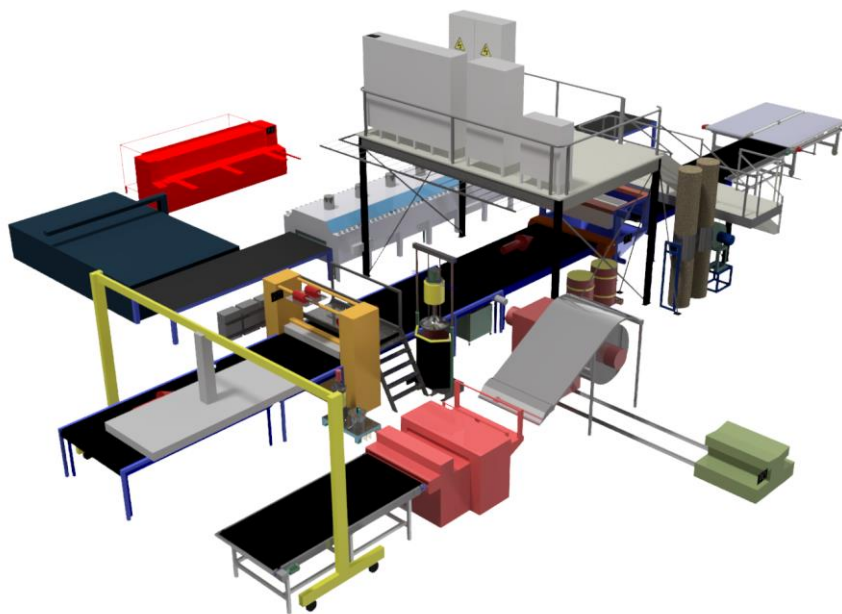




# CHALMERS



## Analys och simulering av framtida produktionsanläggning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik  
ERIK CARLBORG

## **Förord**

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete på högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och har genomförts på institutionen för produkt- och produktionsutveckling. Arbetet har utförts i samarbete med Lamera AB, tillverkare av Hybrix, ett formbart lättviktssandwichmaterial.

Jag vill tacka min handledare Åsa Fasth Berglund för stöd och vägledning under arbetet. Jag vill även tacka Lamera AB som tillhandahållit med kontor och särskilt Bengt A. G. Nilsson som varit min handledare på företaget. Sist men inte minst vill jag tacka min sambo Matilda Mellberg för stöd, tålamod och korrekturläsning.

Göteborg, juni 2016

## Sammanfattning

Arbetet har genomförts i samband med att Lamera AB har växt från att ha en pilotanläggning som endast kunnat producera mindre volymer material till en fullskalig anläggning, här benämnd Alfa-line, vilken kan producera betydligt större volymer. Produkten som tillverkades var Hybrix, ett lätt och formbart sandwichmaterial med ytor av metall samt en kärna av luft och fibrer av polymer. Alfa-line var ett första steg att utöka produktionskapaciteten. Därefter räknade företaget med att öka produktionskapaciteten ytterligare genom automatisering av Alfa-line. Arbetet var uppdelat i två huvuddelar. Den första delen var en jämförelse av hur produktionen skedde i de olika anläggningarna. Den andra delen bestod av simulering och optimering av produktionen i Alfa-line med avseende på produktionsvolym, analys av vilka områden som kunde automatiseras och vilken förändring det skulle ge på produktionskapaciteten. Det var endast produktionen som analyserades och simulerades. Lager och logistik var inte en del av arbetet.

De två produktionsanläggningarna, pilotanläggningen och Alfa-line, analyserades ur ett automationsperspektiv och jämfördes mot varandra. Det genomfördes hierarkiska uppgiftsanalyser (HTA) samt mätningar av fysisk och kognitiv automationsnivå (LoA). Antalet uppgifter för att producera en Hybrix gick från 41 stycken i pilotanläggningen till 27 stycken i Alfa-line. Detta trots att det tillkom processer i början och slutet av produktionsprocessen som tidigare inte funnits med. Andelen uppgifter med hög automationsnivå ökade markant från pilotanläggningen till Alfa-line.

Efter en jämförelse av tre olika mjukvaror valdes Anylogic som för att bygga simuleringsmodellen. Simuleringen visade att Alfa-line i sitt nuvarande utförande kan producera ca 16 Hybrix per tidsenhet, oberoende av längden. Alfa-line hade en begränsning på en längd av ca 3000 mm. Simuleringar genomfördes för längderna 1000 mm, 2000 mm och 3000 mm. Det var i första hand processerna H1, P4 och M3 som skulle automatiseras för att sänka processtiden och därmed öka produktionskapaciteten. Inmatningen till P5 och övergången mellan P5 och M3 kunde också automatiseras. Det skulle frigöra personal men påverkade inte produktionskapaciteten. En produktionskapacitet på 90 % kunde nås genom att sänka processhastigheterna till max 70 %. Det var processer som krävde mycket handhavande av operatörerna som var begränsande. Kunde tiderna för de begränsande processerna minskas genom automation skulle produktionskapaciteten öka. Hur mycket det var lönt att minska nämnda processtider berodde på längden på Hybrixen som skulle produceras. Ju kortare Hybrix desto mer kan processtiderna minskas innan begränsningen blev andra delar av Alfa-line. Minskades processtiden med 50 % ökade den maximala volymen till 28 – 30 Hybrix per tidsenhet beroende på storleken. Minskades processtiden med 75 % ökade den maximala volymen till 41 och 50 Hybrix per tidsenhet för längderna 2000 respektive 1000 mm. Vid en minskning med 75 % var volymen oförändrad för 3000 mm långa Hybrix då andra delar av Alfa-line blev begränsande.

## Summary

This thesis was made in connection with the expansion of Lamera ABs production facility from a pilot plant which only was able to produce a smaller volume of material to a full scale production plant, in this paper referred to as Alfa-line, which was able to produce a significantly larger volume. The product produced was Hybrix, a light and formable sandwich material with metal surfaces and a core of air and polymer fibers. Alfa-line is the first step in increasing the production volume. The company was expecting to increase the volume further by increased automatization in a later stage. This thesis was focused on two different parts. The first part was a comparison of the production in the two facilities. The second part was simulation and optimization of the production in Alfa-line regarding production volume and to identify what areas would benefit from further automatization. The production itself was the only part that will be analyzed and simulated. Inventory and logistics was not a part of the thesis.

The two production lines, the pilot plant and Alfa-line was analyzed from an automatization point of view and compared with each other. A Hierarchical Task Analysis (HTA) and measurements of the Level of Automation (LoA) were performed. Both the level of physical and cognitive automation was measured. The number of tasks required to produce a Hybrix decreased from 41 in the pilot plant to 27 in Alfa-line. This despite the fact that there were processes added in the beginning and end of Alfa-line that wasn't in the pilot plant. The proportion of tasks with a high level of automation was increased in Alfa-line compared to the pilot plant.

After a comparison of three different softwares, Anylogic was selected to create the simulation model. The simulation presented that Alfa-line in its current condition could produce Hybrix in a rate of 16 Hybrix per unit time. The length of the Hybrix did not affect the outcome. Alfa-line had a physical limitation for how long Hybrixs can be produced, 3000 mm. The processes H1, P4 and M3 are the ones that should be automated first. Decreasing of production times in those processes would increase the production volume. Further automatization could be done in the beginning of P5 and the transition between P5 and M3. The latter automatization would not affect the production capacity but it would free operators to perform other tasks. Simulations were made with the different lengths 1000, 2000 and 3000 mm. A production capacity that reached 90 % was achieved by lowering the process speeds to 70 % or less of the individual process maximum speed. There were processes that require manual handling from the operators that were limiting the production capacity. If the time required for those processes could be decreased by further automatization the production rate would increase. To what extent its worth decreasing said production times depended on what length of Hybrix that would be produced. The shorter the length of the Hybrix the more the production times can be reduced before other parts of Alfa-line became limiting. If said times were decreased by 50 % the production rate would increase to 28 – 30 Hybrix per unit time depending on the length. If the reduction was 75 % the volume would increase to 41 for the 2000 mm and 50 Hybrix per unit time for the 1000 mm. The production rate would not increase further for Hybrix with a length of 3000 mm.

## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	7
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Syfte .....	8
1.3 Avgränsningar .....	8
1.4 Rapportens disposition .....	8
2. Teoretisk referensram .....	10
2.1 Flödesteori .....	10
2.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys.....	11
2.3 Automationsnivåer.....	12
2.4 Simulering .....	13
3. Metod .....	16
3.1 Forskningsdesign.....	16
3.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys.....	16
3.3 Automationsanalys .....	17
3.4 Val av simuleringsmjukvara .....	17
3.5 Simuleringsmodell.....	19
4. Nulägesanalys pilotanläggning .....	20
4.1 Översikt pilotanläggning .....	20
4.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys pilotanläggning.....	21
4.3 LoA – Automationsnivåer hos pilotanläggningen .....	22
5. Nulägesanalys Alfa-line .....	23
5.1 Översikt Alfa-line.....	23
5.2 HTA – Uppgiftsanalys Alfa-line.....	24
5.3 LoA – Automationsnivåer hos Alfa-line.....	24
6. Simulering.....	26
6.1 Modellen .....	26
6.2 Resultat av simuleringen.....	28
7. Diskussion.....	32
7.1 Automationsanalys .....	32
7.2 Simuleringsresultat .....	33
7.3 Föreslagna förbättringar .....	33
8. Slutsatser .....	37
Referenser .....	39

Figur 1, ökning av efterfrågan och produktionskapacitet av Hybrix över tid.....	8
Figur 2, rapportens disposition. Efter inledningen kommer två kapitel med teori och sedan tre med empiri. Därefter diskuteras resultaten och slutsatserna redovisas. ....	9
Figur 3, produkt-processmatris baserad på Hayes och Wheelwright 1979, anpassad av Johansson och Olhager 2006. ....	10
Figur 4, exempel på HTA för att hamra ner ett spikhuvud som sticker upp. (Stanton, 2006) .....	12
Figur 5, exempel på abstraktionsnivåer. (Grigoryev, 2015) .....	14
Figur 6, en översikt av simuleringsmetoder och deras abstraktionsnivåer. (Grigoryev, 2015) .....	15
Figur 7, precedensdiagram pilotanläggning .....	20
Figur 8, schematisk layout pilotanläggning.....	20
Figur 9, HTA pilotanläggning .....	21
Figur 10, sammanställning av automationsnivåer pilotanläggning. ....	22
Figur 11, precedensdiagram Alfa-line .....	23
Figur 12, översiktsbild Alfa-line .....	23
Figur 13, HTA Alfa-line.....	24
Figur 14, sammanställning av automationsnivåer Alfa-line. ....	25
Figur 15, översikt simulering Alfa-line .....	27
Figur 16, tillståndsdigram för första delen av P3 .....	28
Figur 17, produktionsresultat vid 100 % processhastighet och tre operatörer. ....	29
Figur 18, produktionsresultat vid 100 % processhastighet och två operatörer.....	29
Figur 19, processdata vid 90 % av maximal produktion.....	30
Figur 20, antal Hybrix producerade per tidsenhet vid minskade processtider för H1, P4 och P6. ....	30
Figur 21, antal kvadratmeter Hybrix producerade per tidsenhet vid minskade processtider för H1, P4 och P6. ....	31
Figur 22, ökad produktion vid minskade processtider för tre olika längder av Hybrix. Vid en längd på 1000 mm kommer brytpunkten vid 25 % av den ursprungliga processtiden. Vid 2000 mm är brytpunkten vid 32 % och vid 3000 mm är brytpunkten vid 55 %. ....	31
Figur 23, jämförelse mellan automationsnivåer i pilotanläggning till vänster och Alfa-line till höger. ....	32
Figur 24, HTA för pilotanläggningen till vänster och Alfa-line till höger. ....	33
Figur 25, matris med möjliga förbättringar, SOPI, av P4 .....	34
Figur 26, matris med möjliga förbättringar, SOPI, av P6 .....	34
Figur 27, möjlig HTA efter automatisering. De grå uppgifterna kunde automatiseras till en sådan grad att operatören endast behövde starta dem med ett knapptryck. ....	35
Figur 28, möjlig LoA efter automatisering. En deluppgifter har slagits samman och alla med nivå 1,1 har höjts jämfört med dagsläget. ....	35
Figur 29, de olika anläggningarna i produkt-processmatrisen .....	36
Tabell 1, automationsnivåer enligt (Frohm, Lindström, Winroth, & Stahre, 2008) .....	13
Tabell 2, utvärderingsschema simuleringsmjukvara. ....	18
Tabell 3, förklaring av symboler i modellen av Alfa-line. Den första kolumnen visar en symbol som finns i simuleringsmodellen och den andra kolumnen förklarar innebörden av symbolen. ....	26
Tabell 4, produktionsresultat vid reducering av processtider för begränsande processer. Första kolumnen visar Hybrixens längd i mm och den andra processtid för H1, P4 och M3 uttryckt i procent av den ursprungliga. Tredje och fjärde kolumnen visar produktionsresultatet uttryckt i antal Hybrix per tidsenhet respektive antal kvadratmeter Hybrix per tidsenhet. ....	38

# 1 Inledning

*Detta kapitel innehåller bakgrund, syfte, avgränsningar och rapportens disposition. Bakgrunden berättar om företaget arbetet utförts tillsammans med, produkten de producerar samt problemet som ska lösas. Syftet preciserar de frågeställningar som ska besvaras. Avgränsningarna tar upp vilka delar som inte kommer analyseras samt vad som inte kan nämnas i rapporten på grund av sekretess. Inledningens sista del ger en översikt av rapportens olika kapitel och struktur.*

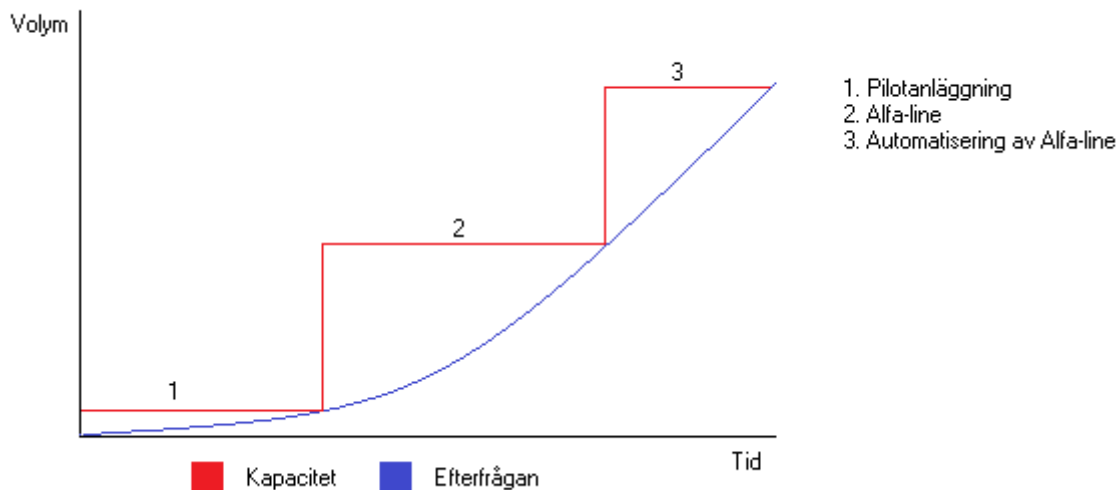
## 1.1 Bakgrund

Olika tillverkningsprocesser passar olika produkter. Det är framförallt volymen och antalet produktvarianter som avgör vilken typ av process som är lönsammast. Vid tillverkning av små volymer med många olika varianter är det lönsammast att jobba med enstyckstillverkning i en funktionell verkstad. När volymen ökar lönar det sig att börja anpassa verkstaden efter flödet och börja tillverka i batcher. Ökar volymen ytterligare lönar det sig att ha en helt flödesanpassad produktion och tillverka produkterna på ett transportband. (Hayes & Wheelwright, 1979)

Hybrix är ett unikt sandwichmaterial i plåt som tillverkas av Lamera AB (Lamera). Det är en formbar lättviktskomposit som väger ca 50 procent mindre än en solid plåt av samma tjocklek men har samma böjstyvhet. Tjockleken kan varieras mellan 0,5 mm till 3,5 mm och det kan tillverkas i en storlek upp till ca 1250 mm x 3000 mm. Hybrix kan formas, bockas, klippas och fogas med konventionella metoder. Materialets yta består av tunnplåt och kärnan av luft och fibrer av polymer. Hybrix har lägre miljöpåverkan än rostfritt stål och aluminium och upp till 40 % mindre miljöpåverkan än koppar, ur ett livscykelperspektiv. Det finns många varianter av Hybrix med olika ytmaterial och olika mekaniska egenskaper men med sammatillverkningsprocess för alla varianter. Ur ett flödesteoretiskt perspektiv är det en produkt med hög volym och få varianter.

