tolkas som besparingar men bör snarare ses som oförändrade jämfört med nuläget. Av uppskattningarna i sin helhet kan slutsatsen dras att Konfiguration 4 genererar samma kostnad som nuläget, d.v.s. 0 SEK.

7.5.4 Lagerhållningskostnader

Enligt beskrivningen av lagerkostnaderna i avsnitt 4.3.4 kan slutsatsen dras att ju mindre material som lagerförs vid maskinlinjerna åt gången desto bättre kontroll har företaget på sina faktiska tillgångar av materialen, vilket i sin tur underlättar väsentligt för stödjande funktioner som t.ex. inköp och ekonomi. I nulägesmodellen samt Konfiguration 1 och Konfiguration 2 används samma materialpunkter och materialtransporter, varför kostnaderna kopplade till lagerfört material kan antas vara desamma för de olika systemutförandena. Med skapandet av Konfiguration 3 och Konfiguration 4 var ett av målen att minska lagerkostnaderna och de risker som uppkommer med differenser mellan lagersaldon i systemen kontra i de fysiska lagren. Detta kunde uppnås genom att i de flesta fall eliminera en av materialpunkterna, materialrutan, samt ett antagande att en mindre arbetsbörda för de yttre logistikerna inom den inre logistiken möjliggör att de kan intensifiera transporter till accesspunkterna. På så sätt kan mängden material som förvaras vid maskinerna reduceras, vilket i sin tur ger högre precision i saldon. Då det är närmast omöjligt att beräkna kostnaderna för detta har det utelämnats ur analysen men det bör tas i åtanke vid ett eventuellt beslut angående en förändring av det verkliga systemet.

7.6 Diskussion kring lösningsförslag

Av de fyra modellerna, så kallade konfigurationer, som byggdes och simulerades som alternativa systemutformningar till nulägesmodellen, så har Konfiguration 4 identifierats som en potentiell lösning. Konfigurationen är dock just en simuleringsmodell, vilket gör att den är något förenklad och inte fullt ut applicerbar i praktiken. Dessutom tyder resultaten från simuleringarna av konfigurationen på att den i sin nuvarande skepnad löper viss risk att stöta på problem i vissa situationer, förvisso extrema sådana, men ändå situationer som kan uppstå. Därför behöver

konfigurationen kompletteras med ytterligare designförändringar av materialflödet för att vara ett godtagbart lösningsförslag. Nedan, i avsnitt 7.6.1 - 7.6.6, listas ett antal områden på vilka förändringar kan och bör göras för att förbättra konfigurationen och få den att uppnå önskad funktion samt annat som är värt att beakta och eventuellt titta närmare på vid en implementering av det nya arbetssättet.

7.6.1 Korrigerings av orderpolicy för riskutsatta material

De materialflöden som endast får knappt godkänt, och som sköts av truckresurs PVW1, för ett eller flera scenarion vid nuvarande produktionstakt, d.v.s. scenario 5 exkluderat, i konfiguration 4 är:

- PP-garn svart till AR
- Stålband till AR
- Mantel till EP

Den gemensamma anledningen till att de inte är helt godkända är på grund av att det i simuleringarna förekommer att materielbehov för dessa behöver vänta en tid, L , som är längre än tiden det tar att förbruka materialet som finns att tillgå vid maskinlinjen. Med den generella orderpolicy som analysen grundar sig i så riskerar det därmed att uppstå materialbrist i dessa situationer. Orderpolicy som analysen grundas på är att materielbehov av mängden Q , där Q som regel motsvarar en pall material alternativt en maskinuppsättning, uppstår när lagernivån når mängden $R = Q$ (avsnitt 3.2.2.3 förklarar begreppen). Alltså, om kötiden, L , blir längre än tiden det tar att förbruka den återstående mängden material, Q , så uppstår materialbrist vid linjen.

Lösningen till problemen som beskrivs ovan är att ändra beställningspunkten, det vill säga när materielbehov skapas, till förslagsvis $R = 2Q$ medan $Q = 1$ pall/maskinuppsättning hålls oförändrad. Det skapas då ett säkerhetslager, som utifrån resultaten från simuleringarna skulle eliminera risken att materialbrist uppstår samtidigt som mängden material vid maskinen inte blir större än nödvändigt.

Praktiskt innebär lösningen att istället för att förvara exempelvis två pallar på förbrukningspunkten så ges utrymme för tre pallar. Följaktligen sätts punkten för då materielbehov uppstår till när det återstår två fulla pallar på förbrukningspunkten, snarare än när förbrukningspunkten håller en pall. Konsekvensen blir att ökat lagerutrymme behövs vid förbrukningspunkterna som berörs och kontrollen över saldon försämras. Jämfört med nuläget är dock mycket utrymme frigjort då många materialrutor eliminerats och av samma anledning har kontrollen över saldot totalt sett ökat.

7.6.2 Nya riktlinjer för SP

Utöver de materialflöden som nämns i avsnitt 7.6.1 ovan så visar simuleringar av Konfiguration 4 att problem även kan uppstå vid transport av pappersmaterial från lager till materialruta i SP. Som flyktigt berörts tidigare i analysen har dock beslut tagits om SPs materialflöden efter att simuleringsmodellerna skapades. Beslutet innebär att det inte kommer finnas någon materialruta vid maskinlinjen och att all materialtransport från intilliggande lager till förbrukningspunkt kommer skötas av PVW. Vilken truck som lämpligtvis används kvarstår att fastställa. Således är problemen som kan uppstå enligt simuleringarna inte några som kommer finnas i verkligheten, varför dessa kan förkastas.

7.6.3 Ändrad design vid AR

En av lösningarna i konfiguration 4 innebär att AR har en egen truck för byte av armeringstråd vid en av förbrukningspunkterna, vilket motsvarar transporten materialruta till förbrukningspunkt i simuleringarna. Anledningen att en truck behövs för denna transport är att utformningen av förbrukningspunkten kräver vertikala lyft vid diskreta tidpunkter under tiden som är tilldelad transporten. Bordet har inte plats för en hel uppsättning, varför trucken måste finnas tillgänglig under hela bytet. Utförandet innebär också att det är nödvändigt att en truck finns tillgänglig när bytet ska ske för att undvika stillestånd.

Ett alternativ till att låta en egen truck sköta bytet av armeringstråd vid den speciella förbrukningspunkten inom AR är att bygga bort truckbehovet, vilket kan göras genom att ersätta nuvarande lösning med en som kan hantera full uppsättning åt gången likt de som idag används inom övriga AR. Genom att implementera en liknande design för den specifika förbrukningspunkten kan truckresurs PVW1 köra pallar med armeringstråd direkt till förbrukningspunkten, vilket skulle eliminera behovet av en egen truck vid maskinlinjen. Samtidigt innebär det ingen ytterligare belastning för PVW1, varför resultaten från simuleringar av Konfiguration 4 inte förändras med undantaget att truck AR blir överflödig och kan förbises.

7.6.4 Signalering vid material- och transportbehov

Lösningförslaget innebär att ansvarsfördelningen för materialhanteringen förändras. I nuläget är det två parter som behöver interagera för att påfyllnad av material ska genomföras: Maskinoperatörer signalerar materielbehov och yttre logistikern transporterar material till en materialruta varifrån operatörerna sköter materialtransport från materialruta till förbrukningspunkt. Konfiguration 4 innebär att en tredje part, den inre logistikern, introduceras i materialpåfyllnadsprocessen. En

konsekvens av detta är att en interaktion behöver ske mellan yttre logistik och den inre logistikern där de yttre logistikerna signalerar att material finns att hämta på angiven accesspunkt. Den inre logistikern behöver dessutom ha information om till vilken materialruta eller förbrukningspunkt aktuellt material ska transporteras. För de fåtal material där materialrutan inte tagits bort och den inre logistikern sköter transporten till och dessutom transporten från materialrutan gäller att det är den inre logistikern som behöver få signal från maskinoperatörer om materielbehov i förbrukningspunkten och att det är den inre logistikern som signalerar till yttre logistik om behov i materialrutan. Förfarandet ovan indikerar att kommunikation mellan inblandade parter är vital och ställer krav på att någon form av signaleringssystem kan användas för att underlätta denna kommunikation.

7.6.5 Övrig användning av truck

Som nämnts i tidigare avsnitt så används de truckar som finns i dagsläget inte enbart för materialtransporter. Många maskinlinjer har dessutom truckarna till hjälp för att utföra andra sysslor kopplade till tillverkningen vid linjen. En förutsättning för att helt kunna eliminera truckar i enlighet med lösningen är det går att finna andra lösningar för att utföra dessa sysslor. För vissa av dessa aktiviteter kan användning av truck vara nödvändigt medan för andra aktiviteter kan användning av truck vara ett tillvägagångssätt som uppstått och appliceras på grund av att truck finns tillgänglig, varför alternativa lösningar kan betraktas som effektiviseringar som underlättar och gör arbetet säkrare. Om det visar sig vara svårt att finna enkla alternativa lösningar så kvarstår alternativet att behålla truckar vid de maskinavsnitt de anses nödvändigt, använda de truckar som faktiskt behålls vid andra maskinavsnitt då utnyttjandegraden oftast är mycket låg och de är tillgänglig en kraftig majoritet av tiden alternativt skapa en truckpool varifrån truckar kan lånas av samtliga maskinlinjer vid behov. Ett sista alternativ grundar sig i att utnyttja truckresurserna PVW1 och PVW2. Denna fråga lämnas till vidare analys om lösningsförslaget planerar att införas i praktiken.

7.6.6 Frigjorda personalresurser inom produktionen

Avsnitt 3.1.1 nämner att elimineringen av onödiga aktiviteter som filosofin inom Lean Manufacturing påtalar har fått viss kritik. Denna består i att effektiviseringsåtgärder ökar pressen på operatörerna, vilket kan göra att de slits ut snabbare. Den föreslagna lösningen innebär att ansvaret för materialtransporter som kräver truck, som tidigare utfördes av operatörer, istället sköts av logistikpersonal så att operatörerna kan fokusera på tillverkningen. Detta gör att operatörernas arbete blir mer enformigt och monotont, vilket enligt kritiken mot Lean innebär en risk. Lösningen påverkar dock inte de materialtransporter som operatörer utför med handtruck, varför arbetet trots

förändringarna innehåller viss variation. Detta till trots är riskerna som kommer av lösningsförslaget något som kan behöva beaktas.

Enligt ovan beskrivning innebär förändringarna som kommer av den föreslagna lösningen att personalresurser inom produktionen kan flyttas från materialtransporter till själva tillverkningen alternativt aktiviteter kopplade till denna såsom exempelvis för- och efterställ av maskiner. Huruvida dessa frigjorda personalresurser faktiskt kan tillföra mervärde till tillverkningsprocesserna är dock inte självklart. Likaså är det inte heller lätt att specificera hur ett eventuellt mervärde skulle yttra sig. Några tänkbara alternativ är som följer: behovet av operatörer kan reduceras vid körning av vissa maskinlinjer, vilket i bästa fall leder till att fler linjer kan köras samtidigt; tiden som operatörer tidigare lagt på materialtransporter under körning kan istället användas till för- och efterställsaktiviteter som utförs parallellt med körningarna; med högre operatörsnärvaro under körningarna kan kvalitetsbrister minskas i större utsträckning, vilket potentiellt kan generera stora besparingar då antalet reparationer och omtillverkningar kan minskas alternativt elimineras helt.

7.6.7 Truckutnyttjande

I samband med konstruktionen av modellerna gjordes ett antal antaganden och förenklingar i enlighet med teorin om modellbyggande. Exempelvis antas det i modellen att en truck används under hela transporttiden vilket inte alltid överensstämmer med verkligheten. Under vissa transporter som är inkluderade i modellen används inte trucken under hela transporttiden. I fallen då trucken skulle opereras av personal från PVW skulle detsamma gälla dem, d.v.s. att de inte skulle behövas under hela transporttiden. Detta skulle kunna utnyttjas genom att de PVW-opererade truckresurserna kan tillgodose vissa korta och i huvudsak närliggande transportaktiviteter under tiden de tillgodoser ett mer tidskrävande behov någon annanstans. På liknande sätt skulle detta kunna utnyttjas i sättet att prioritera transportbehov. I modellen tillgodoses transportbehoven enligt först in först ut samtidigt som två prioriteringsnivåer används, vilket innebär att ett behov av den högre prioriteten kommer att tillgodoses före alla de behov med en lägre prioritet som sedan tidigare väntar på samma truckresurs. I verkligheten kan prioriteringen i större grad överlåtas till truckföraren som då kan prioritera mer effektivt genom att t.ex. utföra flera transporter i samma del av fabriken efter vartannat eller prioritera en transport som tar kort tid framför en som tar avsevärt längre tid.

8 Slutsats och rekommendation

Detta kapitel avser huvudsakligen att sammanfatta resultatet av detta arbete samt besvara de problemformuleringar som specificerats i avsnitt 1.5 och presentera en rekommendation till uppdragsgivaren, vilket görs i avsnitt 8.1 respektive 8.2.

I avsnitt 1.6 nämns studerande inom logistik som en tänkbar målgrupp för arbetet då det ger ett exempel på hur generella lösningsmetoder i verkligheten kan vara svåra att tillämpa då komplexiteten i systemen är hög och avsaknaden av tillförlitlig data är mycket begränsad. Som ett alternativt svar på problematiken ges i avsnitt 8.3 en kort sammanfattning av de antaganden och förenklingar av det verkliga systemet som till stor del lagt grunden för resultaten av detta arbete.

8.1 Slutsats

Målet med detta arbete var att utreda om det är möjligt att finna en kostnadseffektiv lösning där logistikavdelningen har hand om all inre logistik, med vissa specificerade undantag, på ABB High Voltage Cables i Karlskrona. Uppgiften konkretiserades genom formuleringen av fyra specifika frågor, se avsnitt 1.5, vilka examensarbetet ämnade svara på. Nedan presenteras de fyra specifika frågor arbetet ämnade att besvara samt de slutsatser som kunnat dras med hjälp av de resultat och analyser som arbetet genererat.

- *Finns det en kostnadseffektiv lösning för den inre logistiken där ansvaret för samtliga materialtransporter, med visst undantag för transporter i PEX-linjerna samt pappersspinneriet, ligger hos logistikavdelningen? För att en lösning ska vara godtagbar krävs att befintliga försörjningskrav tillgodoses.*

Trots de omfattande simuleringar och analyser som gjorts under arbetets gång har det inte gått att ta fram ett entydigt svar på denna fråga. Enligt resultat och analyser av simuleringar som gjorts är det möjligt att föreslå en lösning där logistikavdelning ansvarar för all inre logistik med undantag för transporter inom PEX-linjerna, transporter av fyllprofil till HV samt de transporter som i dagsläget redan utförs med hjälp av handtruck samtidigt som befintliga försörjningskrav tillgodoses. Den föreslagna lösningen presenteras i sin helhet i avsnitt 8.2.1. På frågan huruvida den föreslagna lösningen är kostnadseffektiv har ett slutgiltigt svar inte kunnat erhållas, vilket kommer att diskuteras i avsnitt 8.2.2 tillsammans med övriga frågetecken som återstår att besvara innan en eventuell implementation kan äga rum.

- *Kan antalet verksamma truckar reduceras så att kvarvarande truckar når en utnyttjandegrad som är minst 30 % högre än i nuläget under normal produktionsbeläggning och samtidigt klarar av att hantera maximal beläggningsgrad?*

Enligt jämförelse av simuleringsresultaten mellan nulägesmodellen och den föreslagna modellen är den totala truckutnyttjandegraden för den föreslagna modellen mer än 30 % högre än i nuläget, samtidigt som truckresurserna i den föreslagna modellen klarar av att hantera maximal beläggning. Sett till varje enskild truckresurs kommer utnyttjandegraden i den föreslagna lösningen inte vara 30 % högre än i dagsläget för varje enskild resurs. För några av truckarna kommer utnyttjandegraden vara oförändrad alternativt till och med något lägre än vad den är idag.

- *Är resultaten från CSM respektive FSM, samt skillnaden mellan dessa, mätbara? Med "mätbara" avses att resultaten är statistiskt säkerställda.*

Majoriteten av resultaten som erhållits från simuleringarna, vilket inkluderar resultaten från CSM och FSM, har kunnat säkerställas statistiskt. För de resultat som inte kunnat säkerställas statistiskt gäller att avvikelserna kan anses vara relativt små och förklaras med att indata som används i simuleringsmodellerna tar hänsyn till den stora osäkerhet som finns i det verkliga systemet. Fastän modellerna är kraftigt förenklade jämfört med det verkliga systemet kan de ändå generera resultat som visar på förhållandevis stor varians, vilket anses återspegla det verkliga systemet på ett korrekt och trovärdigt sätt.

- *Är det nya arbetssättet enkelt och funktionellt?*

Det nya arbetssättet som följer med den föreslagna lösningen är enkelt i det avseende att det använder enkla lagerstyrningsstrategier för att trigga behov av materialtransporter. Samtidigt återstår att besvara hur behoven ska signaleras och eventuellt loggas för att öka spårbarheten. Arbetssättet kan anses funktionellt med avseende på att personalresurser används mer effektivt utifrån kompetens samtidigt som antalet icke värdeskapande transportaktiviteter reduceras.

