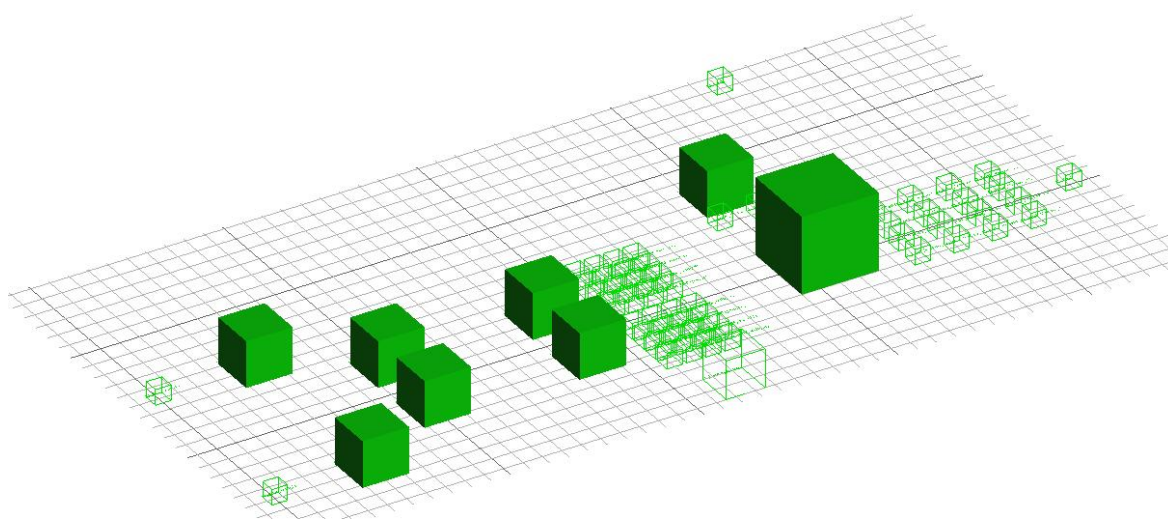


CHALMERS



Flexibel Produktion av Produktvarianter

En simuleringsanalys

Kandidatarbete

MARCUS ANTONSSON
CARL HÖJER
JONAS OTTOSSON
ANDERS SELLGREN

Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling
Avdelningen för Produktionssystem
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014

FÖRORD

Detta kandidatarbete är skrivet vid civilingenjörsprogrammet i maskinteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet är utfört på uppdrag av institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling.

Kandidatgruppen vill tacka de personer som hjälpt till vid arbetet för deras stora stöd under arbetet. Utan dem hade denna rapport blivit mycket innehållslös. Vi vill rikta ett särskilt stort tack till våra handledare Jonatan Berglund och Maheshwaran Gopalakrishnan som har bidragit med ovärderlig hjälp och god inspiration.

Marcus Antonsson, Carl Höjer, Jonas Ottosson, Anders Sellgren

Göteborg, Maj 2014

SAMMANDRAG

Detta kandidatarbete har utförts på uppdrag av *Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling* vid Chalmers Tekniska Högskola under våren 2014.

Dagens konsumenter ställer högre krav på personliga och skräddarsydda produkter än tidigare. Detta har lett till att industrin har tvingats gå igenom en stor förändring under de senaste decennierna. Fabriker som tidigare har massproducerat enstaka varor har nu konfigurerats till flexibla produktionssystem, vilka kännetecknas av att de kan hantera en mångfald av konfigurationer och att de kan producera dem i vilken ordning som helst.

Denna rapport syftar till att undersöka hur produkters och deras varianter inneboende komplexitet påverkar produktionen, då denna är flexibelt utformad. Även det eventuella sambandet mellan produkters egenskaper och problem som uppstår i flexibel produktion undersöks. Frågeställningen som arbetats efter har varit följande:

- Vad orsakar komplexitet hos en produkt?
- Hur påverkar produktens komplexitet produktionen i stort?
- Vilka problem uppstår i produktionen vid införande av produktvarianter?
- Vilken är kopplingen mellan dessa problem och produktvarianter?

Undersökningarna har utförts genom produktionssimuleringar. Slutsatsen är att antalet varianter som produceras är starkt kopplat till produktionens prestanda. Det har även gått att visa att komplexitet och produktionsstörningar är mycket situations specifika. Framförallt styr produktionens flaskhalsar prestandan i hög grad. Flaskhalsar är unika för varje produktionssystem, vilket gör att samband mellan produkters egenskaper och prestanda blir specifika för varje enskilt produktionssystem.

Resultaten har visat att ytterligare arbete krävs för att kunna dra tillförlitliga slutsatser eftersom undersökningen endast har genomförts på en isolerad produktionscell med fiktiva tider och operationer. För att få ett mer tillförlitligt resultat krävs en bredare bas med mätdata från verkliga industrier.

Abstract

This bachelor thesis has been conducted on behalf of the *Department of Product and Production Development* at Chalmers University of Technology during the spring of 2014.

Consumers of today demands more and more personalized and customized products, than ever before. This development has led industrial manufacturers to take great actions of change during the past few decades. Plants who have previously mass-produced a narrow selection of products have now been reconfigured towards more flexible production systems. This implies that they can handle a great variety of products and in any given production sequence.

This report aims to examine how the complexity of products and their variants affects a flexible production system. Moreover, a possible connection between the features of products and problems associated with flexible production is investigated. The following questions aims to be answered:

- What causes a product to become complex?
- What influence does the complexity of a product have on production?
- Which problems occur when new variants of products are introduced?
- What is the connection between the problems above and variants of products?

The research has been conducted through simulation of production. The conclusion is that the amounts of variants that are being produced are strongly connected to the performance of a production system. There have also been indications that are pointing towards the idea that complexity and disturbances in production are highly situation-specific. Among other aspects, bottlenecks are effectively controlling the performance of a production system. These bottlenecks are unique for any given production system, which implies that relationships between the features of products and the performance of production systems are specific for every production system.

The results have shown that further research is required in order to draw robust conclusions. This is because of the fact that the examination has been conducted by observing a single, isolated production cell with fictitious operations and operation times. In order to draw more credible conclusions, a wider selection of data from industrial environments is required.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Frågeställning	2
1.4	Avgränsningar	2
2	TEORI	4
2.1	Vetenskapsmetodik	4
2.1.1	Kvalitativa metoder	4
2.1.2	Kvantitativa metoder	4
2.2	Komplexitet	4
2.2.1	Komplexitetsmodeller	5
2.2.2	Varianter	7
2.3	Flexible Assembly System	7
2.4	Nyckeltal	8
2.5	Simulering	9
2.5.1	Händelsebaserad simulering	10
3	METOD	11
3.1	Metodval	11
3.2	Arbetsgång	11
3.2.1	Teoriinsamling och modellering	12
3.2.2	Variantgenerering	12
3.2.3	Utvärdering komplexitet	12
3.2.4	Simulering	13
3.2.5	Återkoppling	13
4	UTFÖRANDE	14
4.1	Referensprodukt	14
4.2	Produktionsmodell	16
4.2.1	Avgränsningar i produktionsmodellen	17
4.3	Varianter	17
4.4	Komplexitetsmodell	18
4.5	Produktionslayout varianter	20
4.6	Experimentets utförande	21
4.6.1	Simuleringsmodell	22
4.6.2	Visualisering	22
4.6.3	Parametrar	24
5	RESULTAT	26
5.1	Orsaker till komplexitet	26
5.2	Bedömning av komplexitet	26
5.3	Komplexitetens påverkan på produktionen	27

5.3.1	Produktion av en variant i taget	28
5.3.2	Produktmix	29
5.4	Varianters påverkan på produktionen	30
5.4.1	Antal varianter.....	30
5.5	Koppling mellan problem och varianter	31
5.5.1	Avvikande resultat.....	33
6	DISKUSSION	34
6.1	Metod	34
6.1.1	Komplexitetsmodell	34
6.1.2	Utförande	35
6.2	Resultat.....	36
6.2.1	Komplexitet.....	36
6.2.2	Egenskaper.....	36
6.2.3	Nyckeltal.....	37
7	SLUTSATSER	38
8	REKOMMENDATIONER FÖR VIDARE ARBETE.....	39
9	REFERENSER.....	40
	BILAGA A – Nyckeltal	
	BILAGA B – Tider	
	BILAGA C – Kod Automod	

BETECKNINGAR

Förkortningar

FAS - Flexible Assembly Systems

Ett automatiserat monteringsystem anpassat för att tillverka produkter i många olika varianter och små, varierande volymer.

DES - Discrete Event Simulation

Händelsebaserad simulering. Tillståndsvariablerna i modellen ändras endast vid diskreta tidpunkter där en händelse inträffar.

CXI - Complexity Index

Complexity Index är en metod som syftar till att bestämma nivån av komplexitet vid en specifik arbetsstation. Detta görs genom att aktuella aktörer får fylla i en enkät där de uppmanas till att bedöma aspekter vid stationen på en subjektiv.

CXC - Complexity Calculation

Metod för att bedöma komplexitet som baseras på objektiva parametrar från datasystem. Operatörer är således inte inblandade i bedömningen.

KPI - Key Performance Index

Alternativt nyckeltal, är en uppsättning mått på en organisations prestation i områden som är kritiska för nutida och framtida framgångar för organisationen.

MTTF - Mean Time To Failure

Den genomsnittliga tiden innan en resurs får en breakdown.

MTTR - Mean Time To Repair

Den genomsnittliga tiden det tar för en resurs att bli aktiv igen efter en breakdown.

ORDLISTA

Batchning

Tillverkning i serier.

Breakdown

En resurs/maskin blir inaktiv. Kan bero på flera saker såsom maskinfel, frånvarande operatör etcetera.

Buffert

En kö där produktionssystemets produkter/loads mellanlagras.

Cykeltid

Den genomsnittliga tid det tar för en resurs från och med att den startar en process för en produkt tills dess att den kan starta en process för nästa produkt.

Effektivitet

Hur väl produktionssystemets resurser utnyttjas. Starkt kopplat med utnyttjandegrad.

Egenskap (produkt)

I arbetet innebär en produktens egenskap en extra bearbetning av originalprodukten. Till exempel borrning och extra komponent.

Flexibilitet

Produktionsflödets förmåga att hantera flera produkter och produktvarianter.

Flaskhals

En begränsande punkt i produktionsflödet.

Fixturering

Montering av komponenter/material på fixtur (fasthållningsverktyg).

Komplexitet

Subjektiv bedömning av en produkts inneboende potential för problem när den produceras.

Load

Material/komponenter i simuleringsmodellen.

Ledtid

Den genomsnittliga tiden det tar för en produkt att passera genom produktionssystemet.

Nyckeltal

Se KPI i förkortningslista.

Omställning

Inställning av en resurs för att kunna hantera en annan typ av produkt.

Output

Totalt antal producerade enheter.

Produktivitet

Hur snabbt produktionssystemet producerar. Starkt kopplat till output.

Resurs (i ett produktionsflöde)

I detta arbete endast olika maskiner och arbetsstationer, kan i andra sammanhang även innebära material.

Utnyttjandegrad

Hur stor andel av den totala tiden som en resurs arbetar.

Variant (av en produkt)

En unik kombination av egenskaper.

Takttid

Den tillgängliga produktionstiden dividerat med antalet producerade enheter.

1 INLEDNING

I detta kapitel beskrivs arbetets problem samt bakgrund till detta. Vidare redovisas arbetets syfte, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

"Any customer can have a car painted any color that he wants so long as it is black".[1]

Henry Fords klassiska citat från tidigt 1900-tal gällde i stor utsträckning i sin samtid. I dagsläget är situationen en helt annan. Konsumenter vill ha mer och mer personliga och skräddarsydda produkter [2]. För att kunna uppfylla kundens önskemål vid exempelvis inköp av en ny bil finns det idag en stor variantflora, där varje kund kan bestämma hur just sin egen bil ska se ut [3]. Denna situation är inte unik för bilindustrin, utan det blir alltmer vanligt att kunder vill kunna anpassa en produkt efter sitt eget behov.

Den ökande efterfrågan på olika varianter ställer allt högre krav på industrin och dess produktionssystem. För att hantera den ökade variantfloran måste produktionssystemen omarbetas till så kallade flexibla produktionssystem. Enligt Kalpakjian & Schmid [4] kännetecknas ett flexibelt produktionssystem av att kunna hantera en mångfald av konfigurationer och att kunna producera dem i vilken ordning som helst. Traditionellt sett har en funktionell layout varit det dominerande produktionssystemet vid tillverkning av olika produktvarianter. En funktionell layout kännetecknas av att maskiner med likartad funktion samlas i grupper eller avdelningar. Även om det finns teoretiska möjligheter till högt kapacitetsutnyttjande vid en funktionell layout kännetecknas den ofta av långa ledtider, omfattande samordningsproblem och låg leveranssäkerhet [5].

För att undvika ovanstående problem och för att kunna utnyttja stordriftsfördelar i produktionen har många företag under de senaste decennierna gått över till Flexible Assembly Systems (FAS). FAS innebär ett automatiserat monteringsystem anpassat för att tillverka produkter i många olika varianter och små, varierande volymer. Även FAS har dock vissa svårigheter som bör uppmärksammas. De vanligaste problemen är minskad output, ökade ledtider och minskat resursutnyttjande [6].

Olika produktvarianter för med sig olika grader av inneboende komplexitet hos produkterna vilket påverkar produktionen, både vid manuell och automatiserad montering [3]. Olika varianter kan till exempel innebära olika färger på ingående delar, olika antal delar, krav på särskilda operationer och olika ledtider. Vid utformning av produktionssystem är det därför viktigt att vara uppmärksam på sambandet mellan produkters komplexitet och produktionens effektivitet. Det är även önskvärt att kunna förutse hur produktionen påverkas av de olika egenskaperna hos

de nya varianterna som införs. Med en produkts/variants egenskaper menas attribut såsom färg, bearbetningar etcetera.

I dagsläget står mycket information att finna angående produkters komplexitet ur ett kognitivt perspektiv, det vill säga hur komplex en montör upplever att en produkt är [7]. Däremot finns det få riktlinjer och rekommendationer kring hur produktion av produkter med varierande komplexitet ska behandlas i ett system som tillämpar FAS. Det finns även lite information angående vilka problem som respektive produktvariant orsakar. Detta projekt ämnar därför undersöka och analysera dessa områden.

1.2 Syfte

Projektets syfte är att undersöka hur olika produktvarianters inneboende komplexitet påverkar effektiviteten vid flexibel produktion. Vidare ska arbetet undersöka huruvida en korrelation existerar mellan olika egenskaper hos en produkt och eventuella problem som uppstår vid flexibel produktion. Resultatet är tänkt att ge en indikation på hur ett utökat produktsortiment påverkar produktiviteten.

1.3 Frågeställning

De frågor som projektet ämnar svara på är följande:

- Vad orsakar komplexitet hos en produkt?
- Hur påverkar produktens komplexitet produktionen i stort?
- Vilka problem uppstår i produktionen vid införande av produktvarianter?
- Vilken är kopplingen mellan dessa problem och produktens egenskaper?

1.4 Avgränsningar

Då ämnet som denna undersökning behandlar inkluderar ett mycket stort antal aspekter är det viktigt att arbetet avgränsas till en hanterbar utsträckning. Avgränsningarna i arbetet redovisas här mestadels i form av det arbete som faktiskt ska utföras, istället för det som inte behandlas, då denna lista snabbt skulle anta överväldigande proportioner. Följande avgränsningar har bestämts:

- Fokus för undersökningarna ligger på produkternas roll i produktionen. I realiteten beror produktionens effektivitet på fler variabler.
- Den kognitiva aspekten av komplexitet, det vill säga hur produkten upplevs av en montör, behandlas ej i detta arbete eftersom ett FAS-system främst består av automatiserade robotar.
- Effektiviteten hos produktionen mäts endast genom att analysera kvantitativ produktionsdata. Exempelvis kvalitetsaspekter behandlas inte.

- Undersökningen antar ingen holistisk syn av produktionen. Endast en produktionscell beaktas, ej materialtillförsel eller hantering av färdiga produkter.
- Undersökningarna begränsas till en produkt och dess varianter.
- Den produktionslayout som arbetas utifrån ska inte optimeras då fokus inte ligger på att utforma en optimal produktionscell.
- Vid införandet av nya varianter kommer produktionssystemet inte att modifieras. Detta eftersom fokus i första hand ligger på att identifiera eventuella problem som uppstår.
- Batchning kommer inte att undersökas.

2 TEORI

Inför och under undersökningen utfördes en litteraturstudie kring ämnet. Resultatet av denna redovisas i följande kapitel. Bland annat undersöktes begreppet komplexitet, vad som skrivs i litteratur kring flexibilitet i produktion samt begreppet nyckeltal.

2.1 Vetenskapsmetodik

Vid vetenskapligt arbete går det ofta att tala om två större angreppsmetoder rörande själva arbetet med att samla in data. Dessa båda metoder benämns som kvalitativa och kvantitativa.

