

Produktionsutveckling av Funktionell Verkstad

Asutay Altay, Marcus Kullerstedt

**Maskinteknik, master
2016**

Luleå tekniska universitet
Institutionen för teknikvetenskap och matematik

Förord

De 20 veckor vi har arbetat med detta projekt har varit en spännande och utmanade resa som blivit en minnesvärd upplevelse för oss båda. Vi skulle vilja uttrycka ett stort tack till vår handledare Johan Rutfors Isaksson för den vägledning och utomordentliga entusiasm som getts under projektets gång. Ett tack till vår examinator Torbjörn Ilar för det stöd han visat och framförallt till de på brännaravdelningen för det stöd och samarbete vi fått under examensarbetet. Ett särskilt tack till Kathi Hansen från Imagine That! för att vi har fått möjligheten att använda simuleringsverktyget ExtendSim.

Asutay Altay



Marcus Kullerstedt



Abstract

This report presents a master thesis project conducted at Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) in Finspång, Sweden. Due to a strong market and an increased global demand for industrial gas turbines, SIT has decided to increase their production capacity. During this process it has been found that the production of burners is a bottleneck. This Master's Thesis was created to evaluate possible solutions to this problem.

In this report the production of burners will first be evaluated, with a qualitative and quantitative study to gain knowledge of the true capacity. Finally, a simulation model of the burner production will be presented. It will be shown that the capacity can be increased to meet the demand without large investments, and also that there is a large potential for improvements, both in production methods and in planning. The use of simulation has made it possible to evaluate the above mentioned dilemmas without affecting the daily work and to see the effect that disturbances have on lead time.

By request from the company, some sensitive content has been placed in a separate appendix, available internally.

Sammanfattning

Denna rapport presenterar ett examensarbete utfört på Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) i Finspång. Då marknaden för medelstora gasturbiner är stark finns vill SIT öka sin produktionskapacitet för att möta ökad efterfrågan. Man har då funnit att tillverkningen av brännare är den stora flaskhalsen och därför har detta examensarbete tillkommit.

I denna rapport analyseras först brännarproduktionen, därefter presenteras en kvalitativ och kvantitativ studie gjord för att få ökad kännedom om faktisk kapacitet. Slutligen presenteras en simuleringsmodell av brännarproduktionen skapad utifrån anläggningen. Det kommer att påvisas att kapaciteten kan ökas till önskad nivå med relativt små insatser, men också att det finns stor förbättringspotential av att göra en större förändring i både arbetssätt och produktionsstyrning. Användningen av simulering av produktion som verktyg har gjort det möjligt att utvärdera en stor mängd parametrar och gett möjligheten att se hur exempelvis materialbrister och andra störningar påverkar leveranssäkerheten och belastningen på resurserna.

Då delar av resultat och analys innehåller känslig information är dessa placerade i en separat bilaga på begäran från företaget, tillgänglig internt.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1. Företagsbeskrivning	1
1.2. Bakgrund	1
1.3. Syfte.....	3
1.4. Problemformulering	3
1.5. Avgränsningar	3
1.6. Nomenklatur	4
2. Teori.....	5
2.1.1. Lean Produktion.....	5
2.2. Slöseri	5
2.2.1. Värdeflödesanalys	6
2.2.2. Dragande och tryckande produktion	7
2.2.3. Just In Time.....	7
2.3. Produktionssimulering.....	8
2.3.1. Verifiering och validering.....	9
2.4. Prestandamätning	10
2.4.1. Tidsstudie	11
3. Metod	13
3.1. Kartläggning av nuläge.....	13
3.1.1. Tidsstudie	13
3.1.2. Värdeflödesanalys	14
3.2. Simulering av produktion	14
3.2.1. Princip för simuleringsmodell.....	14
3.2.2. ExtendSim 9.2	14
3.2.3. Framtagande av simuleringsmodell	15
3.3. Utvärderingspunkter	16
3.3.1. Val av simuleringslängd och antal repetitioner	16
3.3.2. Känslighetsanalys.....	16
3.3.3. Bemanning och arbetsstationer	16
3.3.4. Batchstorlek.....	16
4. Resultat och Analys	17
4.1. Kartläggning av nuläge.....	17