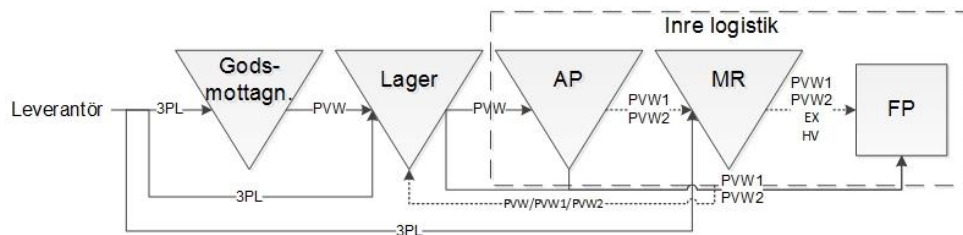
8.2 Rekommendation

8.2.1 Föreslagen lösning

Den föreslagna lösningen grundar sig i den simuleringsmodell som genom arbetet gått under namnet Konfiguration 4. Lösningen innebär att en truckresurs, PVW1, opereras av logistikavdelningen och ansvar för merparten av de interna materialtransporterna som kräver motviktstruck inom i huvudsak befintliga maskinlinjer. Undantagen är samtliga materialtransporter till EX samt byte av fyllprofil i HV. Därtill innebär lösningen att en truckresurs, PVW2, som också den opereras av logistikavdelningen, sköter samtliga materialtransporter inom området för tilltänkt kapacitetsökning. Dessutom sker förändringar i materialhanteringen i form av att en stor del av dagens materialrutor elimineras. Istället sker merparten av materialtransporterna som tidigare gått via en materialruta direkt från accesspunkt till förbrukningspunkt.

En detaljerad summering för materialflödet som den föreslagna lösningen innebär återfinns i Bilaga F, tabellerna F.1-F.5 där varje materialförflyttning mellan två materialpunkter återfinns samt vilken respektive truck som har ansvar för att utföra förflyttningen. Den föreslagna lösningen skiljer sig dock från det som redovisas i tabellerna i Bilaga F på två punkter. Transporten som enligt tabellen utförs av truckresurs SP existerar inte, vilket innebär att denna truckresurs inte behövs. Detta är som nämnts tidigare ett beslut som tagits på företaget efter att modellerna för detta arbete konstruerades. Den andra skillnaden gäller transporten som enligt tabellen utförs av truckresurs AR vid en av förbrukningspunkterna inom AR. Rekommendationen är att, i enlighet med resonemanget i avsnitt 7.6.3, införa en lösning för denna transport som liknar de för övriga AR, vilket eliminerar behovet av en truck för att utföra transporten.

För att visualisera det som kan utläsas mer detaljerat i tabellerna i Bilaga F presenteras materialflödet för den föreslagna lösningen i form av en Future State Map (FSM), se Figur 8.1.



Figur 8.1 - Future State Map som beskriver materialflödet för den föreslagna lösningen.

Den föreslagna lösningen är enligt de resultat som nåtts genom simuleringar godtagbar enligt förutsättningen att den klarar av att tillgodose befintliga försörjningskrav, givet vissa antaganden som redovisas i avsnitt 8.2.2. Antalet verksamma truckar som används för materialtransporter reduceras enligt lösningen från nuvarande nio till fyra stycken, varav en av två nya truckar, PVW2, med största säkerhet tillkommer även om inga andra ändringar görs p.g.a. att den ska användas för att tillgodose ett ännu icke existerande transportbehov, vilket senare tillkommer som en konsekvens av ökad produktionskapacitet.

8.2.2 Områden som kräver ytterligare utredning

En förutsättning för att lösningsförslaget som beskrivs ovan ska kunna implementeras i full skala är att konsekvenserna av en implementation utreds ytterligare. Dessa kan fokuseras till ett antal områden vilka presenteras i detta avsnitt.

Som följer ur diskussionen i avsnitt 7.6.5 om truckarnas övriga användningsområden, så lyder rekommendationen att grundligt utreda vilka aktiviteter som förekommer där truck används utöver materialtransporter vid respektive maskinlinje. Vidare bör en diskussion föras kring vilka, om några, av dessa aktiviteter som har ett absolut behov av truckanvändning eller om det finns alternativa lösningar, som dessutom skulle innebära ett säkrare och eller effektivare utförande av aktiviteterna i fråga. Här bör hänsyn också tas till att det kan finnas fri kapacitet hos de PVW-opererade truckresurserna PVW1 och PVW2 som kan stödja produktionen med diverse aktiviteter.

Materialhanteringen enligt den föreslagna lösningen ställer nya krav vad gäller kommunikation mellan inblandade parter, vilket diskuteras i avsnitt 7.6.4. Eliminering av materialrutor innebär reducerade lagernivåer vid maskinlinjerna samtidigt som en ensam truckresurs har ansvar för att utföra materialtransporterna till berörda maskinlinjer. Detta innebär att det blir nödvändigt att ha ett väl utarbetat system för dels hur och när materielbehov signaleras och dels för att signalera till den

inre logistikern att material finns att hämta vid en accesspunkt samt vilken maskinlinje som efterfrågar respektive material. Rekommendationen är att utreda hur ett effektivt arbetssätt kan appliceras som gör att den inre logistikern vet vilka materialtransporter som väntar på att utföras samt mellan vilka materialpunkter transporten gäller.

Som förklaras i avsnitt 5.4.3 så är en förutsättning för att lösningsförslaget ska fungera i praktiken att orderkvantitet och beställningspunkt för förbrukningspunkterna dimensioneras så att de kompenserar för tiden från att en beställning läggs till dess att yttre logistiker har levererat materialet till accesspunkten. Generellt bör en $(S - 1, S)$ beställningspolicy appliceras där S som regel tilldelas värdet $S = 2$ för att på så sätt minimera mängden material vid maskinlinjerna samtidigt som tillgängligheten av produktionsmaterial vid respektive maskinlinje inte riskeras upphöra. Eftersom förbrukningspunkterna generellt är små i dagsläget så är ytan i många fall begränsad, varför det behöver utredas om det går att dimensionera upp respektive förbrukningspunkts storlek så att den möjliggör för lagring av material enligt beställningspolicy. De materialtyper för vilka S av olika skäl inte kan överstiga $S = 1$ skall enligt resultat från simulerad modell klara av en sådan policy. Enligt resultaten från simuleringarna kan i enstaka fall även $S = 3$ behöva tillämpas för att säkra tillgängligheten av dessa materialtyper. Vidare finns det i modellen några materialtyper med hög förbrukning där materialrutan behållits och till vilka en (R, Q) beställningspolicy bör användas med individuellt satta beställningspunkter och orderkvantiteter.

Ett antagande som gjorts och som ligger som grund för att lösningsförslaget skall fungera är, som diskuteras i avsnitt 7.4.2, att den yttre logistiken klarar av att den högre transportfrekvensen som följer från att materialrutor elimineras samt från resonemanget om förbrukningspunkterna i stycket här ovan. Bedömningen som gjorts är att frekvensen förvisso ökar men att tidsåtgången för varje transport samtidigt minskar till den grad att den totala arbetsbördan ligger inom rimliga gränser. Rekommendationen är likväl att göra en egen utredning om vilken arbetsbelastning lösningen innebär för den yttre logistiken.

Den ekonomiska analys som genomförts ger indikationer på att lösningen bör kunna ses som kostnadseffektiv. Det är dock inte möjligt att utifrån de faktiska beräkningarna som har kunnat göras i kostnadsanalysen fastställa att så är fallet. Därför rekommenderas att en mer detaljerad kostnadsanalys genomförs som även inkluderar kostnadsparametrar som inte har kunnat uppskattas i arbetet, exempelvis kostnad för ny personal, lagerhållningskostnader samt från avsnitt 7.6.6 tillfört värde av frigjord operatörspersonal vid maskinlinjerna.

8.3 Analysering av komplexa system med begränsad tillgänglighet på data

I utbildningssammanhang är problem konstruerade på så sätt att en lösning alltid går att hitta, som regel med de metoder och verktyg som utbildningen tidigare försett en med. Exempel består av given data som i många fall är tillrättalagd så att det lätt går att inse om en framtagen lösning är rätt eller fel. I verkliga system kan tillgängligheten på data i många fall vara begränsad och i de fall de finns att tillgå är det inte självklart att de är en korrekt återspeglning av det de ämnar beskriva. En nyckel för framgångsrikt genomförande av detta examensarbete var att, vid avsaknad av data eller då osäkerheten i tillgänglig data var mycket stor, kunna väga samman flera olika data samt identifiera beroende och samspel mellan tillgänglig data och för modellen efterfrågade parametrar. Nedan ges ett exempel på hur detta kan tillämpas med exempel från det här arbetet. Vid konstruktion av den modell, beskriven i avsnitt 5.1, som ligger till grund för arbetet behövdes bland annat följande fastställas;

- Finns det ett transportbehov?
- Hur ofta uppstår ett transportbehov, d.v.s. hur lång tid passerar mellan två olika transportbehov av samma sort?
- Hur lång tid tar det att utföra själva transportaktiviteten, d.v.s. vad är transporttiden?

Vad som kunde konstateras var att dessa frågor till stor del beror av samma ingångsvärden och som en följd av det, att de också beror av varandra. I Tabell 8.1 görs ett försök att identifiera och illustrera de beroenden som finns mellan ingående parametrar som används för framtagning av ingångsvärden till modellen.

Tabell 8.1 – Beroendematris för framtagning av modellparametrar.

Beroendematris för framtagning av modellparametrar				
Beräkningsparameter	Parameterberoende	Modellparameter		
		Transportbehov	Tid mellan transportbehov	Transporttid
A. Ingående materialtyper	B,C,G	x		
B. Krav på transportresurs	A,E,G	x		
C. Materialförbrukningshastighet		x	x	
D. Kvantitet per transportbehov	C,F		x	x
E. Kvantitet per lastbärare		x	x	x
F. Beställningspolicy	C,D		x	x
G. Kapacitet truck	E	x		x

En viktig del av databehandlingen var att först förvärva kunskaper om hur det övergripande systemet, d.v.s. produktionssystemet, fungerar, framförallt avseende materialförbrukningen vid respektive maskinlinje. Genom att förstå systemet på en så

pass detaljerad nivå öppnades en möjlighet som varit av stor vikt för arbetets genomförande. Förståelsen för systemet möjliggjorde att en mängd olika antaganden kunde göras för att förenkla modellen och göra den hanterbar i ett simuleringsperspektiv. Som visat genom Tabell 8.1 finns ett omfattande beroende mellan de olika parametrar som har använts till skapandet av modellen. Förutsatt att tillräcklig förståelse för systemet finns går det att utnyttja de olika beroendena genom att generalisera och kompensera för dem sinsemellan. Nedan följer ett par exempel på hur detta har gjorts i det här arbetet.

När de ingående materialen studeras samt deras respektive förbrukningshastigheter och transporttider, kan det hända att några materialtyper aldrig används samtidigt vid en viss typ av maskin samtidigt som respektive materialtyps förbrukningshastighet och transporttid är relativt lika. När en sådan situation uppstår kan det vara fördelaktigt att låta de materialtyperna representeras av ett material i modellen för att göra den mindre och lättare att hantera. Beroende på hur systemet ser ut och värdena på respektive transporttid och tid mellan transportbehov kan det tänkas att approximationen går att göra även om tiderna inte är så lika. För det system som studerats i detta arbete skulle en sådan approximation kunna vara användbar om den materialtyp med kortast tid mellan det att nya transportbehov uppstår har ett värde för det som överstiger ett dygn samtidigt som transporttiden är i sammanhanget försumbar, uppskattningsvis tio minuter eller kortare.

Som regel kunde det konstateras att tiden för att utföra en transport är mycket mindre än tiden mellan två olika transportbehov för samma materialtyp. Medan transporttiderna i många fall hanteras i enstaka minuter går det som regel många timmar, ibland dygn, mellan det att ett nytt transportbehov för samma material uppstår. Data för transporttiderna är i grunden uppskattad av maskinoperatörer och kan i det verkliga systemet variera mycket beroende på vilken operatör som utför en viss transport. För att hantera variationen i transporttid kan det vara lämpligt att välja ett högre värde även om det är mer troligt att den verkliga transporttiden i genomsnitt är mycket mindre. Detta gäller förutsatt att transporttiden är närmast försumbar i jämförelse med tiden mellan det att transportbehov för materialet uppstår. Om transporttiden och tiden mellan det att transportbehov uppstår närmar sig varandra blir betydelsen av värdena som sätts högre samtidigt som möjligheten att kompensera mellan tiderna ökar. Om transporttiden ges ett värde som troligtvis är något överskattad eller underskattad kan tiden mellan behoven justeras i motsatt riktning, något som har utnyttjats vid ett antal tillfällen vid framtagning av modellen till det här arbetet.

I arbetet användes en triangelfördelning för att beskriva tiden mellan två transportbehov av samma materialtyp och maskin. Triangelfördelningen var en utav ett fåtal fördelningar som föreslogs i teorin just för fall där data innehåller stor osäkerhet och ansågs samtidigt vara enkel att arbeta med utifrån ett modellkonstruktionsperspektiv. För att bestämma fördelningsparametrarna syntetiserades data från två olika källor. Dels togs materialförbrukningshastigheter ut från affärssystemet, dels hämtades uppskattningar om materialförbrukningshastigheten från respektive maskins maskinägare. För att göra mängden data från affärssystemet hanterbar valdes först ett antal produkter ut som ansågs kunna representera hela produktsortimentet på ett tillfredsställande sätt, varefter data för dessa utvalda produkter studerades och analyserades noggrant. Uppskattningar från maskinägarna bestod av tre tal, en minimum-, en maximum- samt en mest trolig materialförbrukningshastighet. För att hantera den faktiska variation som fanns togs hänsyn till dels hur mycket förbrukningshastigheten faktiskt skiljde mellan olika produkter men också hur mycket av respektive produkt som kunde förväntas produceras. För att ta fram de uppskattningarna studerades samtliga fem scenarier som användes i simuleringarna. Precis som mellan transporttid och tiden mellan transportbehov var det här möjligt att kompensera och justera fördelningsparametrarna utefter en mängd olika data som i sammanhanget ändå beror av varandra till stor del.

Sammanfattningsvis vill författarna trycka på hur data inom ett system kan vara beroende av varandra till olika grad. Speciellt i de fall data är osäker kan dessa beroenden utnyttjas för att skapa användbar data som senare förhoppningsvis också kan valideras genom exempelvis simulering.

9 Litteraturförteckning

ABB AB High Voltage Cables. (2015). Produktionsflöde HVC [Omarbetad]. Karlskrona, Blekinge, Sverige: ABB AB High Voltage Cables.

About/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/about> den 17 03 2015

Axsäter, S. (2006). *Inventory Control* (2:a uppl.). New York, NY, USA: Springer Science+Business Media, LLC.

Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation* (4:e uppl.). Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education Inc.

Bartholdi, III, J. J., & Hackman, S. T. (2010). *Warehouse & Distribution Science* (0,93:e uppl.). Atlanta, GA, USA: The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.

Bergman, B., & Klefsjö, B. (2010). *Quality from Customer Needs to Customer Satisfaction* (3:e uppl.). Lund, Skåne, Sverige: Studentlitteratur AB.

Cables/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/systems/high-voltage-cables/cables> den 17 03 2015

Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att Genomföra Examensarbete* (1:a uppl.). Lund, Skåne, Sverige: Studentlitteratur AB.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research* (10:e uppl.). New York, NY, USA: McGraw-Hill Education.

HVAC Submarine cables/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/systems/high-voltage-cables/cables/hvac-extruded-cables/hvac-submarine-cables> den 17 03 2015

HVDC MI cables/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/systems/high-voltage-cables/cables/hvdc-mi-cables> den 17 03 2015

HVDC Submarine cables/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/systems/high-voltage-cables/cables/hvdc-extruded-cables/hvdc-submarine-cables> den 17 03 2015

HVDC Underground cables/ABB. (2015). Hämtat från new.abb.com: <http://new.abb.com/systems/high-voltage-cables/cables/hvdc-extruded-cables/hvdc-underground-cables> den 17 03 2015

Imagine That Inc. (2013). *Extendsim Overview*. Hämtat från extendsim.com: http://www.extendsim.com/prods_overview.html den 05 05 2015

Jonsson, P., & Mattson, S.-A. (2005). *Logistik - Läran om effektiva materialflöden* (1:a uppl.). Lund, Skåne, Sverige: Studentlitteratur AB.

Law, A. M., & Kelton, D. W. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (3:e uppl.). New York, NY, USA: McGraw-Hill Education.

Nash, M. A., & Poling, S. R. (2008). *Mapping the Total Value Stream - A Complete Guide for Production and Transactional Processes* (1:a uppl.). New York, NY, USA: Taylor & Francis Group, LLC.

Ståhl, J.-E. (2010). *Industriella Tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi* (2:a uppl.). Lund, Skåne, Sverige: Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.

Bilaga A

Intervjuguide för datainsamling vid maskinavsnitten

Följande frågor skall ställas till och besvaras av minst en maskinoperatör tillhörande respektive maskinavsnitt. Vid behov kan befintliga frågor omformuleras och nya följdfrågor tillkomma.

För varje WC

1. Från och till vilken accesspunkt transporteras material?
2. Vilka materialtyper hanteras i WC?
3. Hur många materialrutor finns vid WC och var är dessa fysiskt placerade?
4. Hur många förbrukningspunkter finns vid WC och var är dessa fysiskt placerade?
5. Vilka materialtyper hanteras vid respektive materialruta/förbrukningspunkt?
6. Vilket/Vilka WC tillhör trucken/truckarna som används inom WC?
7. Används samma truck till fler maskinlinjer? Vilka?
8. Används trucken till något annat än materialtransport inom WC? Vad?
9. Är trucken alltid tillgänglig? Orsak om inte?
10. Var är trucken som används inom WC vanligtvis placerad när den inte används? (Alltid samma ställe eller varierar det?)
11. Hur smidigt/osmidigt/tidskrävande/komplext uppfattas arbetet med att transportera material från MR till FS?

För varje materialtyp

- A. Mellan vilka punkter sker transporter till och från? (punkter = Accesspunkt, Materialruta, Förbrukningspunkt)
- B. Finns det ett returflöde?
- C. Kräver transporten truck?
- D. Sker det en förflyttning av materialet i affärssystemet?
- E. Är transporten av materialet ett yttre ställ (kan utföras medan maskinen körs)?
- F. Uppskattningsvis hur lång tid tar det att ta sig till trucken, starta den och köra till den materialpunkt man avser?
- G. Uppskattningsvis hur lång tid tar en transport (exkl. ställtid)?
- H. Uppskattningsvis hur lång tid tar det att ställa tillbaka trucken, stänga av och ta sig till sin maskinposition?
- I. Hur många pallar transporteras med truck åt gången?
- J. Hur många pallar kan transporteras med truck åt gången?
- K. Måste transporten utföras med truck (alt. handtruck)?