2.1.1 Kvalitativa metoder

Det klassiska exemplet på en kvalitativ undersökning är den där undersökningen sker genom intervjuer. Som namnet kvalitativ antyder försöker man genom metoden att mäta kvaliteter. Man försöker i någon utsträckning mäta och undersöka hur urvalsgrupper upplever vissa situationer [8]. Målsättningen är ofta *“att identifiera och bestämma ännu icke kända eller otillfredsställande företeelser, egenskaper och innebörder med avseende på variationer, strukturer och processer”*.

2.1.2 Kvantitativa metoder

Det andra angreppssättet kallas för kvantitativa metoder och har målsättningen *“att undersöka hur på förhand definierade företeelser och dess egenskaper och innebörder fördelar sig i en population”* samt *“att undersöka om det förekommer samband mellan två eller flera företeelser”* [8]. Kvantitativa metoder kan enkelt beskrivas som metoder där någonting som är mätbart undersöks. Ett vanligt tillvägagångssätt är att ställa upp experiment.

2.2 Komplexitet

Först och främst gäller det att förstå att begreppet komplexitet i sig är svårdefinierat. Detta beror på att komplexitet är subjektivt och uppfattas annorlunda av olika aktörer och i olika situationer. På grund av detta har mycket forskning fokuserat på att definiera begreppet [9]. En av de tidigaste ansatserna, som även är relativt vedertagen, gjordes 1948 av Weaver.

Weaver [10] menade att problem kan delas in i tre kategorier av komplexitet. Klassiska skolproblem sorteras in under *“enkla problem”*. De karaktäriseras av att bero på ett fåtal variabler samt att de för de flesta är snabbt greppbara. Nästa kategori benämns *“icke-organiserad komplexitet”*, och innebär att problemet beror på oändligt många variabler och varierande samband men det går ändå att förutsäga beteenden och förhållanden genom statistik och sannolikhet. Den tredje och sista kategorin inbegriper det problem som kommer att studeras i detta projekt. Weaver benämner denna som *“organiserad komplexitet”* och definierar den som

“en mångfald av faktorer som alla är beroende av varandra i en organisk helhet”. En beskrivning som i allra högsta grad stämmer in på problemet som studeras.

Vidare är ett återkommande tema i litteraturen det holistiska perspektivet när det gäller komplexitet. Vid komplexa problem och situationer sträcker sig beroendena över systemgränser och bidrar till att ett tvärvetenskapligt synsätt är nödvändigt [7]. Som exempel kan enligt Calinescu et al. [11] följande orsaker till komplexitet tas upp:

Produkt - Egenskaper som rör själva produkterna som tillverkas. Till exempel antal, varianter, ledtider och liknande.

Fabrik - De resurser som finns tillgängliga i fabriken och andra praktiska aspekter såsom layout bidrar till komplexitet i produktionen.

Planering - Beslutsfattande och styrning av produktionen, samt byråkratin omkring detta.

Information - Avser både inom och utom företagets väggar. Brist på information, men även ett överflöd av information kan öka komplexiteten.

Calinescu et al. [11] listar ett antal faktorer som påverkar den totala komplexiteten, däribland för produkter. Komplexiteten beror på antalet produkter, och för varje produkt antalet undermonteringar, varianter, cykeltider, satsstorlekar och produktionssekvens.

Det kan vara svårt att förutse vilken effekt exempelvis införandet av en ny, komplexitetsökande variant får för hela systemet. Säfsten et al. [12] menar att även en ny produktvariant med relativt låg komplexitet i sig själv, kan bidra med hög komplexitet sett ur ett större perspektiv. Exempelvis uttrycker sig detta genom att nya processteg behövs, att ny teknik behöver utvecklas och så vidare.

2.2.1 Komplexitetsmodeller

Det finns ett stort antal modeller, vilka är mer eller mindre avancerade, som används för att mäta komplexitet i olika situationer. Problemet med att modellera komplexitet är att komplexitet är en subjektiv kvantitet som uppfattas annorlunda av olika aktörer och i olika situationer. Enligt litteraturen [7] är det nödvändigt att ha en holistisk utgångspunkt vid utvärdering av komplexitet eftersom en del av definitionen av komplexitet är just beroendet mellan olika delsystem i det större perspektivet.

Det har länge existerat teoretiska modeller för att mäta komplexitet, ett vanligt förekommande exempel är *entropimodellen* [13]. Entropi beskriver hur mycket en variabel varierar i ett system och ger ett slags mått på osäkerheten i systemet. Modeller som bygger på detta synsätt är relevanta, men i hög grad teoretiska, vilket gör dem svåra att implementera i praktiken.

Mattson et al [14] beskriver användningen av *Complexity Index (CXI)*. Complexity index är en metod som syftar till att bestämma nivån av komplexitet vid en specifik arbetsstation. Detta görs genom att aktuella aktörer får fylla i en enkät där de uppmanas till att bedöma aspekter vid stationen på en subjektiv skala. CXI bedömer komplexiteten utifrån följande fem områden [13]:

- 1) Produktvarianter
- 2) Arbetsinnehåll
- 3) Layout och verktyg
- 4) Hjälpmedel och instruktioner
- 5) Generellt

Varje område undersöks genom tre till fyra påståenden som besvaras på en femgradig skala från “instämmer helt” till “instämmer inte alls”. “Instämmer helt” ger poängen fem och innebär att stationen är komplex. Medianen av dessa svar används sedan för att ge ett index på hur komplex en station upplevs.

Ett alternativ till CXI är *Complexity Calculator (CXC)* [13]. Denna metod grundar sig till skillnad från CXI på objektiva parametrar från datasystem. Operatörer är således inte inblandade i bedömningen. CXC syftar, precis som CXI, till att bedöma komplexiteten vid specifika arbetsstationer. För CXC görs bedömningen utifrån följande variabler, där stationen bedöms på en fem-gradig skala liknande den som används för CXI.

- 1) Plockning
- 2) Sekvens/kittning
- 3) Antal förpackningstyper
- 4) Antal verktyg som operatören använder
- 5) Antal automatiska maskiner
- 6) Antal arbetsmetoder
- 7) Förflyttning för att plocka delar
- 8) Antal varianter av *en* produkt som produceras vid stationen
- 9) Totalt antal varianter som produceras vid stationen
- 10) Antal olika delar vid stationen
- 11) Antal monteringsinstruktioner

Resultaten sammanställs och räknas ihop med hjälp av följande båda ekvationer [13]:

$$basic\ complexity(w) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{score(i)*weight(i)}{\sum_{i=1}^n weight(i)}}{\quad} \quad (1)$$

$$complexity(w) = \frac{basic\ complexity(w) - \sum_{i=1}^n \min i}{\sum_{i=1}^n \max i - \sum_{i=1}^n \min i} * 10 \quad (2)$$

Basic complexity betecknar komplexiteten för en arbetsstation w . $Score(i)$ är poängen för varje variabel i listan ovan och $weight(i)$ är den vikt som tilldelas respektive variabel. Denna viktning görs från fall till fall. $Max i$ samt $min i$ är den maximala respektive minsta poäng som kan tilldelas varje variabel. $Complexity(w)$ blir således ett mått på stationens komplexitet.

Generellt kan det sägas att komplexitetsmodeller i allmänhet kräver omfattande arbete och underlag för att kunna användas. Samtidigt blir de på grund av detta snabbt svåra att greppa för användare. Gullander et al. fastslår bland annat att en modell och metod för att beskriva komplexitet måste vara lätt att förstå och att använda [7].

2.2.2 Varianter

Schleich et al. [3] trycker på att antalet varianter av en produkt vid produktion ger ett stort utslag för komplexiteten i systemet. De menar att så fort en ny variant införs uppstår problem i planeringen. Det kan till och med vara så att en minskning av antalet ingående komponenter i en produkt innebär en ökad komplexitet. Detta beror på att den eventuellt uteblivna operationen som minskningen ger innebär väntetid för montören. Detta innebär i sin tur att ytterligare planeringsarbete krävs och komplexiteten ökar. Trenden pekar klart och tydligt mot ett ökat antal produktvarianter hos tillverkande företag, även hos fordonsindustrin. Exempelvis fördubblades antalet olika chassi-typer som produceras av de åtta största biltillverkarna i Europa mellan 1990 och 2002 [15].

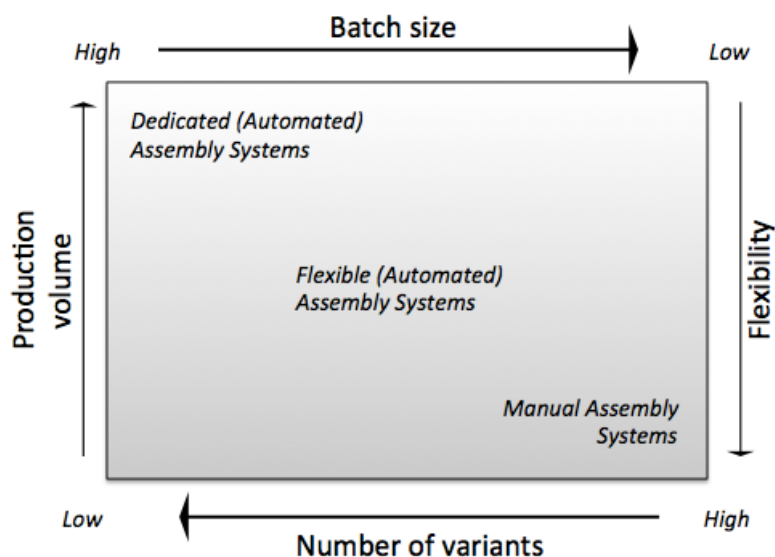
2.3 Flexible Assembly System

Det ökade antalet varianter på marknaden i kombination med allt kortare livstid hos produkterna har lett till att produkter numera ofta tillverkas i anpassningsbara flexibla monteringsystem, så kallade *Flexible Assembly Systems* (FAS) [16]. FAS definieras enligt Owen som "*a computer controlled automated assembly system for converting raw material and purchased components into products of a known and desired functional quality.*" Vidare utvecklar Owen att i idealfallet flödar materialet i en gemensam riktning med så lite icke värdeskapande tid som möjligt. Layouten är utformad utifrån produkternas flödesperspektiv och materialet flödar genom serier av integrerade arbetsområden.

Traditionellt sett har en funktionell layout varit det dominerande produktionssystemet vid tillverkning av olika produktvarianter. En funktionell layout kännetecknas av att maskiner med likartad funktion samlas i grupper eller avdelningar. Även om det i teorin finns möjligheter till högt kapacitetsutnyttjande vid en funktionell layout lider den ofta av långa ledtider, omfattande samordningsproblem och låg leveranssäkerhet [5].

Carli et al [6] jämför FAS med helt manuella och helt automatiserade system, se Figur 2.1

nedan. Manuell montering är ett vanligt alternativ när hög flexibilitet önskas uppnås. Fördelarna vid montering i ett automatiserat system gentemot manuell montering är högre produktivitet, minskade variationer i kvalitet och produktionstakt samt minskade säkerhets- och arbetsmiljöproblem. Ett automatiserat system innebär dock en lägre flexibilitet. Det är därför viktigt att hitta rätt avvägning mellan flexibilitet och produktivitet vid införandet av FAS.



Figur 2.1, Schematisk bild av flexibla system och deras samband med batchstorlek, flexibilitet, produktionsvolym och antalet varianter som tillverkas. [6].

Flexible assembly systems för med sig vissa svårigheter. Tidigare undersökningar har visat att det uppstår problem med minskad output, ökade ledtider och lägre maskinutnyttjande vid införande av FAS [6]. För att om möjligt kunna avgöra en koppling mellan ovanstående problem och de varianter som produceras, måste någon form av output från produktionssystemet kunna mätas. Denna output kan uttryckas i form av nyckeltal.

2.4 Nyckeltal

Nyckeltal, eller Key Performance Indicators (KPI), är en uppsättning mått på en organisations prestation [17]. De flesta nyckeltal kan grupperas i följande sex kategorier [18]:

- 1) Effektiviteten i produktionssystemet uppmätt utifrån tider i systemet.
- 2) Effektivitet i produktionen med avseende på material.
- 3) Kvaliteten på produkterna som produceras samt processen som helhet.
- 4) Leveranssäkerhet till kund, i vilken grad produkter blir klara och levereras i tid.
- 5) Produktivitet som mäts av ökat kundvärde i förhållande till tillfört kapital.
- 6) Säkerhet i produktionsprocessen.

I enlighet med projektets avgränsning kommer det endast att redogöras för nyckeltal från kategori 1. Nedan listas några vanligt förekommande KPI:er från första kategorin samt deras innebörd. Se Bilaga A för en mer utförlig lista på olika nyckeltal [19].

- 1) **Output** - totala antalet producerade produkter under en given tidsperiod.
- 2) **Takttid** - den tillgängliga produktionstiden under en dag delat med antalet producerade enheter.
- 3) **Produktionsledtid** - den genomsnittliga tiden det tar för en produkt att passera genom produktionssystemet.
- 4) **Utnyttjandegrad** - hur stor andel av den totala tiden som en resurs arbetar.
- 5) **Väntetid** - den tid som en produkt får vänta vid enskilda processer innan den börjar bearbetas.
- 6) **Cykeltid** - den genomsnittliga tid det tar för en resurs från och med att den startar en process för en produkt tills dess att den kan starta en process för nästa produkt.

2.5 Simulering

Att bestämma utformningen av omfattande produktionssystem är en tidskrävande och kostsam process. Vid utformningen av ett produktionssystem är det därför viktigt att minimera antalet problem för att undvika senare omstruktureringar [20]. Ett effektivt redskap för att kunna förutse hur ett system kommer att prestera är simulering. Enligt Banks et al. [21] är simulering en imitation av operationerna i en verklig process eller system över tid.

Det finns en rad olika områden inom produktion där simulering är ett viktigt verktyg. Enligt Banks [20] används simulering för att tydliggöra produktionsflödet vilket ger en ökad förståelse för produktionen. Det medför att det är lättare att identifiera problem och begränsningar i produktionen. En viktig begränsning i produktionen som kan identifieras är flaskhalsar. Simulering kan bidra till att öka förståelsen för varför dessa begränsningar uppstår. Detta gör simulering till ett viktigt hjälpmedel för att fatta korrekta beslut vid förändringar i produktionssystemet. Tester som hade tagit ett helt skift att fysiskt genomföra kan simuleras i en modell på bara några minuter [20].

Banks belyser även att det finns en del nackdelar med simulering av produktionssystem. I många fall är det en tidskrävande process att bygga upp simuleringsmodellen. Det krävs också utbildning och erfarenhet inom området för att kunna använda simuleringsverktyget på ett korrekt sätt och därefter kunna tolka resultatet rätt. Dessa nackdelar har och kommer med tiden att minska i storlek i och med att hårdvaru- och mjukvaruutvecklingen går framåt. Detta medför att simuleringarna går allt fortare att genomföra och att simuleringsprogrammen blir alltmer användarvänliga. Som komplement till simuleringsprogrammen utvecklas även statistiska analysverktyg som gör det lättare att tolka och analysera data från simuleringen [20].

2.5.1 Händelsebaserad simulering

För att kunna simulera ett produktionssystem krävs det att en modell av det faktiska systemet först byggs upp i en simuleringsmiljö. En typ av simuleringsstrategi som ofta används i industriella sammanhang är en så kallad händelsebaserad simulering, eller *Discrete Event Simulation (DES)*. Händelsebaserad simulering är en metod där tillståndsvariablerna i modellen endast ändras vid diskreta tidpunkter där en händelse inträffar [20]. Motsatsen är kontinuerliga modeller där tillståndet i modellen kontinuerligt ändras över tiden. Skillnaden mellan diskreta och kontinuerliga modeller kan beskrivas med hjälp av Figur 2.2.



Figur 2.2, Diskret och kontinuerlig modell.

Som går att utläsa ur figurerna ovan utelämnas information om tillståndet mellan varje diskret tidpunkt vid händelsebaserad simulering. I den kontinuerliga modellen, som vanligtvis är uppbyggd av differentialekvationer, beskrivs tillståndet i modellen för alla värden på tiden t .

Händelsebaserade simuleringsmodeller är dynamiska vilket innebär att tillstånden för modellerna ändras över tiden. Detta skiljer sig från de flesta matematiska modeller som är statiska och därmed endast representerar respektive system vid en specifik tidpunkt [20].

3 METOD

I följande kapitel beskrivs arbetets val av metoder samt motivering av dessa val.

3.1 Metodval

Den litteraturstudie som har utförts visar att flexibel produktion och produktvarianter har behandlats i stor utsträckning tidigare. I litteraturen ligger tyngdpunkten vid kvalitativa undersökningar såsom enkätundersökningar och intervjuer bland personal inom produktion. För att göra en ansats att komplettera denna forskning ur ett ytterligare perspektiv ämnar detta arbete att belysa ämnet genom en kvantitativ undersökning.