4.1.1. Tidsstudie	18
4.2. Simulering av produktion	20
4.3. Utvärderingspunkter	22
4.3.1. Antal repetitioner och simuleringslängd	22
4.3.2. Känslighetsanalys.....	23
4.3.3. Batchstorlek.....	23
4.3.4. Bemanning	23
5. Diskussion.....	25
5.1. Kartläggning av nuläge.....	25
5.1.1. Tidsstudie	25
5.1.2. SAP	27
5.1.3. Värdeflödesanalys	27
5.2. Simulering av produktion	28
5.3. Utvärderingspunkter	28
5.3.1. Simuleringslängd och antal repetitioner	29
5.3.2. Batchstorlek.....	29
5.3.3. Bemanning och arbetsstationer	29
6. Slutsatser	31
7. Fortsatt Arbete	33
8. Referenser	35
Bilaga A Modellspecifikation	A
Bilaga B Flödesanalys	B
Bilaga C Tidsstudie.....	C
Bilaga D Simuleringsresultat	D
Bilaga E Tidslogg A	E
Bilaga F Tidslogg B	F

Tabellförteckning

Tabell 1. Nomenklatur.	4
Tabell 2. Genomsnittlig relativ avvikelse mellan mätta och SAP-tider.	18
Tabell 3. Procentuellt fel mellan mätta och SAP-tider.	19
Tabell 4. Utvärderade simuleringslängder och standardavvikelser.	22

Figurförteckning

Figur 1. Genomskäring av en Siemens SGT-800B [2].....	2
Figur 2. Principiell Värdeflödesanalys.	6
Figur 3. Utvecklingskostnad och nytta av en simuleringsmodell jämfört med modellens konfidensgrad.	8
Figur 4. Utvecklingsprocessen för en simuleringsmodell [14].....	10
Figur 5. Användargränssnittet i ExtendSim 9.2.....	15
Figur 6. Relativ avvikelse för mätta tider jämfört med SAP.	19
Figur 7. Översiktsbild av simuleringsmodell.....	20
Figur 8. Kontrollpanel.....	21
Figur 9. Svetsoperation med upp till fyra parallella arbeten och resurshantering.	21
Figur 10. Svetsoperationens delsteg.	22

1. Inledning

Den här rapporten är resultatet av ett examensarbete som genomfördes hos Siemens Industrial Turbomachinery AB under 2016. Det är utfört av två civilingenjörsstudenter inom maskinteknik med inriktning produktion från Luleå Tekniska Universitet. Examensarbetet är ett obligatoriskt avslutande moment för att ta en civilingenjörsexamen och motsvarar 20 veckors heltidsarbete.