- L. När kan behov signaleras?
- M. Hur lång tid från signal till att behov behöver vara tillgodosett för att inte stanna produktion?

Bilaga B

Simuleringsdata Nulägesmodell

Tabell B.1 – Simuleringsdata Nuläge: Scenario 1. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Nuläge - Scenario 1																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andel observationer		
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid. 99% konf.	Sticksprovs-varians	1-sid. 99% konf.	Medel	Sticksprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd		KA	2	1,000	10	18	12	1,034	0,001	0,001	1,035	0,001	100,0%	100,0%	100,0%	
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	2	0,167	16	40	28	0,204	0,002	0,003	0,205	0,004	100,0%	100,0%	100,0%	
3	KA	SvällgrenCompound	MR->FP	KA	2	0,033	30	75	55	0,071	0,004	0,004	0,068	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
4	KA	Segmentledarband	MR->FP	KA	2	0,033	16	32	24	0,072	0,002	0,005	0,073	0,008	100,0%	100,0%	100,0%	
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	2	0,033	30	60	40	0,070	0,003	0,003	0,072	0,004	100,0%	100,0%	100,0%	
6	EX	Isolerings	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,404	0,003	0,009	0,406	0,009	100,0%	100,0%	100,0%	
7	EX	HL/YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,422	0,003	0,012	0,422	0,012	100,0%	100,0%	100,0%	
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,066	0,000	0,000	0,066	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
9	EB	Bly	MR->FP	EB	1	0,167	6,5	7	6,8	0,201	0,001	0,000	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	1	0,017	4,5	10	7,5	0,053	0,000	0,000	0,053	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
14	EB	Bly	MR->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
15	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,701	0,001	0,000	0,701	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,704	0,002	0,002	0,705	0,003	100,0%	100,0%	100,0%	
18	AR	Armeringsstål***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,066	0,006	0,026	2,066	0,025	100,0%	100,0%	100,0%	
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,025	6	10	8	0,290	0,014	0,259	0,274	0,251	100,0%	100,0%	100,0%	
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,025	72	96	80	0,244	0,044	0,196	0,213	0,162	100,0%	100,0%	100,0%	
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,050	30	50	40	0,321	0,030	0,269	0,327	0,269	100,0%	100,0%	100,0%	
22	AR	Armeringsstål	Lager->FP	AR	2	1,250	12	20	16	1,340	0,009	0,071	1,361	0,098	100,0%	100,0%	100,0%	
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,033	4	16	10	0,182	0,011	0,126	0,170	0,118	100,0%	100,0%	100,0%	
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,033	40	72	48	0,174	0,018	0,120	0,175	0,113	100,0%	100,0%	100,0%	
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,067	40	60	55	0,213	0,020	0,126	0,205	0,148	100,0%	100,0%	100,0%	
26	AR	Stålband	MR->FP	AR	2	0,067	4	6	5	0,211	0,008	0,121	0,238	0,144	100,0%	100,0%	100,0%	
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	2	0,067	24	36	30	0,220	0,013	0,132	0,240	0,152	100,0%	100,0%	100,0%	
28	AR	Armeringsstål	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
32	AR	Armeringsstål	MR->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
33	AR	Gun, Gunväv	MR->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	1	0,167	1,5	3	2,5	0,201	0,000	0,000	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
35	EP	Hälvtelare	MR->FP	EP/SM	1	0,167	16	37	28	0,208	0,010	0,001	0,210	0,001	100,0%	100,0%	100,0%	
36	SM	Stämblad	MR->FP	EP/SM	2	1,333	100	140	120	1,367	0,000	0,000	1,367	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabell B.2 – Simuleringsdata Nuläge: Scenario 2. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Nuläge – Scenario 2																	
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Förhållningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer				
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99%	Stickprovs-varians	1-std. 99%	Stickprovs-varians	Medel	Stickprovs-varians	< Min
1	KA	Tråd	Lager->FP	KA	2	1,000	10	18	12	1,035	0,001	0,001	0,035	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	2	0,167	16	40	28	0,206	0,001	0,005	0,001	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	KA	2	0,033	30	75	55	0,073	0,003	0,005	0,002	0,075	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	KA	2	0,033	16	32	24	0,071	0,002	0,005	0,003	0,070	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	2	0,033	30	60	40	0,073	0,003	0,006	0,002	0,072	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,405	0,002	0,009	0,000	0,406	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLLYHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,422	0,002	0,012	0,001	0,422	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	100,0%	100,0%	100,0%
9	EB	Bly	MR->FP	EB	1	0,167	6,5	7	6,8	0,201	0,001	0,000	0,000	0,202	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	1	0,017	4,5	10	7,5	0,053	0,000	0,000	0,000	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,298	0,005	0,047	0,003	0,303	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,168	0,007	0,047	0,003	0,173	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,169	0,010	0,047	0,006	0,165	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,123	0,008	0,056	0,007	1,125	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,846	0,012	0,100	0,014	0,826	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,701	0,001	0,000	0,001	0,700	100,0%	100,0%	100,0%
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,707	0,004	0,003	0,002	0,705	100,0%	100,0%	100,0%
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,053	0,007	0,016	0,006	2,061	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,025	6	10	8	0,265	0,010	0,236	0,018	0,280	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,025	72	96	80	0,258	0,053	0,229	0,073	0,280	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,050	30	50	40	0,297	0,028	0,238	0,038	0,317	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	AR	2	1,250	12	20	16	1,319	0,012	0,047	0,017	1,335	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,033	4	16	10	0,151	0,012	0,085	0,016	0,170	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,033	40	72	48	0,153	0,018	0,087	0,024	0,173	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,067	40	60	55	0,191	0,023	0,094	0,029	0,173	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR->FP	AR	2	0,067	4	6	5	0,189	0,012	0,093	0,017	0,211	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	2	0,067	24	36	30	0,182	0,010	0,085	0,017	0,197	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,402	0,011	0,059	0,007	1,414	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,541	0,013	0,111	0,007	0,546	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,244	0,011	0,114	0,012	0,241	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,251	0,015	0,118	0,013	0,277	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	AP->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,628	0,004	0,071	0,003	0,635	99,4%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,936	0,017	0,091	0,014	0,938	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	1	0,167	1,5	3	2,5	0,201	0,000	0,001	0,000	0,202	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	EP/SM	1	0,167	16	37	28	0,207	0,001	0,001	0,000	0,207	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemålad	MR->FP	EP/SM	2	1,333	100	140	120	1,367	0,000	0,000	0,000	1,367	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell B.3 – Simuleringsdata Nuläge: Scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Nuläge - Scenario 3																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	Stickprovs-varians	1-std. 99% konf.	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd	Lager->FP	KA	2	1,000	10	18	12	1,035	0,001	0,002	0,001	1,035	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	2	0,167	16	40	28	0,206	0,003	0,006	0,004	0,201	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	KA	2	0,033	30	75	55	0,073	0,002	0,005	0,003	0,072	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	KA	2	0,033	16	32	24	0,071	0,002	0,005	0,003	0,069	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	2	0,033	30	60	40	0,071	0,002	0,003	0,002	0,072	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,001	0,010	0,000	0,412	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLLYHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,003	0,014	0,001	0,430	0,014	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
9	EB	Bly	MR->FP	EB	1	0,167	6,5	7	6,8	0,201	0,001	0,000	0,000	0,200	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	1	0,017	4,5	10	7,5	0,053	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,301	0,007	0,009	0,003	0,296	0,047	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,170	0,007	0,049	0,004	0,178	0,054	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,173	0,010	0,051	0,006	0,168	0,043	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,121	0,011	0,052	0,008	1,124	0,052	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,851	0,016	0,104	0,011	0,859	0,111	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,702	0,001	0,001	0,000	0,702	0,001	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,704	0,003	0,001	0,001	0,702	0,001	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,055	0,004	0,017	0,004	2,050	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,025	6	10	8	0,263	0,018	0,234	0,022	0,264	0,255	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,025	72	96	80	0,280	0,051	0,251	0,064	0,284	0,304	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,050	30	50	40	0,286	0,030	0,233	0,042	0,252	0,179	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	AR	2	1,250	12	20	16	1,343	0,008	0,075	0,011	1,342	0,073	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,033	4	16	10	0,188	0,011	0,133	0,013	0,187	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,033	40	72	48	0,186	0,021	0,135	0,025	0,202	0,123	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,067	40	60	55	0,208	0,020	0,116	0,036	0,206	0,102	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR->FP	AR	2	0,067	4	6	5	0,219	0,010	0,131	0,011	0,213	0,128	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	2	0,067	24	36	30	0,215	0,019	0,125	0,025	0,201	0,102	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,412	0,011	0,065	0,009	1,406	0,062	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,541	0,020	0,113	0,017	0,553	0,115	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,249	0,008	0,115	0,011	0,234	0,092	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,251	0,009	0,119	0,011	0,252	0,102	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,629	0,005	0,072	0,005	0,625	0,068	99,5%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,945	0,008	0,104	0,010	0,941	0,102	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	1	0,167	1,5	3	2,5	0,201	0,001	0,000	0,000	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	EP/SM	1	0,167	16	37	28	0,207	0,004	0,001	0,000	0,204	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemålad	MR->FP	EP/SM	2	1,333	100	140	120	1,367	0,000	0,000	0,000	1,367	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell B.4 – Simuleringsdata Nuläge: Scenario 4. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Nuläge - Scenario 4																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Förhållningsparametrar (h)			Servicetid (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99%	Stickprovs-varians	1-std. 99% konf.	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd	Lager->FP	KA	2	1,000	10	18	12	1,035	0,001	0,001	0,000	1,035	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	2	0,167	16	40	28	0,205	0,002	0,004	0,002	0,202	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	KA	2	0,033	30	75	55	0,072	0,003	0,004	0,003	0,073	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	KA	2	0,033	16	32	24	0,072	0,002	0,005	0,002	0,073	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	2	0,033	30	60	40	0,071	0,001	0,003	0,001	0,072	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,410	0,002	0,010	0,000	0,409	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLLYHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,000	0,429	0,015	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
9	EB	Bly	MR->FP	EB	1	0,167	6,5	7	6,8	0,201	0,000	0,000	0,000	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	1	0,017	4,5	10	7,5	0,053	0,000	0,000	0,000	0,054	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,303	0,006	0,050	0,003	0,305	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,173	0,005	0,050	0,002	0,176	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,170	0,011	0,049	0,006	0,182	0,054	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,128	0,009	0,060	0,008	1,134	0,072	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,845	0,014	0,101	0,014	0,841	0,100	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,702	0,001	0,001	0,001	0,702	0,001	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,704	0,003	0,002	0,002	0,704	0,002	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,062	0,004	0,022	0,003	2,067	0,025	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,025	6	10	8	0,281	0,017	0,254	0,021	0,324	0,298	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,025	72	96	80	0,272	0,024	0,241	0,032	0,292	0,248	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,050	30	50	40	0,289	0,031	0,273	0,043	0,323	0,240	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	AR	2	1,250	12	20	16	1,342	0,010	0,074	0,014	1,343	0,078	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,033	4	16	10	0,185	0,011	0,129	0,015	0,189	0,136	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,033	40	72	48	0,189	0,020	0,129	0,028	0,202	0,163	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,067	40	60	55	0,211	0,025	0,124	0,035	0,203	0,165	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	AR	2	0,067	4	6	5	0,221	0,011	0,132	0,014	0,227	0,141	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	2	0,067	24	36	30	0,215	0,014	0,123	0,020	0,186	0,174	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,411	0,007	0,064	0,007	1,416	0,072	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,557	0,019	0,127	0,021	0,562	0,115	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,246	0,008	0,112	0,009	0,257	0,118	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,258	0,010	0,121	0,009	0,249	0,111	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,633	0,005	0,075	0,005	0,632	0,073	99,7%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,940	0,009	0,099	0,016	0,928	0,086	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	1	0,167	1,5	3	2,5	0,201	0,001	0,000	0,001	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	EP/SM	1	0,167	16	37	28	0,205	0,003	0,001	0,000	0,208	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemålad	MR->FP	EP/SM	2	1,333	100	140	120	1,367	0,001	0,000	0,000	1,367	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell B.5 – Simuleringsdata Nuläge: Scenario 5. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Nuläge - Scenario 5																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (t)			Servicetid* (t)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	Stickprovs-varians	1-std. 99% konf.	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ	
1	KA	Tråd	Lager->FP	KA	2	1,000	9,5	17,1	11,4	1,035	0,001	0,002	0,001	1,036	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	KA	2	0,167	15,2	38	26,6	0,207	0,001	0,006	0,001	0,209	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	KA	2	0,033	28,5	71,25	52,25	0,072	0,003	0,004	0,003	0,071	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	KA	2	0,033	15,2	30,4	22,8	0,071	0,002	0,004	0,002	0,068	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	KA	2	0,033	28,5	57	38	0,072	0,003	0,005	0,003	0,079	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,09	2,66	2,28	0,411	0,002	0,010	0,000	0,410	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLLYHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,225	6,175	5,7	0,431	0,003	0,014	0,001	0,434	0,015	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	SP	2	0,033	0,855	1,14	0,95	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
9	EB	Bly	MR->FP	EB	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,201	0,000	0,000	0,000	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	EB	1	0,167	4,275	9,5	7,125	0,053	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,309	0,008	0,052	0,004	0,306	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,275	9,5	7,125	0,180	0,006	0,052	0,003	0,180	0,056	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	9,5	19,95	15,2	0,180	0,011	0,052	0,006	0,167	0,045	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->MR	PVW2	2	1,000	7,6	15,2	11,4	1,128	0,008	0,060	0,008	1,120	0,049	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PVW2	2	0,667	22,8	34,2	26,6	0,858	0,016	0,107	0,014	0,841	0,101	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	3,8	7,6	4,75	0,702	0,001	0,001	0,000	0,702	0,001	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	7,6	22,8	11,4	0,707	0,005	0,003	0,003	0,703	0,002	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	AR	2	2,000	7,6	15,2	9,5	2,064	0,003	0,024	0,003	2,059	0,021	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,025	5,7	9,5	7,6	0,291	0,010	0,260	0,012	0,282	0,250	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,025	68,4	91,2	76	0,286	0,027	0,253	0,026	0,287	0,241	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,050	28,5	47,5	38	0,318	0,027	0,263	0,032	0,285	0,233	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	AR	2	1,250	11,4	19	15,2	1,344	0,012	0,075	0,015	1,326	0,055	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	AR	2	0,033	3,8	15,2	9,5	0,193	0,015	0,144	0,021	0,168	0,119	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	AR	2	0,033	38	68,4	45,6	0,189	0,012	0,138	0,024	0,166	0,095	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	AR	2	0,067	38	57	52,25	0,232	0,020	0,151	0,020	0,232	0,158	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR->FP	AR	2	0,067	3,8	5,7	4,75	0,223	0,013	0,133	0,014	0,213	0,120	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	AR	2	0,067	22,8	34,2	28,5	0,227	0,016	0,138	0,022	0,195	0,101	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	17,1	28,5	22,8	1,425	0,013	0,072	0,011	1,421	0,067	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	22,8	45,6	30,4	0,563	0,012	0,124	0,011	0,567	0,136	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	11,4	22,8	15,2	0,262	0,015	0,125	0,014	0,271	0,142	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	15,2	28,5	19	0,265	0,011	0,128	0,011	0,273	0,132	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->MR	PVW2	2	0,500	1,9	3,135	2,565	0,639	0,008	0,080	0,007	0,631	0,074	99,5%	100,0%	99,9%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->MR	PVW2	2	0,750	19	28,5	22,8	0,951	0,014	0,104	0,012	0,944	0,095	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	EP/SM	1	0,167	1,425	2,85	2,375	0,201	0,001	0,001	0,001	0,201	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	EP/SM	1	0,167	15,2	35,15	26,6	0,206	0,003	0,001	0,000	0,206	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemålad	MR->FP	EP/SM	2	1,333	95	133	114	1,367	0,000	0,000	0,000	1,367	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Bilaga C