Behovet av lättviktsmaterial bedöms växa betydligt, framförallt för att industrin ska kunna möta krav på sänkta koldioxidutsläpp och ökande kostnader. Nu kan företag som kräver hög prestanda ersätta plåt av rostfritt stål, kolstål eller aluminium med sandwichmaterialet Hybrix samtidigt som ytans egenskaper är oförändrade. Därmed kan de åstadkomma en viktminskning på 50 % jämfört med användningen av solid metallplåt.

Det senaste årtiondet har Lamera utvecklat idén, som härrör från Volvo, till en kommersiell produkt. Under våren 2016 kommer Lamera ta sin nya produktionslina i drift (i denna rapport kallad Alfa-line). Företaget går från en pilotanläggning som använts för att producera testmaterial och mindre volymer till beställande kunder till en anläggning som ska kunna producera stora volymer material till den växande internationella marknaden. När Alfa-line når sin maximala kapacitet är det tänkt att den ska ökas ytterligare genom automatisering. Figur 1 visar den planerade ökningen av produktionskapacitet och efterfrågan över tid. Den ökade volymen kommer även att leda till ett lägre pris och därmed ökad efterfrågan. När den nya produktionslinan tas i drift kommer det att finnas ett behov av att optimera tillverkningsprocessen genom simulering av delprocessen samt att jämföra denna simulering med det verkliga utfallet.



Figur 1, ökning av efterfrågan och produktionskapacitet av Hybrix över tid.

## 1.2 Syfte

I samband med att Lamera installerar en helt ny produktionslina för tillverkning av Hybrix är syftet att ur ett automationsperspektiv analysera och jämföra pilotanläggningen med Alfa-line samt simulera och optimera den nya anläggningen. De problem som ska lösas under projektet kan preciseras i följande fyra punkter:

- Automationsanalys av pilotanläggning.
- Automationsanalys av Alfa-line.
- Simulering och optimering av produktionsprocessen i den nya produktionslinan.
- Identifiering av områden där ytterligare automatisering leder till ökad produktionsvolym.

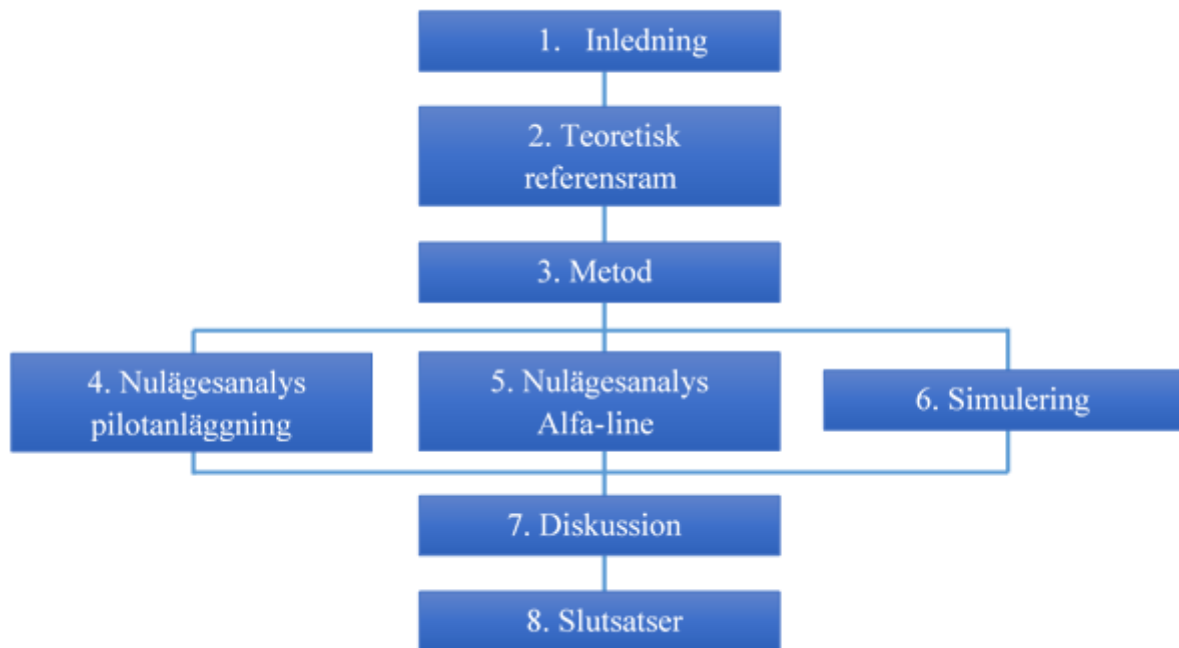
## 1.3 Avgränsningar

Projektet beräknas pågå under vårterminen 2016 med start från slutet av januari och med avslut i slutet av maj 2016. Aktuellt produktionssystem avgränsas till tillverkningen av Hybrix men omfattar inte lagerhantering eller logistik av råmaterial och färdigt material. På grund av sekretess kan uppgifter så som processbeskrivningar, processtider och produktionsvolym inte skrivas ut i rapporten.

## 1.4 Rapportens disposition

Det inledande kapitlet tar upp projektets bakgrund, syfte och frågeställning. Därefter kommer ett teoretiskt kapitel med bakgrund till de metoder som använts i projektet. Det tredje kapitlet innehåller beskrivning av metoderna som använts i projektet. Sedan följer tre kapitel med resultat. Kapitel 4 och 5 innehåller resultaten från analysen av pilotanläggningen respektive den nya produktionslinan, Alfa-line. I kapitel sex redovisas resultatet från simuleringen samt vilka områden som ytterligare kan automatiseras för att öka produktionskapaciteten. Det sjunde kapitlet i rapporten innehåller diskussion av resultaten från kapitel 4, 5 och 6. Det åttonde och avslutande kapitlet innehåller de slutsatser som kunnat dras från resultaten och diskussionen. Figur 2 illustrerar rapportens disposition.





Figur 2, rapportens disposition. Efter inledningen kommer två kapitel med teori och sedan tre med empiri. Därefter diskuteras resultaten och slutsatserna redovisas.

## 2. Teoretisk referensram

Detta kapitel avhandlar teorin och bakgrunden till de metoder som använts i arbetet. Första delen behandlar flödesteori som fokuserar på tillverkningsmetod som passar för vilken produkt. Nästa del tar upp bakgrund till uppgiftsanalys. Den tredje delen behandlar historik och definitioner av automationsnivåer. Kapitlets sista del tar upp simulering samt tre olika metoder för simulering; systemdynamik, diskreta händelser och agentbaserad simulering.

### 2.1 Flödesteori

Olika typer av produkter kräver olika produktionsprocesser. Hayes och Wheelwright tog 1979 fram en matris som kopplar olika produkter till olika produktionsprocesser. Figur 3 visar produkt-processmatrisen som Hayes och Wheelwright tog fram, här är den generaliserad av Johansson och Olhager. För att avgöra vilken typ av produktionsprocess som är lämplig för ett företag studeras vilken typ av produkter och vilken volym som företaget producerar. (Johansson & Olhager, 2006).

Process structure	Product structure			
	one-of-a-kind, low volume	many products, low-volume	few major products, high-volume	standardized products, high volume
Job shop				
Flow shop		Typical		
Line flow			diagonal	
Continuous flow				match

Figur 3, produkt-processmatris baserad på Hayes och Wheelwright 1979, anpassad av Johansson och Olhager 2006.

På x-axeln beskrivs produktens tillverkningsvolym och hur många olika varianter som tillverkas. Längst till vänster är varje produkt unik. I steget efter tillverkas det många olika produkter men varje produkt är inte längre unik. I tredje steget är antalet produkter lägre och i sista steget är produktvarianterna så pass lika varandra att alla går igenom samma processer. Volymen ökar från vänster till höger.

På y-axeln beskrivs olika typer av tillverkningsprocesser. Högst upp är det en funktionell verkstad. Verkstadens layout är anpassad efter maskintyp, svarvar står på ett ställe, fräsar på ett annat ställe och så vidare. Steget under är en flödesinriktad verkstad. Där står maskinerna i samma ordning som produkten ska behandlas av dem. Ska den först svarvas och sedan fräsas står fräsen efter svarven istället för att de olika maskinerna ska vara indelade efter maskintyp. Det tredje steget är ett löpande band. Där behöver operatören inte längre flytta produkten mellan de olika processerna. Det sista steget är ett kontinuerligt flöde, till exempel ett oljeraffineri.

De olika produkterna passar ihop med de olika produktionsprocesserna. Unika produkter som produceras i små volymer tillverkas lämpligast i en funktionell verkstad. Ökar volymen något och varje produkt inte längre är unik lönar det sig att ställa maskinerna i den ordning processerna utförs för att få ett flöde i fabriken. På samma sätt korresponderar de resterande produkttyperna med tillverkningsprocesserna. Det bildas ett diagonalt band från övre vänstra hörnet till nedre högra hörnet som visar vilka produkter som lämpar sig i vilka processer.

## 2.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys

Enligt Kirwan & Ainsworth, 1992 är Hierarchical task analysis (hierarkisk uppgiftsanalys, HTA) den bästa kända uppgiftsanalysmetoden. Den första studien som definierar metoden Task analysis and training design, publicerades 1967 av Annett, J och Duncan K.D.

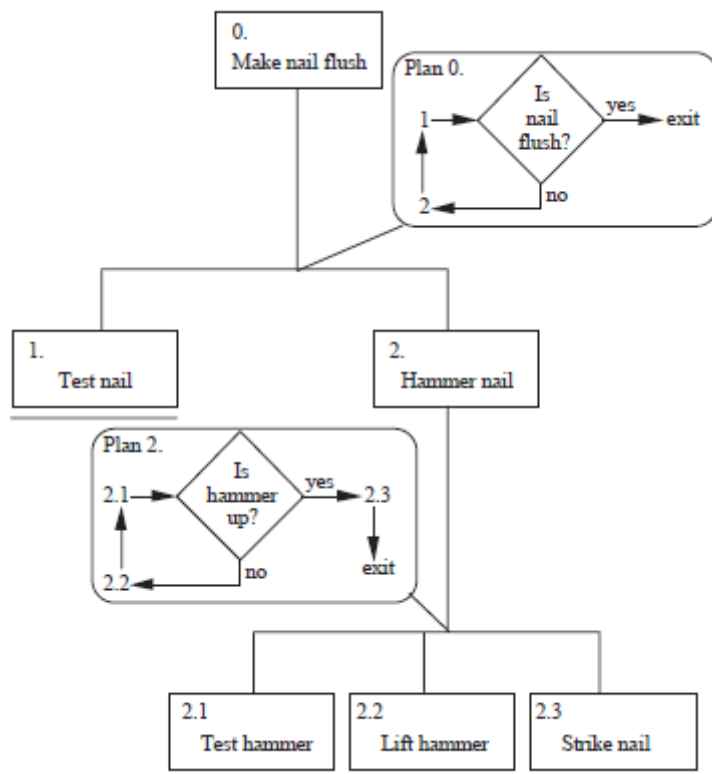
Grunden för all uppgiftsanalys härstammar från början av 1900 talets taylorism och paret Frank och Lillian Gilbreth. I samband med deras tidsstudier studerades vilka moment som utfördes. Det finns ett välkänt exempel som förklarar deras arbete, där Frank och Lillian Gilbreth observerade att olika murare använde olika metoder när de arbetade. Med målsättningen att finna det mest effektiva sättet att utföra arbetet tog de fram innovativa verktyg, hjälpmedel och nya arbetssätt. Bland annat byggnadsställningar som var lätta att justera, ställningar för tegel och murbruk och fördelade mindre kvalificerade arbetsuppgifter så som att transportera tegelsten och murbruk till muraren till mindre kvalificerad personal. Effekten av dessa förändringar var att murarna gick från att utföra 18 arbetsmoment till fyra.

Principen bakom arbetet var att dela upp en uppgift i dess grundläggande element. De individuella elementen kallades Therbligs (Gilbreths baklänges). De flesta av dessa Therbligs var fysiska rörelser som till exempel greppa och montera. Även om de flesta moment som dokumenterades var fysiska rörelser fanns det även några kognitiva som att leta och välja.

När en arbetsuppgift studerades dokumenterades dessa Therbligs och hur lång tid varje enskilt moment tog att genomföra. Målet med denna analys var att ta reda på: Hur arbetsuppgiften utförs, vad som krävs för att utföra arbetsuppgiften, varför arbetsuppgiften utförs på detta sätt och hur arbetssättet kan förändras. Modern uppgiftsanalys har fortfarande samma mål med analysen. Makarna Gilbreths arbete tog även hänsyn till personens välbefinnande, inte bara hur effektivt en uppgift genomförs. Det kan bero på Lillian Gilbreths bakgrund som psykolog.

Det finns många olika konventioner för hur en uppgiftsanalys ska genomföras. Även om det finns riktlinjer som bör följas när en uppgiftsanalys genomförs är det svårt att säga att något sätt skulle vara det rätta. (Stanton, 2006).

Figur 4 visar ett exempel på en hierarkisk uppgiftsanalys. Uppgiften som analyseras är att hamra ned ett spikhuvud som sticker upp.



Figur 4, exempel på HTA för att hamra ner ett spikhuvud som sticker upp. (Stanton, 2006)

### 2.3 Automationsnivåer

Ordet automation härstammar från grekiskans *auto'matos*, vilket betyder 'som rör sig av sig själv' (Rundqvist). Det definieras av nationalencyklopedin som "långt driven automatisk produktion i industrin". Ett exempel på något automatiserat i industrin är en skruvdragare som drar åt en skruv med ett bestämt vridmoment. Dels är den roterande rörelsen som krävs för att skruva åt en skruv automatiserad men även kontrollen av hur hårt den drar åt skruven är automatiserad. Både den fysiska manipulationen av ett objekt och övervakningen av att den blir rätt är automatiserad i detta exempel. För att bättre kunna diskutera och kvantifiera till vilken grad en process är automatiserad är det därför nödvändigt att skilja på dessa typer av automation. Automation kan delas in i två kategorier: fysisk automation och kognitiv automation (Frohm, Lindström, Winroth, & Stahre, 2008). Den fysiska automationen syftar på det mekaniska och utrustning. Den kognitiva automationen syftar på information och kontroll.