Det faktum att en kvantitativ metod har valts innebär att kvantifierbar data samlas in och analyseras. Därefter analyseras utfallet utgående från de frågeställningar som tidigare har definierats i denna rapport. Data som eftersöks kan inhämtas på flera olika sätt. Ett vanligt angreppssätt är att använda verklig data från industrin. Möjligheterna att få tillgång till sådana uppgifter har dock varit begränsad varvid data i stället hämtas från ett uppställt experiment. En stor fördel med detta tillvägagångssätt är att experimentet kan fungera som underlag för fortsatt arbete efter det att detta projekt avslutats. En nackdel med experiment är att underlaget riskerar att inte bli tillräckligt stort om inte ett flertal produktionssystem ställs upp.

Experimentet består av ett hypotetiskt produktionssystem där produkter med varierande egenskaper och komplexitet kan produceras. Dessa produkters komplexitet bedöms och produktionen mäts med hjälp av utvalda nyckeltal. De nyckeltal som har valts för denna undersökning är *Totalt antal producerade enheter (output)* samt *Genomsnittlig utnyttjandegrad av samtliga resurser*. Dessa båda nyckeltal har valts eftersom de ger en intuitiv bild av produktionens effektivitet samtidigt som det är vanliga problem vid FAS [6].

3.2 Arbetsgång

Arbetet med experimentet som utgångspunkt beskrivs av följande flödesschema:



Figur 3.1, Flödesschema över arbetets utförande.

3.2.1 Teoriinsamling och modellering

Arbetets första moment bestod av insamling av teori samt modellering av systemet. Arbetet med dessa båda delar skedde parallellt. Resultatet av teoriinsamlingen går att läsa under kapitel 2 Teori ovan. Med modellering avses uppställandet av det experiment som arbetet grundas på. Avsikten med detta experiment är att evaluera produktionens effektivitet och prestanda vid ett flertal olika situationer. För att göra detta finns två tillvägagångssätt. [22] Det ena är att ställa upp produktionen fysiskt och testa fall i praktiken. Detta tillvägagångssätt går att tillämpa då en befintlig produktionscell ska evalueras och ger mycket tillförlitliga resultat. Däremot blir metoden kostsam att utföra om produktionscellen måste byggas upp och ger litet utrymme för ändringar i systemet. För experimentet valdes därför det andra tillgängliga tillvägagångssättet: att bygga upp experimentet virtuellt för att utföra simuleringar. I och med att produktionen byggs upp virtuellt går det att enkelt göra ändringar i systemet för att pröva olika aspekter som kan vara intressant för undersökningen. Dessutom krävs ingen ekonomisk insats då datorkapacitet och mjukvara för simuleringen finns tillgänglig.

3.2.2 Variantgenerering

För att kunna dra slutsatser kring hur olika aspekter hos komplexitet påverkar produktionen krävs det att de produktvarianter som fungerar som indata för modellen har olika grad av komplexitet samt med olika egenskaper. Detta för att om möjligt kunna dra paralleller mellan en viss egenskap eller grad av komplexitet och effektivitet i produktionen.

Produktvarianterna utgår från en referensprodukt som kompletteras med hypotetiska förändringar gällande utformning och produktionsaspekter. De olika förändringar och tillägg hos produkten som undersökningen studerar, vilka benämns som egenskaper hos produkterna, är:

- 1) Antal operationer
- 2) Omställningar av maskiner
- 3) Kontroll och skrotning av delar
- 4) Antal ingående komponenter

Dessa olika varianter har valts eftersom de är sådana aspekter som generellt sett ger upphov till komplikationer vid produktion [23].

3.2.3 Utvärdering komplexitet

För att kunna avgöra huruvida en koppling mellan komplexitet och effektivitet existerar, och hur denna möjligtvis ser ut, är det nödvändigt att på något sätt utvärdera vilken grad av komplexitet en produktvariant har. Utvärderingen kommer att ske genom en komplexitetsmodell.

3.2.4 Simulering

Nästa steg i processen är att utföra själva experimentet, det vill säga simuleringar. Genom simuleringarna prövas olika kombinationer av produktvarianter som kan produceras och data för analys genereras.

3.2.5 Återkoppling

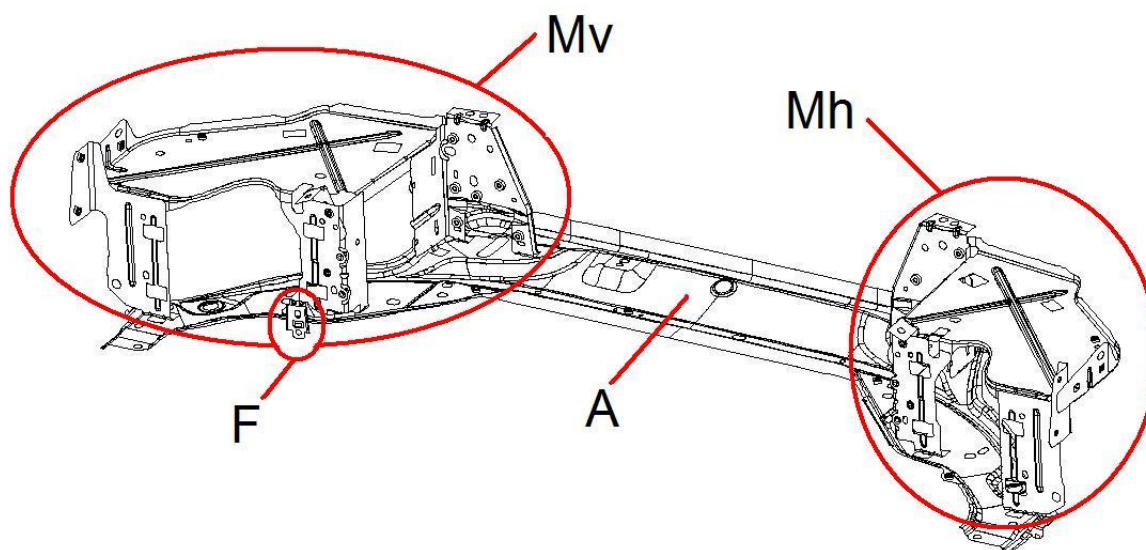
Genom att studera de data och resultat som genererats av simuleringarna dras slutsatser utifrån projektets frågeställningar. Dessa presenteras i viss mån under rapportens resultat, men i huvudsak tas detta upp under rubrik 6 Diskussion.

4 UTFÖRANDE

Under denna rubrik beskrivs undersökningens utförande, det vill säga hur de steg beskrivna under kapitel 3 Metod utfördes i praktiken.

4.1 Referensprodukt

Undersökningens referensprodukt består av ett frontparti från en Volvo S80. Frontpartiet består av tio stycken plåt detaljer som fogas samman genom punktsvetsning. Produkten har valts som testprodukt eftersom den innehåller delar av olika storlekar och kräver olika operationer för att sammanfogas. Produkten och dess ingående delar visas nedan i Figur 4.1 och Figur 4.2.

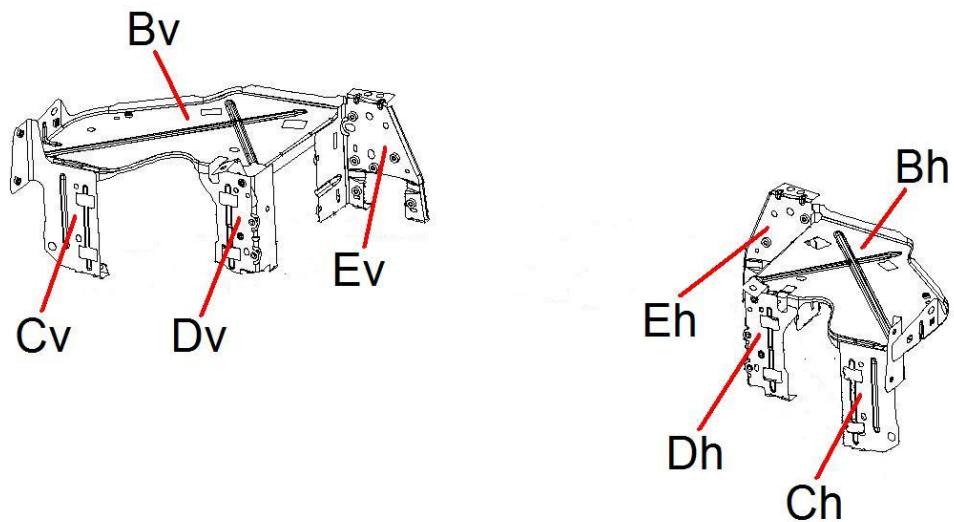


Figur 4.1, Referensprodukten med ingående delar markerade.

Produkten byggs upp genom att mindre delar sammanfogas till moduler som i sin tur tillfogas på en större del som utgör en form av bas för produkten. Förutom dessa moduler tillfogas även en mindre detalj till den större delen. De delar och moduler som har nämnts har tilldelats namn enligt nedanstående lista.

- Del **A** utgör basen för produkten som de övriga delarna monteras fast på.
- Del **F** är en mindre detalj som monteras på del **A**.
- Modul **Mv** och **Mh** är spegelvända kopior av varandra och är monterade på del **A**.

De båda modulerna består i sin tur av fyra mindre delar vilka redovisas i följande bild:

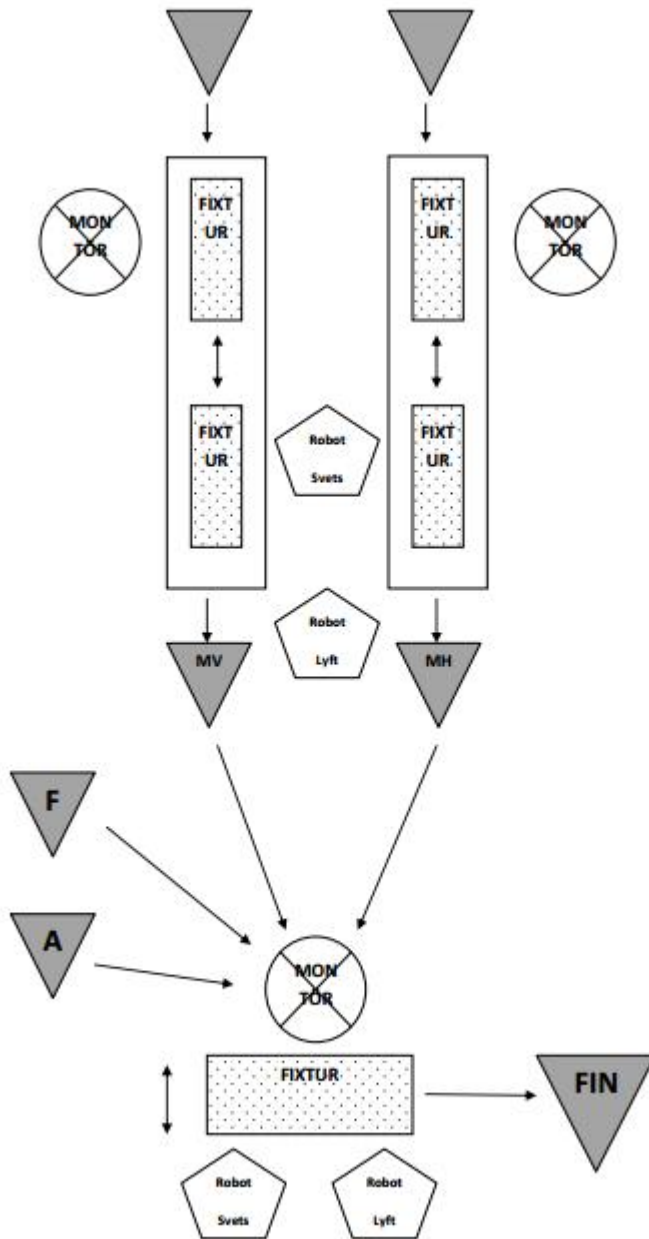


Figur 4.2, Detaljerad vy över moduler

- Del **Bv** och del **Bh** är spegelvända kopior av varandra. Dessa delar utgör basen för de två modulenheter.
- Del **Cv**, **Dv** och **Ev** är de mindre delar som monteras på Bv för att skapa den vänstra modulen, Mv.
- Del **Ch**, **Dh** respektive **Eh** är spegelvända kopior av Cv, Dv respektive Ev. De monteras på Bh för att skapa den högra modulen, Mh.

4.2 Produktionsmodell

Den produktionslayout som används i undersökningen baseras på riktlinjer kring FAS. Detta innebär att layouten utformas efter att produkter ska följa ett flöde i en riktning med en hög grad av automatisering. Produkten i detta fall lämpar sig dock inte till fullo att tillverkas i ett helt automatiserat system, varvid två manuella montörsstationer används. För undersökningens resultat spelar detta en liten roll, då montören i modellen kan ges egenskaper som liknar en robot. Layouten presenteras i Figur 4.3:



Figur 4.3, Produktionslayout

De mindre delarna lagras i buffert (längst upp i figuren) och plockas av montörer för fixturering. Dessa mindre delar skapar då tillsammans en modul för vänster sida av produkten och en för den högra. Således används ett parallellt flöde för modulerna. Då alla delar sitter på plats i fixturen transporteras hela fixturen vidare för svetsning. Svetsningen utförs av robotar, därefter hamnar modulerna i varsin buffert. I nästa skede plockar ytterligare en montör den större plåtbiten (del A), modulerna, samt den mindre detalj (F) som endast ska monteras på den vänstra sidan av produkten. Alla dessa komponenter placeras i en fixtur som genom en lägesställare kan rotera 180 grader i taget. Medan robotar utför de sista punktsvetsarna kan montören fylla på baksidan av fixturen som är identisk med den som redan fyllts på. När svetsningen är klar lyfts den färdiga produkten ut ur cellen och fixturen vänder 180 grader.

4.2.1 Avgränsningar i produktionsmodellen

I modelleringen av produktionen har följande avgränsningar satts:

- Ingen transporttid mellan processer har modellerats. Denna avgränsning innebär en förenkling av produktionen; transporttiderna kan dock ses som inräknade i processernas tider. Med detta synsätt ger denna avgränsning ingen direkt påverkan på produktionen.
- Det har antagits att materialbrist aldrig uppstår i produktionen. Detta är ett resultat av att arbetet har avgränsats till en enskild produktionscell. Materialflödet in i cellen beror på faktorer utanför denna avgränsning.
- Inga begränsningar gällande exempelvis utrymme och typ av maskiner har tagits hänsyn till. Detta beror på att produktion redan från start är hypotetisk, i och med detta spelar sådana begränsningar en relativt liten roll.

4.3 Varianter

I enlighet med avsnitt 3 Metod ovan genereras flera hypotetiska varianter av referensprodukten. Dessa varianter utgår från de fyra olika aspekter som fastslagits, nämligen:

- 1) **En extra operation** - Ett antal av delarna som ingår i referensprodukten bortas, vilket inte sker då endast referensen produceras.
- 2) **En produktvariant som kräver omställning** - Mer precist för detta experiment handlar det om en ingående del i produkten som kräver att en omställning av en fixtur utförs.
- 3) **Kontroll och skrotning av delar** - En ingående komponent i produktvarianten går igenom en extra kontrollstation. En andel av komponenterna anses vara bristfälliga och skrotas.
- 4) **Extra komponent** - En extra ingående komponent tillförs vänster modul.

De fyra första varianterna är produkter där dessa punkter ingår var och en för sig. Genom att kombinera dessa fyra varianter går det att åstadkomma 16 olika unika varianter (referensen inräknad). För att tydliggöra detta åskådliggörs varianterna i Tabell 4.1 nedan:

Tabell 4.1, Varianter och deras egenskaper

Egenskapsmatris				
Produkt-variant	Borr	Omställning fixtur	Kontroll	Extra komponent
Referens				
1				x
2			x	
3			x	x
4		x		
5		x		x
6		x	x	
7		x	x	x
8	x			
9	x			x
10	x		x	
11	x		x	x
12	x	x		
13	x	x		x
14	x	x	x	
15	x	x	x	x

Vid tillverkning av referensen tillkommer inga aspekter vid tillverkningen. För variant 1 är en extra komponent adderad i tillverkningsprocessen, för variant 2 sker ett extra kontrollsteg för en av komponenterna och så vidare. Genom att kombinera alla 4 aspekter med varandra fås således $2^4 = 16$ olika unika varianter.