Simuleringsdata Konfiguration 1

Tabell C.1 – Simuleringsdata Konfiguration 1: Scenario 1. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 1 – Scenario 1																	
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparameter (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)		Andri observationer		
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	1-std. 99% konf.	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd		PVW1	2	1,000	10	18	12	1,221	0,014	0,186	1,242	0,199	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	SVällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,456	0,024	0,249	0,489	0,284	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SVällband/Compound	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,331	0,030	0,263	0,373	0,317	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentlutarband	MR->FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,332	0,026	0,260	0,367	0,316	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,342	0,022	0,270	0,408	0,358	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,405	0,002	0,009	0,405	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HL/YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,422	0,003	0,013	0,428	0,014	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (alla typer)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,286	0,019	0,219	0,296	0,227	89,4%	93,2%	90,9%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,355	0,011	0,101	0,339	0,106	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,190	0,012	0,103	0,195	0,108	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	EB	SVällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	EB	Bly	MR->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
15	EB	Mantel, SVällband	MR->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,915	0,024	0,226	0,910	0,224	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,891	0,033	0,196	0,916	0,238	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråd***	MR->FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,162	0,012	0,085	2,154	0,070	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,475	0,017	0,457	0,446	0,430	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,475	0,057	0,445	0,434	0,375	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,501	0,047	0,447	0,496	0,366	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	Lager->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,435	0,015	0,139	1,453	0,163	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,300	0,020	0,229	0,315	0,234	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,311	0,023	0,258	0,343	0,252	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,334	0,018	0,224	0,336	0,252	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,331	0,015	0,224	0,342	0,226	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,338	0,019	0,235	0,354	0,246	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
32	AR	Armeringsstråd	MR->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
33	AR	Gunväv	MR->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,337	0,043	0,105	0,376	0,153	97,1%	100,0%	100,0%
35	EP	Haltvarelse	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,318	0,058	0,084	0,233	0,092	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skammal	MR->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,361	0,448	0,170	1,727	0,457	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell C.2 – Simuleringsdata Konfiguration 1: Scenario 2. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 1 - Scenario 2																	
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer				
							Min	Max	Typ	Medell	1-sid. 99% konf.	Stickprovs-varians	Medell	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,191	0,010	0,140	1,214	0,174	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,427	0,017	0,199	0,458	0,237	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,310	0,027	0,220	0,332	0,222	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,305	0,011	0,219	0,313	0,237	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,299	0,024	0,208	0,304	0,228	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,405	0,002	0,009	0,404	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HL,YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,423	0,002	0,013	0,421	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,255	0,011	0,174	0,275	0,205	90,6%	94,2%	91,8%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,317	0,011	0,081	0,336	0,099	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,172	0,012	0,083	0,194	0,107	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,298	0,008	0,047	0,288	0,040	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,173	0,005	0,051	0,170	0,047	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,174	0,010	0,049	0,178	0,047	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->NR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,121	0,009	0,052	1,130	0,060	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->NR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,844	0,015	0,101	0,845	0,112	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,872	0,030	0,145	0,954	0,246	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,893	0,037	0,161	2,177	0,416	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	PVW1	2	2,000	6	16	10	2,163	0,021	0,087	0,246	0,086	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,492	0,028	0,462	0,507	0,486	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,486	0,046	0,478	0,586	0,607	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,534	0,047	0,487	0,523	0,380	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,434	0,014	0,128	1,457	0,135	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,294	0,013	0,205	0,309	0,229	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,310	0,038	0,215	0,343	0,265	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,350	0,018	0,233	0,318	0,194	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,352	0,011	0,210	0,348	0,252	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,343	0,028	0,228	0,360	0,231	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,408	0,018	0,063	1,405	0,064	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,538	0,018	0,109	0,560	0,116	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,333	12	24	16	0,243	0,013	0,112	0,246	0,115	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,240	0,015	0,106	0,255	0,125	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->NR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,625	0,006	0,067	0,628	0,067	99,8%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->NR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,927	0,014	0,088	0,945	0,101	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,323	0,009	0,084	0,326	0,098	98,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,331	0,032	0,089	0,348	0,199	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemmad	MR->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,542	0,029	0,152	1,574	0,155	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell C.3 – Simuleringsdata Konfiguration 1: Scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 1 - Scenario 3																	
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer				
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid. 99% konf.	Stickprovs-varians	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,246	0,023	0,214	1,217	0,172	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,490	0,042	0,301	0,452	0,244	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,367	0,027	0,301	0,364	0,236	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,363	0,025	0,298	0,371	0,290	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,354	0,040	0,285	0,352	0,226	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerand	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,001	0,010	0,409	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HL,YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,427	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,313	0,022	0,256	0,309	0,245	88,5%	92,7%	90,1%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,350	0,016	0,121	0,339	0,105	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,209	0,017	0,127	0,199	0,113	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,299	0,005	0,048	0,301	0,050	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,173	0,006	0,049	0,167	0,049	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,170	0,011	0,049	0,157	0,042	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->NR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,120	0,008	0,054	1,121	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->NR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,843	0,022	0,095	0,851	0,078	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fylprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,950	0,038	0,256	0,945	0,237	100,0%	100,0%	100,0%
17	HV	Fylprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,966	0,068	0,279	0,979	0,267	100,0%	100,0%	100,0%
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,173	0,010	0,091	2,182	0,092	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,503	0,015	0,474	0,533	0,509	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,500	0,055	0,450	0,468	0,393	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,527	0,039	0,470	0,552	0,362	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,500	0,021	0,217	1,477	0,199	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,387	0,025	0,331	0,360	0,284	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,375	0,047	0,295	0,341	0,260	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,395	0,046	0,291	0,419	0,266	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,409	0,025	0,316	0,380	0,273	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,425	0,050	0,320	0,401	0,311	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,406	0,011	0,063	1,425	0,069	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,543	0,015	0,111	0,548	0,129	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,333	12	24	16	0,253	0,005	0,116	0,250	0,115	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,259	0,014	0,126	0,252	0,115	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->NR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,632	0,006	0,074	0,628	0,070	99,6%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->NR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,933	0,009	0,092	0,925	0,098	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,360	0,015	0,122	0,345	0,093	99,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,428	0,065	0,169	0,378	0,090	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemmad	MR->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,599	0,157	0,284	1,651	0,144	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell C.4 – Simuleringsdata Konfiguration 1: Scenario 4. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 1 - Scenario 4																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medell	1-sid. 99% konf.	Stöckprovs-varians	1-sid. 99% konf.	Stöckprovs-varians	Medell	Stöckprovs-varians	< Min	< Max
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,255	0,022	0,215	0,238	1,243	0,189	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,523	0,020	0,321	0,024	0,500	0,284	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,389	0,024	0,306	0,035	0,361	0,270	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,388	0,020	0,314	0,023	0,376	0,281	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,394	0,035	0,320	0,039	0,372	0,303	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerand	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,410	0,001	0,010	0,000	0,410	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLL,YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,428	0,003	0,014	0,001	0,429	0,014	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,323	0,013	0,258	0,018	0,309	0,236	88,8%	93,0%	90,3%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,348	0,009	0,114	0,009	0,332	0,093	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,208	0,010	0,121	0,010	0,188	0,096	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,304	0,006	0,049	0,003	0,309	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,176	0,006	0,050	0,004	0,189	0,059	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,172	0,009	0,049	0,004	0,194	0,057	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->NR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,127	0,012	0,057	0,012	1,132	0,061	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->NR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,848	0,017	0,098	0,015	0,859	0,121	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,959	0,033	0,260	0,048	0,980	0,304	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,951	0,045	0,242	0,066	0,973	0,277	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,188	0,012	0,102	0,014	2,212	0,121	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,541	0,015	0,505	0,024	0,576	0,549	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,534	0,060	0,524	0,078	0,674	0,685	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,574	0,039	0,528	0,044	0,638	0,491	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,496	0,015	0,198	0,020	1,489	0,172	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,387	0,022	0,329	0,029	0,411	0,350	99,9%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,385	0,032	0,306	0,046	0,436	0,348	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,427	0,028	0,336	0,041	0,388	0,273	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,411	0,014	0,310	0,018	0,412	0,300	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,421	0,036	0,313	0,052	0,390	0,289	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,407	0,015	0,062	0,011	1,428	0,074	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,542	0,014	0,110	0,012	0,548	0,132	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,333	12	24	16	0,247	0,010	0,116	0,009	0,272	0,150	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,333	16	30	20	0,246	0,008	0,113	0,009	0,248	0,122	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->NR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,631	0,005	0,073	0,004	0,634	0,078	99,5%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->NR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,937	0,009	0,091	0,011	0,951	0,109	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,365	0,035	0,126	0,038	0,305	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,371	0,054	0,126	0,065	0,326	0,071	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemålad	MR->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,667	0,254	0,332	0,395	1,601	0,265	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell C.5 – Simuleringsdata Konfiguration 1: Scenario 5. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 1 - Scenario 5																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid. 99% konf.	Stöckprovs-varians	1-sid. 99% konf.	Stöckprovs-varians	Medel	Stöckprovs-varians	< Min	< Max
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	9,5	17,1	11,4	1,288	0,026	0,256	0,40	1,285	0,234	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	15,2	38	26,6	0,559	0,039	0,364	0,049	0,560	0,374	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,033	28,5	71,25	52,25	0,450	0,048	0,405	0,079	0,414	0,559	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledband	MR->FP	PVW1	2	0,033	15,2	30,4	22,8	0,435	0,047	0,371	0,071	0,403	0,342	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	28,5	57	38	0,445	0,037	0,381	0,060	0,446	0,381	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerande	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,09	2,66	2,28	0,412	0,003	0,010	0,001	0,408	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLL-YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,225	6,175	5,7	0,430	0,020	0,014	0,000	0,433	0,015	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Allatyper)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,855	1,14	0,95	0,358	0,000	0,302	0,030	0,348	0,286	86,0%	90,8%	87,5%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,360	0,011	0,124	0,012	0,345	0,109	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,275	9,5	7,125	0,211	0,009	0,122	0,009	0,204	0,113	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,308	0,005	0,051	0,003	0,317	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,275	9,5	7,125	0,180	0,007	0,053	0,003	0,180	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	9,5	19,95	15,2	0,180	0,008	0,053	0,004	0,175	0,045	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	MR->NR	PVW2	2	1,000	7,6	15,2	11,4	1,132	0,006	0,061	0,006	1,122	0,066	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	MR->NR	PVW2	2	0,667	22,8	34,2	26,6	0,857	0,015	0,112	0,015	0,876	0,138	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fylprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	3,8	7,6	4,75	0,984	0,037	0,288	0,060	1,030	0,315	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fylprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	7,6	22,8	11,4	0,993	0,066	0,298	0,089	0,955	0,246	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråk***	MR->FP	PVW1	2	2,000	7,6	15,2	9,5	2,206	0,015	0,119	0,014	2,245	0,161	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	5,7	9,5	7,6	0,601	0,024	0,577	0,036	0,701	0,579	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	68,4	91,2	76	0,608	0,049	0,592	0,063	0,683	0,693	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	28,5	47,5	38	0,639	0,048	0,572	0,072	0,585	0,539	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	PVW1	2	1,250	11,4	19	15,2	1,518	0,029	0,224	0,042	1,499	0,213	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	3,8	15,2	9,5	0,426	0,032	0,366	0,048	0,413	0,363	99,9%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	38	68,4	45,6	0,435	0,031	0,377	0,038	0,407	0,384	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	38	57	52,25	0,454	0,052	0,351	0,076	0,437	0,329	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Stålband	MR->FP	PVW1	2	0,067	3,8	5,7	4,75	0,451	0,028	0,353	0,038	0,434	0,340	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	22,8	34,2	28,5	0,462	0,035	0,369	0,051	0,452	0,370	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråk	MR->FP	PVW2	2	1,250	17,1	28,5	22,8	1,421	0,011	0,070	0,010	1,434	0,082	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	22,8	45,6	30,4	0,569	0,011	0,137	0,012	0,553	0,141	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,333	11,4	22,8	15,2	0,264	0,011	0,125	0,011	0,266	0,148	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	15,2	28,5	19	0,274	0,011	0,136	0,012	0,271	0,130	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråk	MR->NR	PVW2	2	0,500	1,9	3,135	2,565	0,641	0,006	0,082	0,005	0,645	0,086	99,2%	100,0%	99,9%
33	AR	Garn, Gunväv	MR->NR	PVW2	2	0,750	19	28,5	22,8	0,958	0,011	0,112	0,009	0,974	0,145	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,425	2,85	2,375	0,353	0,046	0,115	0,044	0,357	0,122	57,2%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävlutare	MR->FP	PVW1	1	0,167	15,2	35,15	26,6	0,376	0,080	0,122	0,078	0,340	0,070	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Sklemidd	MR->FP	PVW1	2	1,333	9,5	13,3	11,4	1,628	0,102	0,267	0,208	1,658	0,227	100,0%	100,0%	100,0%