1951 publicerade den amerikanske psykologen Paul M. Fitts sin lista över vilka uppgifter som människor är bättre på än maskiner samt vilka uppgifter maskiner är bättre på än människor i Human engineering for an effective air navigation and traffic control system. Den så kallade MABA-MABA-listan (Man are better at – Machine are better at) är en lista som med viss modifikation är aktuell än idag (de Winter & Dodou, 2011). Denna lista med uppgiftsallokering mellan människa och maskin kan betraktas som den första listan som definierar olika automationsnivåer. Sedan dess har det tagits fram flera olika definitioner av automationsnivåer och 2008 sammanställde Frohm et al. några av dessa till en lista med sju nivåer för både fysisk- och kognitiv automation, Tabell 1. För den fysiska automationen börjar listan med nivå 1 där arbetet sker manuellt med muskelkraft, inga verktyg eller hjälpmedel används. Nivå 7, den högsta nivån, beskriver en automatisk process som fortgår utan inblandning av människan och som kan lösa alla eventuella avvikelser och problem. Nivå 1 på den kognitiva skalan innebär att operatören inte har någon instruktion eller annat hjälpmedel. Operatören får helt förlita sig på tidigare erfarenheter och egen kunskap. På den högsta nivån hanteras all information av systemet utan mänsklig inblandning.

Tabell 1, automationsnivåer enligt (Frohm, Lindström, Winroth, & Stahre, 2008)

LoA	Mechanical and Equipment	Information and Control
1	<b>Totally manual</b> - <i>Totally manual work, no tools are used, only the users own muscle power. E.g. The users own muscle power</i>	<b>Totally manual</b> - <i>The user creates his/her own understanding for the situation, and develops his/her course of action based on his/her earlier experience and knowledge. E.g. The users earlier experience and knowledge</i>
2	<b>Static hand tool</b> - <i>Manual work with support of static tool. E.g. Screwdriver</i>	<b>Decision giving</b> - <i>The user gets information on what to do, or proposal on how the task can be achieved. E.g. Work order</i>
3	<b>Flexible hand tool</b> - <i>Manual work with support of flexible tool. E.g. Adjustable spanner</i>	<b>Teaching</b> - <i>The user gets instruction on how the task can be achieved. E.g. Checklists, manuals</i>
4	<b>Automated hand tool</b> - <i>Manual work with support of automated tool. E.g. Hydraulic bolt driver</i>	<b>Questioning</b> - <i>The technology question the execution, if the execution deviate from what the technology consider being suitable. E.g. Verification before action</i>
5	<b>Static machine/workstation</b> - <i>Automatic work by machine that is designed for a specific task. E.g. Lathe</i>	<b>Supervision</b> - <i>The technology calls for the users' attention, and direct it to the present task. E.g. Alarms</i>
6	<b>Flexible machine/workstation</b> - <i>Automatic work by machine that can be reconfigured for different tasks. E.g. CNC-machine</i>	<b>Intervene</b> - <i>The technology takes over and corrects the action, if the executions deviate from what the technology consider being suitable. E.g. Thermostat</i>
7	<b>Totally automatic</b> - <i>Totally automatic work, the machine solve all deviations or problems that occur by it self. E.g. Autonomous systems</i>	<b>Totally automatic</b> - <i>All information and control is handled by the technology. The user is never involved. E.g. Autonomous systems</i>

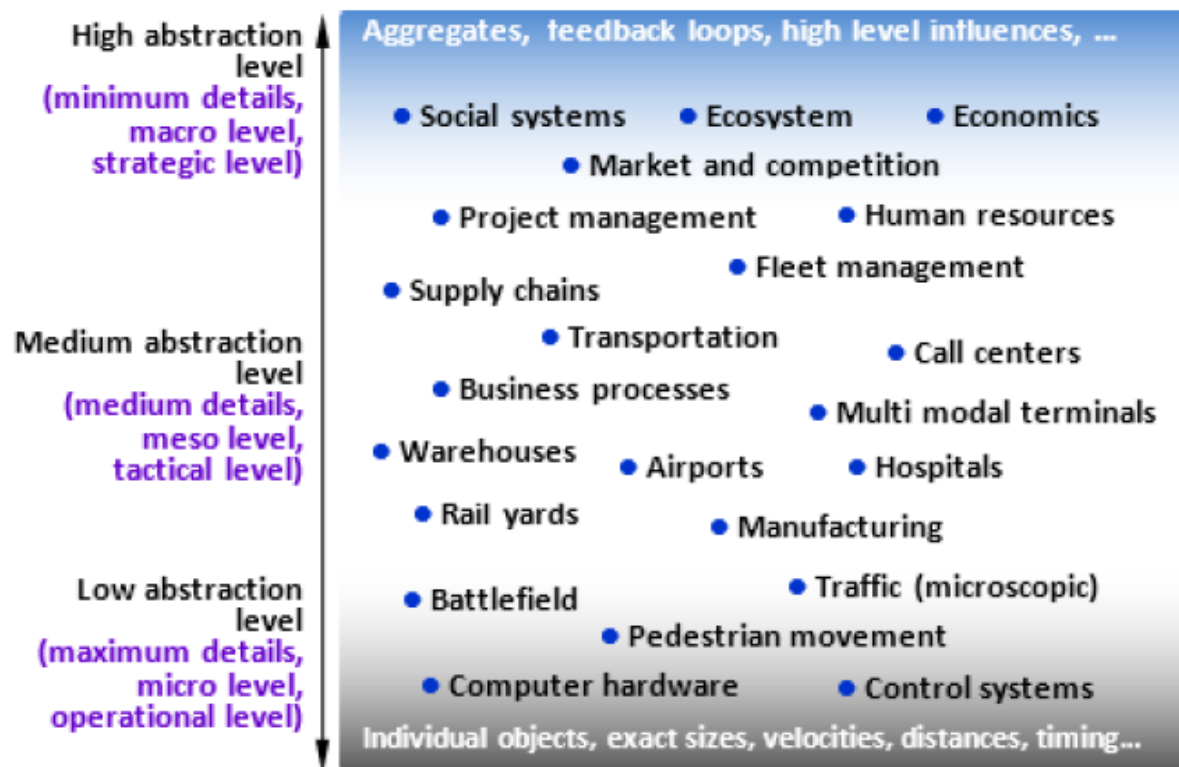
## 2.4 Simulering

Simuleringsmodellering är ett sätt att lösa komplexa problem från verkligheten. Det är ofta allt för dyrt eller omständigt och ibland praktiskt omöjligt att lösa problem genom att prova sig fram i full skala. Att istället bygga en modell som representerar ett verkligt system är oftast betydligt enklare.

Det finns många olika typer av modeller, till exempel mentala modeller, flödesscheman, fysiska modeller, ett kalkylark på en dator och datorsimulerade modeller. Vi skapar dagligen mentala modeller. Saker som vi förutsätter fungerar på ett visst sätt, till exempel vilken väg vi tar till jobbet, bygger på en mental modell som vi gjort av trafiken. Ett flödesschema kan användas för att beskriva de olika stegen i en process och i vilken ordning de sker. Ett exempel på en fysisk modell är en vindtunnel som används för att studera aerodynamik. Ett kalkylark kan användas för att beräkna kostnader för en avdelning för en överskådlig framtid. Datorsimulerade modeller används för att simulera dynamiska system och allt ifrån smittspridning till slagfält. Alla modeller har sina för- och nackdelar och lämpar sig till olika saker.

Gemensamt för alla modeller är att de är förenklingar av verkligheten. Det kräver att den som skapar modellen sorterar bort det som antas vara irrelevant och behåller det som antas påverka utfallet för problemet som ska lösas. Beroende på vilka uppgifter som ska lösas kan olika många faktorer sorteras bort. Ska ett nationalekonomiskt problem lösas finns det ingen anledning att gå in i för små detaljer som enskilda invånarens ekonomi. Den typen av modell benämns som en modell med hög abstraktionsnivå och är inte så detaljerad. Simulering av hur fotgängare rör sig över ett område kräver att modellen simulerar varje enskild person. En sådan modell sägs ha låg abstraktionsnivå och är mycket detaljerad. Figur 5 visar exempel på olika problem och dess abstraktionsnivåer. Problem

med höga abstraktionsnivå är högt upp i figuren och problem med lägre abstraktionsnivå är längre ned i figuren.



Figur 5, exempel på abstraktionsnivåer. (Grigoryev, 2015)

Datorsimulerade modeller brukar delas in i tre olika metoder för simulering (Crown, 2015). Systemdynamik, diskreta händelser och agentbaserade modeller. Vilken modell som är lämplig beror på vilken typ av problem som ska lösas och dess abstraktionsnivå.

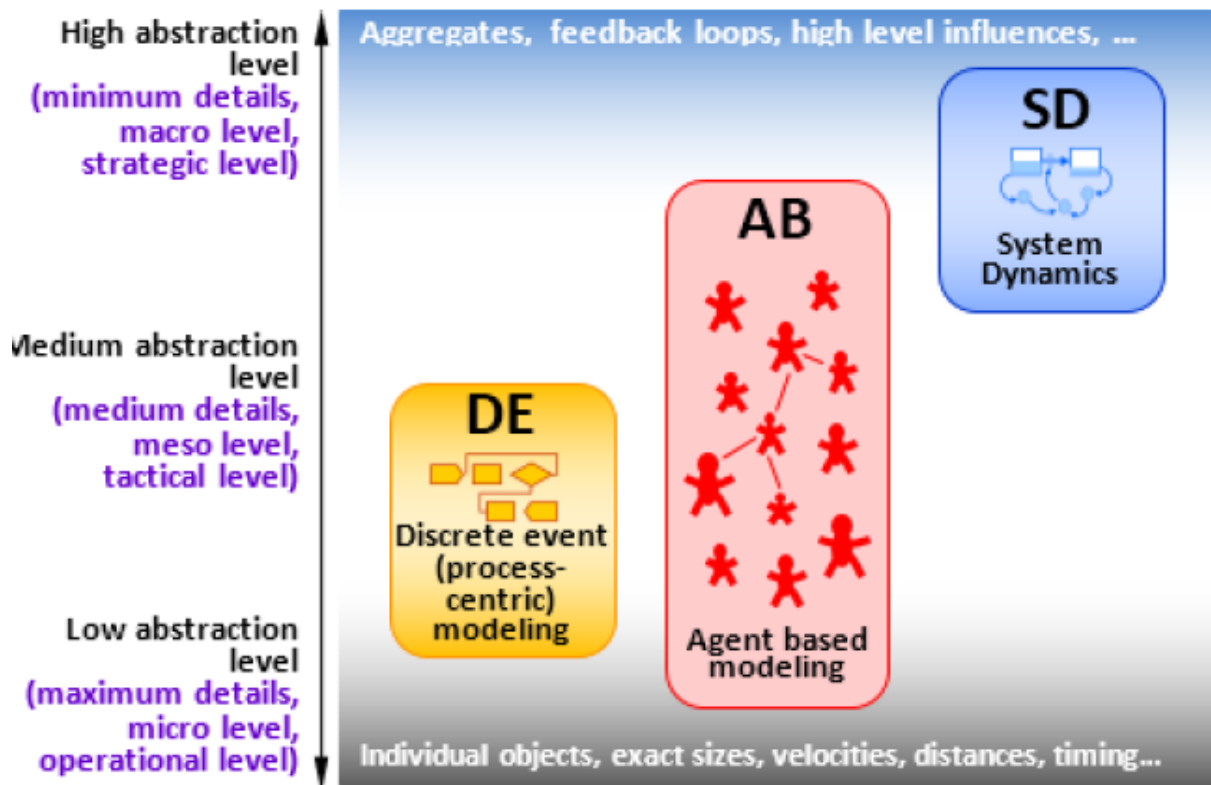
Systemdynamik är en metod för att beskriva strukturen hos komplexa system och förstå deras beteende över tid. Metoden togs fram på 1950-talet av MIT professorn Jay Forrester. Hans tanke var att tillämpa fysikens lagar, framför allt de som gäller för elektriska kretsar, för att beskriva och undersöka dynamiken hos ekonomiska system och senare även sociala system (Borshchev, 2013). Systemdynamiken bygger på att systemets uppträdande är en konsekvens av systemets struktur snarare än externa krafter eller faktorer. Systemet styrs av återkopplingar som genererar olika uppträdande. Systemdynamiken har låg detaljnivå och klumpar ihop populationer istället för att styra enskilda individer. Kvantiteter som förändras över tid kan formuleras matematiskt som differentialekvationer. Återkopplingar förstärker eller balanserar systemet (Crown, 2015).

Diskreta händelser används för att representera processer på individnivå där till exempel en produkt genomgår olika tillverkningsprocesser. Varje delprocess ses som en diskret händelse som sker över en bestämd tid. Delprocesserna knyts sedan samman till en sammanhängande tillverkningsprocess.

Agentbaserad simulering är en metod för att simulera dynamiska, adaptiva och autonoma objekt som kan interagera med varandra. Grunden för agentbaserade modeller utgörs av individuella objekt och beskriver dess uppträdande och regler. De autonoma objekten kallas för agenter. Agenter interagerar med varandra och deras uppträdande styrs av varandra och yttre faktorer. Ett exempel på agentbaserad simulering är hur en grupp människor reagerar på lanseringen av en ny produkt. Här simuleras varje person individuellt. En yttre faktor, reklam, får en del att prova produkten och de

agenter som gillar produkten interagerar med andra agenter och påverkar andra agenter att också köpa produkten.

Typen av problem som ska lösas avgör vilken metod som är lämplig för att lösa uppgiften. Figur 6 visar en översikt av de tre simuleringsmetoderna och deras abstraktionsnivåer. Har problemet hög abstraktionsnivå och låg detaljnivå är systemdynamik en lämplig metod. Är abstraktionsnivån lägre och detaljnivån högre passar metoden för diskreta händelser bättre. Agentbaserad simulering kan beroende på hur modellen byggs lösa problem med antingen hög eller låg abstraktionsnivå. I en del fall kan det vara fördelaktigt att kombinera de olika metoderna.



Figur 6, en översikt av simuleringsmetoder och deras abstraktionsnivåer. (Grigoryev, 2015)

## 3. Metod

*Kapitlet beskriver vilka metoder som använts för att svara på arbetets syfte. Först förklaras hur hela arbetet strukturerats sedan redovisas de olika metoder som använts. Utöver forskningsdesign innehåller kapitlet metoder för genomförandet av uppgiftsanalys, automationsanalys, val av simuleringsmjukvara samt framtagandet av simuleringsmodellen.*

### 3.1 Forskningsdesign

Arbetet inleddes med litteraturstudier av automationsanalys och simulering.

För automationsanalysen användes metoden dynamo++. Det är en metod för att mäta samt analysera både fysiska (mekanisk) och kognitiva (information) automationsnivåer i ett systems nuvarande utförande. Därefter undersöks vilka möjligheter det finns att höja automationsnivån. (Fasth-Berglund, o.a., 2009).

För simuleringsdelen av arbetet testades olika mjukvaror samtidigt som information inhämtades om olika typer av simulering. De tre metoderna systemdynamik, diskreta händelser och agentbaserade modeller är olika lämpade för olika uppgifter. (Crown, 2015). En del mjukvara klarar av att kombinera två eller alla tre metoder i samma modell (Borshchev, 2013). Ett utvärderingsschema sattes upp för att välja lämplig mjukvara för att lösa uppgiften.

Datainsamling till automationsanalysen genomfördes genom att studera anläggningen under produktion och för en djupare förståelse även deltagande i produktion. Datainsamlingen bygger på hur observatörerna uppfattar situationen och det finns alltid en risk för att olika observatörer tolkar samma situation på olika sätt. All insamlad data verifierades därför av operatörer med erfarenhet från produktionen.

Inparametrar till simuleringen i form av processhastigheter och tider kom delvis från leverantörerna av utrustningen medan en del uppmättes. Data som kommer från maskinleverantörer verifierades av en expert på den aktuella tillverkningsprocessen och fanns rimliga. Simuleringsmodellen hade ett grafiskt gränssnitt som gjorde det möjligt att verifiera att flödet i modellen följde samma regler som i verkligheten.