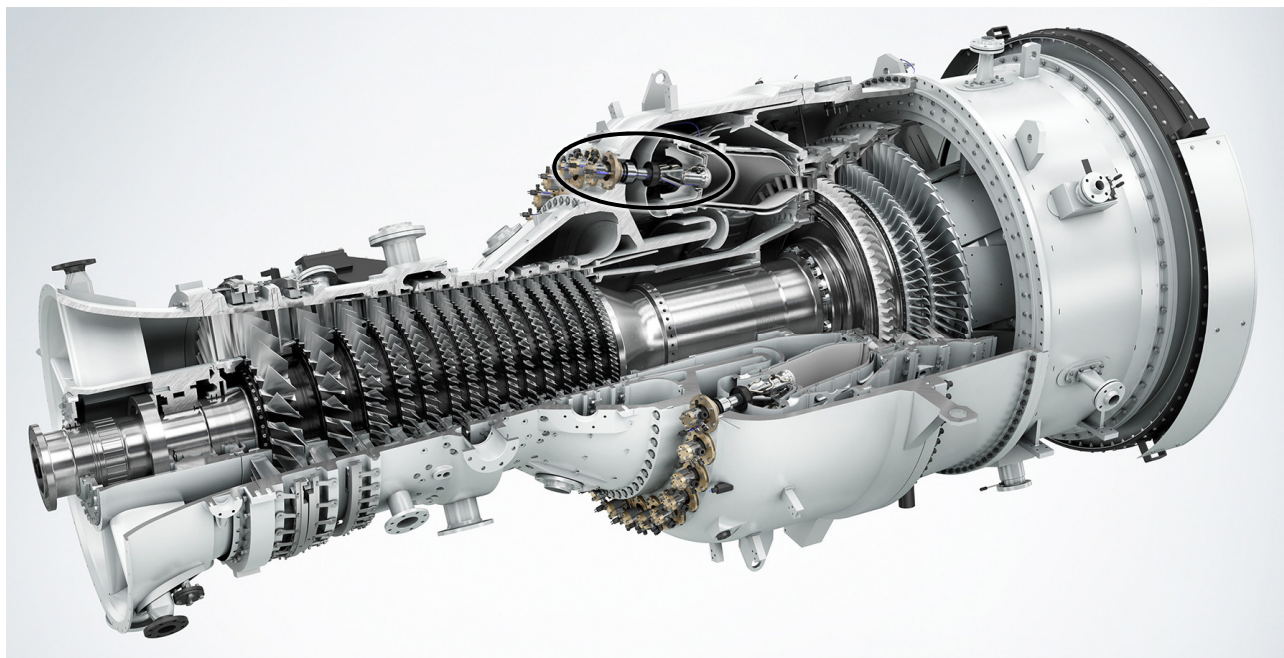
1.1. Företagsbeskrivning

Siemens AG är en global koncern som tillverkar produkter inom bland annat elkraft, automation, sjukvård och mjukvara för produktutveckling. De hade en omsättning på nästan 75 miljarder euro och hade 348 000 anställda år 2015 [1]. Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) ingår i Siemenskoncernens enhet för distribuerad energiproduktion och tillverkar, underhåller och reparerar gasturbiner för elproduktion och industriellt bruk. SIT har sina produktionsanläggningar i Finspång och Trollhättan, men affärsenheten har även tillverkning av komponenter och gasturbiner i Lincoln, Mount Vernon, Montreal och Trollhättan. Vid produktionsanläggningen i Finspång tillverkas fem olika modeller av gasturbiner varav modellerna SGT-700 och SGT-800 står för närmare hälften av försäljningen, dessutom utförs slutmontering av ytterligare två modeller.

1.2. Bakgrund

Gasturbiner har flera applikationer där de primärt används till att driva mekaniska applikationer eller att generera elkraft. Gasturbiner drivs av gas eller flytande bränslen som möter specifikationen för respektive modell. En gasturbin består huvudsakligen av en kompressor, en brännkammare och en turbin. En gasturbin fungerar på så sätt att luft pumpas in av kompressorn in till brännarkammaren. Där sprutas bränsle in och blandas med luften för att sedan antändas. Avgaserna som bildats expanderar och trycks ut ur brännarkammaren för att flöda igenom turbinens skovlar, vilka skapar en rotation som omvandlar gasens rörelseenergi till mekanisk energi.

I en gasturbin sitter ett flertal brännare som injicerar och blandar bränsle med luft och därigenom möjliggör en kontrollerad förbränning, se Figur 1. I figuren är en brännare och dess placering markerad med oval inringning.



Figur 1. Genomsnitt av en Siemens SGT-800B [2].

Brännarna som tillverkas på SIT används till flera modeller av gasturbiner och i dagsläget är brännartillverkningen en flaskhals. Det finns flera förbättringsområden att arbeta med. I nuläget har en del av produktionsvolymen lagts ut till en underleverantör och en ambition finns att ta hem delar av volymen samt att öka den totala produktionen och produktiviteten, detta genom en minskning av led- och cykeltider samt vid behov, en ökning av personalstyrkan. Eftersom det inte finns en tillräcklig god struktur i produktionen finns det ett behov av att analysera nuläget för att bygga ett underlag för framtida beslut. I produktionen förekommer ett flertal variationer av brännartyper och produktionen sker i dagsläget i batcher, detta medför att flexibiliteten i produktionen är låg och eventuella problem inte lyfts fram. Att problemen inte synliggörs föranleder till åtgärder inte alltid tas tillräckligt god tid vilket är ett problem. Med detta som bakgrund vill SIT genom detta examensarbete utvärdera simulering som verktyg vid produktionsutveckling för att skapa ett konkurrenskraftigt arbetssätt och uppnå högre produktivitet genom att på relativt kort tid och med små resurser få en bild av hur produktionen påverkas av en eller flera åtgärder.

1.3. Syfte

Målet med detta examensarbete är att undersöka och identifiera problem inom produktionsstyrning och -planering vid tillverkningen av brännare till gasturbinerna. Arbetet innefattar kartläggning av nuläget, analys av problemkällor och skapande av ett eller flera förslag på förbättringar för dessa samt att skapa simuleringsmodeller för både nuläge och ett förbättrat läge. Det finns ett intresse för att demonstrera möjligheterna med ett simuleringsverktyg vid produktionsutveckling.