Bilaga D

Simuleringsdata Konfiguration 2

Tabell D.1 – Simuleringsdata Konfiguration 2: Scenario 1. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 2 - Scenario 1																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)				Servicetid* (h)			Andel observationer				
							Min	Max	Typ	Medel	1-sd. 99% konf.	1-sd. 99% konf.	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ	
1	KA	Tråd	MR->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,057	0,001	0,003	0,001	1,058	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,228	0,003	0,006	0,002	0,233	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,095	0,005	0,006	0,003	0,098	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentklarband	MR->FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,098	0,003	0,008	0,003	0,101	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,098	0,004	0,008	0,003	0,099	0,007	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,406	0,001	0,009	0,000	0,404	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLLYHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,423	0,002	0,013	0,001	0,418	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,092	0,001	0,005	0,001	0,090	0,004	69,83%	100,0%	69,40%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,220	0,001	0,002	0,001	0,219	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mätel	MR->FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,071	0,001	0,003	0,001	0,069	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	EB	Mätel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
15	EB	Mätel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,725	0,003	0,004	0,003	0,729	0,007	100,0%	100,0%	100,0%
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,725	0,005	0,004	0,004	0,723	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
18	AR	Armeringsstråd***	MR->FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,055	0,001	0,002	0,001	2,056	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,095	0,004	0,012	0,003	0,094	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,094	0,012	0,011	0,011	0,109	0,023	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,116	0,006	0,008	0,004	0,128	0,017	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	MR->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,305	0,001	0,002	0,001	1,307	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,094	0,001	0,006	0,001	0,094	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,095	0,004	0,007	0,004	0,091	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,128	0,004	0,006	0,003	0,126	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	6	5	0,127	0,001	0,005	0,001	0,126	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,128	0,003	0,006	0,002	0,124	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
32	AR	Armeringsstråd	AP->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
34	EP	Mätel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,220	0,003	0,002	0,002	0,225	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hävtvare	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,229	0,023	0,006	0,013	0,243	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärmatid	MR->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,384	0,002	0,000	0,000	1,383	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell D.2 – Simuleringsdata Konfiguration 2: Scenario 2. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Konfiguration 2 - Scenario 2					Servicetid* (h)		Andel observationer				
							Fördringsparametrar (h)	Medel	1-sid.99% konf.	Stöpsprovs-1-sid.99% konf.	Stöpsprovs-1-sid.99% konf.	Medel	Stöpsprovs-varians	< Min	< Max	< Typ		
							Min	Max	Typ									
1	KA	Tråd	MR>FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,056	0,001	0,002	0,001	1,055	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR>FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,228	0,002	0,006	0,001	0,226	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällgarn/Compound	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,095	0,003	0,006	0,003	0,094	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentetårband	MR>FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,094	0,002	0,005	0,002	0,096	0,007	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,094	0,002	0,005	0,002	0,092	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR>Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,404	0,003	0,009	0,001	0,404	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	IHL/YHL	MR>Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,420	0,004	0,012	0,001	0,419	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR>FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,090	0,001	0,003	0,000	0,090	0,004	99,83%	100,0%	99,91%
9	EB	Bly	MR>FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,218	0,001	0,002	0,000	0,218	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,069	0,001	0,002	0,000	0,069	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR>FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,299	0,005	0,048	0,003	0,294	0,044	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR>FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,169	0,006	0,047	0,004	0,167	0,046	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR>FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,169	0,007	0,050	0,006	0,172	0,056	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP>MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,119	0,007	0,051	0,005	1,112	0,042	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	AP>MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,832	0,016	0,089	0,012	0,821	0,084	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,723	0,002	0,002	0,001	0,724	0,003	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,727	0,007	0,005	0,005	0,724	0,017	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråd***	MR>FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,055	0,002	0,002	0,001	2,054	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
19	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,094	0,007	0,010	0,005	0,091	0,007	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,091	0,011	0,009	0,008	0,079	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,121	0,009	0,015	0,010	0,112	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,304	0,001	0,001	0,001	1,304	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,095	0,002	0,005	0,002	0,094	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,093	0,003	0,003	0,002	0,089	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,129	0,002	0,006	0,002	0,129	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR>FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,128	0,002	0,006	0,002	0,129	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR>FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,128	0,004	0,006	0,004	0,131	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,399	0,009	0,055	0,006	1,399	0,058	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,527	0,014	0,105	0,015	0,518	0,087	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,227	0,010	0,099	0,007	0,238	0,107	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR>FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,234	0,015	0,104	0,013	0,247	0,116	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråd	AP>MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,622	0,006	0,066	0,005	0,628	0,067	99,7%	100,0%	100,0%
33	AR	Cam, Gunväv	AP>MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,940	0,013	0,097	0,015	0,940	0,095	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,218	0,001	0,002	0,001	0,218	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Havtistare	MR>FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,218	0,003	0,002	0,002	0,216	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärmrad	MR>FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,392	0,011	0,003	0,004	1,384	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell D.3 – Simuleringsdata Konfiguration 2: Scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 2 - Scenario 3																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid.98% konf.	Stöpsprovs-varians		1-sid.99% konf.	Medel	Stöpsprovs-varians	< Min	< Max
1	KA	Tråd	MR>FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,058	0,002	0,003	0,001	1,057	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR>FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,232	0,002	0,009	0,002	0,234	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällgarn/Compound	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,098	0,005	0,007	0,003	0,100	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentetårband	MR>FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,097	0,003	0,006	0,002	0,095	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,099	0,003	0,009	0,004	0,093	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR>Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,002	0,010	0,000	0,409	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	IHL/YHL	MR>Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,001	0,014	0,000	0,426	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR>FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,092	0,001	0,005	0,001	0,091	0,004	99,83%	100,0%	99,91%
9	EB	Bly	MR>FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,220	0,001	0,003	0,001	0,219	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,071	0,001	0,003	0,001	0,069	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR>FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,304	0,005	0,050	0,003	0,301	0,050	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR>FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,175	0,006	0,051	0,002	0,164	0,046	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR>FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,174	0,007	0,050	0,003	0,169	0,049	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP>MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,130	0,009	0,063	0,007	1,115	0,056	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	AP>MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,859	0,015	0,112	0,016	0,857	0,088	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,724	0,003	0,003	0,002	0,724	0,002	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,725	0,005	0,006	0,005	0,719	0,000	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråd***	MR>FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,055	0,003	0,002	0,002	2,054	0,001	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,094	0,003	0,011	0,003	0,102	0,019	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,102	0,009	0,016	0,010	0,105	0,026	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,120	0,004	0,012	0,004	0,118	0,007	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,307	0,002	0,002	0,001	1,307	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,098	0,003	0,008	0,008	0,094	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,098	0,004	0,007	0,003	0,088	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,131	0,006	0,006	0,005	0,130	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR>FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,132	0,002	0,009	0,002	0,133	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR>FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,130	0,005	0,007	0,003	0,125	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,410	0,006	0,064	0,005	1,403	0,060	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,545	0,012	0,122	0,013	0,547	0,122	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,248	0,009	0,115	0,009	0,251	0,122	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR>FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,243	0,014	0,116	0,009	0,257	0,107	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråd	AP>MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,629	0,005	0,074	0,005	0,624	0,068	99,77%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	AP>MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,942	0,016	0,101	0,011	0,917	0,085	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,221	0,004	0,004	0,003	0,221	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Havtistare	MR>FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,223	0,010	0,003	0,006	0,222	0,001	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärmrad	MR>FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,392	0,015	0,004	0,011	1,390	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell D.4 – Simuleringsdata Konfiguration 2: Scenario 4. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 2 - Scenario 4																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid.99% konf.	Stöpsprovs-varians	1-sid.99% konf.	Stöpsprovs-varians	< Min	< Max	< Typ	
1	KA	Tråd	MR>FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,060	0,001	0,005	0,001	1,058	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR>FP	PVW1	2	0,167	16	40	28	0,232	0,003	0,007	0,002	0,235	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällgarn/Compound	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,099	0,002	0,008	0,002	0,099	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentetårband	MR>FP	PVW1	2	0,033	16	32	24	0,099	0,002	0,008	0,002	0,097	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR>FP	PVW1	2	0,033	30	60	40	0,099	0,003	0,007	0,003	0,099	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR>Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,001	0,010	0,000	0,406	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HLL/YHL	MR>Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,000	0,423	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR>FP	PVW1	2	0,033	0,9	1,2	1	0,094	0,001	0,006	0,001	0,094	0,006	99,7%	99,9%	99,8%
9	EB	Bly	MR>FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,221	0,001	0,004	0,001	0,220	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,017	4,5	10	7,5	0,071	0,001	0,004	0,001	0,069	0,002	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR>FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,306	0,004	0,049	0,003	0,311	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR>FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,178	0,004	0,053	0,002	0,176	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR>FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,175	0,010	0,049	0,005	0,174	0,049	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP>MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,134	0,007	0,061	0,006	1,147	0,080	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	AP>MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,857	0,012	0,107	0,013	0,869	0,123	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	0,729	0,003	0,006	0,003	0,728	0,005	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	0,729	0,004	0,006	0,003	0,723	0,001	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråd***	MR>FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,057	0,001	0,002	0,001	2,055	0,001	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,025	6	10	8	0,100	0,002	0,014	0,002	0,099	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,025	72	96	80	0,100	0,005	0,015	0,003	0,096	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,125	0,007	0,015	0,007	0,122	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,308	0,002	0,003	0,002	1,312	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,033	4	16	10	0,099	0,003	0,008	0,002	0,097	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,033	40	72	48	0,100	0,004	0,009	0,003	0,104	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,067	40	60	55	0,132	0,004	0,007	0,004	0,143	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR>FP	PVW1	2	0,067	4	6	5	0,132	0,002	0,008	0,002	0,130	0,005	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR>FP	PVW1	2	0,067	24	36	30	0,132	0,003	0,008	0,003	0,134	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,418	0,016	0,070	0,010	1,407	0,062	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,545	0,011	0,116	0,013	0,559	0,126	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,256	0,013	0,120	0,010	0,247	0,120	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR>FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,253	0,014	0,120	0,013	0,250	0,124	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråd	AP>MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,634	0,007	0,076	0,006	0,656	0,080	99,3%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	AP>MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,943	0,013	0,102	0,018	0,980	0,135	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,221	0,004	0,004	0,003	0,222	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Havtistare	MR>FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,219	0,004	0,001	0,001	0,230	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärmrind	MR>FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,599	0,040	0,014	0,039	1,590	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell D.5 – Simuleringsdata Konfiguration 2: Scenario 5. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 2 - Scenario 5																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid (h)			Andel observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid.99% konf.	Stöpsprovs-varians	1-sid.99% konf.	Medel	Stöpsprovs-varians	< Min	Max	< Typ
1	KA	Tråd	MR>FP	PVW1	2	1,000	9,5	17,1	11,4	1,060	0,002	0,004	0,001	1,061	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR>FP	PVW1	2	0,167	15,2	38	26,6	0,234	0,002	0,009	0,002	0,238	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällgarn/Compound	MR>FP	PVW1	2	0,033	28,5	71,25	52,25	0,103	0,003	0,010	0,002	0,101	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentetårband	MR>FP	PVW1	2	0,033	15,2	30,4	22,8	0,101	0,002	0,010	0,002	0,103	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR>FP	PVW1	2	0,033	28,5	57	38	0,102	0,004	0,010	0,003	0,102	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolerings	MR>Hiss	EX	1	0,333	2,09	2,66	2,28	0,412	0,002	0,010	0,001	0,413	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	HL/YHL	MR>Hiss	EX	1	0,333	5,225	6,175	5,7	0,431	0,002	0,014	0,001	0,427	0,014	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR>FP	PVW1	2	0,033	0,855	1,14	0,95	0,095	0,001	0,006	0,000	0,095	0,007	99,6%	99,9%	99,7%
9	EB	Bly	MR>FP	PVW1	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,220	0,001	0,003	0,001	0,221	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,017	4,275	9,5	7,125	0,071	0,001	0,003	0,001	0,071	0,003	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR>FP	PVW2	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,309	0,008	0,050	0,004	0,298	0,047	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mantel	MR>FP	PVW2	1	0,033	4,275	9,5	7,125	0,181	0,009	0,052	0,003	0,174	0,049	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR>FP	PVW2	1	0,033	9,5	19,95	15,2	0,178	0,008	0,049	0,003	0,168	0,047	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP>MR	PVW2	2	1,000	7,6	15,2	11,4	1,136	0,012	0,064	0,007	1,123	0,052	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel, Svällband	AP>MR	PVW2	2	0,667	22,8	34,2	26,6	0,863	0,012	0,109	0,010	0,869	0,120	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	3,8	7,6	4,75	0,729	0,003	0,006	0,003	0,729	0,004	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR>FP	PVW1	2	0,667	7,6	22,8	11,4	0,732	0,007	0,009	0,006	0,738	0,010	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armeringsstråd***	MR>FP	PVW1	2	2,000	7,6	15,2	9,5	2,058	0,001	0,003	0,001	2,059	0,003	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,025	5,7	9,5	7,6	0,101	0,003	0,015	0,003	0,104	0,019	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,025	68,4	91,2	76	0,100	0,010	0,012	0,007	0,104	0,020	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,050	28,5	47,5	38	0,127	0,006	0,014	0,004	0,132	0,019	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW1	2	1,250	11,4	19	15,2	1,308	0,001	0,003	0,001	1,311	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW1	2	0,033	3,8	15,2	9,5	0,102	0,002	0,010	0,002	0,102	0,011	100,0%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW1	2	0,033	38	68,4	45,6	0,100	0,005	0,009	0,005	0,097	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR>FP	PVW1	2	0,067	38	57	52,25	0,132	0,003	0,007	0,003	0,130	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Ställband	MR>FP	PVW1	2	0,067	3,8	5,7	4,75	0,134	0,001	0,009	0,001	0,133	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR>FP	PVW1	2	0,067	22,8	34,2	28,5	0,136	0,003	0,010	0,003	0,142	0,017	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråd	MR>FP	PVW2	2	1,250	17,1	28,5	22,8	1,413	0,015	0,065	0,011	1,415	0,065	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR>FP	PVW2	2	0,333	22,8	45,6	30,4	0,559	0,019	0,125	0,014	0,552	0,098	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR>FP	PVW2	2	0,033	11,4	22,8	15,2	0,258	0,013	0,153	0,013	0,257	0,133	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR>FP	PVW2	2	0,033	15,2	28,5	19	0,260	0,009	0,122	0,012	0,260	0,154	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armeringsstråd	AP>MR	PVW2	2	0,500	1,9	3,135	2,565	0,638	0,008	0,078	0,006	0,645	0,085	99,2%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	AP>MR	PVW2	2	0,750	19	28,5	22,8	0,944	0,018	0,101	0,017	0,966	0,116	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mantel	MR>FP	PVW1	1	0,167	1,425	2,85	2,375	0,220	0,002	0,003	0,002	0,221	0,004	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Harvstare	MR>FP	PVW1	1	0,167	15,2	35,15	26,6	0,223	0,014	0,005	0,009	0,227	0,006	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärmrad	MR>FP	PVW1	2	1,333	9,5	13,3	11,4	1,389	0,007	0,000	0,001	1,383	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Bilaga E