### 3.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys

Enligt Stanton, 2006 finns det många olika sätt att genomföra uppgiftsanalys och det är svårt att säga att något sätt skulle vara rätt. Han menar dock att det finns ett antal riktlinjer att hålla sig till:

- Definiera syftet med analysen.
- Definiera gränser för vad som ska analyseras.
- Sträva efter att ha flera olika informationskällor om systemet som ska analyseras.
- Beskriv mål och delmål.
- Försök hålla nere antal delmål under ett huvudmål, ca 3-10.
- Länka samman delmål och huvudmål och beskriv villkoren för när delmålen uppfylls.
- Sluta beskriva nya delmål när analysen bedöms uppfylla syftet.
- Försök verifiera analysen hos ämnesexperter.
- Var beredd på att revidera analysen.

Syftet med analysen i det här fallet var att dela upp tillverkningsprocessen i de individuella moment den består av, för att använda som grund till analys av automationsnivåer samt jämföra uppgifterna i pilotanläggningen och Alfa-line. Gränserna för analysen sätts av projektets avgränsningar att det endast var tillverkningsprocessen som analyserades och inte lager eller logistik. Då det var ont om källor till tillverkningsprocesserna i de olika produktionsanläggningarna studerades allt på plats. De olika processerna och mätningarna var mål och stegen i processerna och mätningarna delmål. Delmål



uppfylldes när de genomförts, inget moment i processen behövde upprepas tills det uppfyllde ett villkor. Analysen verifierades av produktionspersonalen.

### 3.3 Automationsanalys

Till automationsanalysen av pilotanläggningen och Alfa-line användes metoden dynamo++ med anpassningar till projektets natur och avgränsningar. Dynamo++ är en metod för att klassificera kognitiva- och fysiska automationsnivåer. Metoden består av fyra faser med tre steg i varje fas. De olika faserna är förstudie, mätning, analys och implementering. (Fasth-Berglund, o.a., 2009)

Förstudien börjar med *genchi genbutsu*, gå hela processen och se med egna ögon hur det ser ut och därefter välja en del av systemet som kan förbättras. När ett system valts utförs en värdeflödesanalys för att ge en överblick och identifiera flödes- och tidsparametrar.

I mätningssfasen delas processen upp i huvud- och delmål via HTA. En lista på ingående komponenter, BOM, från engelskans bill of material upprättas. Sedan mäts processens automationsnivåer och resultaten dokumenteras.

I analysfasen analyseras vilka förbättringar som är realistiska att genomföra. Först undersöks möjliga max- och mininivåer för fysisk- och kognitiv automation. Därefter designas en matris med möjliga förbättringar, SOPI, från engelskans *square of possible improvements*. Sedan analyseras matrisen, uppgifter och operationer optimeras med avseende på tid- och flödesparametrar.

Implementeringsfasen börjar med att föreslagna förbättringar utifrån SOPI och företagets önskemål dokumenteras och/eller illustreras. Sedan implementeras de förslagna förbättringarna. Sista steget är en uppföljning av de implementerade förslagen.

Avsteg från metoden gjordes för att bättre passa projektets syfte och avgränsningar. Företaget gick under projektets tid från en pilotanläggning till en produktionsanläggning anpassad för större volymer. Längre fram i tiden, utanför projektets tidsram, skulle den produktionsanläggningen automatiseras ytterligare. Mätningssfasen genomfördes först på pilotanläggningen och sedan på den nya produktionsanläggningen. Analysfasen genomfördes på den nya produktionsanläggningen och inte på pilotanläggningen eftersom investeringen för den nya produktionsanläggningen redan innan projektets början var beslutad. Området som skulle analyseras var innan projektets början definierat av uppdragsgivaren. Analysen begränsades till tillverkningsprocessen och innefattade inte lagerhållning och logistik. Därför genomfördes ingen värdeflödesanalys. Produkten som tillverkades var ett sandwichmaterial då det inte fanns någon möjlighet att ändra produktens sammansättning så det upprättades ingen BOM. Projektets tidsbegränsning hindrade de två sista stegen, implementering och uppföljning av förbättringsförslag på den nya produktionsanläggningen, från att genomföras inom projektets ramar.

### 3.4 Val av simuleringsmjukvara

Efter en inventering av vilka simuleringsprogram som fanns tillgängliga granskades tre stycken närmare för att avgöra vilket som var lämpligast för uppgiften. De tre kandidaterna var Autodesk Material Flow Analysis, Simul8 och Anylogic.

Autodesk Material Flow Analysis var en del av Autodesk Factory Design Suite. Det var ett simpelt program som var lätt att sätta sig in i. Via drag-and-drop skapas ett flöde bestående av boxar sammanbundna av linjer. Boxarna kunde representera materialflödets början, processer, buffrar eller materialflödets slut. Det fanns enkla inställningar för hur de olika processerna skulle agera när det kom material. Utöver inställningarna fanns det ingen möjlighet för användaren att programmera eller skapa egna mer avancerade processer. Användaren var hänvisad till de logiska operationer som

fanns att välja på. Programmet var mycket väl anpassat för att övergripande simulera materialflödet i en tillverkningsprocess. Det gick att välja mellan att ha en dragande eller tryckande efterfrågan i tillverkningsprocessen. Krävdes det en mer detaljerad simulering och mer avancerade villkor för när en produkt skulle gå vidare till nästa process blev Autodesk Material Flow Analysis fort väldigt klumpigt och omständigt. Programmet samlade automatiskt in data så som nyttjandegrad och produktionsresultat och presenterade resultatet lättöverskådligt.

Simul8 liknade Autodesk Material Flow Analysis men var mindre specialanpassat för tillverkande industrier samt att det var mer flexibelt. Det fanns fler möjligheter att specialanpassa de olika blocken för specifika uppgifter. Det fanns möjlighet för användaren att programmera egna operationer, villkor och loopar för att styra materialflödet eller till övriga beräkningar. Det krävdes lite mer jobb för att samla in data men med viss ansträngning från användaren gick det att få överskådliga resultat.

Anylogic krävde att användaren var bekant med programmeringsspråket java. Även här jobbade användaren främst med drag-and-drop men allt som användaren gjorde genererade källkod i java. Programmet var svårare för användaren att sätta sig in i men när användaren var bekant med programmet var friheten mycket stor. Anylogic var inte specialanpassat för den här typen av simulering men lämpade sig väl till den. Det tog längre tid att bygga modellen som skulle simuleras eftersom att det var mindre specialanpassat. Flexibiliteten hos programmet gjorde att modellerna kunde bli mer lika verkligheten. Även insamlingen av resultat var mer krävande för användaren men det finns större möjligheter att använda sig av den insamlade datan. I Anylogic fanns det flera olika förberedda scenarion för att generera data utifrån olika parametrar. Det fanns möjligheter att låta olika parametrar stegvis gå från ett minimumvärde till ett maxvärde, jämföra körningar med olika förbestämda parametrar eller via avancerade logaritmer optimera parametrarna mot ett visst resultat. Anylogic kunde kombinera de tre olika typerna av simuleringsmetoder: systemdynamik, diskreta händelser och agentbaserade modeller i en och samma modell.

Kriterierna som de olika programmen har bedömts mot är hur väl de varit anpassade för uppgiften, flexibilitet, analys av resultat och tillgången på självstudiematerial från utgivaren. Tyngdpunkten har legat på flexibilitet och analys av resultat. I Tabell 2 redovisas resultatet från utvärderingen. Anylogic var det programmet som enligt dessa kriterier och viktning av dessa mest lämpat för uppgiften.

Tabell 2, utvärderingsschema simuleringsmjukvara.

Mjukvara	Ideal			Autodesk Material Flow Analysis		Simul8		Anylogic	
	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Anpassning för uppgiften	2	4	8	4	8	3	6	2	4
Flexibilitet	4	4	16	1	4	2	8	4	16
Analys av resultat	4	4	16	3	12	2	8	4	16
Självstudiematerial	2	4	8	1	2	2	4	3	6
Summa V			16		9		9		13
V/Vmax			100,00%		56,25%		56,25%		81,25%
Summa T			48		26		26		42
T/Tmax			100,00%		54,17%		54,17%		87,50%
Rangordning					2		2		1
Beslut	Anylogic används för simuleringen av framtida produktionslinjen								

### 3.5 Simuleringsmodell

Simuleringen baserades på metoden som föreslås för agentbaserad simulering av Borshchev i boken *The Big Book of Simulation Modeling* (2013). Först definierades problemet som skulle lösas. En kravspecifikation med tydliga mål sattes upp. Sedan identifierades vilka objekt i det verkliga systemet som var relevanta för att lösa problemet. Samma objekt skapades i modellen. Objektens uppträdande observerades i verkligheten och objekten i modellen tilldelades samma uppträdande. Metoden sammanfattades till nio olika frågor som ska besvaras. (Borshchev, 2013)

1. Vilka objekt är viktiga i det verkliga systemet? De objekten blir agenter i modellen.
2. Finns det kopplingar mellan de olika objekten? Skapa samma kopplingar mellan agenterna.
3. Är utrymmet viktigt? Om ja, skapa en modell med rumsdimensioner (2D, 3D eller diskret) och placera ut agenterna i rummet. Om agenterna är rörliga definieras hastigheter och vägar de kan röra sig längs.
4. Identifiera viktiga händelser i agentens liv. Dessa händelser kan utlösas av yttre faktorer eller inre händelser orsakade av agentens dynamik.
5. Definiera agentens uppträdande.
  - a. Reagerar agenten på yttre händelser? Använd då meddelanden eller funktionsanrop.
  - b. Har agenten flera olika tillstånd? Använd då tillståndsdigram.
  - c. Har agenten en inbyggd tidtagning? Använd då händelser eller timeout-villkor
  - d. Pågår det någon process inom agenten? Skapa då ett flödesschema inom agenten.
  - e. Finns det någon kontinuerlig tidsdynamik? Skapa då ett lager- och flödesdiagram.
6. Kommunicerar agenterna med varandra? Skapa då ett meddelandessekvensdiagram för att styra kommunikation och timing.
7. Vilken information sparar agenterna? Använd variabler och tillstånd ur ett tillståndsdigram.
8. Finns det någon information och/eller dynamik som är extern och delas av flera agenter? Om ja, ska det vara en global del av modellen.
9. Vilket resultat förväntas modellen ge? Definiera vilken statistik som ska loggas.

En animering av hela processen i 2D och 3D gjorde det möjligt att verifiera hur modellen uppförde sig. Verifieringen tillsammans med programmeringen fick upprepas flera gånger innan modellen uppförde sig som förväntat. Då designades de olika experimenten som skulle ge svar på det definierade problemet. Resultatet från experimenten analyserades och dokumenterades.

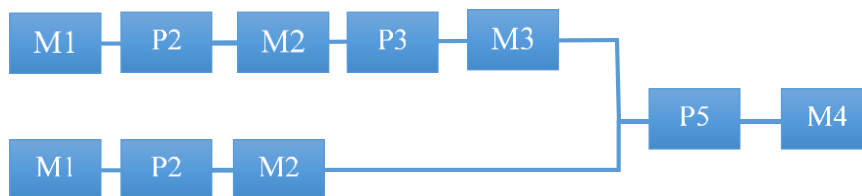
## 4. Nulägesanalys pilotanläggning

Detta kapitel innehåller en översikt av pilotanläggningen och dess processer, en hierarkisk uppgiftsanalys samt en mätning av automationsnivåerna hos de olika uppgifterna.

### 4.1 Översikt pilotanläggning

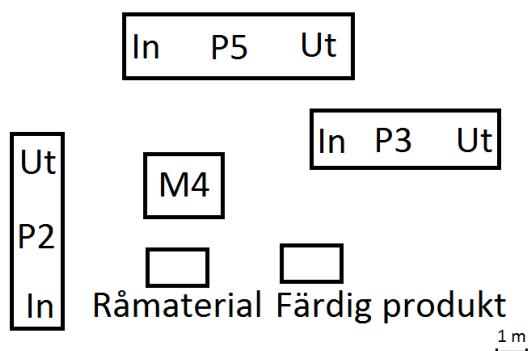
Pilotanläggningen bemannades av två operatörer. Processen började med metallark som låg på pall och avslutades när de två arken och kärnan var sammanfogade till en komplett Hybrix. Kanterna trimmades inte i pilotanläggningen. All materialhantering skedde manuellt och ofta utan några hjälpmedel. Låg driftsäkerhet i maskinparken bidrog till att begränsa den volym som var möjlig att producera i pilotanläggningen. Tiden det tog att producera varje Hybrix var beroende av storleken. Vid produktion av Hybrix med måtten 1 000 x 850 mm producerades det ca 20 m<sup>2</sup> per skift. I de fall arken var så stora att det krävdes två operatörer för att hantera varje ark sjönk volymen kraftigt. Den maximala produktionskapaciteten i pilotanläggningen var ca 5 000 m<sup>2</sup> per år. Analysen fokuserade på flödet genom processerna och inte själva processerna.

Det genomfördes flera olika mätningar men de betecknas endast med MX, där X är en siffra som används för att skilja de olika mätningarna åt. Processerna benämns på samma sätt fast med P istället för M. Tillverkningen i pilotanläggningen var uppdelad i fyra olika processer och ett antal mätningar mellan de olika processerna. Flödet genom processerna illustreras i Figur 7.



Figur 7, precedensdiagram pilotanläggning.

Råmaterialet var två tunna metallark med en storlek på upp till 1 000 x 2 800 mm. Arken mättes var för sig och gick sedan igenom den första processen, P2. Ett av arken gick efter ytterligare en mätning vidare till den andra processen, P3, och mättes sedan igen. Det ark som inte gick igenom P3 mättes och sedan lades de två arken ihop till ett system. Systemet gick först igenom en process, P5, och därefter ytterligare en process, M4, som var en besiktning av slutprodukten. Alla mätningar genomfördes på samma plats som M4. Figur 8 visar en schematisk layout över pilotanläggningen.

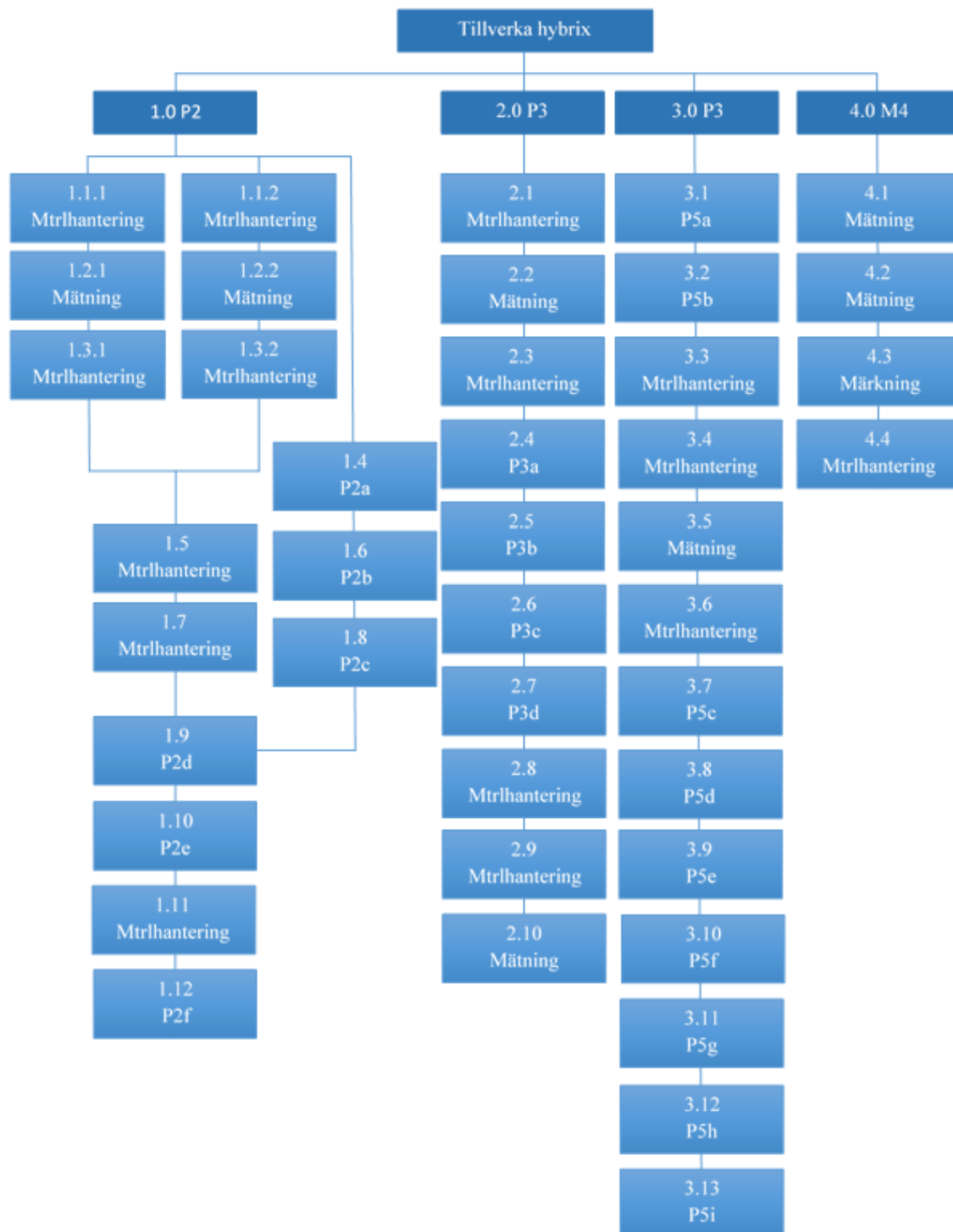


Figur 8, schematisk layout pilotanläggning.