1.4. Problemformulering

Arbetet avser besvara följande frågor:

- Hur ser produktionsflödet ut och vilka är flaskhalsarna i nuläget?
- Hur kan dessa åtgärdas?
- Hur ska ett framtida flöde för en ökad produktionstakt se ut?
- Hur ska man i framtiden utvärdera inverkan av ändringar i produktionsflödet?

1.5. Avgränsningar

Hela detta examensarbete är koncentrerat till verksamheten i Finspång och är begränsat till 20 veckor. Examensarbetet är avgränsat till tillverkningen av brännare avsedda för SGT-700 och SGT-800. Hänsyn kommer att tas till externa leverantörer men de kommer inte vidare analyseras. Brännarspetsarnas produktion lyfts ut och behandlas som en extern produktion då dessa svetsas avskilt. Analysen innefattar den del av produktionen som sker samlat på avdelningen. I flödet förekommer även så kallade reparationer, dessa omfattas ej av analysen men kommer att ges utrymme till i produktionen. Arbetet innefattar ej arbetsstationernas utformning eller tillverkningsprocesserna. Materialvariation förekommer men utelämnas då den har begränsad påverkan. Ytterligare avgränsningar specifika för modellen finns i Bilaga A.

1.6. Nomenklatur

För att tydliggöra de begrepp som används i rapporten innehåller denna del en kortare förklaring av de beräkningar och antaganden som används.

Tabell 1. Nomenklatur.

<i>Begrepp</i>	<i>Beskrivning</i>
DES	Discreet Event Simulation
ABS	Agent Based Simulation
SD	System Dynamics
FIFO	First In – First Out
VFA	Värdeflödesanalys
Batch	De produkter som produceras satsvis
SIT	Siemens Industrial Turbomachinery AB
EBW	Electron Beam Welding, Elektronstrålesvets(ning)
Brännare	AEV-brännare, bränslespridare
PIA/VIA	Produkter/Varor I Arbeta
SAP	Systems, Applications and Products. Programvara för produktionsstyrning och -uppföljning
ConWIP	Konstant orderantal i produktion
OFP	OFörstörande Provning
Ledtid	Tiden från att beställning läggs in i systemet till hela ordern är levererad
Mellantid	Tiden mellan två leveranser
Utnyttjandegrad	Procentsats av arbetstid som läggs på aktiv produktion för varje resurs
Takttid	Tid alla stationer har på sig att slutföra sitt arbete på en batch eller produkt
Produktionsvolym	Antalet tillverkade produkter (per år)
JIT	Just In Time
SMST	Sammanställning
Operationstid	Den tid en operation tar att slutföra
Ställtid	Den tid som går åt per operation oberoende av batchstorlek
Primärdata	Data som har samlats in av författarna
Sekundärdata	Data som har samlats in av tredje part

2. Teori

I detta avsnitt presenteras de teorier som ligger till grund för arbetets upplägg och analyser.

2.1.1. Lean Produktion

Lean produktion är en affärsbaserad filosofi skapad av Toyota [3] som har tillämpats och utvecklats till Toyota Production System (TPS) [4]. Filosofin bygger på 14 principer som dikterar hur en person ska tänka och agera. Detta för att skapa en stabil organisation som är självlärande med en kontinuerlig process av självförbättringar [5]. De 14 principerna dikterar hur det ska arbetas med att ta beslut baserat på långsiktiga mål, kontinuerligt flöde, användandet av dragande produktion, utjämning av produktion, visuella kontrollsystem, personalutveckling, standardiserat arbetssätt, beprövad teknologi, att själv se och förstå situationen, att överväga samtliga alternativ och agera på de beslut som tas och att bli en självlärande organisation med kontinuerlig process av förbättringar.

För att arbeta mot de 14 principerna används en rad olika verktyg som tillämpas systematiskt i TPS. Verktygen tillämpas rigoröst och har tillkommit efter behov för att uppnå de 14 principerna. Verktygen bistår principerna där verktyget ersätts om det finns ett alternativ för att bättre uppnå kärnvärdena.