Simuleringsdata Konfiguration 3

Tabell E.1 – Simuleringsdata Konfiguration 3: Scenario 1. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 3 – Scenario 1																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelingsparametrar (h)			Servicetid (h)			Servicetid* (h)	Andel observationer < Min < Max < Typ				
							Min	Max	Typ	Medel	1-sd. 99% konf.	Sticksprovs-varians			1-sd. 99% konf.	Sticksprovs-varians	Medel	
1	KA	Tid	Lager->PP	PWV1	2	1,00	10	18	12	1,32	0,031	0,319	0,059	1,362	0,366	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PWV1	2	0,33	16	40	28	0,74	0,020	0,451	0,041	0,744	0,426	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	AP->FP	PWV1	2	0,03	30	75	55	0,48	0,034	0,477	0,079	0,498	0,501	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentledarband	AP->FP	PWV1	2	0,67	16	32	24	0,60	0,030	0,453	0,072	0,604	0,460	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PWV1	2	0,07	30	60	40	0,46	0,037	0,476	0,077	0,519	0,560	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PWV1	2	0,67	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	EX	Isolerng	MR->Hiss	EX	1	0,33	2,2	2,8	2,4	0,40	0,002	0,009	0,000	0,404	0,009	100,0%	100,0%	100,0%
8	EX	IHL.YHL	MR->Hiss	EX	1	0,33	5,5	6,5	6	0,42	0,002	0,012	0,000	0,419	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->MR	SP	2	0,03	0,9	1,2	1	0,06	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PWV1	2	0,250	6	10	8	0,626	0,025	0,410	0,045	0,657	0,490	100,0%	100,0%	100,0%
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PWV1	2	2,000	72	96	80	2,348	0,039	0,326	0,059	2,394	0,408	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Bly	MR->FP	PWV1	1	0,67	6,5	7	6,8	0,391	0,012	0,137	0,011	0,394	0,150	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Bly	AP->MR	PWV1	2	0,67	24	28	26	1,009	0,019	0,332	0,042	1,024	0,345	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Svällband	AP->MR	PWV1	2	0,03	8	16	12	0,407	0,023	0,387	0,040	0,440	0,440	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel	AP->FP	PWV1	1	0,83	4,5	10	7,5	0,314	0,011	0,142	0,011	0,326	0,152	100,0%	100,0%	100,0%
16	EB	Bly	MR->FP	PWV2	1	0,67	6,3	7	6,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
17	EB	Mantel	MR->FP	PWV2	1	0,03	10	21	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
18	EB	Svällband	MR->FP	PWV2	2	1,000	8	16	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
19	EB	Bly	AP->MR	PWV2	2	0,67	24	36	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PWV2	2	0,67	4	8	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	HV	Fyllprofil***	Lager->FP	PWV1	2	0,67	4	8	5	1,009	0,064	0,346	0,111	0,975	0,258	N/A	N/A	N/A
22	HV	Fyllprofil***	Lager->FP	PWV1	2	0,67	8	24	12	1,010	0,072	0,368	0,113	0,930	0,235	N/A	N/A	N/A
23	HV	Armeringsstråd***	Lager->FP	PWV1	2	2,000	8	16	10	2,253	0,019	0,197	0,019	2,260	0,195	N/A	N/A	N/A
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PWV1	2	0,83	6	10	8	0,671	0,043	0,663	0,076	0,660	0,641	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PWV1	2	0,050	72	96	80	0,653	0,065	0,617	0,106	0,652	0,627	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Gumväv	AP->FP	PWV1	2	0,050	30	50	40	0,640	0,082	0,635	0,127	0,703	0,700	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Armeringsstråd	Lager->FP	PWV1	2	1,33	8	20	16	1,593	0,022	0,243	0,030	1,592	0,224	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	PP-garn f	AP->FP	PWV1	2	0,050	4	16	10	0,430	0,025	0,390	0,051	0,423	0,374	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PWV1	2	0,050	40	72	48	0,455	0,039	0,422	0,059	0,455	0,435	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	Gumväv	AP->FP	PWV1	2	0,83	40	60	55	0,466	0,044	0,381	0,079	0,500	0,392	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Svällband	AP->FP	PWV1	2	0,83	4	6	5	0,461	0,025	0,388	0,044	0,464	0,462	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Textilband	AP->FP	PWV1	2	0,83	24	36	30	0,461	0,030	0,380	0,059	0,469	0,389	100,0%	100,0%	100,0%
33	AR	Armeringsstråd	AP->FP	PWV2	2	0,900	2	3,3	2,7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PWV2	2	0,33	24	48	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PWV2	2	0,03	12	24	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
36	AR	Gumväv	AP->FP	PWV2	2	0,03	16	30	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
37	EP	Mantel	MR->FP	PWV1	1	0,67	1,5	3	2,5	0,428	0,042	0,156	0,030	0,396	0,150	100,0%	100,0%	100,0%
38	EP	Ledande mantel	MR->FP	PWV1	1	0,67	16	37	28	0,469	0,128	0,192	0,114	0,470	0,156	100,0%	100,0%	100,0%
39	EP	Mantel Halvledare/Aluminiumlaminat	AP->MR	PWV1	2	0,250	6	12	8	0,834	0,162	0,815	0,358	0,777	0,597	100,0%	100,0%	100,0%
40	SM	Skrämråd	AP->FP	PWV1	2	1,33	100	140	120	1,700	0,177	0,445	0,609	1,811	0,399	100,0%	100,0%	100,0%
41	SM	Band	AP->MR	PWV1	2	0,167	22	26	24	0,531	0,214	0,376	0,353	0,382	0,113	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell E.2 – Simuleringsdata Konfiguration 3: Scenario 2. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 3: Scenario 2																			
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andra observationer						
							Min	Max	Typ	Medel	1-sd, 99% konf.	Servicetid* (h)	Medel	1-sd, 99% konf.	Servicetid* (h)	Medel	1-sd, 99% konf.	< Min	< Max
1	KA	Tiäd	Lager->FP	PW1	2	1,000	10	18	12	1,307	0,228	0,350	0,124	0,232	0,702	0,403	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PW1	2	0,333	16	40	28	0,734	0,028	0,451	0,086	0,403	1,262	0,403	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	AP->FP	PW1	2	0,033	30	75	55	0,566	0,037	0,506	0,183	0,395	0,417	0,395	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmenleiderband	AP->FP	PW1	2	0,167	16	32	24	0,568	0,034	0,452	0,114	0,312	0,534	0,312	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PW1	2	0,017	30	60	40	0,425	0,035	0,497	0,150	0,357	0,370	0,370	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	72	72	72	0,498	0,074	0,352	0,199	0,498	0,304	0,304	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,404	0,002	0,009	0,000	0,406	0,009	100,0%	100,0%	100,0%	
8	EX	HL-YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,421	0,002	0,012	0,001	0,423	0,012	100,0%	100,0%	100,0%	
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PW1	2	0,250	6	10	8	0,888	0,024	0,391	0,092	0,573	0,333	100,0%	100,0%	100,0%	
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PW1	2	2,000	72	96	80	2,319	0,023	0,334	0,089	2,326	0,326	100,0%	100,0%	100,0%	
12	EB	Bly	MR->FP	PW1	2	0,667	6,5	7	6,8	0,381	0,010	0,126	0,007	0,384	0,133	100,0%	100,0%	100,0%	
13	EB	Bly	MR->MR	PW1	2	0,667	2,4	2,8	2,6	1,030	0,023	0,453	0,145	1,002	0,323	100,0%	100,0%	100,0%	
14	EB	Svällband	MR->MR	PW1	2	0,033	8	16	12	0,415	0,041	0,448	0,166	0,398	0,365	100,0%	100,0%	100,0%	
15	EB	Mantel	MR->FP	PW1	2	0,083	4,5	10	7,5	0,402	0,014	0,128	0,013	0,288	0,122	100,0%	100,0%	100,0%	
16	EB	Mantel	MR->FP	PW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,276	0,003	0,035	0,002	0,277	0,056	100,0%	100,0%	100,0%	
17	EB	Mantel	MR->FP	PW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,145	0,004	0,035	0,002	0,142	0,034	100,0%	100,0%	100,0%	
18	EB	Svällband	MR->FP	PW2	1	0,033	10	21	16	0,148	0,007	0,037	0,003	0,160	0,041	100,0%	100,0%	100,0%	
19	EB	Bly	MR->MR	PW2	2	1,000	8	16	12	1,082	0,005	0,017	0,002	1,075	0,015	100,0%	100,0%	100,0%	
20	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PW2	2	0,667	24	36	28	0,799	0,012	0,056	0,010	0,795	0,044	100,0%	100,0%	100,0%	
21	HV	Fylprofil***	MR->MR	PW1	2	0,667	4	8	5	1,031	0,072	0,565	0,483	0,999	0,337	N/A	N/A	N/A	
22	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	8	24	12	0,988	0,059	0,334	0,104	0,875	0,170	N/A	N/A	N/A	
23	AR	Armeringsstråle***	Lager->FP	PW1	2	2,000	8	16	10	2,288	0,044	0,313	0,180	2,245	0,172	N/A	N/A	N/A	
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,083	6	10	8	0,743	0,067	0,885	0,224	0,690	0,697	100,0%	100,0%	100,0%	
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,050	72	96	80	0,697	0,118	0,837	0,287	0,743	1,021	100,0%	100,0%	100,0%	
26	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,050	30	50	40	0,707	0,089	0,850	0,293	0,621	0,814	100,0%	100,0%	100,0%	
27	AR	Armeringsstråle	Lager->FP	PW1	2	1,333	8	20	16	1,644	0,030	0,316	0,058	1,634	0,280	97,2%	100,0%	100,0%	
28	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,050	4	16	10	0,487	0,053	0,494	0,106	0,454	0,412	97,2%	100,0%	100,0%	
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,050	40	72	48	0,491	0,064	0,507	0,138	0,478	0,574	100,0%	100,0%	100,0%	
30	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,083	40	60	55	0,307	0,058	0,477	0,110	0,581	0,588	100,0%	100,0%	100,0%	
31	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,083	4	6	5	0,509	0,042	0,479	0,093	0,482	0,372	100,0%	100,0%	100,0%	
32	AR	Textilband	AP->FP	PW1	2	0,083	24	36	30	0,515	0,042	0,477	0,087	0,508	0,403	100,0%	100,0%	100,0%	
33	AR	Armeringsstråle	AP->FP	PW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,563	0,004	0,019	0,002	0,560	0,017	100,0%	100,0%	100,0%	
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PW2	2	0,333	24	48	32	0,461	0,010	0,044	0,008	0,463	0,043	100,0%	100,0%	100,0%	
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PW2	2	0,333	12	24	16	0,164	0,006	0,045	0,006	0,162	0,046	100,0%	100,0%	100,0%	
36	AR	Gunväv	AP->FP	PW2	2	0,033	16	30	20	0,160	0,008	0,044	0,006	0,156	0,038	100,0%	100,0%	100,0%	
37	EP	Mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,398	0,016	0,137	0,011	0,381	0,131	97,2%	100,0%	100,0%	
38	EP	Ledande mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	16	37	28	0,427	0,040	0,161	0,050	0,389	0,116	100,0%	100,0%	100,0%	
39	EP	Mantel/Höjledare/Aluminiummantel	MR->FP	PW1	2	0,250	6	12	8	0,333	0,074	0,415	0,155	0,669	0,188	100,0%	100,0%	100,0%	
40	SM	Skärmaterial	MR->FP	PW1	2	1,333	100	140	120	1,746	0,121	0,694	0,335	1,555	0,500	100,0%	100,0%	100,0%	
41	SM	Band	MR->FP	PW1	2	0,167	22	26	24	0,546	0,054	0,496	0,161	0,500	0,372	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabell E.3 – Simuleringsdata Konfiguration 3: Scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 3: Scenario 3																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andra observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	Servicetid* (h) < Min	Servicetid* (h) < Max	< Typ				
1	KA	Tiäd	Lager->FP	PW1	2	1,000	10	18	12	1,566	0,026	0,406	0,044	1,354	0,382	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PW1	2	0,333	16	40	28	0,793	0,030	0,529	0,048	0,796	0,564	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällband	AP->FP	PW1	2	0,333	30	75	55	0,498	0,043	0,547	0,077	0,503	0,540	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentlederband	AP->FP	PW1	2	0,167	16	32	24	0,639	0,029	0,538	0,054	0,660	0,566	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PW1	2	0,167	30	60	40	0,489	0,040	0,548	0,073	0,424	0,439	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,001	0,010	0,000	0,411	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
8	EX	HL-YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,000	0,430	0,015	100,0%	100,0%	100,0%
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,333	0,9	1,2	1	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PW1	2	0,250	6	10	8	0,644	0,027	0,450	0,044	0,633	0,438	100,0%	100,0%	100,0%
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PW1	2	2,000	72	96	80	2,462	0,043	0,372	0,069	2,332	0,303	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Bly	MR->FP	PW1	2	0,167	6,5	7	6,8	0,410	0,013	0,155	0,011	0,404	0,145	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Bly	AP->MR	PW1	2	0,667	2,4	2,8	2,6	1,077	0,030	0,465	0,064	1,109	0,552	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Svällband	AP->MR	PW1	2	0,333	8	16	12	0,475	0,023	0,513	0,045	0,471	0,502	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel	MR->FP	PW1	1	0,083	4,5	10	7,5	0,327	0,008	0,153	0,009	0,314	0,139	100,0%	100,0%	100,0%
16	EB	Bly	MR->FP	PW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,280	0,005	0,036	0,002	0,275	0,033	100,0%	100,0%	100,0%
17	EB	Mantel	MR->FP	PW2	1	0,333	4,5	10	7,5	0,150	0,005	0,037	0,002	0,153	0,037	100,0%	100,0%	100,0%
18	EB	Svällband	MR->FP	PW2	1	0,333	10	21	16	0,147	0,005	0,034	0,002	0,146	0,030	100,0%	100,0%	100,0%
19	EB	Bly	AP->MR	PW2	2	1,000	8	16	12	1,084	0,016	0,018	0,002	1,081	0,016	100,0%	100,0%	100,0%
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PW2	2	0,667	24	36	28	0,800	0,012	0,053	0,010	0,784	0,045	100,0%	100,0%	100,0%
21	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	4	8	5	1,091	0,067	0,520	0,140	1,167	0,587	N/A	N/A	N/A
22	AR	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	8	24	12	1,025	0,058	0,382	0,092	0,986	0,335	N/A	N/A	N/A
23	AR	Armeringsstråk***	Lager->FP	PW1	2	2,000	8	16	10	2,276	0,023	0,237	0,034	2,279	0,259	N/A	N/A	N/A
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,083	6	10	8	0,708	0,030	0,747	0,055	0,725	0,767	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,083	72	96	80	0,709	0,075	0,756	0,125	0,695	0,675	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,083	30	50	40	0,693	0,060	0,747	0,100	0,802	0,997	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Armeringsstråk	Lager->FP	PW1	2	1,333	8	20	16	1,078	0,031	0,368	0,060	1,089	0,376	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,083	4	16	10	0,351	0,023	0,381	0,055	0,526	0,535	99,7%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,083	40	72	48	0,342	0,050	0,546	0,108	0,595	0,581	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,083	40	60	55	0,576	0,039	0,552	0,076	0,500	0,445	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,083	4	6	5	0,374	0,025	0,563	0,043	0,581	0,571	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Textilband	AP->FP	PW1	2	0,083	24	36	30	0,582	0,042	0,570	0,101	0,557	0,534	100,0%	100,0%	100,0%
33	AR	Armeringsstråk	AP->FP	PW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,570	0,002	0,023	0,002	0,566	0,020	100,0%	100,0%	100,0%
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PW2	2	0,333	24	48	32	0,466	0,016	0,047	0,005	0,463	0,045	100,0%	100,0%	100,0%
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PW2	2	0,333	12	24	16	0,169	0,007	0,049	0,007	0,162	0,046	100,0%	100,0%	100,0%
36	AR	Gunväv	AP->FP	PW2	2	0,333	16	30	20	0,171	0,006	0,080	0,005	0,183	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
37	EP	Mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,415	0,029	0,154	0,027	0,403	0,153	95,6%	100,0%	100,0%
38	EP	Ledande mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	16	37	28	0,430	0,065	0,161	0,077	0,351	0,065	100,0%	100,0%	100,0%
39	EP	Mantel/Höjledare/Aluminiummantel	AP->MR	PW1	2	0,250	6	12	8	0,761	0,120	0,659	0,249	0,849	0,916	100,0%	100,0%	100,0%
40	SM	Skärmaterial	AP->FP	PW1	2	1,333	100	140	120	1,726	0,142	0,359	0,243	1,536	0,179	100,0%	100,0%	100,0%
41	SM	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	22	26	24	0,565	0,098	0,407	0,144	0,457	0,231	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell E.4 – Simuleringsdata Konfiguration 3: Scenario 4. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 3: Scenario 4																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Andra observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	Servicetid* (h) varians	1-std. 99% konf.	Servicetid* (h) varians	< Min	< Max	< Typ	
1	KA	Tiåd	Lager->FP	PW1	2	1,000	10	18	12	1,437	0,024	0,516	0,057	1,457	0,610	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PW1	2	0,333	16	40	28	0,891	0,039	0,671	0,077	0,925	0,789	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	AP->FP	PW1	2	0,333	30	75	55	0,995	0,051	0,649	0,091	0,502	0,520	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentlederband	AP->FP	PW1	2	0,167	16	32	24	0,716	0,034	0,669	0,076	0,763	0,776	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PW1	2	0,167	30	60	40	0,888	0,057	0,684	0,104	0,602	0,677	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,002	0,010	0,000	0,403	0,008	100,0%	100,0%	100,0%
8	EX	HL-YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,426	0,003	0,014	0,001	0,421	0,012	100,0%	100,0%	100,0%
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,333	0,9	1,2	1	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PW1	2	2,000	6	10	8	0,709	0,014	0,544	0,024	0,703	0,562	100,0%	100,0%	100,0%
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PW1	2	2,000	72	96	80	2,434	0,032	0,471	0,059	2,390	0,400	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Bly	MR->FP	PW1	2	0,167	6,5	7	6,8	0,435	0,007	0,171	0,006	0,427	0,166	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Bly	AP->MR	PW1	2	0,667	24	28	26	1,153	0,031	0,596	0,032	1,132	0,596	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Svällband	AP->MR	PW1	2	0,333	8	16	12	0,564	0,028	0,645	0,053	0,570	0,679	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Bly	MR->FP	PW1	2	0,167	6,5	7	6,8	0,281	0,005	0,036	0,002	0,291	0,040	100,0%	100,0%	100,0%
16	EB	Bly	MR->FP	PW2	1	0,333	4,5	10	7,5	0,357	0,008	0,173	0,007	0,355	0,167	100,0%	100,0%	100,0%
17	EB	Mantel	MR->FP	PW2	1	0,333	4,5	10	7,5	0,281	0,005	0,036	0,002	0,150	0,033	100,0%	100,0%	100,0%
18	EB	Svällband	MR->FP	PW2	1	0,333	10	21	16	0,150	0,006	0,036	0,003	0,163	0,041	100,0%	100,0%	100,0%
19	EB	Bly	AP->MR	PW2	2	1,000	8	16	12	1,087	0,016	0,019	0,002	1,093	0,020	100,0%	100,0%	100,0%
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PW2	2	0,667	24	36	28	0,802	0,012	0,055	0,008	0,823	0,070	100,0%	100,0%	100,0%
21	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	4	8	5	1,185	0,055	0,630	0,147	1,241	0,814	N/A	N/A	N/A
22	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	8	24	12	1,166	0,041	0,601	0,087	1,104	0,522	N/A	N/A	N/A
23	AR	Armeringsstråle***	Lager->FP	PW1	2	2,000	8	16	10	2,447	0,023	0,329	0,038	2,324	0,320	N/A	N/A	N/A
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,883	6	10	8	0,826	0,035	0,924	0,072	0,779	0,921	99,0%	100,0%	100,0%
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,883	72	96	80	0,827	0,087	0,958	0,145	0,843	0,860	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,883	30	50	40	0,911	0,040	0,999	0,135	0,836	1,136	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Armeringsstråle	Lager->FP	PW1	2	1,333	8	20	16	1,724	0,020	0,413	0,034	1,738	0,444	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,883	4	16	10	0,618	0,034	0,670	0,045	0,610	0,672	99,3%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,883	40	72	48	0,640	0,059	0,698	0,132	0,697	0,948	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,883	40	60	55	0,676	0,070	0,733	0,112	0,604	0,731	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Stålbånd	AP->FP	PW1	2	0,883	4	6	5	0,646	0,034	0,688	0,065	0,654	0,728	99,2%	99,9%	99,8%
32	AR	Textilband	AP->FP	PW1	2	0,883	24	36	30	0,666	0,044	0,732	0,101	0,702	0,868	100,0%	100,0%	100,0%
33	AR	Armeringsstråle	AP->FP	PW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,572	0,004	0,024	0,003	0,472	0,029	100,0%	100,0%	100,0%
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PW2	2	0,333	24	48	32	0,688	0,010	0,048	0,009	0,470	0,052	100,0%	100,0%	100,0%
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PW2	2	0,333	12	24	16	0,171	0,005	0,050	0,005	0,169	0,051	100,0%	100,0%	100,0%
36	AR	Gunväv	AP->FP	PW2	2	0,333	16	30	20	0,168	0,007	0,047	0,005	0,139	0,169	95,9%	100,0%	100,0%
37	EP	Mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,442	0,037	0,172	0,031	0,439	0,169	100,0%	100,0%	100,0%
38	EP	Ledande mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	16	37	28	0,484	0,091	0,227	0,135	0,487	0,231	100,0%	100,0%	100,0%
39	EP	Mantel/Höjledare/Aluminiummantel	AP->MR	PW1	2	2,500	6	12	8	0,903	0,115	0,841	0,224	0,808	0,751	100,0%	100,0%	100,0%
40	SM	Skärmat	AP->FP	PW1	2	1,333	100	140	120	1,858	0,303	0,440	0,381	2,327	1,033	100,0%	100,0%	100,0%
41	SM	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	22	26	24	0,721	0,172	0,656	0,335	0,820	1,243	100,0%	100,0%	100,0%

Tabell E.5 – Simuleringsdata Konfiguration 3: Scenario 5. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 3: Scenario 5																					
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andra observationer					
							Min	Max	Typ	Medel	1-std. 99% konf.	1-std. 99% konf.	Medel	1-std. 99% konf.	Medel	1-std. 99% konf.	Medel	1-std. 99% konf.	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Tiåd	Lager->FP	PW1	2	1,000	9,5	17,1	21,6	1,500	0,664	0,760	0,502	1,459	0,566	0,999	0,813	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PW1	2	0,333	15,2	38	26,6	0,969	0,064	0,919	0,409	0,999	0,813	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällband	MR->FP	PW1	2	0,333	28,5	71,25	52,25	0,888	0,077	0,982	0,524	0,630	0,659	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmenslederband	AP->FP	PW1	2	0,167	15,2	30,4	22,8	0,803	0,072	0,944	0,554	0,760	0,711	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PW1	2	0,167	28,5	57	38	0,669	0,054	0,949	0,499	0,623	0,694	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PW1	2	0,167	68,4	68,4	68,4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,09	2,66	2,28	0,411	0,001	0,010	0,000	0,412	0,010	0,429	0,014	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8	EX	IHL-YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,225	6,75	5,7	0,430	0,002	0,014	0,000	0,429	0,014	0,429	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,333	8,55	11,4	9,95	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PW1	2	0,250	5,7	9,5	7,6	0,772	0,032	0,729	0,267	0,745	0,595	0,745	0,595	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PW1	2	2,000	68,4	91,2	76	2,484	0,051	0,628	0,294	2,455	0,470	2,455	0,470	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Bly	MR->FP	PW1	2	0,167	6,175	6,65	6,46	0,481	0,009	0,177	0,007	0,446	0,170	0,446	0,170	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Bly	AP->MR	PW1	2	0,667	22,8	26,6	24,7	1,227	0,051	0,849	0,477	1,184	0,578	1,184	0,578	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Svällband	MR->FP	PW1	2	0,333	7,6	15,2	11,4	0,635	0,042	0,898	0,412	0,621	0,715	0,621	0,715	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Bly	MR->FP	PW1	1	0,083	4,275	9,5	7,125	0,371	0,007	0,180	0,008	0,367	0,176	0,367	0,176	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16	EB	Bly	MR->FP	PW2	1	0,083	6,175	6,65	6,46	0,280	0,003	0,036	0,001	0,279	0,035	0,279	0,035	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17	EB	Mantel	MR->FP	PW2	1	0,333	4,275	9,5	7,125	0,153	0,003	0,038	0,002	0,154	0,035	0,154	0,035	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18	EB	Svällband	MR->FP	PW2	1	0,333	9,5	19,95	15,2	0,151	0,007	0,037	0,004	0,149	0,035	0,149	0,035	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
19	EB	Bly	MR->MR	PW2	2	1,000	7,6	15,2	11,4	1,086	0,004	0,020	0,003	1,088	0,019	1,088	0,019	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
20	EB	Mantel, Svällband	MR->MR	PW2	2	0,667	22,8	34,2	26,6	0,801	0,009	0,057	0,005	0,799	0,055	0,799	0,055	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
21	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	3,8	7,6	4,75	1,268	0,171	1,159	1,196	1,191	0,662	1,191	0,662	N/A	N/A	N/A	N/A
22	HV	Fylprofil***	Lager->FP	PW1	2	0,667	7,6	22,8	11,4	1,284	0,160	1,154	1,250	1,150	0,625	1,150	0,625	N/A	N/A	N/A	N/A
23	AR	Armeringsstråle***	Lager->FP	PW1	2	2,000	7,6	15,2	9,5	2,407	0,057	0,548	0,408	2,377	0,340	2,377	0,340	N/A	N/A	N/A	N/A
24	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,833	5,7	9,5	7,6	0,923	0,069	1,181	0,436	1,035	0,358	1,035	0,358	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,833	68,4	91,2	76	0,968	0,124	1,231	0,499	1,179	0,550	1,179	0,550	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,833	28,5	47,5	38	0,868	0,106	1,167	0,564	0,825	1,103	0,825	1,103	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Armeringsstråle	Lager->FP	PW1	2	1,333	7,6	19	13,2	1,791	0,049	0,658	0,405	1,789	0,538	1,789	0,538	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	PP-garn s	AP->FP	PW1	2	0,833	3,8	15,2	9,5	0,887	0,054	0,918	0,436	0,683	0,749	0,683	0,749	99,2%	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn f	AP->FP	PW1	2	0,833	38	68,4	45,6	0,704	0,056	0,953	0,336	0,691	0,704	0,691	0,704	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	Gunväv	AP->FP	PW1	2	0,833	38	57	52,25	0,709	0,044	0,881	0,309	0,709	0,681	0,709	0,681	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Stålbånd	MR->FP	PW1	2	0,833	3,8	5,7	4,75	0,702	0,046	0,901	0,416	0,688	0,724	0,688	0,724	99,2%	100,0%	100,0%	99,8%
32	AR	Textilband	MR->FP	PW1	2	0,833	22,8	34,2	28,5	0,715	0,059	0,897	0,421	0,652	0,614	0,652	0,614	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
33	AR	Armeringsstråle	MR->FP	PW1	2	0,833	1,9	3,135	2,565	0,372	0,003	0,024	0,002	0,465	0,043	0,465	0,043	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
34	AR	PP-garn s	AP->FP	PW2	2	0,333	22,8	45,6	30,4	0,473	0,008	0,049	0,004	0,465	0,043	0,465	0,043	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
35	AR	PP-garn f	AP->FP	PW2	2	0,333	11,4	22,8	15,2	0,178	0,005	0,054	0,006	0,174	0,051	0,174	0,051	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
36	AR	Gunväv	MR->FP	PW2	2	0,333	15,2	28,5	19	0,179	0,011	0,055	0,007	0,403	0,124	0,403	0,124	97,5%	100,0%	100,0%	100,0%
37	EP	Mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	1,425	2,85	2,375	0,459	0,027	0,173	0,021	0,433	0,129	0,433	0,129	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
38	EP	Lofunda mantel	MR->FP	PW1	1	0,167	15,2	35,15	26,6	0,469	0,077	0,170	0,074	0,433	0,129	0,433	0,129	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
39	EP	Mantel/Höjledare/Aluminiummantel	MR->FP	PW1	2	0,250	5,7	11,4	7,6	1,084	0,445	2,249	3,665	0,762	0,460	0,762	0,460	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
40	SM	Skärmaterial	MR->FP	PW1	2	1,333	95	133	114	2,007	0,256	0,729	0,407	2,137	0,429	2,137	0,429	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
41	SM	Band	MR->FP	PW1	2	0,167	20,9	24,7	22,8	0,672	0,091	0,651	0,284	0,588	0,366	0,588	0,366	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Bilaga F