## 4.2 HTA – Hierarkisk uppgiftsanalys pilotanläggning

Varje process bestod av flera olika moment. Det krävdes manuell materialhantering mellan de olika processerna, mätningar genomfördes före eller efter varje process och processerna i sig bestod av flera manuella moment eller delprocesser. Se Figur 9 för fullständig HTA. P2 bestod av 15 uppgifter, P3 tio uppgifter, P5 13 uppgifter och M4 fyra uppgifter. Totalt bestod processen av 42 uppgifter. HTA i pilotanläggningen hade en bredd på fyra uppgifter och ett maximalt djup på 13 uppgifter.

Tillverkningen genomfördes en eller två Hybrix i taget beroende på storleken. Hybrix som var längre än ca 1250 mm tillverkas en i taget.



Figur 9, HTA pilotanläggning

### 4.3 LoA – Automationsnivåer hos pilotanläggningen

Vid materialhanteringen användes ofta ett hjälpmedel för att arken inte skulle skadas. Alla mätningar, förutom 4.1 som var en visuell besiktning, var kopplade till en dator som loggade mätvärdet och varnade om det var utanför de givna toleranserna. Det fanns en arbetsorder som användes vid moment 1.5, 1.10, 5.2, 3.2 och mätningarna. Det fanns en mängd processspecifika moment (moment som är döpta Pxx, t. ex. P2b) och de var i många fall manuella utan hjälpmedel. De processspecifika moment som inte var manuella genomfördes i stor utsträckning i statiska maskiner avsedda för ändamålet. I **Appendix A** redovisas automationsnivåerna för samtliga moment i de fyra processerna.

Figur 10 visar en sammanställning av de olika automationsnivåerna. Majoriteten av alla uppgifter ligger i det nedre vänstra hörnet, vilket betyder att de hade en låg grad av både fysisk- och kognitiv automation.

<b>LoA Fysisk</b>									
<b>7</b>									
<b>6</b>									
<b>5</b>	3	2			7				
<b>4</b>									
<b>3</b>		1							
<b>2</b>	12								
<b>1</b>	16	1							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>LoA kognitiv</b>	
	Totalt antal uppgifter: 42								

Figur 10, sammanställning av automationsnivåer pilotanläggning.

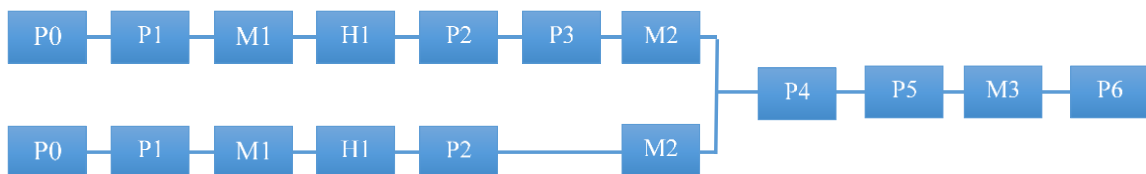
## 5. Nulägesanalys Alfa-line

Detta kapitel innehåller en översikt av Alfa-line och dess processer, en hierarkisk uppgiftsanalys samt en mätning av automationsnivåerna hos de olika uppgifterna.

### 5.1 Översikt Alfa-line

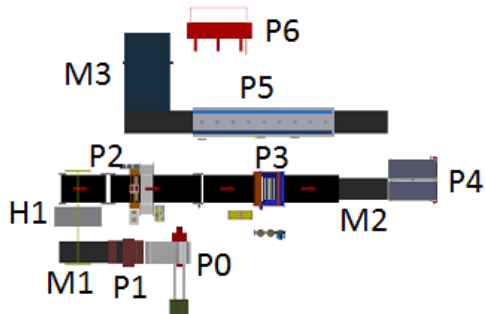
Alfa-line bemannades av tre operatörer. Processen började med att tunn plåt på en spole hasplades av och klipptes till ark. Därefter gick arken igenom motsvarande processer som i pilotanläggningen med ett tillägg i slutet där Hybrixens kanter klipptes till önskat format. Alfa-line hade totalt fyra processer mer än pilotanläggningen, avhaspling och arkning i början av processen, en formatklippning i slutet av processen samt ett moment som tidigare var manuellt. Många av de manuella momenten hade automatiserats och det genomförs endast två manuella förflyttningar av Hybrixen. Där det var möjligt gick arken på löpande band mellan processerna. De tillgängliga hjälpmedlen för materialhantering tillsammans med det kontinuerliga flödet bidrog till att storleken på Hybrixen inte påverkade tillverkningstakten i samma utsträckning som i pilotanläggningen. Analysen fokuserar på flödet genom processerna och inte själva processerna.

Tillverkningen i Alfa-line gick igenom sju processer (P0-P6), tre mätningar (M1-M3), en materialhantering med hjälpmedel (H1) och tre manuella materialhanteringar. Flödet genom processen illustreras i Figur 11.



Figur 11, precedensdiagram Alfa-line

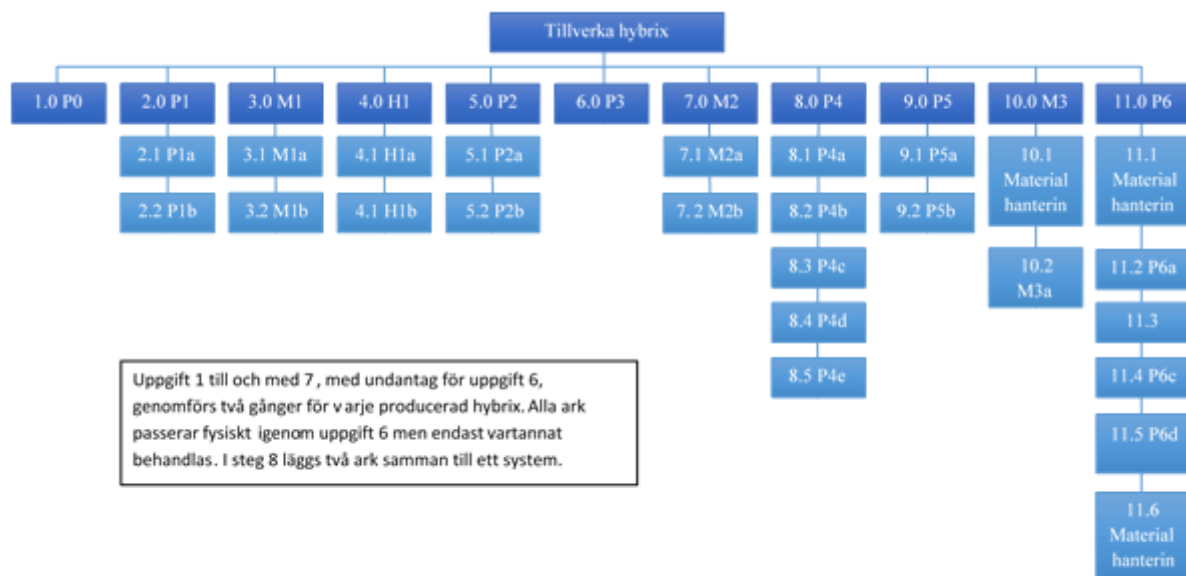
Råmaterialen var tunn plåt på spole. Plåten hasplades av automatiskt i P0 och klipptes därefter till önskad längd i P1. De klippta arken mättes i M1 innan de med hjälp av H1 lyftes över till P2. Efter P2 gick arken igenom P3. Alla ark gick fysiskt igenom P3 men det var endast vartannat ark som behandlas i processen. Därefter gick de igenom ytterligare en mätning i M2 innan de gick vidare. Nästa process var P4. Den lade ihop de två arken till ett system. Detta moment utfördes helt manuellt eller med enkla hjälpmedel i pilotanläggningen. Efter att arken lagts ihop till ett system gick systemet igenom P5. När systemet har passerat P5 var det en färdig Hybrix. Den färdiga Hybrixen mättes en sista gång i M3 innan den klipptes till önskat format i P6. Processerna P2, P3 och P5 motsvarar P2, P3 och P5 i pilotanläggningen men de var mer automatiserade och kunde hantera större volymer. Figur 12 visar en översiktsbild av Alfa-line.



Figur 12, översiktsbild Alfa-line

## 5.2 HTA – Uppgiftsanalys Alfa-line

P0, P1 och M1 genomfördes med hjälp av en knapptryckning från operatör 1. Därefter registrerade operatören mätvärdet från M1. Operatören flyttade därefter över arket från M1 till P2 med hjälp av H1 som var ett lyfthjälpmiddel som kunde röra sig under en portalkran. Processerna P2, P3 och P5 samt alla mätningar sker på transportband. Arken gick på banden genom P2 och P3 utan att någon operatör behövde ingripa. När arken nådde M2 registrerade operatör 2 mätvärdet innan arken fick gå vidare till P4. Hela P4 stod på en räls och kunde förflyttas mellan M2 och P5. När det första arket gått in i P4 var en operatör tvungen att manuellt flytta P4 ett steg innan nästa ark kunde tas emot. Därefter lade operatören ihop arken till ett system. Den fysiska hopläggningen sköttes av P4 men operatören var hela tiden tvungen att styra processen från en kontrollpanel. När arken var hoplagda till ett system flyttades hela P4 till P5 där operatören manuellt matade in systemet i P5. När systemet var inne i P5 transporterade operatören tillbaka P4 till M2. När systemet kom ut ur P5 var det en färdig Hybrix och den förflyttades från P5 till M3 av operatör 3. Hybrixen gick igenom M3 på ett transportband och mätvärdena registrerades direkt utan att operatören behövde göra något. När Hybrixen passerat M3 flyttade operatören över den till P6, klippte den till önskat format och lade den på en pall för färdigt material. Figur 13 visar HTA för Alfa-line. Tillverkning av Hybrix i Alfa-line bestod av elva processer, mätningar och hanteringar av material. Totalt bestod tillverkningen av 27 olika uppgifter. Bredden i uppgiftsanalysen för Alfa-line var elva uppgifter och som mest var den sex uppgifter djup. Uppgift 1.0 till och med 7.2b, med undantag för uppgift 6.0, utfördes två gånger per tillverkad Hybrix. I Alfa-line skedde tillverkningen i ett kontinuerligt flöde och så fort ett ark hade passerat en process gick nästa in.



Figur 13, HTA Alfa-line

## 5.3 LoA – Automationsnivåer hos Alfa-line

Tillverkningen i Alfa-line hade höga automationsnivåer i de flesta uppgifter. Se Figur 14 för sammanställning av automationsnivåer. Tre av de sju uppgifterna med nivå 1 på både fysisk- och kognitiv automationsnivå var förflyttningar av P4 till dess tre olika lägen. De övriga fyra var inmatningen i P5, förflyttning från P5 till M3, förflyttning från M3 till P6 samt att lägga den färdiga produkten på avsedd plats. Vid arbetspassets början ställdes alla processer in enligt en arbetsorder. Under själva produktionen användes det inte några instruktioner som talade om hur operatörerna ska utföra sina uppgifter. Alla mätningar loggades och det varnades om värdena var utanför givna toleranser. Uppgifterna med nivå 5 fysisk och 6 kognitiv var P5 och P3. P5 hade sensorer som



ständigt mätte statusen i processen och korrigerades automatiskt, utan inblandning av operatören, om den gick utanför toleranserna. P3 startade när ett ark hade passerat föregående process och stannade när det gått in i mätningen efter P3 utan inblandning från operatören. Uppgiften med automationsnivå 5 på fysisk och 7 på kognitiv var P0, avhasplingen. Det var en statisk maskin som helt och hållet styrdes av P1, saxen som klipper ark, och den krävde ingen inblandning av operatörer. Uppgifterna som hade nivå 6 på fysisk automation utfördes på en dator som användes för att logga mätvärden och styra flera olika processer. Se **Appendix B** för fullständig redovisning av automationsnivåer.

LoA Fysisk									
7									
6	2				2				
5	9				4	2	1		
4									
3									
2									
1	7								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>LoA kognitiv</b>	
	Totalt antal uppgifter:						27		

Figur 14, sammanställning av automationsnivåer Alfa-line.

## 6. Simulering


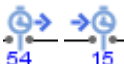
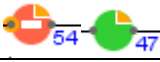





Detta kapitel innehåller en beskrivning av hur modellen som tagits fram för simuleringen är uppbyggd samt resultatet för simuleringar med olika parametrar.