4.4 Komplexitetsmodell

För att kunna göra jämförelser mellan produkters komplexitet och produktionens effektivitet krävs det att produkternas komplexitet bedöms på något sätt. De modeller för att göra denna bedömning som påträffats under litteraturstudier har samtliga krävt ett för stort underlag för att användas direkt i undersökningen. Därför utvecklade projektgruppen en förenklad komplexitetsmodell som kan ses som en blandning mellan CXI och CXC [13]. Modellen behandlar endast produkters egenskaper. CXI och CXC behandlar utöver detta även operatörers förutsättningar och upplevelser. I undersökningens modell blandas både subjektiva och objektiva

variabler och bedömningen görs av projektgruppen själva. De variabler som modellen använder hämtas från både CXI och CXC [13] och är följande:

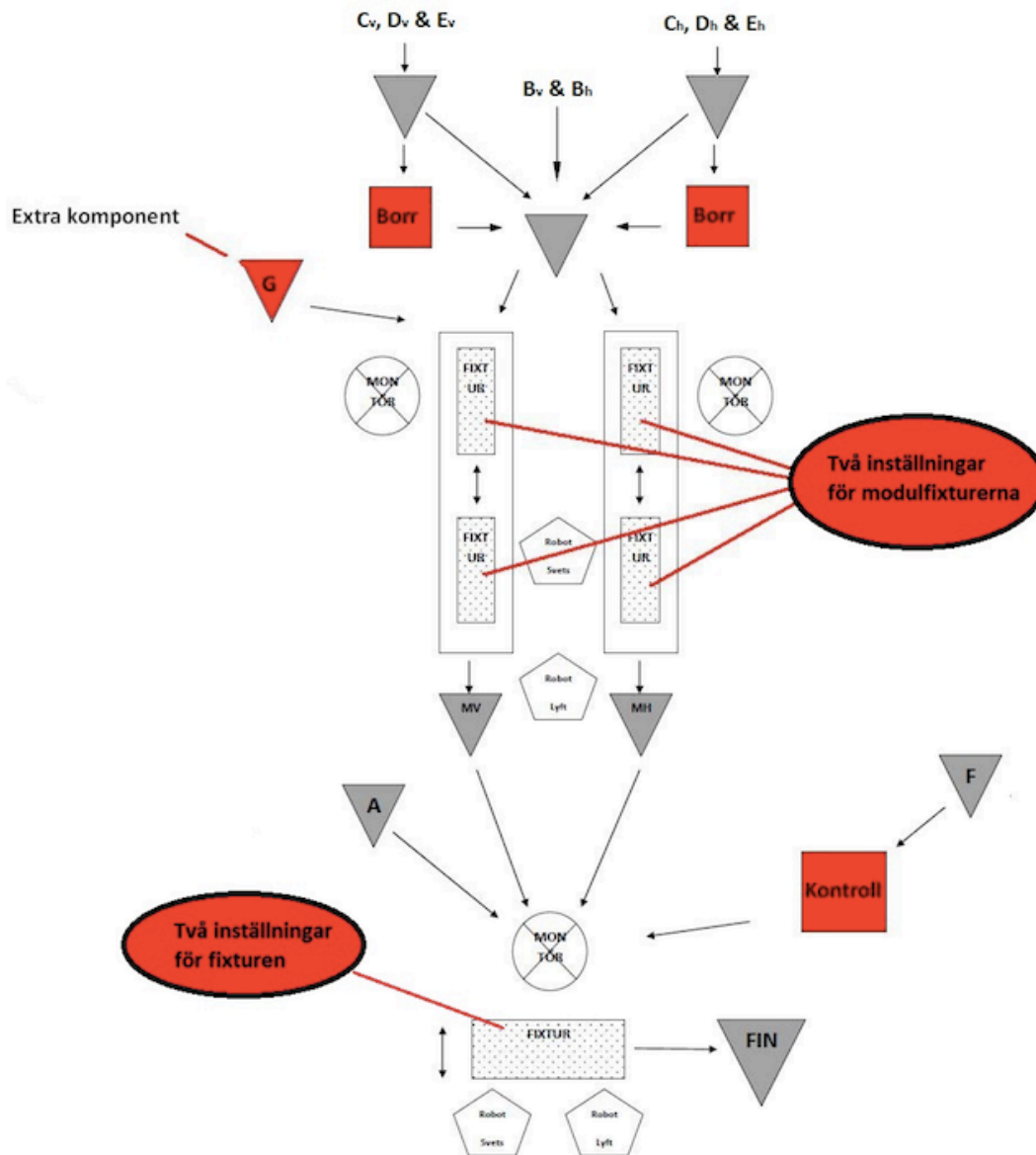
- **Antal ingående komponenter** - antalet ingående delar som måste monteras ökar produktens komplexitet.
- **Antal operationer** - om antalet operationer som ska utföras ökar eller minskar påverkas komplexiteten.
- **Tid per operation** - då tiden som åtgår för ingående operationer ändras från referensen ökas komplexiteten hos produkten.
- **Potential för monteringsfel** - då exempelvis ingående komponenter är snarlika till utseende ökar risken för att en manuell operation utförs på fel sätt. Till exempel fel komponent på fel plats i fixturen. Detta kan ses som en ökning av komplexiteten hos produkten.

Bedömningen av komplexitet utgående från dessa faktorer sker helt och hållet genom jämförelse mot referensprodukten. Antal ingående komponenter och antalet operationer bedöms objektivt medan tid för operation och potential för monteringsfel bedöms subjektivt. Bedömningen sker på en femgradig skala där en 1:a innebär samma komplexitet som referensprodukten och en 5:a innebär extrem komplexitet. Medelvärde av faktorernas komplexitet ger sedan en total komplexitet hos produkten.

Denna modell är kraftigt förenklad jämfört med förebilderna CXI och CXC. Denna förenkling motiveras genom faktumet att CXI och CXC är alltför tidskrävande att använda för att kunna rymmas inom ramarna för detta projekt. Detsamma går att sägas om exempelvis entropimodeller.

4.5 Produktionslayout varianter

I och med att produktionen innefattar 16 olika varianter måste vissa modifikationer utföras på den ursprungliga produktionslayouten. Dessa ändringar beskrivs i Figur 4.4.



Figur 4.4, Produktionslayout med tillägg på grund av varianter. Tilläggen är markerade i rött.

Två borrarstationer, en för vardera modulen, adderas till flödet. I dessa borrar delarna C, D och E innan de läggs i samma buffert som tidigare.

Utöver detta adderas en omställning av samtliga fixturer. Varje fixtur har två inställningslägen vilket innebär att omställning krävs då nuvarande variant kräver en annan inställning än föregående variant. Omställningen av fixturen i slutmonteringen är mer omfattande än omställningarna av modulernas fixturer.

En kontrollstation för del F införs. I denna station utförs en kontroll och en andel av alla delar F skrotas. Då en del skrotas beställs en ny del till stationen.

Fjärde och sista tillägget på layouten är en extra komponent, del G. Detaljen monteras endast på vänster modul.

4.6 Experimentets utförande

Som tidigare nämnts byggs produktionen inte upp fysiskt, utan modelleras virtuellt i mjukvara. För detta experiment lämpar sig händelsebaserad simulering bäst, då produktionen i många avseenden baseras på ett sekventiellt flöde. Med andra ord, för att kunna göra steg 2 i produktionen måste steg 1 vara färdigt. Den programvara som valdes för dessa simuleringar går under namnet AutoMod. AutoMod är flitigt använd i industrin, det finns licenser för programvaran tillgängliga och det finns expertis på högskolan som kan utnyttjas.

I experimentet ska 16 olika produktvarianter tillverkas. Om dessa tillverkas var och en för sig krävs det att 16 olika körningar utförs, en för varje produkt. Utöver detta så går det även att producera alla olika varianter i kombination med varandra. Detta ger $2^{16}=65\ 536$ olika körningar. Denna stora mängd körningar utförs med hjälp av AutoStat, där det genom att definiera variabler i simuleringsmodellen går att variera vilka produkter som produceras på ett effektivt sätt. AutoStat har även fördelen av att ge resultat i ett lätthanterligt format som enkelt kan överföras till Microsoft Excel. Varje körning blir då unik där olika uppsättningar av produkter producerats. Resultatet blir en Excel-rad där information om vilka produkter som producerats samt utdata från simuleringen samlas.

Det första steget i denna process är således att skapa den virtuella modellen av produktionslayouten i AutoMod. AutoMod är kodbaserat, en produktionsmodell byggs upp genom att först definiera systemets enheter för att sedan med kod bestämma flödet. AutoMod använder sig av ett koncept som baseras på *loads*. En load kan beskrivas som en last och kan bestå av ingående delar eller en hel färdig produkt. Det är dessa loads som fungerar som utlösare för modellen, vilket innebär att koden exekveras först när en load ankommer till motsvarande kodstycke. En rad kod kan till exempel innebära "flytta denna load till maskin X, vänta i 5 minuter och skicka sedan vidare till kö Y".

Modellens uppbyggnad beskrivs mer ingående i kommande avsnitt.

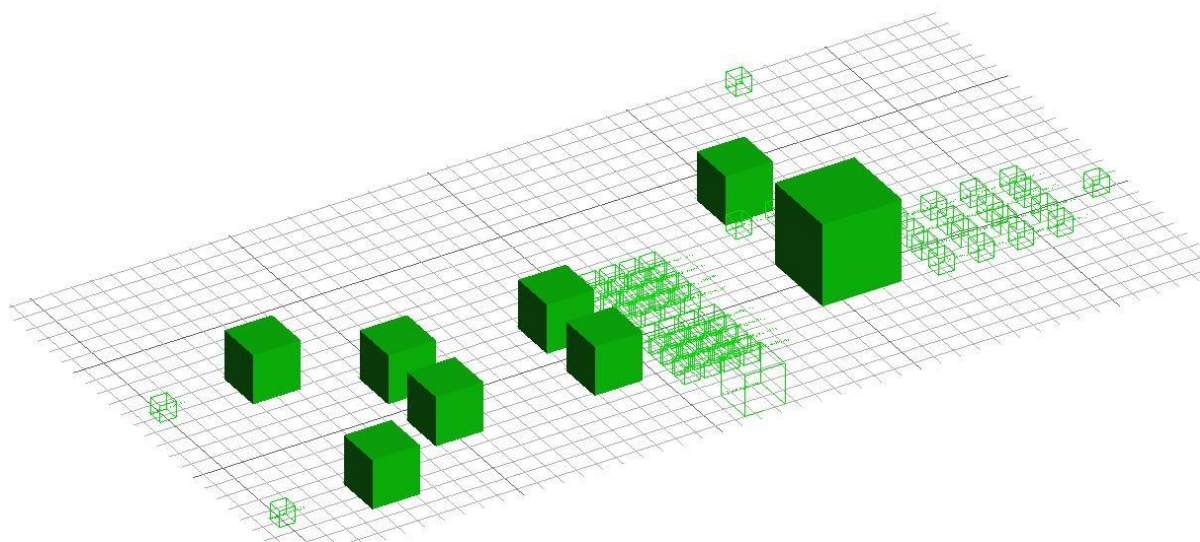
4.6.1 Simuleringsmodell

Vid kodning av produktionsmodeller i AutoMod är det fördelaktigt att hålla koden så generell som möjligt. Detta för att underlätta arbetet med att införa de olika varianterna av produkten och de ändringar som därav följer. På grund av detta är koden skriven i avsnitt.

Kodens första avsnitt definierar alla produktionens tider, till exempel hur lång tid borrhingsprocessen tar. Nästa avsnitt styr inflödet av material. Därefter följer ett avsnitt för varje operation i modellen. Till sist behandlas breakdown-rutiner för alla modellens resurser. Med breakdown menas att maskiner kan gå sönder och står stilla tills det att de har reparerats. Det kan även symbolisera att en operatör tar en schemalagd rast. Vid kodning innebär detta att en individuell användningstid sätts för varje resurs. När resursen har använts denna tid stängs den av. Denna tid brukar kallas *Mean Time to Failure (MTTF)*. Varje resurs väntar därefter en viss tid innan den sätts i bruk igen. Detta representerar den tid det tar för en tekniker att reparera maskinen eller hur lång operatörens rast är. Detta kallas för *Mean Time to Repair (MTTR)*.

4.6.2 Visualisering

För att tydliggöra produktionsflödet finns det i AutoMod ett inbyggt grafikverktyg. Den aktuella modellen visas på detta sätt i Figur 4.5 nedan.



Figur 4.5, Grafisk representation av produktionsmodellen från AutoMod

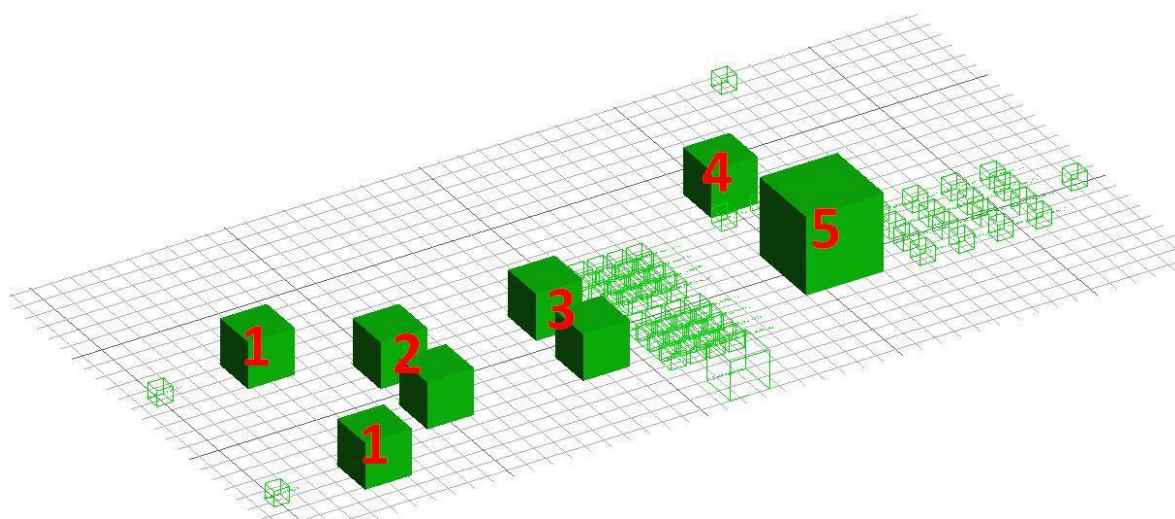
I denna grafiska modell finns två typer utav enheter, köer och resurser. Köer, i AutoMod queue, representeras av de ofyllda, mindre kuberna. När en load stannar vid kön syns den som en liten grå kub inuti den ofyllda kuberna. Vid större köbildning staplas loads ovanpå varandra. Vid sidan av kön finns även en numerisk räknare. I det här fallet är varje load en av de delar som redovisats

tidigare, A till G. När flera loads sammanfogats till exempelvis en modul, raderas ingående loads och en ny load som representerar modulen skapas.

De fyllda kuberna i Figur 4.5 representerar modellens resurser. Med resurser menas de olika maskiner och arbetsstationer som finns i modellen. Kubens färg ändras efter resursens arbetsstatus. Grönt signalerar att resursen är i arbete, blått att resursen står tom och väntar på material och rött visar att resursen är ur funktion.

Grafiken tydliggör produktflödet och vid simulering är det lätt att identifiera vissa problem såsom flaskhalsar och deras orsaker. Ett tydligt tecken på en flaskhals är att en kö växer sig större än andra.

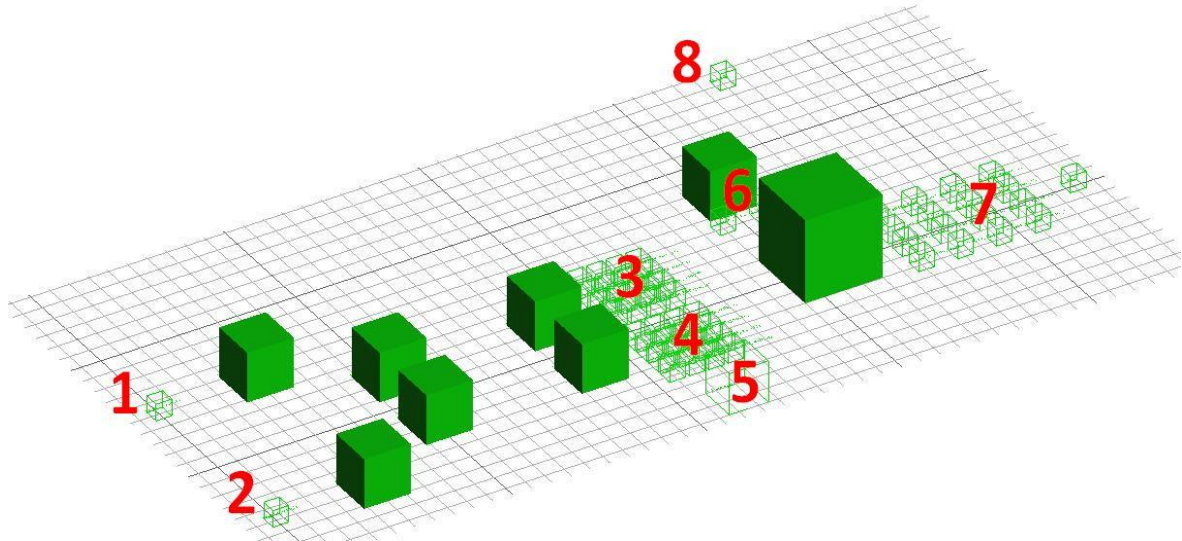
I följande två figurer går det med hjälp av respektive tillhörande tabell att utläsa vilka de olika enheterna är i den grafiska modellen. Figur 4.6 visar modellens resurser och Figur 4.7 visar dess köer.