Simuleringsdata Konfiguration 4

Tabell F.1 – Simuleringsdata Konfiguration 4: Scenario 1. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 4 - Scenario 1																	
ID Maskin	Material	Material-lagrar	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andel observationer		
						Min	Max	Typ	Medel	1-sid. 99% konf.	Stickprovs-varians	Medel	1-sid. 99% konf.	Stickprovs-varians		<Min	<Max
1 KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,259	0,013	0,020	1,254	0,202	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
2 KA	Skallband	AP->FP	PVW1	2	0,333	16	40	28	0,663	0,026	0,020	0,655	0,282	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
3 KA	SVällgarnCompound	AP->FP	PVW1	2	0,033	30	75	55	0,386	0,020	0,038	0,377	0,265	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
4 KA	Segmentlarband	AP->FP	PVW1	2	0,167	16	32	24	0,506	0,027	0,284	0,502	0,274	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
5 KA	PP-hand	AP->FP	PVW1	2	0,017	30	60	40	0,360	0,021	0,304	0,353	0,288	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
6 HS	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7 EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,403	0,001	0,009	0,403	0,008	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
8 EX	HL/YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,420	0,001	0,012	0,422	0,013	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
9 SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,066	0,000	0,000	0,066	0,000	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10 SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PVW1	2	0,250	6	10	8	0,584	0,013	0,273	0,554	0,271	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
11 SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PVW1	1	2,000	72	96	80	2,290	0,038	0,244	2,255	0,195	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
12 EB	Bly	MR->FP	PVW1	2	0,667	6,5	7	6,8	0,349	0,008	0,089	0,346	0,087	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
13 EB	Bly	AP->MR	PVW1	2	0,667	24	28	26	0,944	0,018	0,236	0,922	0,278	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
14 EB	Skallband	MR->FP	PVW1	2	0,033	8	16	12	0,325	0,014	0,244	0,322	0,243	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
15 EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,083	4,5	10	7,5	0,267	0,007	0,088	0,266	0,091	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
16 EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
17 EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
18 EB	Skallband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
19 EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
20 EB	Mantel, Skallband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21 HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,702	0,001	0,001	0,702	0,000	0,000	N/A	N/A	N/A
22 HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,704	0,004	0,002	0,702	0,000	0,000	N/A	N/A	N/A
23 AR	Armeringsstrål***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,033	0,000	0,000	2,033	0,000	0,000	N/A	N/A	N/A
24 AR	Armeringsstrål	Lager->MR/FP	PVW1	2	1,250	8	16	10	1,472	0,026	0,162	1,491	0,178	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
25 AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	2	0,083	6	10	8	0,454	0,030	0,335	0,485	0,396	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
26 AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	2	0,050	72	96	80	0,439	0,037	0,362	0,386	0,301	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
27 AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,431	0,041	0,357	0,439	0,315	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
28 AR	Armeringsstrål	Lager->FP	PVW1	2	1,333	8	20	16	1,530	0,013	0,132	1,539	0,143	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
29 AR	PP-garn s	AP->FP	PVW1	2	0,050	4	16	10	0,357	0,022	0,263	0,363	0,272	99,9%	100,0%	100,0%	
30 AR	PP-garn f	AP->FP	PVW1	2	0,050	40	72	48	0,356	0,032	0,249	0,402	0,275	100,0%	100,0%	100,0%	
31 AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,083	40	60	55	0,397	0,033	0,271	0,360	0,219	100,0%	100,0%	100,0%	
32 AR	Skallband	AP->FP	PVW1	2	0,083	4	6	5	0,388	0,018	0,262	0,384	0,247	100,0%	100,0%	100,0%	
33 AR	Textilband	AP->FP	PVW1	2	0,083	24	36	30	0,400	0,019	0,267	0,423	0,281	100,0%	100,0%	100,0%	
34 AR	Armeringsstrål	AP->FP	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
35 AR	PP-garn s	AP->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
36 AR	PP-garn f	AP->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
37 AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
38 EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,371	0,048	0,090	0,342	0,076	99,9%	100,0%	100,0%	
39 EP	Lecolade mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,376	0,078	0,093	0,353	0,056	100,0%	100,0%	100,0%	
40 EP	Mantel/Halvledare/Aluminiummantel	AP->MR	PVW1	2	0,250	6	12	8	0,658	0,157	0,423	0,608	0,472	100,0%	100,0%	100,0%	
41 SM	Skärnstrål	AP->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,559	0,142	0,132	1,841	0,157	100,0%	100,0%	100,0%	
42 SM	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	22	26	24	0,479	0,080	0,215	0,547	0,256	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabell F.2 – Simuleringsdata Konfiguration 4: Scenario 2. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 4 - Scenario 2																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andeli observationer		
							Min	Max	Typ	Medel	1-stid 99% korf.	Stickprovs-varians	Medel	1-stid 99% korf.	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Triad	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,243	0,016	0,201	1,252	0,019	100,0%	100,0%	100,0%	
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	16	40	28	0,657	0,021	0,285	0,674	0,279	100,0%	100,0%	100,0%	
3	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	30	75	55	0,365	0,032	0,289	0,362	0,262	100,0%	100,0%	100,0%	
4	KA	Segmentband	AP->FP	PVW1	2	0,167	16	32	24	0,485	0,023	0,282	0,482	0,251	100,0%	100,0%	100,0%	
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	2	0,017	30	60	40	0,352	0,031	0,298	0,320	0,252	100,0%	100,0%	100,0%	
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	72	72	72	0,484	0,090	0,264	0,500	0,297	100,0%	100,0%	100,0%	
7	EX	Isobring	MR->Hias	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,404	0,002	0,009	0,407	0,009	100,0%	100,0%	100,0%	
8	EX	HLL/YHL	MR->Hias	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,493	0,002	0,013	0,424	0,013	100,0%	100,0%	100,0%	
9	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,667	0,000	0,000	0,667	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
10	SP	Papper (Alla typer)	Lager->MR	PVW1	2	0,250	6	10	8	0,526	0,016	0,188	0,519	0,246	100,0%	100,0%	100,0%	
11	SP	Papper (Alla typer)	AP->Lager	PVW1	2	0,167	72	96	80	2,247	0,030	0,188	2,242	0,166	100,0%	100,0%	100,0%	
12	EB	Bly	MR->Lager	PVW1	1	0,667	6,5	7	6,8	0,355	0,008	0,096	0,356	0,098	100,0%	100,0%	100,0%	
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	2	0,033	24	28	26	0,962	0,030	0,257	0,945	0,221	100,0%	100,0%	100,0%	
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	2	0,033	8	16	12	0,351	0,019	0,286	0,345	0,272	100,0%	100,0%	100,0%	
15	EB	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,083	4,5	10	7,5	0,277	0,009	0,101	0,280	0,100	100,0%	100,0%	100,0%	
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,276	0,006	0,035	0,286	0,037	100,0%	100,0%	100,0%	
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,152	0,005	0,034	0,150	0,036	100,0%	100,0%	100,0%	
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,152	0,007	0,038	0,172	0,046	100,0%	100,0%	100,0%	
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,081	0,006	0,017	1,090	0,019	100,0%	100,0%	100,0%	
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,800	0,011	0,057	0,824	0,059	100,0%	100,0%	100,0%	
21	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,702	0,002	0,001	0,701	0,004	N/A	N/A	N/A	
22	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,705	0,004	0,002	0,700	0,000	N/A	N/A	N/A	
23	AR	Armeringsstrål***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,033	0,000	0,000	2,033	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
24	AR	Armeringsstrål	Lager->MR/FP	PVW1	2	1,250	8	16	10	1,501	0,020	0,206	1,478	0,154	100,0%	100,0%	100,0%	
25	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,083	6	10	8	0,482	0,019	0,382	0,462	0,339	100,0%	100,0%	100,0%	
26	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	72	96	80	0,464	0,056	0,407	0,459	0,409	100,0%	100,0%	100,0%	
27	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,447	0,063	0,345	0,385	0,308	100,0%	100,0%	100,0%	
28	AR	Armeringsstrål	Lager->FP	PVW1	2	1,333	8	20	16	1,561	0,015	0,177	1,567	0,187	100,0%	100,0%	100,0%	
29	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,050	4	16	10	0,404	0,028	0,331	0,391	0,313	100,0%	100,0%	100,0%	
30	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	40	72	48	0,412	0,040	0,322	0,431	0,322	100,0%	100,0%	100,0%	
31	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,083	40	60	55	0,436	0,032	0,311	0,475	0,275	100,0%	100,0%	100,0%	
32	AR	Stålband	AP->FP	PVW1	2	0,083	4	6	5	0,425	0,025	0,313	0,421	0,301	99,9%	100,0%	100,0%	
33	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	2	0,083	24	36	30	0,434	0,023	0,320	0,454	0,363	100,0%	100,0%	100,0%	
34	AR	Armeringsstrål	AP->FP	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,565	0,006	0,020	0,572	0,025	100,0%	100,0%	100,0%	
35	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,457	0,007	0,042	0,468	0,047	100,0%	100,0%	100,0%	
36	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,164	0,009	0,045	0,170	0,053	100,0%	100,0%	100,0%	
37	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,164	0,014	0,046	0,170	0,040	100,0%	100,0%	100,0%	
38	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,357	0,007	0,101	0,357	0,094	99,9%	100,0%	100,0%	
39	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,383	0,037	0,115	0,385	0,128	100,0%	100,0%	100,0%	
40	EP	Mantel/Hälvläsare/Aluminiummantel	AP->MR	PVW1	2	0,250	6	12	8	0,579	0,033	0,301	0,609	0,331	100,0%	100,0%	100,0%	
41	SM	Skärmat	AP->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,645	0,076	0,307	1,558	0,210	100,0%	100,0%	100,0%	
42	SM	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	22	26	24	0,456	0,029	0,254	0,435	0,210	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabell F.3 – Simuleringsdata Konfiguration 4: Scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 4 - Scenario 3																				
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Min	Max	Typ	Medel	Servicetid* (h)	1-std 99% konf.	Stickprovs-varians	Servicetid** (h)	Medel	Stickprovs-varians	Servicetid*** (h)	Andel observationer < Min	< Max	< Typ
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,274	0,235	0,013	0,235	1,266	0,231	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	16	40	28	0,682	0,029	0,321	0,321	0,655	0,318	100,0%	100,0%	100,0%		
3	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	30	75	55	0,397	0,025	0,339	0,339	0,380	0,346	100,0%	100,0%	100,0%		
4	KA	Segmentklarband	AP->FP	PVW1	2	0,167	16	32	24	0,518	0,014	0,314	0,314	0,504	0,299	100,0%	100,0%	100,0%		
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	2	0,017	30	60	40	0,366	0,032	0,317	0,317	0,350	0,308	100,0%	100,0%	100,0%		
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
7	EX	Isobring	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,001	0,010	0,010	0,407	0,009	100,0%	100,0%	100,0%		
8	EX	HLL/YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,014	0,428	0,014	100,0%	100,0%	100,0%		
9	SP	Papper (Alta typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,667	0,000	0,000	0,000	0,667	0,000	100,0%	100,0%	100,0%		
10	SP	Papper (Alta typer)	Lager->MR	PVW1	2	0,250	6	10	8	0,552	0,012	0,274	0,274	0,540	0,261	100,0%	100,0%	100,0%		
11	SP	Papper (Alta typer)	AP->Lager	PVW1	2	2,000	72	96	80	2,272	0,015	0,193	0,193	2,269	0,169	100,0%	100,0%	100,0%		
12	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,364	0,007	0,102	0,102	0,360	0,095	100,0%	100,0%	100,0%		
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	2	0,667	24	28	26	0,968	0,017	0,261	0,261	0,971	0,260	100,0%	100,0%	100,0%		
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	2	0,033	8	16	12	0,372	0,011	0,311	0,311	0,362	0,306	100,0%	100,0%	100,0%		
15	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,083	4,5	10	7,5	0,288	0,008	0,108	0,108	0,278	0,101	100,0%	100,0%	100,0%		
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,278	0,004	0,034	0,034	0,270	0,031	100,0%	100,0%	100,0%		
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,150	0,004	0,036	0,036	0,157	0,039	100,0%	100,0%	100,0%		
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,154	0,006	0,038	0,038	0,158	0,039	100,0%	100,0%	100,0%		
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,085	0,003	0,018	0,018	1,088	0,019	100,0%	100,0%	100,0%		
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,804	0,012	0,056	0,056	0,802	0,059	100,0%	100,0%	100,0%		
21	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,701	0,001	0,000	0,000	0,701	0,000	N/A	N/A	N/A		
22	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,705	0,005	0,002	0,002	0,700	0,000	N/A	N/A	N/A		
23	AR	Armeringsstrål***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,053	0,000	0,000	0,000	2,053	0,000	0,000	0,000	0,000		
24	AR	Armeringsstrål	Lager->MR/FP	PVW1	2	1,250	8	16	10	1,505	0,019	0,207	0,207	1,518	0,254	100,0%	100,0%	100,0%		
25	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,083	6	10	8	0,479	0,022	0,381	0,381	0,495	0,431	100,0%	100,0%	100,0%		
26	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	72	96	80	0,430	0,054	0,375	0,375	0,464	0,397	100,0%	100,0%	100,0%		
27	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,458	0,033	0,355	0,355	0,464	0,397	100,0%	100,0%	100,0%		
28	AR	Armeringsstrål	Lager->FP	PVW1	2	1,333	8	20	16	1,579	0,015	0,191	0,191	1,566	0,186	100,0%	100,0%	100,0%		
29	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,050	4	16	10	0,436	0,022	0,354	0,354	0,413	0,314	99,9%	100,0%	100,0%		
30	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	40	72	48	0,417	0,044	0,322	0,322	0,451	0,258	100,0%	100,0%	100,0%		
31	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,083	40	60	55	0,471	0,054	0,383	0,383	0,503	0,444	100,0%	100,0%	100,0%		
32	AR	Stålband	AP->FP	PVW1	2	0,083	4	6	5	0,449	0,014	0,336	0,336	0,449	0,346	99,9%	100,0%	100,0%		
33	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	2	0,083	24	36	30	0,470	0,035	0,367	0,367	0,431	0,354	100,0%	100,0%	100,0%		
34	AR	Armeringsstrål	AP->FP	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,574	0,004	0,025	0,025	0,575	0,025	100,0%	100,0%	100,0%		
35	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,480	0,012	0,056	0,056	0,489	0,056	100,0%	100,0%	100,0%		
36	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,177	0,009	0,061	0,061	0,181	0,051	100,0%	100,0%	100,0%		
37	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,179	0,008	0,056	0,056	0,186	0,057	100,0%	100,0%	100,0%		
38	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,376	0,028	0,108	0,108	0,355	0,087	99,2%	100,0%	100,0%		
39	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,412	0,058	0,140	0,140	0,453	0,192	100,0%	100,0%	100,0%		
40	EP	Mantel/Hälvlösare/Aluminiummantel	AP->MR	PVW1	2	0,250	6	12	8	0,654	0,091	0,373	0,373	0,644	0,364	100,0%	100,0%	100,0%		
41	SM	Skärmat	AP->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,714	0,272	0,298	0,298	1,920	0,690	100,0%	100,0%	100,0%		
42	SM	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	22	26	24	0,470	0,114	0,282	0,282	0,475	0,266	100,0%	100,0%	100,0%		