### 6.1 Modellen

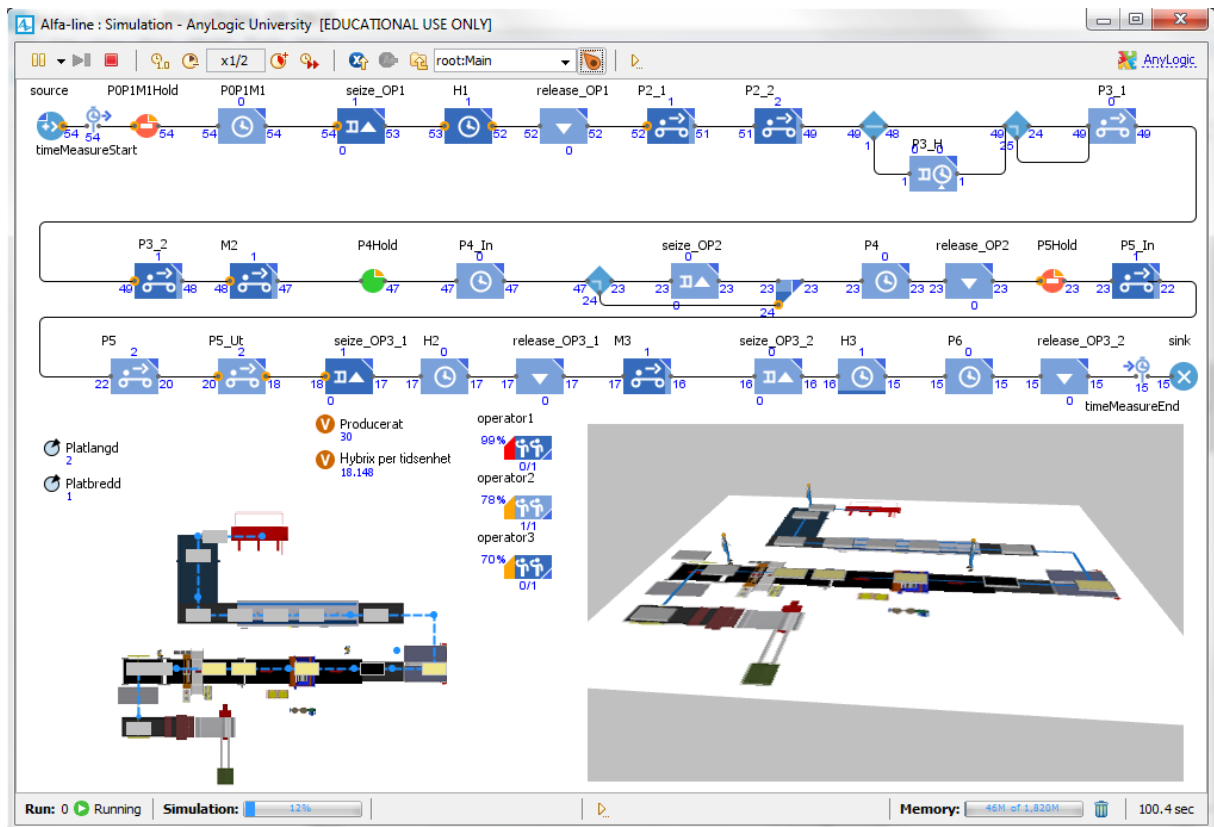
I det verkliga systemet var alla processer, mätningar, materialhanteringar, operatörer och själva produkten viktiga, därför blev de objekten agenter i modellen. Processvägar, i form av kopplingar, skapades mellan de olika processerna, mätningarna och materialhanteringarna. Utrymmet spelade roll i alla tre dimensioner. Produkter kunde röra sig längs processvägarna och operatörerna kunde röra sig mellan processerna. Operatörerna hade en bestämd hastighet medan produkternas hastighet styrdes av processen de befann sig i. Produkterna ändrade utseende när de passerade vissa processer och i process P4 lades två produkter ihop till en. Dessa händelser styrdes av meddelanden mellan processer och produkter. Svar på de nio frågorna från metoden finns i **Appendix C**.

Modellen var uppbyggd av ett flöde av produkter som gick genom ett antal olika processer varav vissa betjänades av operatörer och/eller styrdes av logik i separata flödesscheman. Flödet gick hela tiden från vänster till höger, rad för rad enligt linjen som binder samman processerna. Processerna simulerades antingen som fördröjningar eller transportband. I fördröjningsblocket definierades det maximala antal produkter som fick plats i varje block, i det här fallet var det en produkt i samtliga fall. Transportbanden hade de två egenskaperna längd och hastighet. Tillsammans med produktens storlek och ett givet minsta mellanrum avgjorde det hur många produkter som fick plats på varje band. Figur 15 visar en översikt av modellen. P0, P1 och M1, det vill säga avhaspling, klippning och den första mätningen, klumpades samman till en och samma process. Det var en förenkling som gjordes på grund av att detta steg låg först i flödet och tog avsevärt mindre tid än nästkommande steg som var H1, överflyttningen från M1 till P2. Den övre halvan av Figur 15 visar flödet som produkten går igenom. Förklaring till symbolerna finns i Tabell 3.

Tabell 3, förklaring av symboler i modellen av Alfa-line. Den första kolumnen visar en symbol som finns i simuleringssmodellen och den andra kolumnen förklarar innebörden av symbolen.

Symbol	Förklaring
	Källa för råmaterial. Här skapades produkten som skulle gå igenom flödet.
	Startade och stoppade tidtagning.
	Hindrade/tillät material att åka vidare till nästa process.
	Fördröjning. När produkten kom hit fördröjdes den en viss tid. I den här modellen kunde det vara maximalt en produkt i varje fördröjningsblock.
	Dessa två symboler knöt en operatör till mellanliggande processer. Fanns ingen operatör tillgänglig för tillfället stannade produkten där tills operatören blev tillgänglig.
	Transportband. Det här blocket hade bestämd längd och hastighet. Hur många produkter som fick plats beror på produktens längd, ett förbestämt minsta mellanrum och transportbandets längd.
	Lät produkten gå olika vägar beroende på om givna villkor var uppfyllda eller ej.
	Maskinunderhåll. En operatör krävdes för att fylla på råmaterial till en av processerna efter ett bestämt antal plåtar. Hur ofta det skedde berodde på arkens storlek.

	Sammanfogade två produkter till en. I den här modellen sammanfogade den två ark till ett system.
	Simuleringens slut. När produkten nådde hit hade den gått igenom hela flödet.
	Operatörspool. Visade hur många operatörer som var lediga samt nyttjandegraden. I den här modellen tillhörde alla operatörer egna operatörspooler med en operatör i varje.

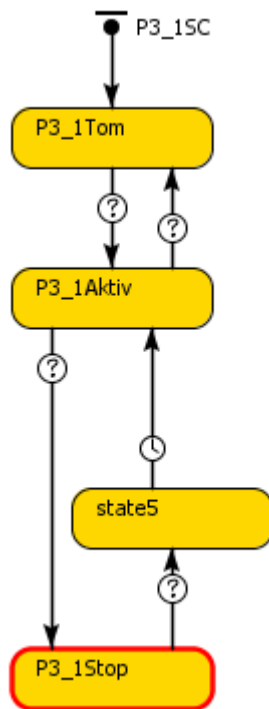


Figur 15, översikt simulering Alfa-line

I den nedre, vänstra delen av Figur 15 illustreras flödet så som det faktiskt ser ut i Alfa-line tvådimensionellt sett från ovan. Till höger finns en tredimensionell vy som gick att zooma, rotera och panorera. Processerna P2 och P3 var indelade i två transportband vardera eftersom att det var så det verkliga fallet såg ut. P5 hade in- och utmatning i form av transportband före respektive efter processen. Process P3 behövde påfyllning av råmaterial efter att ett visst antal ark hade passerat. Även P0 och P2 behöver påfyllning av material ibland men det var så pass sällan så att det inte var en del av simuleringen. Det krävdes en operatör för att köra H1, transporten mellan M1 och P2 på heltid. En annan operatör skötte P4, processen som lade ihop två ark till ett system, samt fyllde på P3 vid behov. Den tredje operatören förflyttade färdig Hybrix från utmatningen efter P5 till M3. Samma operatör hade även till uppgift att efter M3 förflytta Hybrixarna till P6, klippa de till önskat format och sedan lägga den färdiga produkten på anvisad plats.

Det fanns även logiska flöden som inte finns med på översiktsskärmen av simuleringen. Ett sådant exempel är Figur 16. Den visar ett tillståndsdigram för första delen av P3. Den befann sig i sitt första tillstånd, P3\_1Tom, när det inte fanns någon produkt på transportbandet som var P3 del 1. När det kom en produkt gick den över till nästa tillstånd som var P3\_1Aktiv. Då kontrollerade den hela tiden hur långt produkten har kvar tills framkanten av arket lämnade P3 del 1. Om produkten skulle vara på väg att lämna bandet men inte kunde tas emot av nästa band gick tillståndsdigrammet vidare till

tillståndet P3\_1Stop. Där stannade bandet tills nästa band var redo att ta emot en plåt. Då gick tillståndsdiagrammet över till state5 och efter en kort fördröjning tillbaka till tillstånd P3\_1Aktiv. Utan detta tillståndsdiagram skulle plåtarna överlappa när ett transportband framför var ockuperat och står still. Flera andra processer har liknande tillståndsdiagram.



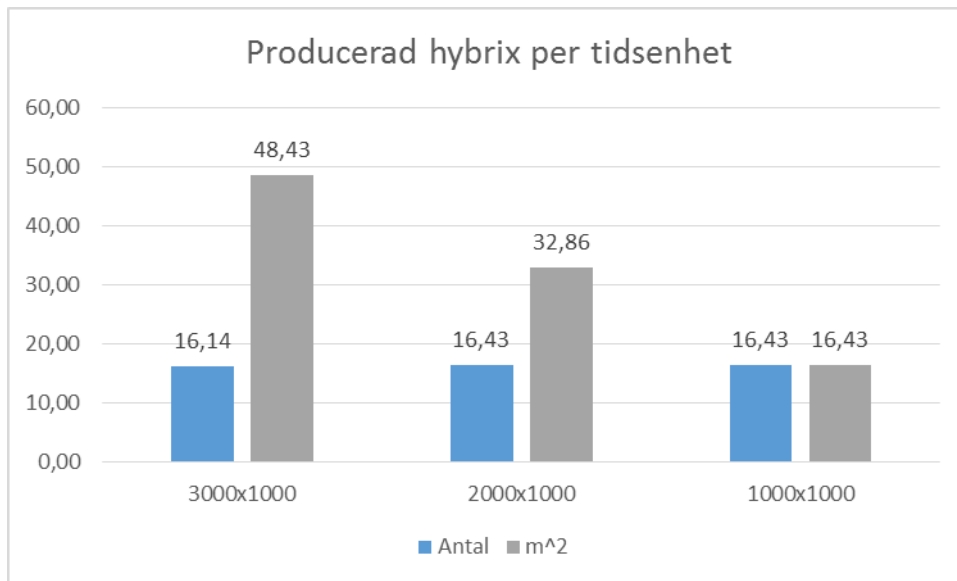
Figur 16, tillståndsdiagram för första delen av P3

Utöver huvudmodellen gjordes även ytterligare en modell där parametrar kunde varieras mellan ett minimalt och ett maximalt värde. De simuleringarna visade hur mycket volymen kunde ökas genom att minska tiderna för H1, P4 och P6 med hjälp av automation eller olika hjälpmedel.

## 6.2 Resultat av simuleringen

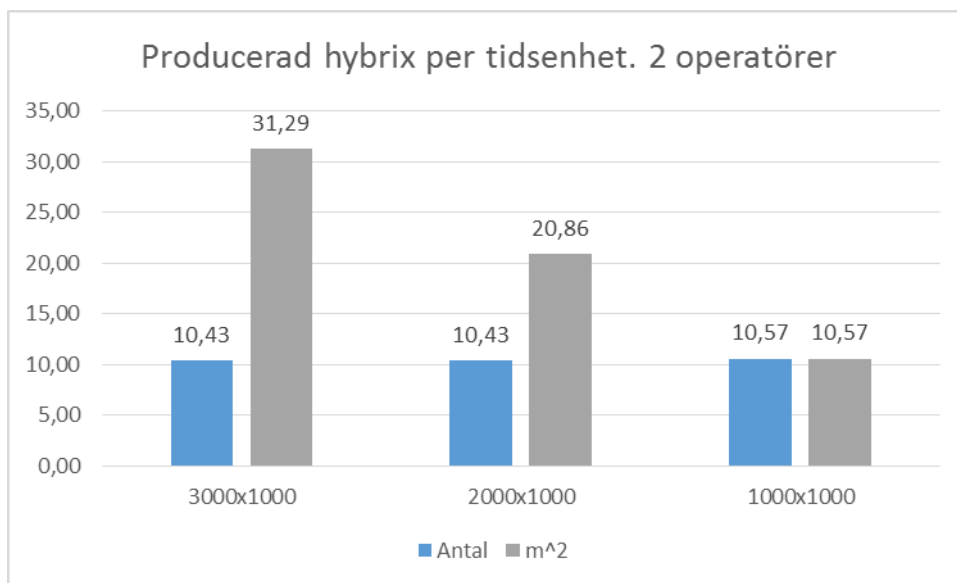
Processerna P2, P3, P5, M2 och M3 fungerade i praktiken som transportband. De kunde variera i hastighet från noll till en maximal hastighet. Alla processer kunde köras i olika hastigheter oberoende av varandra. Processerna H1, P4 och P6 var i dåvarande utformning till stor del beroende av den operatören som skötte dem. Tiden det tog att genomföra dessa uppmättes och den tiden har satts till 100 % i rapporten. Alla hastigheter och tider som anges är relativa. De uppmätta processtiderna och de, i dåvarande utformning, maximala processhastigheterna är satta till 100 %.

Vid en simulering var alla processhastigheter och processtider 100 %. Det var tre stycken operatörer. Figur 17 visar det genomsnittliga produktionsresultatet per tidsenhet. Storleken på arken var 3000 x 1000 mm, 2000 x 1000 mm och 1000 x 1000 mm. Den maximala längden som går att tillverka i Alfa-line var 3000 mm. Med nämnd processdata tillverkades det lika många ark per tidsenhet oberoende av storleken, 16 stycken. Antalet kvadratmeter som producerades per tidsenhet ökade linjärt med längden på Hybrixen. Sett ur volymsynpunkt var det bäst att tillverka så stora Hybrix som möjligt.



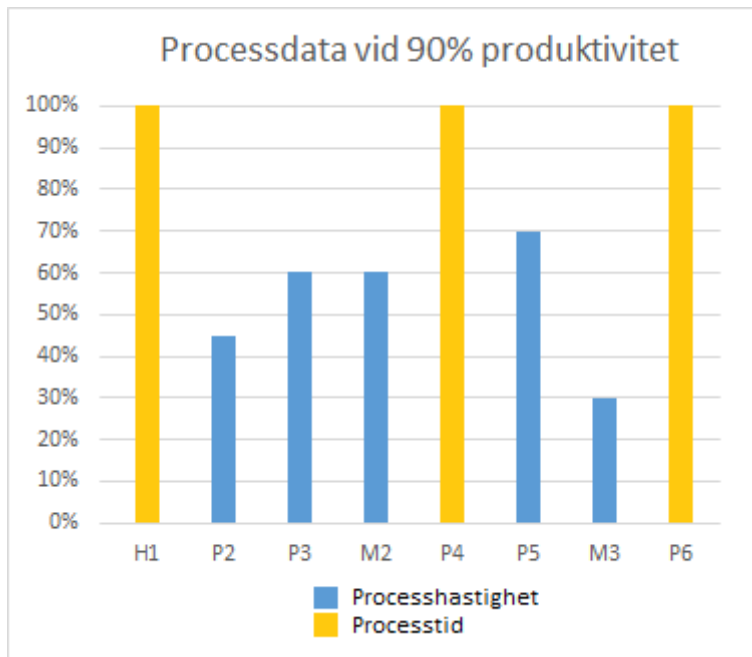
Figur 17, produktionsresultat vid 100 % processhastighet och tre operatörer.

En simulering med enbart två operatörer genomfördes. Operatör 3 fick ta över processerna som operatör 2 tidigare arbetat med. Resultatet redovisas i Figur 18. Jämfört med fallet med tre operatörer var produktiviteten ca 63 %.



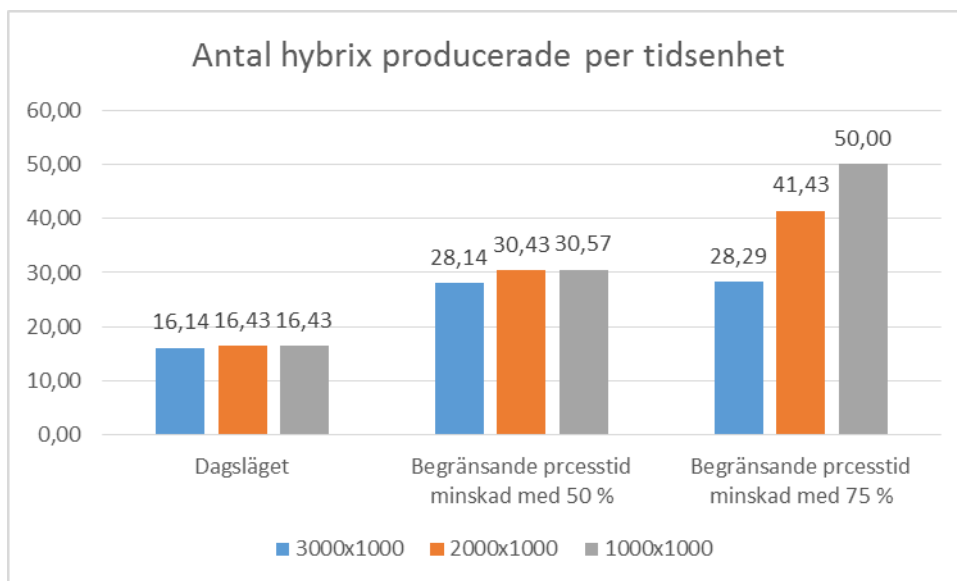
Figur 18, produktionsresultat vid 100 % processhastighet och två operatörer.