Figur 4.6, Produktionsmodell med resurser utmärkta

Tabell 4.2, Produktionsmodellens resurser, utifrån Figur 4.6

Nummer #	Förklaring resurser
1	Borrstation
2	Fixturering av modul
3	Svetsning av modul
4	Kontrollstation för komponent
5	Slutfixturering samt slutsvetsning



Figur 4.7, Produktionsmodell med köer utmärkta

Tabell 4.3 Produktionsmodellens köer, utifrån Figur 4.7

Nummer #	Förklaring köer
1	Vänster kö för komponenter som skall borras C,D & E
2	Höger kö för komponenter som skall borras C,D & E
3	Köer för vänstermoduler, varje variant har en egen kö.
4	Utformad som kö #3 fast för höger.
5	Kö för komponent A
6	Kö för kontrollerade och godkända komponent F
7	Slutkö för färdig produkt. Varje variant har sin egen kö.
8	Kasserade och icke godkända komponent F

4.6.3 Parametrar

Vid simulering av en modell är det naturligtvis av vikt att dess parametrar speglar det verkliga fallet. Det aktuella experimentet är dock helt konceptuellt och det finns inga verkliga parametrar att använda. De parametrar som är vitala för arbetet är främst de som rör tid, mer exakt processtider och tider som behandlar breakdowns.

För att parametrarna ska efterlikna ett verkligt fall i så stor utsträckning som möjligt genomfördes en rad tidsstudier. Dessa studier ämnade undersöka tidsåtgången för de två olika fixtureringarna som utförs i produktionen, fixtureringen av vänster och höger modul samt fixtureringen av den färdiga produkten. Utformningen av tidsstudierna hölls enkel. För att imitera de två fixtureringarna klämdes delarna ihop med hjälp av tvingar. För tiderna, se Bilaga B. I bilagan redovisas även vilken fördelning som använts för respektive tid. Fördelningar används för att ge en spridning på de tider som används. Detta är ett försök att spegla verkligheten, då det alltid finns en viss avvikelse hos tiden det tar för en process att utföras. Följande olika fördelningar har

använts vid den aktuella modelleringen eftersom dessa är vanligt förekommande vid liknande arbete [20]:

- **Normalfördelning** - Används då tiden som uppskattats är relativt säker, ett exempel på detta är robotars operationstider.
- **Triangulärfördelning** - Används då tiden har en större spridning, exempelvis hos manuellt arbete.
- **Exponentiellfördelning** - Används då uppskattningen är relativt grov.

I modellen skickas material in produktvis. Varje gång material skickas in i modellen motsvarar mängden material det som krävs för att producera exakt ett exemplar av beställd variant. För att begränsa mängden material i systemet så styr kapaciteten på en av köerna inflödet. Genom att begränsa kapaciteten på kön för del A och sedan endast skicka in material när kön inte är fylld så går det att hålla mängden produkter i arbete på en rimlig nivå. I den aktuella modellen sattes maximala nivån på denna kö till 20. Då simuleringen har obegränsad tillgång till material skulle det uppstå orealistiska köer framför flaskhalsar. Med tanke på att efterföljande process, fixturering och svetsning av den färdiga produkten, sammanlagt har plats för två produkter ges det maximala antalet produkter i arbete i systemet till 22 stycken.

Simuleringarna låter produktionen pågå i 5 dygn, vilket motsvarar en arbetsvecka. För modellens kod, se Bilaga C.

Med dessa parametrar utfördes de körningar som beskrevs under rubrik 4.6 Experimentets utförande. Resultatet av körningarna finns sammanfattade i kapitel 5 Resultat, samtliga data återfinns i en Excel-fil där analys av data har genomförts. Filen är alltför omfattande för att bifogas som bilaga i denna rapport.

5 RESULTAT

Under denna rubrik presenteras de resultat som genererats av undersökningen. Dessa innefattar en bedömning av produktvarianternas komplexitet, utfall från simuleringar i form av data gällande bland annat output och utnyttjandegrad samt analys av data. Med output menas här totalt antal producerade enheter under simuleringstiden 5 dygn.

Kapitlets disposition följer frågeställningarnas ordning i rapportens inledning.

5.1 Orsaker till komplexitet

Enligt teori beror komplexiteten hos en produkt bland annat på ökat antal komponenter att montera, antal varianter av en produkt och ökade ledtider för produkter. Det är även så att komplexitet är subjektivt och måste bedömas individuellt för varje uppkommen situation.

5.2 Bedömning av komplexitet

Med hjälp av den komplexitetsmodell som redovisades under rubriken 4 Utförande bedömdes komplexiteten hos de varianter som producerats under simuleringarna. Resultatet av denna bedömning återfinns i

Tabell 5.1 på nästkommande sida. För en förklaring till vad de olika varianterna innebär hänvisas till Tabell 4.1, sidan 18.

Tabell 5.1, Resultat av komplexitetsbedömning

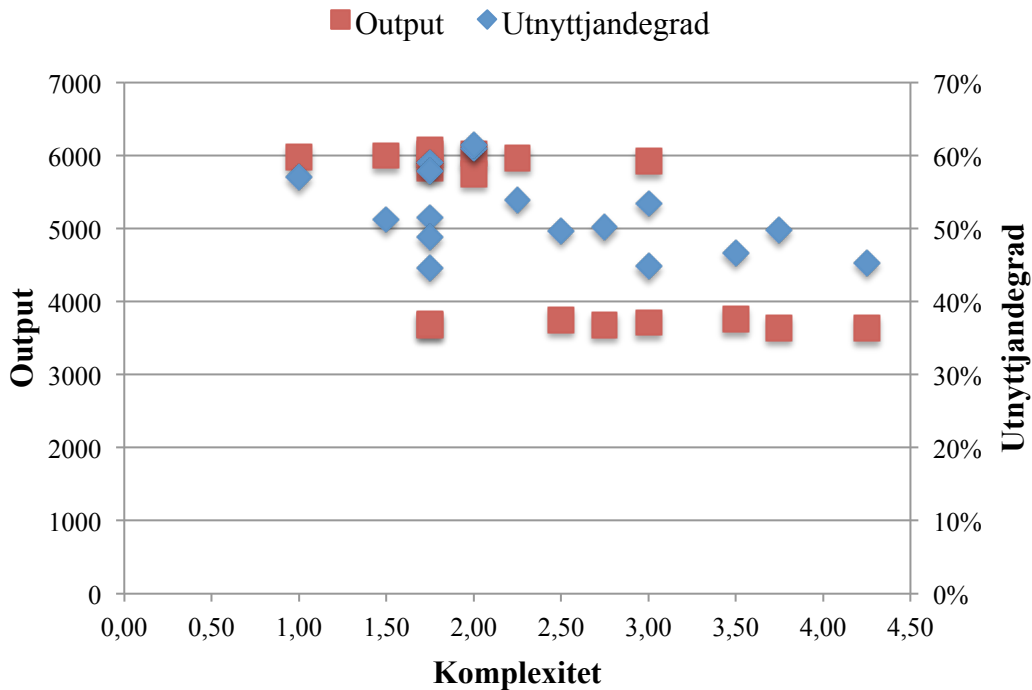
Komplexitetsmodell					
Produkt-variant	Antal ingående komponenter	Antal operationer	Operationstid	Felpotential	Index
referens	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	2
2	1	2	2	1	1,5
3	2	2	2	3	2,25
4	1	2	2	2	1,75
5	2	3	3	3	2,75
6	1	2	2	2	1,75
7	2	4	3	3	3
8	1	2	2	2	1,75
9	2	3	3	3	2,75
10	1	2	2	2	1,75
11	2	4	4	4	3,5
12	1	3	3	3	2,5
13	2	4	4	5	3,75
14	1	4	4	3	3
15	2	5	5	5	4,25

5.3 Komplexitetens påverkan på produktionen

Sambandet mellan produkternas komplexitet och produktionen har kartlagts. I diagrammen nedan plottas antal tillverkade enheter, vilket benämns som output, och utnyttjandegraden mot komplexiteten hos produkterna. Utnyttjandegraden som redovisas är den medelvärderade utnyttjandegraden för alla resurser som är aktiva i produktionscellen vid respektive simulering. Om utnyttjandegraden för en maskin är noll är den inte medräknad i medelvärdet eftersom det antas att resursen aldrig hade installerats i produktionscellen om den inte används.

5.3.1 Produktion av en variant i taget

Nedan visas resultatet för simuleringar där endast en variant producerats i taget. Det vill säga endast referensen för sig, endast variant 1 för sig och så vidare. Eftersom det existerar 16 olika produktvarianter fås 16 mätvärden.



Figur 5.1, Output och utnyttjandegrad mot komplexitet vid produktion av en variant i taget.

5.3.1.1 Output

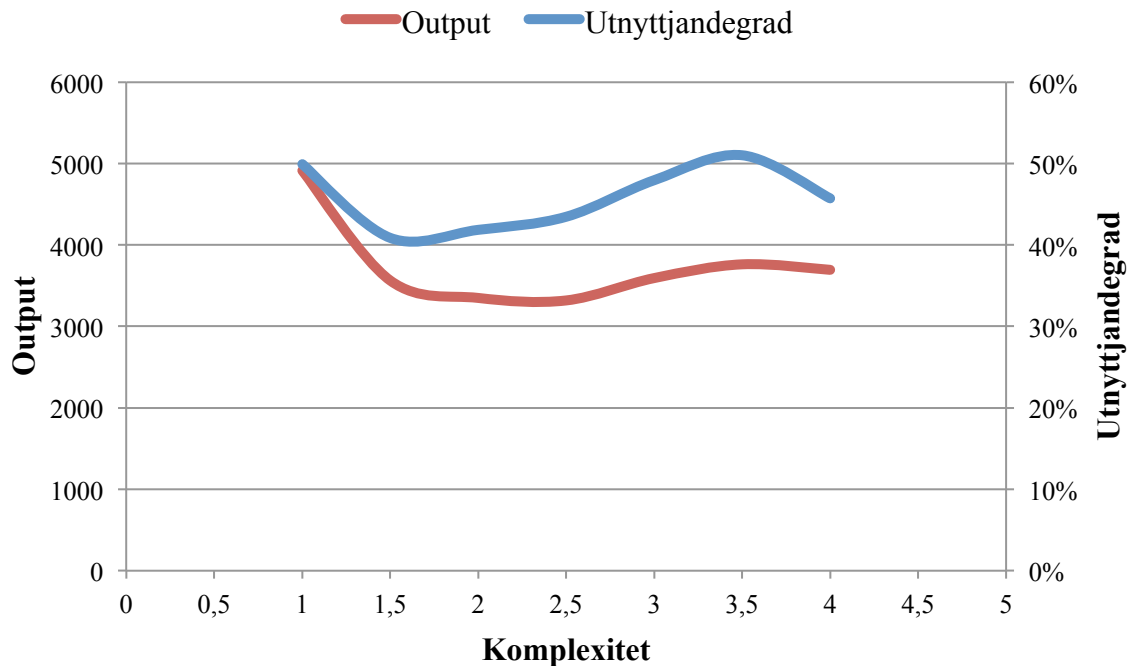
Som synes i Figur 5.1 finns inget samband mellan output och komplexiteten. Outputen ligger istället på två olika nivåer, omkring 3700 respektive 6000 enheter. Detta beror på att produktionen blir begränsad av långsamt arbetande maskiner, det vill säga att en flaskhals uppstår. För de produkter som ska borras blir den processen begränsande, medan slutsvetsningen är begränsande för övriga produkter. Det ska tydliggöras att inga omställningstider förekommer vid produktion av endast en produktvariant.

5.3.1.2 Utnyttjandegrad

Vad gäller utnyttjandegraden syns en svagt sjunkande trend vid ökande komplexitet.

5.3.2 Produktmix

Vidare har samband mellan komplexitet och effektivitet undersökts när flera olika varianter av produkten tillverkas samtidigt. Ett genomsnittsvärde på de ingående produkternas komplexitet i varje körning har använts. Genomsnittsvärdet har använts istället för summan av komplexiteten på grund av att det ska vara möjligt att jämföra komplexiteten mellan körningar som har olika antal varianter i systemet.



Figur 5.2, Output och utnyttjandegrad mot komplexitet vid mixad produktion.

I diagrammet kan en koppling mellan utnyttjandegraden och outputen utläsas. Dessa båda följer varandra med hänsyn till komplexiteten hos produkterna. Att kurvorna följer varandra innebär att ju effektivare resurserna i tillverkningen används desto högre blir produktionens output. Mellan komplexitetstal på 1 och 1,5 sker en kraftig sänkning av output och utnyttjandegrad. Detta kommer sig av att det bara finns en produkt som har komplexitet 1, det vill säga referensprodukten. Så fort en variant har adderats till produktionen har komplexiteten ökat. Därför ger komplexiteten ett stort utslag på output och utnyttjandegrad i just detta intervall.

5.3.2.1 Output

Precis som i Figur 5.1 finns det inget tydligt samband mellan output och komplexitet. Det som kan utläsas är att det finns ett linjärt uppåtgående samband mellan komplexitet och output vid produkter med genomsnittligt komplexitetstal på 1,5 eller högre. Detta går emot vad teorin antyder, nämligen att en ökad komplexitet ger ett negativt utslag på produktiviteten.

5.3.2.2 Utnyttjandegrad

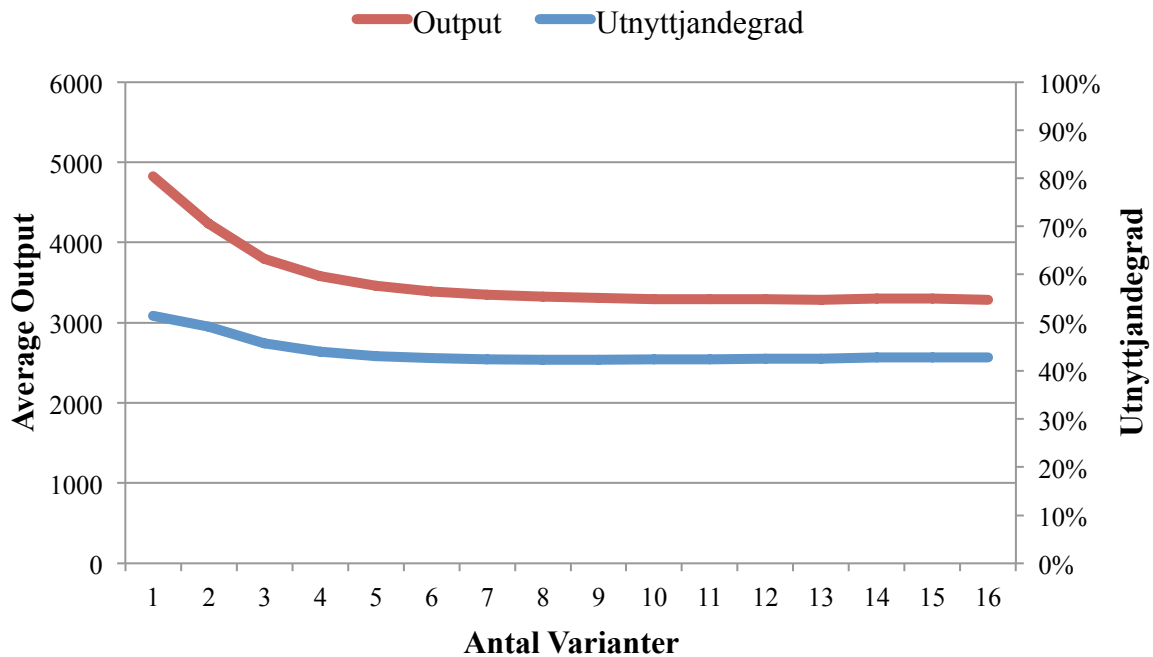
Samma resultat som har iakttagits för outputen gäller även för utnyttjandegraden. Det ska även observeras att trenden på en avtagande utnyttjandegrad vid ökad komplexitet, som noterades i Figur 5.1, inte är giltig här.

5.4 Varianters påverkan på produktionen

I detta avsnitt presenteras resultat som i detalj behandlar varianters påverkan på produktionen.

5.4.1 Antal varianter

Enligt avsnitt 2 Teori är ett återkommande problem vid flexibel produktion att ett ökat antal varianter som tillverkas ger en minskad produktivitet. Undersökningen har därför granskat hur effektiviteten i systemet förändras beroende av antalet varianter som tillverkas samtidigt. Resultatet redogörs i nedanstående figur.



Figur 5.3, Output och utnyttjandegrad mot antalet varianter.

Resultatet visar att det uppstår problem i produktionen både vad gäller output och utnyttjandegrad när antalet varianter ökar.