Tabell F.4 – Simuleringsdata Konfiguration 4: Scenario 4. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 4 - Scenario 4																		
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andeli observationer		
							Min	Max	Typ	Medel	1-stid 99% korf.	Stickprovs-varians	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ	
1	KA	Triad	Lager->FP	PVW1	2	1,000	10	18	12	1,346	0,329	0,032	1,364	0,368	100,0%	100,0%	100,0%	
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	16	40	28	0,790	0,025	0,074	0,790	0,315	100,0%	100,0%	100,0%	
3	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	30	75	55	0,483	0,041	0,444	0,483	0,520	100,0%	100,0%	100,0%	
4	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,167	16	32	24	0,614	0,029	0,449	0,614	0,656	100,0%	100,0%	100,0%	
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	2	0,017	30	60	40	0,471	0,029	0,046	0,471	0,519	100,0%	100,0%	100,0%	
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	72	72	72	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
7	EX	Isolering	MR->Hias	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,408	0,001	0,010	0,408	0,010	100,0%	100,0%	100,0%	
8	EX	HLL/YHL	MR->Hias	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,430	0,014	100,0%	100,0%	100,0%	
9	SP	Papper (Alta typer)	MR->PP	SP	2	0,033	0,9	1,2	1	0,667	0,000	0,000	0,667	0,000	100,0%	100,0%	100,0%	
10	SP	Papper (Alta typer)	Lager->MR	PVW1	2	0,250	6	10	8	0,610	0,010	0,356	0,624	0,372	100,0%	100,0%	100,0%	
11	SP	Papper (Alta typer)	AP->Lager	PVW1	2	2,000	72	96	80	2,328	0,026	0,280	2,313	0,283	100,0%	100,0%	100,0%	
12	EB	Bly	MR->Lager	PVW1	1	0,167	6,5	7	6,8	0,396	0,005	0,125	0,401	0,128	100,0%	100,0%	100,0%	
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	2	0,667	24	28	26	1,060	0,030	0,402	1,085	0,441	100,0%	100,0%	100,0%	
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	2	0,033	8	16	12	0,458	0,021	0,437	0,479	0,120	100,0%	100,0%	100,0%	
15	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,083	4,5	10	7,5	0,312	0,005	0,122	0,315	0,034	100,0%	100,0%	100,0%	
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,5	7	6,8	0,277	0,003	0,034	0,278	0,034	100,0%	100,0%	100,0%	
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,5	10	7,5	0,151	0,004	0,037	0,154	0,039	100,0%	100,0%	100,0%	
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	10	21	16	0,148	0,004	0,055	0,156	0,038	100,0%	100,0%	100,0%	
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,087	0,003	0,020	1,092	0,022	100,0%	100,0%	100,0%	
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,802	0,010	0,056	0,793	0,046	100,0%	100,0%	100,0%	
21	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	4	8	5	0,702	0,001	0,001	0,703	0,001	N/A	N/A	N/A	
22	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	8	24	12	0,706	0,005	0,002	0,709	0,003	N/A	N/A	N/A	
23	AR	Armeringsstrål***	MR->FP	AR	2	2,000	8	16	10	2,033	0,000	0,000	2,033	0,000	N/A	N/A	N/A	
24	AR	Armeringsstrål	Lager->MR/PP	PVW1	2	1,250	8	16	10	1,576	0,022	0,302	1,570	0,283	100,0%	100,0%	100,0%	
25	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,083	6	10	8	0,575	0,025	0,501	0,564	0,467	100,0%	100,0%	100,0%	
26	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	72	96	80	0,586	0,079	0,586	0,635	0,840	100,0%	100,0%	100,0%	
27	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,050	30	50	40	0,556	0,061	0,494	0,499	0,373	100,0%	100,0%	100,0%	
28	AR	Armeringsstrål	Lager->FP	PVW1	2	1,333	8	20	16	1,643	0,023	0,283	1,649	0,295	100,0%	100,0%	100,0%	
29	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,050	4	16	10	0,504	0,032	0,450	0,546	0,513	99,6%	100,0%	100,0%	
30	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	40	72	48	0,494	0,030	0,453	0,492	0,467	100,0%	100,0%	100,0%	
31	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,083	40	60	55	0,541	0,031	0,479	0,601	0,497	100,0%	100,0%	100,0%	
32	AR	Stålband	AP->FP	PVW1	2	0,083	4	6	5	0,524	0,024	0,438	0,569	0,491	99,7%	100,0%	99,9%	
33	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	2	0,083	24	36	30	0,539	0,031	0,449	0,622	0,554	100,0%	100,0%	100,0%	
34	AR	Armeringsstrål	AP->FP	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,570	0,003	0,023	0,572	0,025	100,0%	100,0%	100,0%	
35	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,471	0,009	0,051	0,468	0,053	100,0%	100,0%	100,0%	
36	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW2	2	0,033	12	24	16	0,177	0,007	0,054	0,193	0,060	100,0%	100,0%	100,0%	
37	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	2	0,033	16	30	20	0,174	0,006	0,052	0,173	0,054	100,0%	100,0%	100,0%	
38	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,5	3	2,5	0,396	0,016	0,120	0,423	0,148	96,5%	100,0%	100,0%	
39	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	16	37	28	0,424	0,056	0,128	0,376	0,056	100,0%	100,0%	100,0%	
40	EP	Mantel/Hälvläsare/Aluminiummantel	AP->MR	PVW1	2	0,250	6	12	8	0,757	0,101	0,591	0,758	0,598	100,0%	100,0%	100,0%	
41	SM	Skärmat	AP->FP	PVW1	2	1,333	100	140	120	1,745	0,235	0,501	1,525	0,062	100,0%	100,0%	100,0%	
42	SM	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	22	26	24	0,606	0,143	0,521	0,517	0,392	100,0%	100,0%	100,0%	

Tabell F.5 – Simuleringsdata Konfiguration 4: Scenario 5. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Konfiguration 4: Scenario 5																			
ID	Maskin	Material	Material-punkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)			Andel observationer			
							Min	Max	Typ	Medel	1-stid 99% korf.	Stickprovs-varians	1-stid 99% korf.	Stickprovs-varians	Medel	Stickprovs-varians	< Min	< Max	< Typ
1	KA	Triad	Lager->FP	PVW1	2	1,000	9,5	17,1	11,4	1,357	0,020	0,360	0,039	0,376	1,364	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	15,2	38	26,6	0,790	0,023	0,473	0,048	0,812	0,812	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	Svällband	AP->FP	PVW1	2	0,333	28,5	71,25	52,25	0,517	0,031	0,501	0,050	0,541	0,541	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentklarband	AP->FP	PVW1	2	0,167	15,2	30,4	22,8	0,629	0,026	0,480	0,049	0,658	0,658	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	AP->FP	PVW1	2	0,017	28,5	57	38	0,493	0,036	0,493	0,049	0,525	0,525	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
6	HS	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	68,4	68,4	68,4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	HS	Isotering	MR->Hias	EX	1	0,333	2,09	2,66	2,28	0,411	0,002	0,010	0,000	0,409	0,409	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
8	EX	HLL/YHL	MR->Hias	EX	1	0,333	5,225	6,175	5,7	0,432	0,003	0,015	0,001	0,431	0,431	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
9	SP	Papper (Alta typer)	MR->FP	SP	2	0,033	0,855	1,14	0,95	0,067	0,000	0,000	0,000	0,067	0,067	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
10	SP	Papper (Alta typer)	Lager->MR	PVW1	2	0,250	5,7	9,5	7,6	0,630	0,009	0,384	0,015	0,627	0,627	0,000	99,9%	100,0%	100,0%
11	SP	Papper (Alta typer)	Lager->lager	PVW1	2	2,000	68,4	91,2	76	2,348	0,022	0,310	0,042	2,387	2,387	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,398	0,004	0,123	0,004	0,393	0,393	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Bly	AP->MR	PVW1	2	0,667	22,8	26,6	24,7	1,067	0,014	0,419	0,030	1,062	1,062	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Svällband	AP->MR	PVW1	2	0,033	7,6	15,2	11,4	0,478	0,013	0,480	0,044	0,474	0,474	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mantel	AP->FP	PVW1	1	0,083	4,275	9,5	7,125	0,316	0,005	0,124	0,005	0,316	0,316	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
16	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,167	6,175	6,65	6,46	0,279	0,004	0,034	0,002	0,275	0,275	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
17	EB	Mantel	MR->FP	PVW2	1	0,033	4,275	9,5	7,125	0,151	0,005	0,037	0,002	0,144	0,144	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
18	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,033	9,5	19,95	15,2	0,152	0,009	0,037	0,004	0,152	0,152	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
19	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	7,6	15,2	11,4	1,087	0,004	0,019	0,002	1,086	1,086	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
20	EB	Mantel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	22,8	34,2	26,6	0,805	0,008	0,055	0,005	0,819	0,819	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
21	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	3,8	7,6	4,75	0,702	0,001	0,001	0,000	0,702	0,702	0,000	N/A	N/A	N/A
22	HV	Fyllprofil***	MR->FP	HV	2	0,667	7,6	22,8	11,4	0,704	0,003	0,001	0,001	0,704	0,704	0,000	N/A	N/A	N/A
23	AR	Armeringsstråf***	MR->FP	AR	2	2,000	7,6	15,2	9,5	2,033	0,000	0,000	0,000	2,033	2,033	0,000	N/A	N/A	N/A
24	AR	Armeringsstråf	Lager->MR/PP	PVW1	2	1,250	7,6	15,2	9,5	1,598	0,028	0,345	0,058	1,620	1,620	0,000	99,9%	100,0%	100,0%
25	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,083	5,7	9,5	7,6	0,620	0,038	0,569	0,070	0,648	0,648	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	68,4	91,2	76	0,582	0,065	0,611	0,207	0,661	0,661	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
27	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,500	28,5	47,5	38	0,587	0,055	0,575	0,110	0,554	0,554	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armeringsstråf	Lager->FP	PVW1	2	1,333	7,6	19	15,2	1,646	0,016	0,278	0,036	1,645	1,645	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW1	2	0,050	3,8	15,2	9,5	0,523	0,011	0,496	0,033	0,511	0,511	0,000	99,7%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW1	2	0,050	38	68,4	45,6	0,528	0,040	0,524	0,070	0,491	0,491	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	AP->FP	PVW1	2	0,083	38	57	52,25	0,580	0,049	0,520	0,111	0,550	0,550	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Stålband	AP->FP	PVW1	2	0,083	3,8	5,7	4,75	0,550	0,011	0,480	0,024	0,540	0,540	0,000	99,7%	100,0%	99,9%
33	AR	Textilband	AP->FP	PVW1	2	0,083	22,8	34,2	28,5	0,560	0,020	0,509	0,043	0,576	0,576	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
34	AR	Armeringsstråf	AP->FP	PVW2	2	0,500	1,9	3,135	2,565	0,572	0,003	0,024	0,002	0,576	0,576	0,000	99,9%	100,0%	100,0%
35	AR	PP-gum s	AP->FP	PVW2	2	0,333	22,8	45,6	30,4	0,468	0,012	0,498	0,009	0,476	0,476	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
36	AR	PP-gum f	AP->FP	PVW2	2	0,033	11,4	22,8	15,2	0,176	0,007	0,051	0,006	0,188	0,188	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
37	AR	Gunväv	AP->FP	PVW2	2	0,033	15,2	28,5	19	0,177	0,012	0,052	0,009	0,181	0,181	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
38	EP	Mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	1,425	2,85	2,375	0,441	0,020	0,126	0,011	0,453	0,453	0,000	97,0%	100,0%	100,0%
39	EP	Ledande mantel	MR->FP	PVW1	1	0,167	15,2	35,15	26,6	0,442	0,075	0,147	0,066	0,444	0,444	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
40	EP	Mantel/Hälvlösare/Aluminiummantel	AP->MR	PVW1	2	0,250	5,7	11,4	7,6	0,860	0,105	0,774	0,311	1,037	1,037	0,000	98,9%	100,0%	100,0%
41	SM	Skärmat	AP->FP	PVW1	2	1,333	9,5	13,3	11,4	1,751	0,151	0,319	0,152	1,938	1,938	0,000	100,0%	100,0%	100,0%
42	SM	Band	AP->MR	PVW1	2	0,167	20,9	24,7	22,8	0,617	0,076	0,487	0,155	0,527	0,527	0,000	100,0%	100,0%	100,0%

Bilaga G

Simuleringsdata känslighetsanalys

Tabell G.1 – Simuleringsdata känslighetsanalys baserad på Konfiguration 1: scenario 3. N/A = data saknas. * = Tider baserade på 10 simuleringskörningar. ** = Tider baserade på en simuleringskörning. *** = materialet utvärderats utifrån hur långt servicetiden avviker från transporttiden.

Känslighetsanalys																	
ID	Maskin	Material	Materialpunkter	Truck-resurs	Prioritet	Transporttid	Fördelningsparametrar (h)			Servicetid* (h)			Servicetid** (h)		Andel observationer < Min < Max < Typ		
							Min	Max	Typ	Medel	1-sid. 99% konf.	1-sid. 99% konf.	Medel	Stäckprovs-varians			
1	KA	Tråd	Lager->FP	PVW1	2	1,500	10	18	12	1,890	0,067	0,555	1,894	0,407	100,0%	100,0%	100,0%
2	KA	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,250	16	40	28	0,879	0,081	0,898	0,896	0,705	100,0%	100,0%	100,0%
3	KA	SvällgarnCompound	MR->FP	PVW1	2	0,083	30	75	55	0,724	0,099	0,923	0,715	0,742	100,0%	100,0%	100,0%
4	KA	Segmentklärband	MR->FP	PVW1	2	0,083	16	32	24	0,701	0,076	0,881	0,680	0,711	100,0%	100,0%	100,0%
5	KA	PP-band	MR->FP	PVW1	2	0,083	30	60	40	0,718	0,088	0,890	0,698	0,706	100,0%	100,0%	100,0%
6	EX	Isolering	MR->Hiss	EX	1	0,333	2,2	2,8	2,4	0,409	0,002	0,010	0,408	0,010	100,0%	100,0%	100,0%
7	EX	IHL/YHL	MR->Hiss	EX	1	0,333	5,5	6,5	6	0,427	0,002	0,014	0,425	0,013	100,0%	100,0%	100,0%
8	SP	Papper (Alla typer)	MR->FP	PVW1	2	0,083	0,9	1,2	1	0,450	0,060	0,655	0,510	0,490	80,4%	85,0%	82,0%
9	EB	Bly	MR->FP	PVW1	1	0,250	6,5	7	6,8	0,486	0,016	0,163	0,474	0,152	100,0%	100,0%	100,0%
10	EB	Mänzel	MR->FP	PVW1	1	0,083	4,5	10	7,5	0,329	0,009	0,163	0,323	0,155	100,0%	100,0%	100,0%
11	EB	Bly	MR->FP	PVW2	1	0,250	6,5	7	6,8	0,382	0,007	0,047	0,384	0,046	100,0%	100,0%	100,0%
12	EB	Mänzel	MR->FP	PVW2	1	0,083	4,5	10	7,5	0,226	0,007	0,051	0,228	0,052	100,0%	100,0%	100,0%
13	EB	Svällband	MR->FP	PVW2	1	0,083	10	21	16	0,224	0,005	0,047	0,213	0,043	100,0%	100,0%	100,0%
14	EB	Bly	AP->MR	PVW2	2	1,000	8	16	12	1,132	0,009	0,060	1,135	0,065	100,0%	100,0%	100,0%
15	EB	Mänzel, Svällband	AP->MR	PVW2	2	0,667	24	36	28	0,854	0,021	0,105	0,866	0,107	100,0%	100,0%	100,0%
16	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	4	8	5	1,141	0,125	0,723	1,147	0,469	N/A	N/A	N/A
17	HV	Fyllprofil***	MR->FP	PVW1	2	0,667	8	24	12	1,087	0,101	0,427	1,016	0,320	N/A	N/A	N/A
18	AR	Armsingstråd***	MR->FP	PVW1	2	2,000	8	16	10	2,320	0,051	0,427	2,273	0,228	N/A	N/A	N/A
19	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,083	6	10	8	0,815	0,072	1,007	0,737	0,777	100,0%	100,0%	100,0%
20	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,083	72	96	80	0,861	0,085	1,145	0,863	0,863	100,0%	100,0%	100,0%
21	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,083	30	50	40	0,827	0,082	1,027	0,842	0,991	100,0%	100,0%	100,0%
22	AR	Armsingstråd	Lager->FP	PVW1	2	1,250	12	20	16	1,669	0,055	0,619	1,617	0,410	100,0%	100,0%	100,0%
23	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW1	2	0,083	4	16	10	0,651	0,069	0,820	0,563	0,535	99,8%	100,0%	100,0%
24	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW1	2	0,083	40	72	48	0,642	0,064	0,811	0,553	0,444	100,0%	100,0%	100,0%
25	AR	Gunväv	MR->FP	PVW1	2	0,083	40	60	55	0,644	0,089	0,824	0,537	0,440	100,0%	100,0%	100,0%
26	AR	Svällband	MR->FP	PVW1	2	0,083	4	6	5	0,656	0,060	0,812	0,564	0,533	99,6%	100,0%	100,0%
27	AR	Textilband	MR->FP	PVW1	2	0,083	24	36	30	0,647	0,078	0,810	0,558	0,532	100,0%	100,0%	100,0%
28	AR	Armsingstråd	MR->FP	PVW2	2	1,250	18	30	24	1,415	0,013	0,070	1,396	0,053	100,0%	100,0%	100,0%
29	AR	PP-garn s	MR->FP	PVW2	2	0,333	24	48	32	0,554	0,019	0,125	0,544	0,123	100,0%	100,0%	100,0%
30	AR	PP-garn f	MR->FP	PVW2	2	0,083	12	24	16	0,311	0,013	0,126	0,312	0,123	100,0%	100,0%	100,0%
31	AR	Gunväv	MR->FP	PVW2	2	0,083	16	30	20	0,314	0,015	0,133	0,318	0,136	100,0%	100,0%	100,0%
32	AR	Armsingstråd	AP->MR	PVW2	2	0,500	2	3,3	2,7	0,640	0,004	0,081	0,641	0,104	100,0%	100,0%	100,0%
33	AR	Garn, Gunväv	AP->MR	PVW2	2	0,750	20	30	24	0,958	0,013	0,112	0,956	0,104	100,0%	100,0%	100,0%
34	EP	Mänzel	MR->FP	PVW1	1	0,250	1,5	3	2,5	0,507	0,028	0,167	0,507	0,087	100,0%	100,0%	100,0%
35	EP	Hälskare	MR->FP	PVW1	1	0,250	16	37	28	0,517	0,051	0,161	0,477	0,087	100,0%	100,0%	100,0%
36	SM	Skärnstråd	MR->FP	PVW1	2	1,500	100	140	120	1,996	0,305	0,448	1,616	0,004	100,0%	100,0%	100,0%