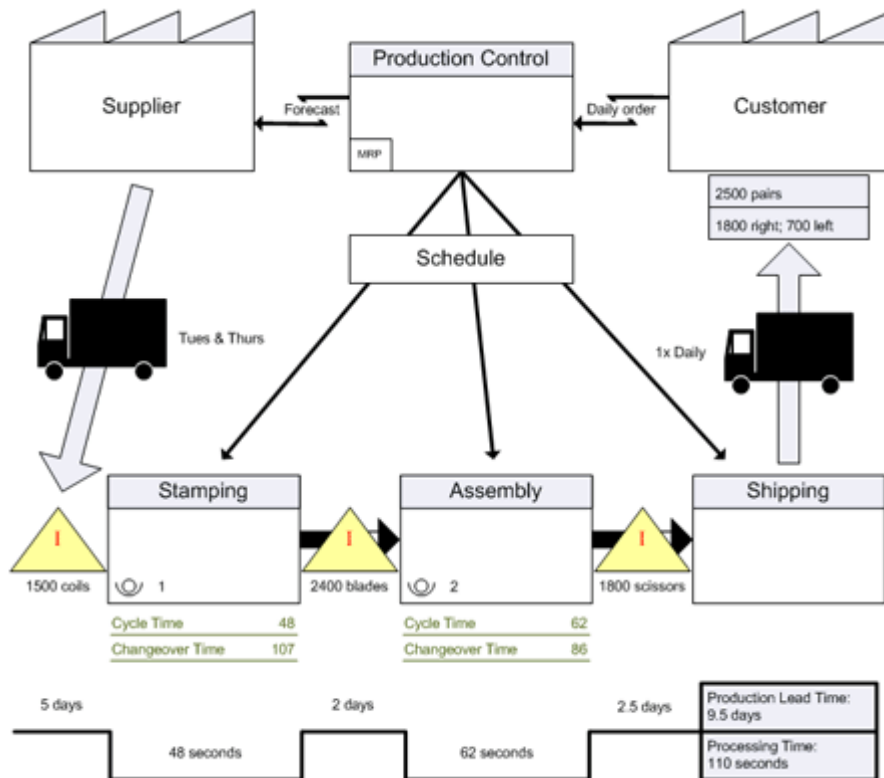
2.2. Slöseri

Ett av verktygen är att identifiera vilka moment som tillför värde och vilka som inte gör det. Värde kan definieras till vad som gör en produkt attraktiv för kunden. De moment som inte tillför värde klassas som slöseri och tas bort alternativt minimeras. Att få bort slöseriet innebär att kvalitén på produktionen höjs och omkostnader minskar vilket medför en starkare konkurrenskraft. Kvalité i det här sambandet är produktionens förmåga att operera effektivt utan avvikelser i leveranser och på produkten [6]. De åtta identifierade punkter som klassas som slöseri är [3]:

- Överproduktion, när mer än nödvändig mängd produkter eller komponenter tillverkas.
- Väntan, när operatörer väntar på att processer ska bli klar.
- Onödig transport och förflyttning, när material har en ineffektiv transport eller sätts i mellanlager.
- Överarbete eller felaktig bearbetning, när produkten tillverkas överkomplicerad eller när arbetsprocessen använder ineffektiva metoder.
- Överflödigt lager, när mer material än nödvändigt lagerhålls och när onödig mängd produkter i arbete finns.
- Onödiga arbetsmoment, när operatören utför mer än nödvändig rörelse under arbetsprocessen. Exempelvis sträcka sig efter ett verktyg.
- Defekter, tillverkning av defekta komponenter som medför omarbete, reparationer alternativt skrotning.
- Outnyttjad kreativitet hos medarbetare, när nya idéer, förbättringar och möjligheter för personlig utveckling uteblir.

2.2.1. Värdeflödesanalys

För att klargöra vad som sker med produkten i varje steg av produktionen undersöks och kartläggs de aktiviteter den genomgår [7]. De olika aktiviteterna kategoriseras till värdeskapande aktiviteter och icke värdeskapande aktiviteter. Metoden är ett av de viktigaste förarbeten som görs inom lean där den visuellt kartlägger hur mycket tid som går åt till de aktiviteter som inte bidrar till värdeskapandet. Med kartläggning av produktionsstegen framgår en fördelning av tid mellan värdeskapande aktiviteter och icke värdeskapande aktiviteter och utifrån denna arbetas de icke värdeskapande aktiviteterna bort för att minska slöseriet i produktionen. Se Figur 2 för ett exempel av en flödesanalys.



Figur 2. Principiell Värdeflödesanalys.