För att minska slitaget på maskinerna gjordes flera simuleringar för att ta reda på lägsta möjliga processhastigheter för att nå 90 % produktivitet. Figur 19 visar processdata vid 90 % produktivitet. De blå staplarna är processhastigheter. Vid ökad processhastighet ökade den producerade volymen. De gula staplarna är processtid. Minskad processtid ökade den producerade volymen. P5 är den process som krävde högst relativ hastighet. Den kördes på 70 % av dess maximala hastighet. Därefter var det ganska jämnt mellan P3 och M2 på 60 % och P2 på 45 % av respektive maxhastighet.



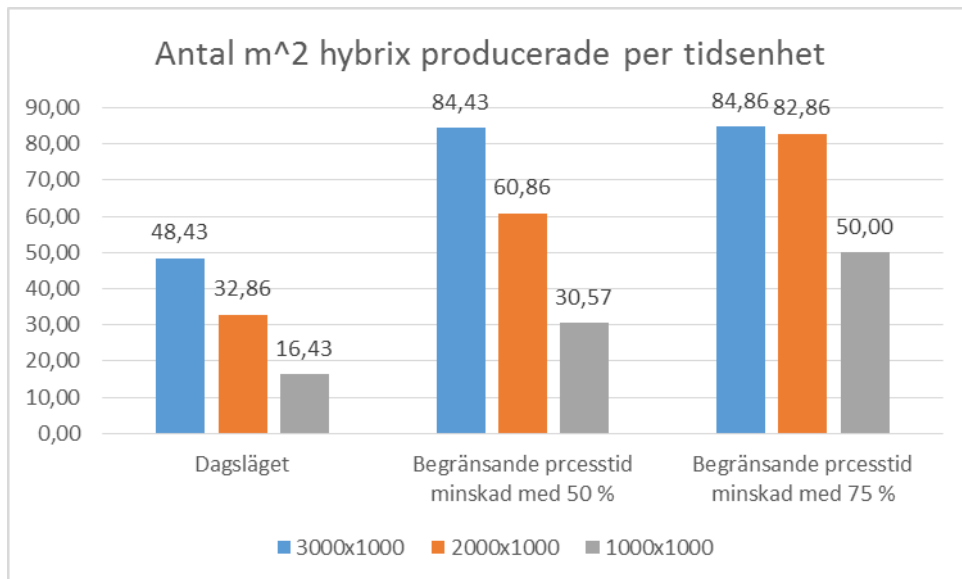
Figur 19, processdata vid 90 % av maximal produktion

För att ta reda på hur mycket volymen ökade då processtiderna för H1, P4 och P6 minskade gjordes ytterligare simuleringar. Processhastigheterna på P2, P3, P5, M2 och M3 var alla högsta möjliga. H1, P4 och P6 minskades först med 50 % och sedan 75 %. Figur 20 visar hur antalet producerade Hybrix av olika storlekar ökade med de minskade processhastigheterna. Mellan 50 % och 75 % ökade inte volymen för Hybrix med längd 3000 mm.



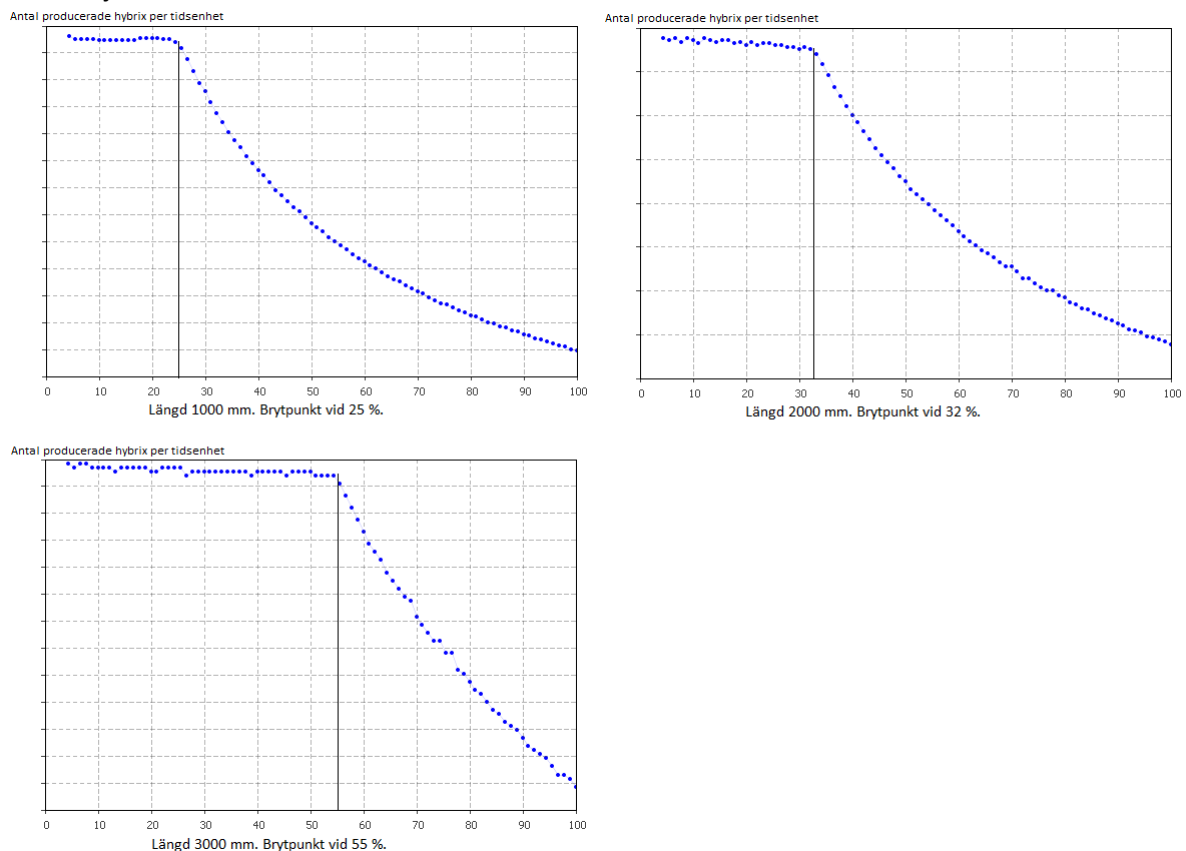
Figur 20, antal Hybrix producerade per tidsenhet vid minskade processtider för H1, P4 och P6.

Figur 21 visar hur antalet producerade kvadratmeter Hybrix av olika storlekar ökade med de minskade processtiderna. Redan vid en minskning med 50 % når Alfa-line maximal volym sett till antal kvadratmeter om det var möjligt att producera Hybrix med längden 3000 mm. Det kunde inträffa att en kund bara ville ha Hybrix av längden 2000 mm. Då var det möjligt att öka produktionen mer genom att minska processtiderna för H1, P4 och M3 ytterligare.



Figur 21, antal kvadratmeter Hybrix producerade per tidsenhet vid minskade processtider för H1, P4 och P6.

Minskades processtiden mer än 75 % skede ingen ökning av produktionen för Hybrix längre än 1000 mm. Figur 22 visar hur den producerade volymen ökade vid minskade processtider för H1, P4 och P6 för de tre olika längderna. På x-axeln är den procentuella tiden av H1, P4 och P6. 100 % motsvarar tiden som uppnås i grundutförandet i Alfa-line utan några hjälpmedel. På y-axeln visas antalet producerade Hybrix per tidsenhet. För att öka volymen ytterligare räckte det inte med ökad automatisering av H1, P4 och P6. Då krävdes det att de maximala hastigheterna för övriga processer också höjdes.



Figur 22, ökad produktion vid minskade processtider för tre olika längder av Hybrix. Vid en längd på 1000 mm kommer brytpunkten vid 25 % av den ursprungliga processtiden. Vid 2000 mm är brytpunkten vid 32 % och vid 3000 mm är brytpunkten vid 55 %.

## 7. Diskussion

Diskussionen består av tre delar. Först jämförs och diskuteras resultaten från kapitel 4 och 5, hur tillvägagångssättet effektiviserats mellan pilotanläggningen och Alfa-line. Nästa del diskuterar resultaten från kapitel 6, simuleringen. Den sista delen bygger på resultat från alla tre empirikapitel. Där diskuteras vilka förbättringar som kan genomföras för att öka produktionsvolymen och frigöra personal.

### 7.1 Automationsanalys

Trots att Alfa-line omfattade fler processer än pilotanläggningen var antalet uppgifter för operatörerna lägre. I pilotanläggningen krävdes det totalt 41 uppgifter för att producera en Hybrix. I Alfa-line räckte det med 27. Flödet såg annorlunda ut i de två anläggningarna. I pilotanläggningen producerade operatörerna en eller två Hybrix i taget i en anläggning som inte var flödesorienterad. Alfa-line var delvis flödesorienterad och delvis löpande band så den var betydligt bättre anpassad för att producera stora volymer. Eftersom operatörerna arbetade i ett flöde istället för producera styckvis med Hybrix räknades antalet uppgifter olika. Det krävdes två ark för att producera en Hybrix, det innebar att om antalet uppgifter skulle jämföras rakt av mellan de två anläggningarna måste tolv av uppgifterna i Alfa-line räknas två gånger, vilket ger totalt 39 uppgifter. Det var fortfarande en avsevärd förbättring med tanke på att det var stor skillnad på råmaterial och slutprodukt i de två anläggningarna. Pilotanläggningen började med ark klippta i rätt storlek medan Alfa-line började med tunn plåt på rulle som hasplades av och klipptes till rätt längd. Produktionen i pilotanläggningen avslutades efter att arken sammanfogats till en Hybrix och kontrollmätts. Alfa-line hade ytterligare ett steg efter det där kanterna trimmades och Hybrixen eventuellt delades upp i fler och mindre Hybrix.

Ett moment som var manuellt i pilotanläggningen, hopläggningen av två ark till ett system, hade fått en egen process, P4, i Alfa-line. Det innebar en stor förenkling för operatörerna när Hybrix som var längre än ca 1000 mm skulle tillverkas. Innan var det en svår uppgift som krävde två operatörer och otympliga hjälpmedel. I Alfa-line var det samma jobb, oavsett storlek, och utfördes av en operatör.

Som Figur 23 visar var det tydligt att automationsnivån ökat. Många moment med låg automationsnivå hade försvunnit i Alfa-line. En bidragande orsak var att tillverkningen nu var flödesinriktad och delvis går på transportband. Många av momenten med låg automationsnivå i pilotanläggningen var förflyttningar av produkten mellan olika processer och mätningar. I Alfa-line hade många av de förflyttningarna byggts bort genom användandet av transportband och lyfthjälpmiddel. De moment som tillkommit i Alfa-line hade i de flesta fall en hög grad av automation. Det fanns fortfarande utrymme att ytterligare automatisera H1, P4, P6 samt förflyttningen före och efter P5. De tillsammans utgjorde de sju uppgifterna med nivå 1 på både fysisk och kognitiv automation.

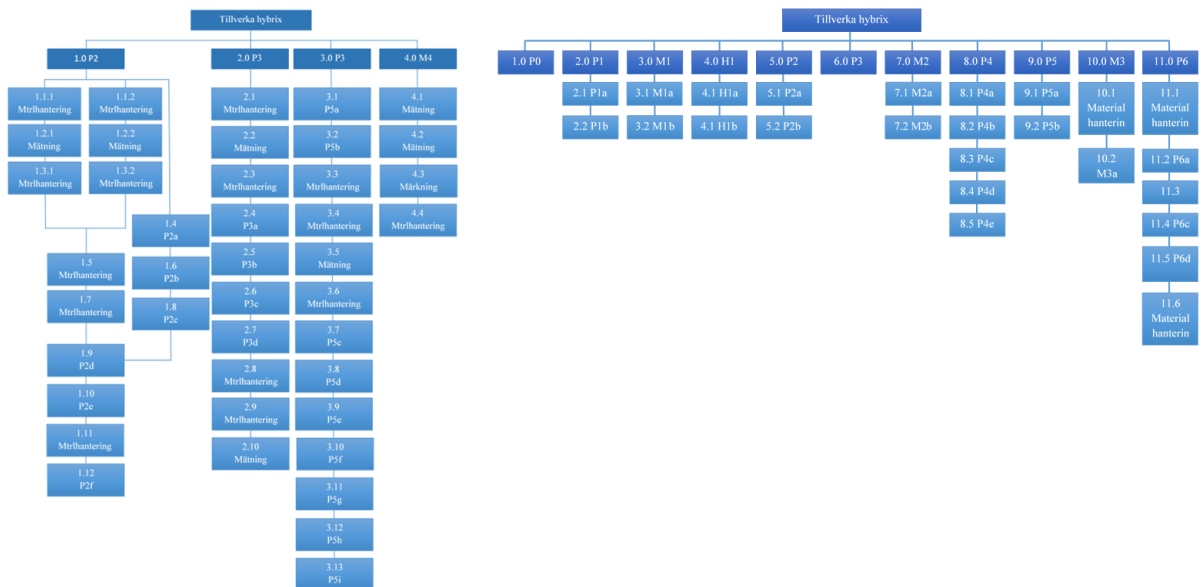
Pilotanläggning								Alfa-line								
LoA Fysisk								LoA Fysisk								
7								7								
6								6	2			2				
5	3	2				7		5	9			4	2	1		
4								4								
3		1						3								
2	12							2								
1	15	1						1	7							
	1	2	3	4	5	6	7	LoA kognitiv	1	2	3	4	5	6	7	LoA kognitiv
	Totalt antal uppgifter: 41								Totalt antal uppgifter: 27							

Figur 23, jämförelse mellan automationsnivåer i pilotanläggning till vänster och Alfa-line till höger.



Resultatet från HTA skiljde sig mellan de två produktionsanläggningarna, se Figur 24.

Pilotanläggningens HTA var smal och djup. Den hade en bredd på fyra uppgifter och ett djup på 13 uppgifter som mest. Uppgift 1 förgrenade sig ytterligare till uppgifter som utfördes parallellt. I Alfa-line var det tvärt om. Det var en bred och grund struktur. Den var elva uppgifter bred och har ett djup på sex uppgifter som mest. De flesta processerna hade endast ett djup på två uppgifter. De processer som stack ut var 1.0 P0, 6.0 P3, 8.0 P4 och 11.0 P6. De två första krävde ingen inblandning från operatören så de har ett djup på noll uppgifter. 8.0 P4 och 11.0 P6 hade ett större djup än övriga processer. De hade ett djup på fem respektive sex uppgifter. Sett till uppgiftsanalysen var det tydligt att det fanns utrymme för förbättringar i 8.0 P4 och 11.0 P6.



Figur 24, HTA för pilotanläggningen till vänster och Alfa-line till höger.