5.4.1.1 Output

Det finns ett tydligt samband mellan output och antalet varianter samt mellan utnyttjandegrad och antalet varianter. Detta samband stämmer överens med litteraturen. Nedgången är tydligast vid ett lägre antal varianter och planar sedan ut mer och mer. Anledningen till den regressiva nedgången är att det finns ett begränsat antal olika funktioner och operationer som produkterna kan anta. När det redan finns runt 4 olika varianter i systemet kommer ytterligare en variant inte att påverka systemet nämnvärt. Detta beror på att den nya varianten består av olika kombinationer av samma egenskaper som de tidigare varianterna. Produktiviteten minskar först när det tillkommer varianter som kräver nya processer och resurser. Omställningar blir också mer sannolika desto fler varianter som tillverkas.

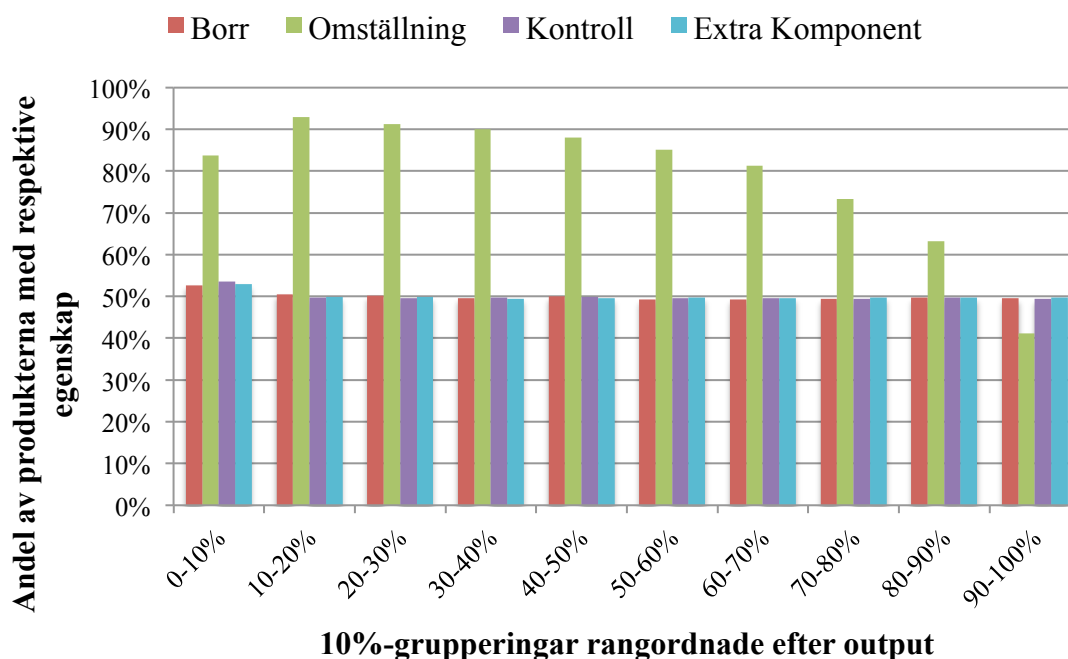
5.4.1.2 Utnyttjandegrad

För utnyttjandegrad gäller samma observationer som för output. Den initiala regressionen är dock något svagare för utnyttjandegraden än för output.

5.5 Koppling mellan problem och varianter

Figur 5.3 visar tydligt att effektiviteten minskar i ett produktionssystem när antalet varianter ökar. Nedan presenteras ett resultat för att kartlägga om det finns en koppling mellan output eller utnyttjandegrad och de olika specifika egenskaperna hos varianterna. Dessa egenskaper beskrivs i avsnitt 4 Utförande och är borring, omställning, kontroll och extra komponent.

För att kartlägga hur de olika egenskaperna påverkar produktiviteten har samtliga simuleringar analyserats efter output. Resultatet har tidigare visat att en högre utnyttjandegrad leder till en högre output. Output har därför valts som den enda indikatorn för produktivitet nedan. Samtliga simuleringar har delats upp i 10 grupperingar efter deras produktivitet. Varje gruppering motsvarar 10 % av det totala antalet simuleringar. Indelningen är gjord efter simuleringarnas output i stigande ordning. De första 10 % är således de sämst presterande simuleringarna och de sista 10 % (90-100 %) är de bäst presterande. Genom denna uppdelning går det att urskilja ett mönster på egenskaperna hos produkterna i de olika intervallen.



Figur 5.4, Egenskapers påverkan på output.

Figur 5.4 visar att andelen omställningar är den mest bidragande orsaken till storleken på outputen. Ju färre produkter som kräver att fixturerna ställs om, desto högre output uppnås. Detta beror på att monteringen i fixturerna blir flaskhalsar i produktionscellen, enligt operationstiderna i Bilaga B, när en omställning måste göras. Det spelar ingen roll hur många av de övriga egenskaperna som finns hos de produkter som tillverkas eftersom de ligger på en konstant nivå för samtliga grupperingar.

Vidare har det undersökts hur systemet presterar då det inte förekommer några varianter som medför omställningar. Samtliga simuleringar som innefattar omställningar har sorterats bort, andelen omställningar är alltså 0 %. Tabellen nedan visar resultat för hur systemet presterar då andelen av de övriga egenskaperna förändras. Endast simuleringar för en egenskap i taget sorterats bort, det vill säga då andelen varianter som borrar filtreras sker ingen filtrering på kontroll och extra komponent och så vidare.

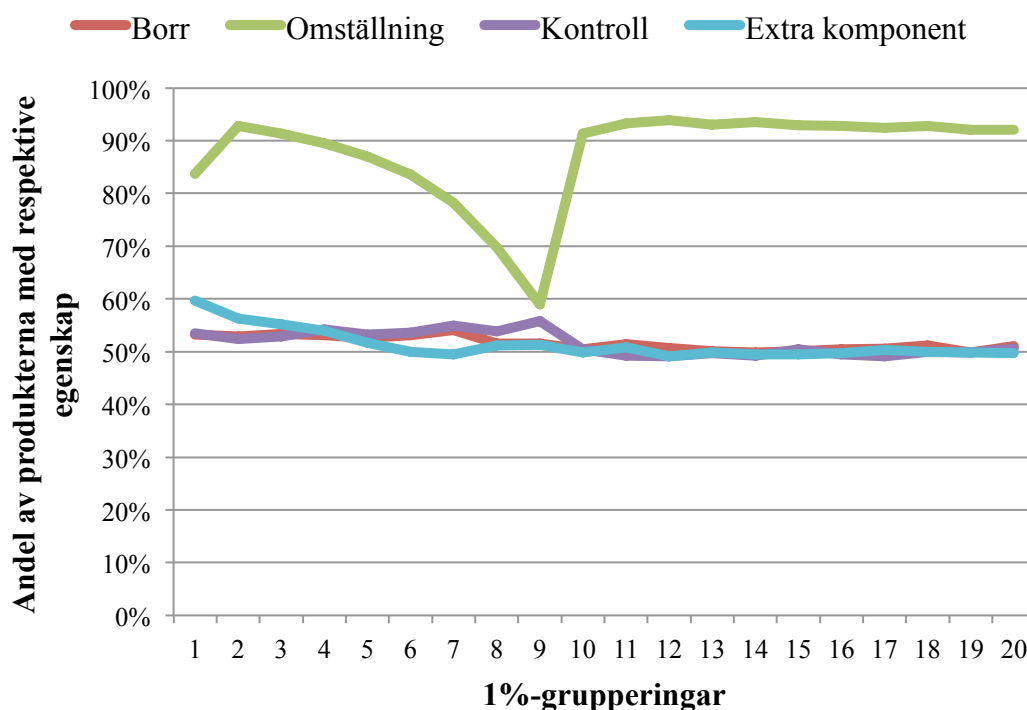
Tabell 5.2, Outputen vid 0 % omställningar samt olika andelar av de övriga egenskaperna.

	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Borr	5953	5969	5875	4858	3689
Kontroll	5401	5639	5595	5644	5392
Extra komp	5394	5642	5642	5662	5376

Tabell 5.2 visar att outputen minskar vid en ökad andel varianter som borrar. Värdena för extra komponent och kontroll ligger relativt konstant vilket betyder att systemets output är oberoende av dessa egenskaper. Enligt simuleringen och tiderna i Bilaga B är borring den begränsande resursen då inga omställningar görs. Återigen gäller att ju större andel av produkterna som genomgår flaskhalsen desto lägre blir produktiviteten.

5.5.1 Avvikande resultat

Det förekommer en lokal variation där kombinationer av varianter ger en output som inte följer trenden. I Figur 5.4 ovan går det att utläsa att kombinationer av varianter i intervallet 0-10 % har en avvikande låg andel av omställningar. Hur andelarna av de olika egenskaperna ser ut i detta intervall visas tydligare i Figur 5.5 nedan. Diagrammet sträcker sig ifrån 0-20%, det vill säga innehåller de 20 % av simuleringarna med lägst output.



Figur 5.5, Avvikande resultat i intervallet 0-10%.

I figuren går det att utläsa att det finns ett lokalt minimum för omställning vid 9 %. I figuren går det även att se att andelen varianter med övriga egenskaper ökar för varianterna i intervallet 0-10 %.

6 DISKUSSION

Projektets metoder, utförande och resultat diskuteras nedan.

6.1 Metod

I ljuset av resultaten ovan kan undersökningen diskuteras. I och med att ett experiment ställdes upp utan egentlig verklig anknytning fick flera avgränsningar och förenklingar göras. Dessa förenklingar var nödvändiga, men kan ha gett ett stort utslag för resultatet. Först och främst är det en stor begränsning att endast en produktionscell modellerats och använts för simuleringar. Med flera, olika experiment hade fler samband kunnat undersökas och en mer stadig grund för slutsatser hade fåtts. Utöver detta har undersökningen haft en snäv bild av produktionen, då variabler utanför produktionscellen inte tagits i beaktning. Återigen har detta varit en nödvändig avgränsning, då en sådan undersökning bedömdes ta alltför mycket tid.

Utöver ovan nämnda brister vore en mer välutvecklad produkt önskvärd. Fronten, som är basen för produkten som produceras, må vara verklig men dess varianter och deras framställning är det inte. Om projektet istället behandlade en produkt med befintliga varianter så hade komplexitetsbedömningen blivit mindre subjektiv, fler metoder hade även kunnat tillämpas för att utföra sagda bedömning.

Ett alternativt sätt att utföra en liknande undersökning är att samla in data från faktiska produktionsceller. Det skulle även gå att använda en enkätundersökning eller intervjuer bland exempelvis produktionsansvariga för att undersöka möjliga kopplingar mellan komplexitet och effektivitet. Om utgångspunkten hade varit industrin istället för en fiktiv produktionscell skulle mer generella slutsatser kunnat dras som gäller för fler typer av produkter och branscher.

6.1.1 Komplexitetsmodell

Den komplexitetsmodell som använts för undersökningen bedöms vara en stor felkälla. Anledningen till detta är att all teori som har studerats påpekar att ökad komplexitet ger en minskad produktivitet, vilket inte stämmer överens med projektets resultat. Den använda komplexitetsmodellen är kraftigt förenklad i jämförelse med etablerade modeller, och det är mycket möjligt att resultatet från denna modell blir missvisande. Bedömningen utfördes av projektgruppen själv. Ett mer tillförlitligt alternativ hade varit att låta urvalsgrupper utföra bedömningen i stället, då större erfarenhet hade kunnat tas till vara på. Ett alternativt angreppssätt hade kunnat vara att upprätta komplexitetsmodellen utifrån de resultat som genererats. I och med att komplexitetsmodellen utarbetades relativt tidigt i projektet kan den ha blivit bristfällig då erfarenheter från simuleringarna inte kunde tas i beaktning.

Det är även kandidatgruppens åsikt att komplexitetsmodellen har en för snäv inriktning. Med tanke på att antalet varianter som produceras ger ett stort utslag på produktiviteten borde detta tas

i beaktning. En mer holistisk syn borde alltså tillämpas. Ett ytterligare förbättringsförslag är att vikta de olika komplexitetsaspekterna. Detta måste dock göras utgående från den aktuella produktionen, vilket är anledningen till att detta inte gjordes i detta projekt. Då komplexiteten bedömdes fanns inte de resultat som ger insikt i produktionen tillgängliga.

6.1.2 Utförande

Det går att ifrågasätta hur pass väl den produktionslayout som valdes lämpar sig för denna typ av undersökning. Då denna inte i någon större utsträckning har optimerats kan det vara så att egenskaper i just denna produktionslayout ger felaktiga resultat. Återigen går det att argumentera för att underlaget blir för snävt med endast en produktionscell.

Det faktum att operationstider hämtas från uppskattningar påverkar hur väl resultaten speglar verkligheten. I och med att produktionen från början har varit fiktiv har det inte spelat någon roll för själva simuleringarna, men det kan vara så att tiderna som satts är fysiskt omöjliga på grund av exempelvis utrymmesbrist, icke tillgängliga maskiner eller helt enkelt att uppskattningarna har varit felaktiga.

Valet att anta obegränsat med material i modellen kan ifrågasättas. Dels för att det inte är fysiskt möjligt men främst då det ger mindre påverkan för vissa komponenter. I en verklig situation är vissa komponenter mer kritiska än andra och kan ha en begränsad tillgång.

Det faktum att inga transporttider har modellerats ger en förenkling, men denna förenkling anses inte vara avgörande för resultaten. Det spelar ingen roll i fall en produkt ligger i en kö en tid, eller om de ligger på ett transportband. Den inverkan som transportband hade haft på systemet hade varit på den sekventiella ordningen på produkterna. Produkter hade riskerat att komma i oordning. I den aktuella modellen har produkternas ordning/sekvens ingen betydelse. I en vidareutvecklad modell kan det dock vara utav intresse.

Som alltid med simulering är resultatets kvalitet beroende av hur exakt det går att efterlikna det verkliga fallet. Experimentet, som inte har någon verklig motsvarighet, får därför en viss osäkerhet. Även om produkten som framställdes är en som faktiskt existerar så var dess variationer rent fiktiva. Detta har inneburit att flera parametrar kring framställningen var svåra att uppskatta. Produktionscellen lider även den av samma typ av problematik, den är till stor del rent fiktiv. I och med att experimentet i så hög grad varit fiktivt har det varit enkelt att ändra på parametrar för att få simuleringen att fungera bättre. Dessa ändringar hade kanske inte gått att utföra om experimentet haft en starkare koppling till en verklig produktionscell.

6.2 Resultat

Bland resultaten återfinns situationer som kräver närmare undersökningar, nedan diskuteras dessa situationer.

6.2.1 Komplexitet

Kring Figur 5.1, sidan 28, som redovisar komplexitet och output/utnyttjandegrad för enskilda produktvarianter är det svårt att dra några slutsatser. Den visar egentligen bara att produktvarianter som kräver borrning ger en lägre output, eftersom borrningen är en flaskhals. Enligt detta får en produkt med en bedömd komplexitet av 1,5 samma output som en produkt av komplexitet 4,5. Det kan även diskuteras huruvida diagrammet är relevant, då produktionen faktiskt inte är flexibel när en produkt i taget produceras. Diagrammet styrker dock antagandet om att antalet varianter som produceras styr produktiviteten. Detta eftersom både den högsta och lägsta nivån av produktivitet vid produktion av en variant är högre än för produktion av flera varianter.

Figur 5.2, sidan 15, behandlar output och utnyttjandegrad vid produktion av flera varianter samtidigt. Sambandet som uppvisas går emot det som förväntats i och med att produktiviteten ökar vid ökad komplexitet. Detta kan bero på att komplexitetsmodellen inte är tillräckligt utvecklad för att ge användbara värden.

6.2.2 Egenskaper

I Figur 5.4, sidan 32, gick det att utläsa att det är antalet varianter som behöver genomgå den begränsande processen, vilket i detta fall är fixturen med omställning, som styr hur stor produktiviteten blir. Produktionens output ökar kontinuerligt då andelen för omställningar minskar. Dock följer inte intervallet 0-10 % den fallande trenden. Detta beror på att det finns diskontinuitet i detta intervall, vilket visades i Figur 5.4.

Utifrån mätdata från simuleringarna går det inte att direkt härleda orsaken till att andelen omställningar i intervallet 0-10 % avtar. En teori är att det beror på de varierande ledtiderna för de olika varianterna. De olika ledtiderna kan leda till att delarna anländer till slutmonteringen i en ofördelaktig ordning med avseende på omställning. Detta trots att de skickades in i systemet i en ordning med ett relativt lågt krav på omställning. Att även andelen av övriga egenskaper för produktvarianterna går upp i detta intervall förstärker teorin då de påverkar ledtiderna. Det ska dock tilläggas att eventuella variationer från simuleringen kan vara orsaken till denna diskontinuitet. Vidare simuleringar för dessa kombinationer av varianter måste därför göras för att säkerställa egentlig orsak. Detta har inte gjorts då det inte var av avgörande betydelse för projektets slutsats.