## 7.2 Simuleringsresultat

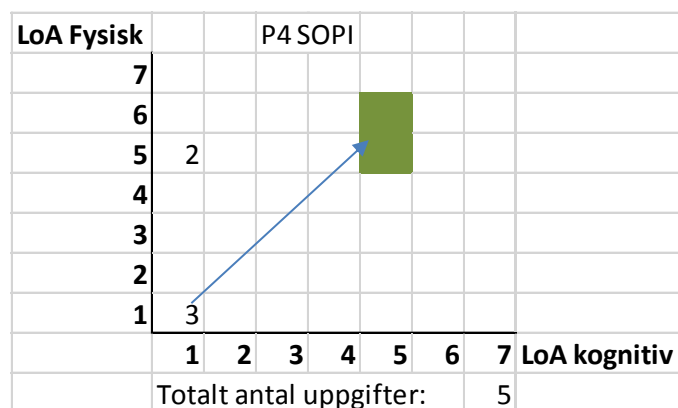
Simuleringen visade att när alla processer går med högsta hastighet producerades det ungefär 16 Hybrax per tidsenhet oberoende av Hyrbrixens längd. Sänktes antalet operatörer från tre till två minskade det till ca 10 Hybrax per tidsenhet, en minskning med knappt 40 %. Processhastigheterna kunde sänkas till 30 – 70 % av de respektive processernas maxhastigheter och ändå bibehölls 90 % produktionskapacitet. Det var H1, förflyttningen mellan M1 och P2, P4, hopläggningen av två ark till ett system samt P6, formatklippningen, som var begränsande i tillverkningsprocessen. Eftersom H1 utfördes två gånger för varje gång P4 utfördes krävdes det att den hade halva cykeltiden för att hinna med. Det var dessa tre moment som utgjorde det mesta av operatörernas arbete. Många av de övriga momenten räckte det att operatören startade och kunde sedan göra något annat eller så krävde de ingen inblandning av operatörer alls.

Storleken på Hybraxen som produceras var avgörande för hur mycket processtiden hos H1, P4 och P6 kan minskas innan övriga delar av Alfa-line blev begränsande. Producerades det i huvudsak Hybrax med en längd på 3000 mm räckte det att sänka processtiden till 55 % av den ursprungliga. Skulle den huvudsakliga produktionen bestå av kortare produkter lönade det sig att automatisera ytterligare. Vid en längd på 1000 mm eller 2000 mm kunde processtiden reduceras till 25 % respektive 32 % av den ursprungliga. Genom en minskning av processtiderna för nämnda processer kunde antalet producerade Hybrax per tidsenhet upp till tredubblas, beroende på storlek.

## 7.3 Föreslagna förbättringar

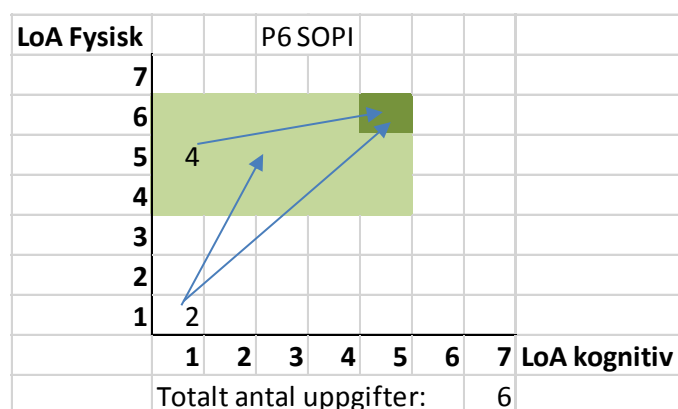
Det fanns två typer av förbättringar som kunde göras. Den ena typen var automation som sänkte processtider för H1, P4 och P6 och därmed ökade produktiviteten. Den andra typen av förbättringar ökade inte produktiviteten men frigjorde personal så att de kunde utföra andra arbetsuppgifter.

För att öka produktionskapaciteten var det tvunget att processtiderna för H1, P4 och P6 minskas. Alla tre momenten utfördes då av operatörer som fick hjälp av maskiner. Genom att automatisera dessa kunde volymen ökas signifikant. H1 och P4 var förberedda för automatisering och med mindre tillägg skulle det räcka med ett knapptryck för att respektive process skulle utföras. SOPI för P4 visas i Figur 25. Antalet uppgifter för operatören kunde minskas till en uppgift med nivå 5,5 eller 6,5 då det skulle räcka med en knapptryckning för att hela processen skulle genomföras.



Figur 25, matris med möjliga förbättringar, SOPI, av P4

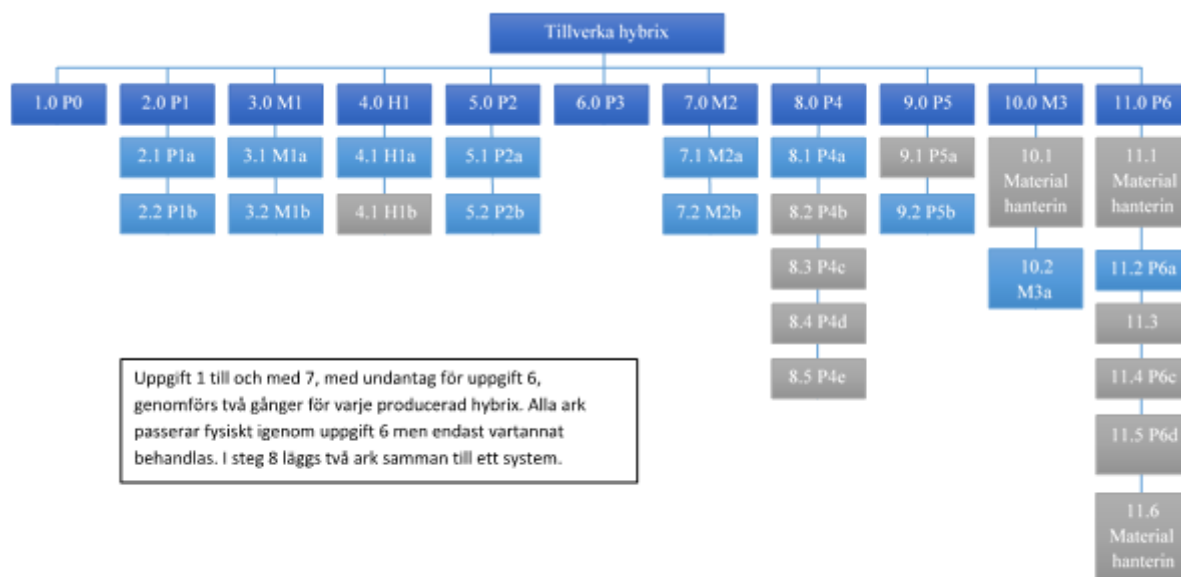
Process P6 var inte lika enkel att automatisera, där skulle det behövas en robot som går på räls mellan slutet av M3 och P6. SOPI för P6 visas i Figur 26. Det fanns möjlighet att förse operatören med hjälpmedel istället för att placera en robot på stationen men en robot skulle frigöra operatören till att utföra andra uppgifter.



Figur 26, matris med möjliga förbättringar, SOPI, av P6

Förbättringar som frigör operatörer men inte ökar produktionskapaciteten kunde genomföras före och efter P5. I dåvarande utförande av Alfa-line krävdes det en operatör som manuellt matade in produkten i P5 och en annan som manuellt förflyttade Hybriken från utmatningen efter P5 till M3. Inmatningen skulle kunna lösas med ett drivet inmatningsbord. I dåvarande utförande av Alfa-line kunde P4 mata ut produkten med en knapptryckning från operatören. Ett drivet inmatningsbord med kantstyrning som såg till att produkten gick in rätt i P5 skulle underlätta för operatören. Övergången mellan P5 och M3 genomfördes då av en operatör som manuellt transporterade Hybriken från P5 till M3. De låg direkt intill varandra så det krävdes endast en enklare automatisering i form av till exempel ett bord som kunde lutats så att Hybriken gled över från P5 till M3.

Figur 27 visar hur en HTA kunde se ut efter automatisering. Alla grå uppgifter kunde automatiseras till en sådan grad att det endast krävdes en knapptryckning från operatören för att utföra dem.



Figur 27, möjlig HTA efter automatisering. De grå uppgifterna kunde automatiseras till en sådan grad att operatören endast behövde starta dem med ett knapptryck.

Figur 28 visar en sammanställning av automationsnivåer efter föreslagna förbättringar. En del uppgifter hade slagits samman till en uppgift då det var helt automatiserade moment som operatören startade med en knapptryckning och därefter inte behövde ingripa förr än nästa produkt. Det var 4.1 H1a och 4.2 H1b som slagits samman till ett moment. 8.1–8.4 var då endast två moment. 9.1 P5a och 10.1 Materialhantering hade höjts från 1,1 till 5,5. Hela 11 P6 hade ersatts med en robot som hade totalt tre olika uppgifter; orientera Hybrixen, klippa kanterna på Hybrixen och slutligen lägga den klippta Hybrixen bland färdigt material.

LoA Fysisk										
7										
6	2				2					
5	1				11	3	1			
4										
3										
2										
1										
	1	2	3	4	5	6	7	LoA kognitiv		
	Totalt antal uppgifter:						20			

Figur 28, möjlig LoA efter automatisering. En deluppgifter har slagits samman och alla med nivå 1,1 har höjts jämfört med dagsläget.

Figur 29 visar de olika anläggningarna i produkt-processmatrisen. Pilotanläggningen var inte flödesanpassad, det var mer av en funktionell verkstad och produkten gick fram och tillbaka mellan olika stationer. Produkterna tillverkades styckvis. Alfa-line hade betydligt högre volym och var helt anpassad efter flödet. Delar av processen gick på transportband. Produkterna tillverkades fortfarande styckvis men i ett kontinuerligt flöde. Vid automatisering av Alfa-line påverkades inte flödet men produktionskapaciteten ökade.

Process structure	Product structure			
	one-of-a-kind, low volume	many products, low-volume	few major products, high-volume	standardized products, high volume
Job shop	<p>Pilotanläggning</p> <p>Typical</p> <p>diagonal</p> <p>Alfa-line match</p> <p>Automatiserad Alfa-line</p>			
Flow shop				
Line flow				
Continuous flow				

Figur 29, de olika anläggningarna i produkt-processmatrisen

## 8. Slutsatser

Syftet med detta arbete var att, i samband med att Lamera installerar en helt ny produktionslina för tillverkning av Hybrix, ur ett automationsperspektiv analysera och jämföra pilotanläggningen med Alfa-line samt simulera och optimera den nya anläggningen. Frågeställningarna uttrycktes i fyra punkter:

- Automationsanalys av pilotanläggning.
- Automationsanalys av Alfa-line.
- Simulering och optimering av produktionsprocessen Alfa-line
- Identifiering av områden där ytterligare automatisering leder till ökad produktionsvolym.

### Automationsanalys

I pilotanläggningen krävdes det många moment för att tillverka Hybrix. Totalt 41 tycken, varav 15 var materialhantering. Automationsnivån var låg, 28 av de 41 uppgifterna hade automationsnivå 2 eller lägre på både fysisk och kognitiv automation. HTA visade en smal och djup struktur.

I Alfa-line tillkom det moment i början och slutet av processen som inte fanns i pilotanläggningen. Trots det minskade det totala antalet uppgifter till 28 varav endast tre var materialhantering. Automationsnivån var betydligt högre än i pilotanläggningen. Endast sju av uppgifterna låg kvar på den lägsta automationsnivån. Övriga uppgifter hade minst nivå 5 på den fysiska nivån, elva av dem hade nivå 1 på den kognitiva nivån och övriga nio hade nivå 5 eller högre. HTA visade en bredare och grundare struktur än pilotanläggningen.

### Simulering och optimering av Alfa-line

Simuleringen visade att det kan tillverkas ca 16 Hybrix per tidsenhet i Alfa-line. Så länge storleken på Hybrixen är mellan 1000 x 1000 mm och 3000 x 1000 mm påverkar den inte produktionsresultatet nämnvärt. För att uppnå 90 % av den volymen räcker det att processerna går mellan 30 och 70 % av respektive process maxhastighet.

### Identifiering av områden där ytterligare automatisering leder till ökad produktionsvolym

Det är processerna H1, P4 och P6 som begränsar produktionskapaciteten i Alfa-line. Det är moment som kräver mycket arbetstid från operatörerna. Det finns goda möjligheter att automatisera dessa och därmed öka produktionen samt frigöra personal. Det finns även möjlighet att automatisera inmatningen till P5 och M3. Det skulle frigöra personal men inte påverka kapaciteten. Storleken på Hybrixen är avgörande för hur mycket ovan nämnda processtider kan minskas innan andra delar av Alfa-line blir begränsande. Längre Hybrix gör att brytpunkten kommer tidigare. Vid en längd på 3000 mm räcker det att minska processtiden till 55 % av den ursprungliga. 2000 mm 32 % och 1000 mm 25 %. Minskas tiden med 50 % av den ursprungliga blir kapaciteten ca 28 Hybrix per tidsenhet med längden 3000 mm och ca 30 Hybrix per tidsenhet med längden 2000 eller 1000 mm. Minskas tiden till 25 % blir kapaciteten oförändrad för 3000 mm, 41 Hybrix per tidsenhet för 2000 mm och ca 50 Hybrix per tidsenhet för 1000 mm. Maximal volym, sett till kvadratmeter, för Alfa-line nås vid 55 % och längd 3000 mm. Då produceras det ca 84 m<sup>2</sup> Hybrix per tidsenhet. Sänks tiden till 25 % av den ursprungliga tillverkas det ca 83 m<sup>2</sup> Hybrix per tidsenhet av längd 2000 mm och 50 m<sup>2</sup> Hybrix per tidsenhet av längd 1000 mm. Tabell 4 visar en sammanställning av resultatet.

Tabell 4, produktionsresultat vid reducering av processtider för begränsande processer. Första kolumnen visar Hybrixens längd i mm och den andra processtid för H1, P4 och M3 uttryckt i procent av den ursprungliga. Tredje och fjärde kolumnen visar produktionsresultatet uttryckt i antal Hybrix per tidsenhet respektive antal kvadratmeter Hybrix per tidsenhet.

Längd [mm]	Processtid ( % av ursprunglig processtid)	Antal Hybrix per tidsenhet	Antal kvadratmeter Hybrix per tidsenhet
1000	100	16	16
2000	100	16	32
3000	100	16	48
1000	50	30	30
2000	50	30	60
3000	50	28	84
1000	25	28	84
2000	25	41	82
3000	25	50	50

## Referenser

- Borshchev, A. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod Modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America.
- Crown, W. (2015). Selecting a Dynamic Simulation Modeling Method for Health Care Delivery Research—Part 2: Report of the ISPOR Dynamic Simulation Modeling Emerging Good Practices Task Force. *Value in health*, 147-160.
- de Winter, J. C., & Dodou, D. (2011). Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation. *Cognition, Technology & Work*.
- Fasth-Berglund, Å., Lundholm, T., Mårtensson, L., Dencker, K., Stahre, J., & Bruch, J. (2009). Designing proactive assembly systems – Criteria and interaction between Automation, Information, and Competence., (ss. 1-13). Grenoble.
- Frohm, J., Lindström, V., Winroth, M., & Stahre, J. (2008). Levels of automation in manufacturing. *Ergonomia - International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 181-207.
- Grigoryev, I. (2015). *Anylogic 7 in three days: A Quick Course in Simulation Modeling*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (den 1 Januari 1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, ss. 133-140.
- Johansson, P., & Olhager, J. (December 2006). Linking product-process matrices for manufacturing and industrial service operations. *International Journal of Production Economics*, ss. 615-624.
- Kirwan, B., & Ainsworth, L. (1992). *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis.
- Rundqvist, B. (den 18 Mars 2016). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/automat>
- Stanton, N. A. (Januari 2006). Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics*, ss. 55-79.