6.2.3 Nyckeltal

Det kan diskuteras huruvida rätt nyckeltal valts att studeras. Utnyttjandegrad och output är goda indikatorer för problem i produktionen, men i denna undersökning har de endast använts relativt den egna produktionen. Vad som är ett bra resultat kan variera mellan olika produktionsfall. Undersökningens output har varierat mellan cirka 6000 och 3700, en skillnad på 38 %. För ett verkligt produktionsfall hade detta kanske varit fullt godkänt, beroende på förutsättningarna.

7 SLUTSATSER

Projektets slutsats är att komplexitet är starkt förknippat med problem. Då ett problem har uppstått går det ofta att härleda problemet bakåt till någon form av komplexitet tidigare i händelseförloppet. Enligt teori kan orsakerna till komplexitet bland annat vara ökat antal komponenter att montera, antal varianter av en produkt och ökade ledtider för produkter. Denna undersökning har kunnat identifiera två möjliga orsaker till komplexitet: antalet varianter samt operationer som orsakar flaskhalsar. I detta fall rör det sig i första hand om tidskrävande omställningar. Problemen yttrar sig genom sänkt output och lägre utnyttjandegrad.

Resultaten visar att produktiviteten minskar då antalet varianter ökar. Detta antas bero på att varianter med en begränsande egenskap förekommer i högre grad då det totala antalet varianter som produceras tillverkas.

Effektivitet vid tillverkning av produkter och varianter är starkt kopplat till produkternas specifika egenskaper och produktionslayouten. Framför allt ger de operationer som fungerar som flaskhalsar i produktionen ett stort utslag på effektiviteten. Detta belyses på ett tydligt sätt i Figur 5.4 och Tabell 5.2 ovan under avsnitt 5.5 Koppling mellan problem och varianter. Om inte omställningar hade varit en flaskhals hade någon annan process varit det. För just denna produktionscell ger alltså en produktmix som kräver flera omställningar upphov till en lägre output. För en annan produktionscell kan det vara någon annan aspekt som fungerar som en liknande flaskhals.

Den övergripande slutsatsen som dragits utifrån resultaten är att det krävs att produktionsansvariga är mycket insatta i specifika produktionsceller för att veta var och när svårigheter kan uppstå. Det är mycket svårt att uttala sig generellt kring vilka produktaspekter som orsakar svårigheter. Uppmaningen är i stället att noga utvärdera hur en eventuell ny variant påverkar den specifika produktionscellen och utifrån detta fatta beslut. Det gäller då att vara speciellt uppmärksam på hur den nya varianten påverkar de flaskhalsar som finns i produktionen. Om dessa varianter påverkar den begränsande resursen kommer även produktiviteten att påverkas.

8 REKOMMENDATIONER FÖR VIDARE ARBETE

En av projektets huvudsakliga ansatser var att hitta ett samband mellan graden av komplexitet i de produkter som ska tillverkas och produktiviteten vid tillverkning av produkterna. Enligt diskussionen ovan har inget samband identifierats, vilket främst tros bero på att komplexitetsmodellen inte har varit tillräckligt utvecklad. Projektgruppen tror dock fortfarande att ett sådant samband existerar och att det är intressant att finna. För att åstadkomma detta rekommenderas det att utveckla komplexitetsmodellen samt att använda data från industri istället för ett hypotetiskt produktionssystem.

Rekommendationen för ett liknande arbete är att utnyttja detta projekts slutsatser angående vilka egenskaper hos produkterna som påverkar produktionen. Genom att utgå från dessa resultat kan en ny, mer genomarbetad komplexitetsmodell utvecklas. Denna modell har då sin utgångspunkt dels i teorin men också i ett experiment kring vilka egenskaper som påverkar produktiviteten, samt hur den påverkas. Det skulle då vara möjligt att vikta de olika ingående parametrarna efter vilken påverkan de har på produktiviteten.

Vidare föreslås att man vid ett vidare arbete har ett nära samarbete med industrin. Genom att samla in verklig data uppnås många fördelar gentemot att ställa upp ett eget experiment. Först och främst fås en bredare bas med mätdata från olika typer av produkter och industrier vilket ger ett bättre beslutsunderlag vid generella slutsatser. Genom att utnyttja verklig data tas även hänsyn till många aspekter som i detta projekt har avgränsats. Det gäller exempelvis maskinpark, utrymme, storlek på lager etcetera. Genom ett samarbete med industrin kan även kunskaperna och erfarenheterna som finns där utnyttjas till att bestämma vilka aspekter hos produkterna som ska undersökas. En ytterligare fördel som uppnås genom ett närmare samarbete med industrin är att etablerade komplexitetsmodeller skulle kunna användas. Exempelvis hade CXI eller CXC kunnat användas med ett stort och realistiskt underlag.

Genom att ta fram mätdata från industrin skulle de samband som har funnits mellan produktens egenskaper och problem i produktionen kunna verifieras. Det skulle även vara önskvärt att undersöka fler aspekter i produktionen. Detta projekt har endast undersökt vanliga problem vid FAS och har inte tagit hänsyn till övriga aspekter.

9 REFERENSER

- [1] Ford, H. (2007). *My life and work*. Cosimo, Inc..
- [2] Jonsson, P., & Mattsson, S. A. (2011). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden*. Studentlitteratur.
- [3] Schleich, H., Schaffer, J., & Scavarda, L. F. (2007, July). Managing complexity in automotive production. In *19th International Conference on Production Research* (Vol. 100).
- [4] Schmid, R. S., & Kalpakjian, S. (2006). *Manufacturing engineering and technology*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [5] Andersson, J. (1992). *Produktion: Strategier och metoder för effektivare tillverkning*. Norstedts juridik.
- [6] Rosati, G., Faccio, M., Carli, A., & Rossi, A. (2013). Fully flexible assembly system (F-FAS): a new concept in flexible automation. *Assembly Automation*, 33(1), 3-3.
- [7] Gullander, P., Davidsson, A., Dencker, K., Fasth, Å., Fässberg, T., Harlin, U., & Stahre, J. (2011). Towards a production complexity model that supports operation, re-balancing and man-hour planning. In *Proceedings of the 4th Swedish Production Symposium (SPS): Lund, Sweden*.
- [8] Starrin, B., & Svensson, P. G. (1994). Kvalitativ metod och vetenskapsteori.
- [9] Gell-Mann, M. (1995). What is complexity? Remarks on simplicity and complexity by the Nobel Prize-winning author of *The Quark and the Jaguar*. *Complexity*, 1(1), 16-19.
- [10] Weaver, W. (1991). Science and complexity. In *Facets of Systems Science* (pp. 449-456). Springer US.
- [11] Calinescu, A., Efstathiou, J., Schirn, J., & Bermejo, J. (1998). Applying and assessing two methods for measuring complexity in manufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 723-733.
- [12] Säfsten, K., Harlin, U., Fjällström, S., & Berglund, M. (2008). Proactive and reactive ways of managing product introduction.
- [13] Gullander, P., Mattsson, S., Fässberg, T., Van Landeghem, H., Zeltzer, L., Limère, V., ... & Swerea, I. V. F. (2012). Comparing two methods to measure assembly complexity from an operator perspective. In *5th Swedish Production Symposium (SPS-2012)*.
- [14] Mattsson, S., Gullander, P., & Davidsson, A. (2011). Method for measuring production complexity. In *28th International Manufacturing Conference*.

- [15] Pil, F. K., & Holweg, M. (2004). Linking product variety to order-fulfillment strategies. *Interfaces*, 34(5), 394-403.
- [16] Owen, A. E. (1984). *Flexible assembly systems: assembly by robots and computerized integrated systems*. Perseus Publishing.
- [17] Parmenter, D. (2010). *Key performance indicators (KPI): developing, implementing, and using winning KPIs*. John Wiley & Sons.
- [18] Training Resources and Data Exchange (TRADE) (1995) How to Measure Performance, A Handbook of Techniques and Tools
- [19] <http://www.spiderstrategies.com/kpi/industry/manufacturing/>, Läst 2014-03-12
- [20] Banks, J. (2000). Getting started with AutoMod. *Brooks Automation. Autosimulation Division*.
- [21] Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. L. (2000). *DM Nicol, Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall.
- [22] Colledani, M., & Tolio, T. (2009). Performance evaluation of production systems monitored by statistical process control and off-line inspections. *International Journal of Production Economics*, 120(2), 348-367.
- [23] Kouvelis, P. (1992). Design and planning problems in flexible manufacturing systems: a critical review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 3(2), 75-99.

BILAGA A – Nyckeltal

Lägga till referens

- 1) Asset utilization
- 2) Availability
- 3) Avoided cost
- 4) Capacity utilization
- 5) Comparative analytics for products, plants, divisions, companies
- 6) Cycle time
- 7) Demand forecasting
- 8) Faults detected prior to failure
- 9) First time through
- 10) Forecasts of production quantities, etc.
- 11) Increase/decrease in plant downtime
- 12) Interaction level Inventory
- 13) Job, product costing
- 14) Labor as a percentage of cost
- 15) Labor usage, costs-direct and indirect
- 16) Maintenance cost per unit
- 17) Manufacturing cost per unit
- 18) Material costing, usage
- 19) Mean time between failure (MTBF)
- 20) Mean time to repair
- 21) Number of production assignments completed in time
- 22) On-time orders
- 23) Overall equipment effectiveness
- 24) Overall production efficiency
- 25) Planned work to total work ratio
- 26) Process capability
- 27) Productivity
- 28) Quality improvement (first-pass yield)
- 29) Reduced time to productivity
- 30) Savings in inventory carrying costs
- 31) Storehouse stock effectiveness
- 32) Time from order to shipment
- 33) Utilization
- 34) Waste ration reduction
- 35) Work-in-process (WIP)
- 36) Percentage decrease in inventory carrying costs
- 37) Percentage decrease in production-to-market lead-time

- 38) Percentage decrease in scrap and rework costs
- 39) Percentage decrease in standard production hours
- 40) Percentage increase in productivity
- 41) Percentage increase in revenues
- 42) Percentage material cost reduction
- 43) Percentage reduction in defect rates
- 44) Percentage reduction in downtime
- 45) Percentage reduction in inventory levels
- 46) Percentage reduction in manufacturing lead times
- 47) Percentage savings in costs
- 48) Percentage savings in inventory costs
- 49) Percentage savings in labor costs
- 50) Percentage savings in transportation costs

BILAGA B – Tider

<u>Breakdowntider</u>		
PROCESS	MTTF*	MTTR*
Höger modulfixtur	Normalfördelning 2.5h Stdev* 0.5h	Uniform 15 min
Vänster modulfixtur	Normalfördelning 2.5h Stdev 0.5h	Uniform 15 min
Höger modulsvets	Normalfördelning 5h Stdev 0.5h	Exponentiell 15 min
Vänster modulsvets	Normalfördelning 5h Stdev 0.5h	Exponentiell 15 min
Höger borr	Normalfördelning 80 min Stdev 10 min	Exponentiell 6 min
Vänster borr	Normalfördelning 80 min Stdev 10 min	Exponentiell 6 min
Slutfixtur	Normalfördelning 2 h Stdev 0.4 h	Exponentiell 5 min
Slutsvetsning	Normalfördelning 4 h Stdev 0.5 h	Exponentiell 6 min

*)

MTTF = Mean Time To Failure

MTTR = Mean Time To Repair

Stdev = Standard deviation

<u>Processtider</u>		
Process	Fördelning	Tider [s]
Fixturmontering: Modul	Triangulär	Min: 21.5 Medel: 28.6 Max: 41.8
Fixturmontering: Modul (<i>specialfall*</i>)	Triangulär	Min: 36.5 Medel: 43.6 sek Max: 56.8
Fixturmontering: Slutgiltig	Triangulär	Min: 16.5 Medel: 32.7 Max: 52.3
Borr	Normal	35 & Stdev 5
Svetsning: Modul	Normal	45 & Stdev 4
Svetsning: Slutgiltig	Normal	64 & Stdev 3.3
Fixturomställning: Modul	Normal	70 & Stdev 5
Fixturomställning: Slutgiltig	Normal	140 & Stdev 10
Inspektion	Exponentiell	10

*)

specialfall = Extra komponent

BILAGA C – Kod Automod

```

/* -----< CYCLE & SETUP TIMES>----- */
/* Add time for movements? */
/* Set cycle time for drilling */
begin P_CYCLE_AND_SETUP arriving

set V_cycle_fine_drill(1) = 35 /* Uses Normal distribution so we need 2 variables */
set V_cycle_fine_drill(2) = 5

/* Set cycle time for mounting operation */

set V_cycle_mountingmodule(1) = 21.5 /* Uses Triangular distribution so we need 3 variables */
set V_cycle_mountingmodule(2) = 28.59
set V_cycle_mountingmodule(3) = 41.8
set V_cycle_mountingmodule(4) = 36.5 /*[36.5 33.59 46.8]4 - 6 is for the special case of one extra part for the left module, all times are increased by 5
sec */
set V_cycle_mountingmodule(5) = 43.59
set V_cycle_mountingmodule(6) = 56.8
set V_cycle_mountingfinal(1) = 16.5 /* Uses Triangular distribution so we need 3 variables */
set V_cycle_mountingfinal(2) = 32.68
set V_cycle_mountingfinal(3) = 52.3

/* Set cycle time for welding */

set V_cycle_weldingmodule(1) = 45 /* Uses Normal distribution so we need 2 variables */
set V_cycle_weldingmodule(2) = 4
set V_cycle_weldingfinal(1) = 64 /* Uses Normal distribution so we need 2 variables */
set V_cycle_weldingfinal(2) = 3.3

set V_input_time=5 /* Sends in new parts to the system every fifth seconds if it contains less than or equal to 20 products */

/*-----< setup times >----- */

set V_setup_mountmod(1) = 70 /* setup time for modul mount*/
set V_setup_mountmod(2) = 5
set V_setup_mountfinal(1) = 140 /* setup time for final mount*/
set V_setup_mountfinal(2) = 10

/* Times for the optimal leadtime if no queues*/
set V_optimal(1)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(2)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(3)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(4)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(5)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(6)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(7)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(8)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(9)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(10)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(11)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(12)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(13)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)
set V_optimal(14)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(15)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)
set V_optimal(16)=V_cycle_mountingmodule(2)+V_cycle_mountingfinal(2)+V_cycle_weldingmodule(1)+V_cycle_weldingfinal(1)+3*V_cycle_fine_drill(1)

/* proportion of each variant, right now 1/16 of each variant (if using AutoStat, clear this part)*/
/* set V_1=1 set V_2=1 set V_3=1 set V_4=1
set V_5=1 set V_6=1 set V_7=1 set V_8=1
set V_9=1 set V_10=1 set V_11=1 set V_12=1
set V_13=1 set V_14=1 set V_15=1 set V_16=1*/

/*set V_variant = 16*/
end

/* -----< READING THE ORDERLIST >----- */
begin P_read arriving
while l=1 do
begin
if Q_fixture_A_wait remaining space>0
begin
set A_variant to
oneof(V_1:1,V_2:2,V_3:3,V_4:4,V_5:5,V_6:6,V_7:7,V_8:8,V_9:9,V_10:10,V_11:11,V_12:12,V_13:13,V_14:14,V_15:15,V_16:16)

/*set A_variant = V_variant*/

if A_variant=1 then begin set A_drill=0 set A_readjust=0 set A_control=0 set A_component=0 end
if A_variant=2 then begin set A_drill=0 set A_readjust=0 set A_control=0 set A_component=1 end
if A_variant=3 then begin set A_drill=0 set A_readjust=0 set A_control=1 set A_component=0 end
if A_variant=4 then begin set A_drill=0 set A_readjust=0 set A_control=1 set A_component=1 end
if A_variant=5 then begin set A_drill=0 set A_readjust=1 set A_control=0 set A_component=0 end
if A_variant=6 then begin set A_drill=0 set A_readjust=1 set A_control=0 set A_component=1 end
if A_variant=7 then begin set A_drill=0 set A_readjust=1 set A_control=1 set A_component=0 end
if A_variant=8 then begin set A_drill=0 set A_readjust=1 set A_control=1 set A_component=1 end
if A_variant=9 then begin set A_drill=1 set A_readjust=0 set A_control=0 set A_component=0 end
if A_variant=10 then begin set A_drill=1 set A_readjust=0 set A_control=0 set A_component=1 end
if A_variant=11 then begin set A_drill=1 set A_readjust=0 set A_control=1 set A_component=0 end
if A_variant=12 then begin set A_drill=1 set A_readjust=0 set A_control=1 set A_component=1 end
if A_variant=13 then begin set A_drill=1 set A_readjust=1 set A_control=0 set A_component=0 end
if A_variant=14 then begin set A_drill=1 set A_readjust=1 set A_control=0 set A_component=1 end
if A_variant=15 then begin set A_drill=1 set A_readjust=1 set A_control=1 set A_component=0 end
if A_variant=16 then begin set A_drill=1 set A_readjust=1 set A_control=1 set A_component=1 end

clone 1 load to P_fixture_operator nlt L_A /* To final assembly*/
set A_timestamp = ac /* Saves the actual time when it is sent into the system*/
clone 1 load to P_fixture_operator nlt L_F

if A_drill=1 then
begin
clone 1 load to P_drilling_V nlt L_CV
clone 1 load to P_drilling_V nlt L_DV
clone 1 load to P_drilling_V nlt L_EV
end
else if A_drill=0 then
begin
clone 1 load to P_assem_operator_V nlt L_CV

```


BILAGA C. Sid 2 (6)

```

        clone 1 load to P_assem_operator_V nlt L_DV
clone 1 load to P_assem_operator_V nlt L_EV
end

        if A_component=1 then /* Case with extra component*/
            begin
                clone 1 load to P_assem_operator_V nlt L_GV
            end

end

if A_drill=1 then
begin
clone 1 load to P_drilling_H nlt L_CH
clone 1 load to P_drilling_H nlt L_DH
clone 1 load to P_drilling_H nlt L_EH
end

else if A_drill=0 then
begin
clone 1 load to P_assem_operator_H nlt L_CH
clone 1 load to P_assem_operator_H nlt L_DH
clone 1 load to P_assem_operator_H nlt L_EH
end

        clone 1 load to P_assem_operator_V nlt L_BV /* To modules */
clone 1 load to P_assem_operator_H nlt L_BH

        wait for V_input_time /* V_input_time is set to 5 sec */ /* which means that the system always contains
close to 20 unfinished products */
end

        else if Q_fixture_A_wait remaining space =0 /* Capacity for Q_fixture_A_wait is 20 */
            wait for 5 sec

end

end

/* -----< DRILLING LEFT>----- */
begin P_drilling_V arriving procedure /* Sorts loads for the left module into orderlists */
    move into Q_drill_wait(1)
    move into Q_drill(1)
    use R_drill(1) for n V_cycle_fine_drill(1), V_cycle_fine_drill(2) sec
    send to P_assem_operator_V
end

/* -----< SORTING & MOUNTING, LEFT >----- */
begin P_assem_operator_V arriving procedure

    if this load type=L_CV then /* Sorts loads for the left module into orderlists */
        begin
            move into Q_assem_CV_wait(A_variant)
            wait to be ordered on OL_assem_CV(A_variant)
        end
    else if this load type=L_DV then
        begin
            move into Q_assem_DV_wait(A_variant)
            wait to be ordered on OL_assem_DV(A_variant)
        end
    else if this load type=L_EV then
        begin
            move into Q_assem_EV_wait(A_variant)
            wait to be ordered on OL_assem_EV(A_variant)
        end
    else if this load type=L_GV then
        begin
            move into Q_assem_GV_wait(A_variant)
            wait to be ordered on OL_assem_GV(A_variant)
        end
    else if this load type=L_BV then
        begin
            if Q_assem_operator_v remaining space>0 and Q_assem_CV_wait(A_variant) current loads>0 and
            Q_assem_DV_wait(A_variant) current loads>0 and Q_assem_EV_wait(A_variant) current loads>0
                begin
                    if A_component = 1 and Q_assem_GV_wait(A_variant) current loads>0 /* EXTRA COMPONENT */
                        begin
                            order 1 load from OL_assem_GV(A_variant) to die
                        end
                    else if A_component = 1 and Q_assem_GV_wait(A_variant) current loads=0
                        begin
                            if Q_assem_operator_v remaining space>0 then /* Tests a new L_BV if Q_assem_operator_v is idle */
                                begin
                                    wait for V_input_time/10
                                end
                                order 1 load from
                                OL_assem_BV to P_assem_operator_V
                                    in case order not filled backorder on OL_assem_BV
                                        end
                                        move into Q_assem_BV_wait
                                        wait to be ordered on OL_assem_BV
                                    end
                                    move into Q_assem_operator_v
                                    order 1 load from OL_assem_CV(A_variant) to die
                                    order 1 load from OL_assem_DV(A_variant) to die
                                    order 1 load from OL_assem_EV(A_variant) to die
                                begin
                                    if A_readjust = 0 and V_modmount_setup(1)!= 1 then /*setup*/
                                        use R_assem_operator_v for n V_setup_mountmod(1), V_setup_mountmod(2)
                                        set V_modmount_setup(1) = 1
                                    end
                                begin
                                    if A_readjust = 1 and V_modmount_setup(1)!= 2 /*setup*/
                                        use R_assem_operator_v for n V_setup_mountmod(1), V_setup_mountmod(2)
                                        set V_modmount_setup(1) = 2
                                    end
                                end

```

```

        if A_component = 1 then /* EXTRA PART */
        begin
            use R_assem_operator_v for triangular V_cycle_mountingmodule(4) ,
V_cycle_mountingmodule(5) , V_cycle_mountingmodule(6) sec
        end
        else if A_component=0 then /* THE REST OF THE VARIANTS */
        begin
            use R_assem_operator_v for triangular V_cycle_mountingmodule(1) ,
V_cycle_mountingmodule(2) , V_cycle_mountingmodule(3) sec
        end
        wait until Q_assem_weld_v wait remaining space>0
        clone 1 load to P_assem_weld_V nlt L_MV /* Creates the module load */
        order 1 load from OL_assem_BV to P_assem_operator_V
        send to die
    end
    else
    begin
        if Q_assem_operator_v remaining space>0 then /* Tests a new L_BV if Q_assem_operator_v still is
idle */
        begin
            wait for V_input_time/10 /* Tests every 0.5 sec */
            order 1 load from OL_assem_BV to P_assem_operator_V
            in case order not filled backorder on OL_assem_BV
            end
            move into Q_assem_BV_wait
            wait to be ordered on OL_assem_BV
        end
    end
end
end

/* -----< WELDING, MODULE LEFT >----- */
begin P_assem_weld_V arriving procedure /* Welding operation for the left module, only sending when idle */
    move into Q_assem_weld_v_wait
    move into Q_assem_weld_v
    use R_assem_weld_v for normal V_cycle_weldingmodule(1) , V_cycle_weldingmodule(2) sec /* Runs welding operation */
    send to P_fixture_operator
end

/* -----< DRILLING RIGHT >----- */
begin P_drilling_H arriving procedure /* Sorts loads for the left module into orderlists */
    move into Q_drill_wait(2)
    move into Q_drill(2)
    use R_drill(2) for n V_cycle_fine_drill(1), V_cycle_fine_drill(2) sec
    send to P_assem_operator_H
end

/* -----< SORTING & MOUNTING, RIGHT >----- */
begin P_assem_operator_H arriving procedure
    if this load type=L_CH then /* Sorts loads for the left module into orderlists */
    begin
        move into Q_assem_CH_wait(A_variant)
        wait to be ordered on OL_assem_CH(A_variant)
    end
    else if this load type=L_DH then
    begin
        move into Q_assem_DH_wait(A_variant)
        wait to be ordered on OL_assem_DH(A_variant)
    end
    else if this load type=L_EH then
    begin
        move into Q_assem_EH_wait(A_variant)
        wait to be ordered on OL_assem_EH(A_variant)
    end
    else if this load type=L_BH then
    begin
        if Q_assem_operator_h remaining space>0 and Q_assem_CH_wait(A_variant) current loads>0 and
        Q_assem_DH_wait(A_variant) current loads>0 and Q_assem_EH_wait(A_variant) current loads>0
        begin
            move into Q_assem_operator_h
            order 1 load from OL_assem_CH(A_variant) to die
            order 1 load from OL_assem_DH(A_variant) to die
            order 1 load from OL_assem_EH(A_variant) to die
        end
    begin
        if A_readjust = 0 and V_modmount_setup(2)!= 1 then
            use R_assem_operator_h for n V_setup_mountmod(1), V_setup_mountmod(2)
            set V_modmount_setup(2) = 1
        end
        if A_readjust = 1 and V_modmount_setup(2)!= 2 /*setup*/
        begin
            use R_assem_operator_h for n V_setup_mountmod(1), V_setup_mountmod(2)
            set V_modmount_setup(2) = 2
        end
    end
    use R_assem_operator_h for triangular V_cycle_mountingmodule(1) , V_cycle_mountingmodule(2) ,
V_cycle_mountingmodule(3) sec
    wait until Q_assem_weld_h wait remaining space>0
    clone 1 load to P_assem_weld_H nlt L_MH /* Creates the module load */
    order 1 load from OL_assem_BH to P_assem_operator_H
    send to die
    end
    else
    begin
        if Q_assem_operator_h remaining space>0 then /* Tests a new L_BH if Q_assem_operator_h is idle
*/
        begin
            wait for V_input_time/10
            order 1 load from OL_assem_BH to P_assem_operator_H
            in case order not filled backorder on OL_assem_BH

```

```

end
move into Q_assem_BH_wait
wait to be ordered on OL_assem_BH
end
end
end
/* -----< WELDING, MODULE RIGHT >----- */
begin P_assem_weld_H arriving procedure /* Welding operation for the right module, only sending when idle */
move into Q_assem_weld_h_wait
move into Q_assem_weld_h
use R_assem_weld_h for normal V_cycle_weldingmodule(1) , V_cycle_weldingmodule(2) sec /* Runs welding operation */
send to P_fixture_operator
end
/* -----< MOUNTING FINAL FIXTURE >----- */
begin P_fixture_operator arriving procedure /* The final fixture where the two modules and the two other main parts are mounted*/
if this load type=L_MV /* Fills the fixture */
begin
move into Q_fixture_MV_wait(A_variant)
wait to be ordered on OL_fixture_MV(A_variant)
end
else if this load type=L_MH
begin
move into Q_fixture_MH_wait(A_variant)
wait to be ordered on OL_fixture_MH(A_variant)
end
else if this load type=L_F
begin
if A_control=1 then
begin
if Q_insp remaining space > 0
begin
move into Q_insp /*CONTROL*/
set A_insp to oneof(90:1,10:2)
if A_insp=2
begin
order 1 load from OL_insp to P_fixture_operator
send to P_damaged
end
else if A_insp=1
begin
order 1 load from OL_insp to P_fixture_operator
move into Q_fixture_F_wait(1)
wait to be ordered on OL_fixture_F(1)
end
end
else if Q_insp remaining space = 0
begin
move into Q_insp_wait
wait to be ordered on OL_insp
end
end
end
else if A_control = 0
begin
move into Q_fixture_F_wait(2)
wait to be ordered on OL_fixture_F(2)
end
end
else if this load type=L_A
begin
if Q_fixture_operator remaining space>0 and Q_fixture_MV_wait(A_variant) current loads>0 and
Q_fixture_MH_wait(A_variant) current loads>0 and Q_fixture_F_wait(2-A_control) current loads>0
begin
move into Q_fixture_operator
order 1 load from OL_fixture_MV(A_variant) to die
order 1 load from OL_fixture_MH(A_variant) to die
order 1 load from OL_fixture_F(2-A_control) to die /* controlled (A_control=1) L_F in
Q_fixture_F_wait(1) */
/* uncontrolled (A_control=0) L_F in Q_fixture_F_wait(2) */
if A_readjust = 0 and V_finalmount_setup!= 1 then
begin
use R_fixture_operator for n V_setup_mountfinal(1),
V_setup_mountfinal(2) sec
set V_finalmount_setup = 1
end
if A_readjust = 1 and V_finalmount_setup!= 2 /*setup*/
begin
use R_fixture_operator for n V_setup_mountfinal(1),
V_setup_mountfinal(2) sec
set V_finalmount_setup = 2
end
use R_fixture_operator for triangular V_cycle_mountingfinal(1) , V_cycle_mountingfinal(2) ,
V_cycle_mountingfinal(3) sec /* Operating time for mounting the parts*/
if Q_fixture_weld remaining space=0
wait to be ordered on OL_fixture_weld
order 1 load from OL_fixture_A to P_fixture_operator
send to P_fixture_weld
end
end
else
begin
begin
if Q_fixture_operator remaining space>0 /* Tests a new L_A if Q_fixture_operator is idle */
wait for V_input_time/10
order 1 load from OL_fixture_A to P_fixture_operator
in case order not filled backorder on OL_fixture_A
end
move into Q_fixture_A_wait

```

```

                                wait to be ordered on OL_fixture_A
                                end
                                end
                                end
end

/* -----< FINAL WELD >----- */
begin P_fixture_weld arriving procedure /* Final weld */
  move into Q_fixture_weld
  use R_fixture_weld for normal V_cycle_weldingfinal(1) , V_cycle_weldingfinal(2) sec /* operation time */
  wait until OL_fixture_weld current loads>0
  order 1 load from OL_fixture_weld to continue
  clone 1 load to P_final nlt L_product /* The final product */

  set A_timestamp_2 = ac - A_timestamp /*Calculates the time in the system for a specific product*/
  inc V_antal by 1
  inc V_prestanda_sum by V_optimal(A_variant)/A_timestamp_2 /*optimaltime divides by actual time*/

  set V_prestanda_average = V_prestanda_sum/V_antal

  /*print V_prestanda_average ' ' A_variant as .2 to "C:/Prestanda.txt"*/

  send to die
end
/* -----< SORTING THE FINAL PRODUCTS >----- */

begin P_final arriving procedure /* sort final product */ /* The product is now finished */
  begin
    if A_variant=1 move into Q_final_REFERENS
    else if A_variant=2 then move into Q_final_Variant_1
    else if A_variant=3 then move into Q_final_Variant_2
    else if A_variant=4 then move into Q_final_Variant_3
    else if A_variant=5 then move into Q_final_Variant_4
    else if A_variant=6 then move into Q_final_Variant_5
    else if A_variant=7 then move into Q_final_Variant_6
    else if A_variant=8 then move into Q_final_Variant_7
    else if A_variant=9 then move into Q_final_Variant_8
    else if A_variant=10 then move into Q_final_Variant_9
    else if A_variant=11 then move into Q_final_Variant_10
    else if A_variant=12 then move into Q_final_Variant_11
    else if A_variant=13 then move into Q_final_Variant_12
    else if A_variant=14 then move into Q_final_Variant_13
    else if A_variant=15 then move into Q_final_Variant_14
    else if A_variant=16 then move into Q_final_Variant_15
  end

  wait for 60 sec /* To be able to se them in the graphics */
  move into Q_final
  wait for 60 sec
  send to die
end

/*-----< TRASH >-----*/
begin P_damaged arriving procedure
  move into Q_trash_wait
  wait for 1 hr /* It waits for 1 hours until it sends in a new L_F to the system with same attributes */
  clone 1 load to P_fixture_operator nlt L_F
  move into Q_trash
end

/*-----< DOWNTIME >-----*/
/*
R_assem_operator_h          L_down_assem_operatorh          P_down_assem_operatorH
R_assem_operator_v          L_down_assem_operatorv          P_down_assem_operatorV
R_assem_weld_h              L_down_assem_weld_h          P_down_assem_weldh
R_assem_weld_v              L_down_assem_weld_v          P_down_assem_weldv
R_drill                      L_down_drill                    P_down_drill
R_fixture_operator          L_down_fixture_opera          P_down_fixture_opera
R_fixture_weld              L_down_fixture_weld          P_down_fixture_weldfin
*/

begin P_down_assem_operatorV arriving procedure /* Downtime operator left */
  while 1=1
  begin
    wait for normal 2.5,0.5 hr /* Downtime distribution */
    take down R_assem_operator_v
    wait for 15 min
    bring up R_assem_operator_v
  end
end

begin P_down_assem_operatorH arriving procedure /* Downtime operator right */
  while 1=1
  begin
    wait for normal 2.5, 0.5 hr
    take down R_assem_operator_h
    wait for 15 min
    bring up R_assem_operator_h
  end
end

begin P_down_drill_1 arriving procedure /* Downtime drill */
  while 1=1
  begin
    wait for normal 80, 10 min
    take down R_drill(1)
    wait for e 6 min
    bring up R_drill(1)
  end
end

begin P_down_drill_2 arriving procedure /* Downtime drill */
  while 1=1
  begin
    wait for normal 80, 10 min
    take down R_drill(2)
    wait for e 6 min
    bring up R_drill(2)
  end
end

```

```
end
begin P_down_assem_weldh arriving procedure /* Downtime module welding right */
  while l=1
  begin
    wait for normal 5, 0.5 hr
    take down R_assem_weld_h
    wait for e 15 min
    bring up R_assem_weld_h
  end
end
begin P_down_assem_weldv arriving procedure /* Downtime module welding left */
  while l=1
  begin
    wait for normal 5, 0.5 hr
    take down R_assem_weld_v
    wait for e 15 min
    bring up R_assem_weld_v
  end
end
begin P_down_fixture_opera arriving procedure /* Downtime final fixture */
  while l=1
  begin
    wait for normal 2, 0.4 hr
    take down R_fixture_operator
    wait for e 5 min
    bring up R_fixture_operator
  end
end
begin P_down_fixture_weldfin arriving procedure /* Downtime final weld */
  while l=1
  begin
    wait for normal 4, 0.5 hr
    take down R_fixture_weld
    wait for e 15 min
    bring up R_fixture_weld
  end
end
```