2.2.2. Dragande och tryckande produktion

I en tryckande produktion tillåts processer arbeta ohämmat med uppbyggnad av material mellan arbetsprocesserna tillåts. Detta för att utnyttja maskiner till full kapacitet och effektivisera styckkostnaden för respektive komponent. Följden av detta är att lager och buffertar kan byggas upp vilket medför kostnader i form av lagerhållning och transport. En ytterligare nackdel är en lång responstid vid förändringar och åtgärder [7]. I en dragande produktion tillåts endast en komponent att tillverkas alternativt bearbetas om det finns ett behov av den i en följande arbetsprocess. Den följande arbetsprocessen hindrar den föregående arbetsprocessen att producera nya komponenter om den inte kan skicka komponenten vidare till nästa steg. Indirekt begränsas antalet PIA till vad produktionssystemet kan innehålla. Motiveringen för detta är att produktionen blir flexibel och har en kort reaktionstid för förändringar men framförallt visualiseras produktionsstörningar tydligt. Denna egenskap ger produktionen en bättre reaktionsförmåga mot marknaden och samtidigt uppnås kortare ledtider. Svagheter blir att en hög tillförlitlighet krävs hos de försörjande systemen till produktionen för att hålla igång en sådan produktion där produktionsstörningar kan ge en absolut påverkan i produktionen. Den väsentliga skillnaden mellan dessa två är att en dragande produktion begränsar antalet produkter i arbete medan en tryckande produktion inte är självreglerande, med avseende på PIA [8].

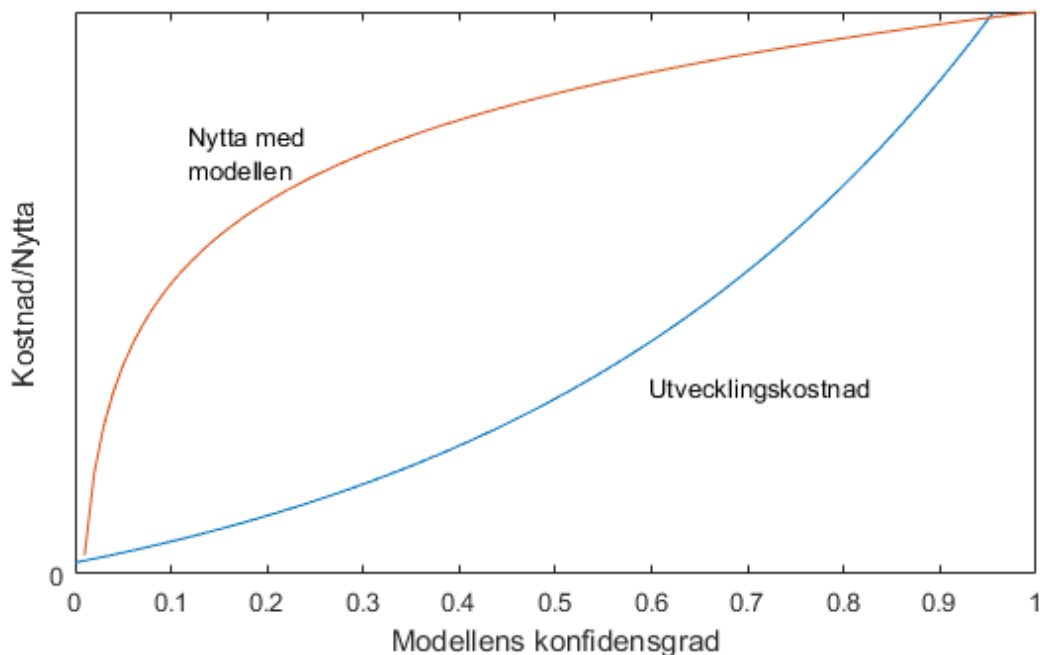
2.2.3. Just In Time

Just-in-time (JIT) är en samling principer, verktyg, och arbetsmetoder för att arbeta mot en produktion som levererar produkter i små kvantiteter med korta ledtider för att möta specifika kundkrav [3]. Det handlar om att leverera rätt produkt vid rätt tillfälle och i rätta mängder i ett kontinuerligt flöde med inga avvikelser [9]. JIT produktion minskar antalet PIA då mellanlager undviks och ställer höga krav på intern och extern leveransförmåga. Om leveransförmågan blir bristfällig synliggörs det i produktionssystemet omedelbart och svårigheterna klargörs omedelbart.

2.3. Produktionssimulering

Simulering är ett kraftfullt verktyg som används i stor utsträckning inom produktutveckling men endast i begränsad utsträckning inom produktionsutveckling [10]. Två sätt att definiera simulering är "konsten och vetenskapen att skapa en representation av en verklig process eller system med syftet att experimentera och utvärdera [11]" och "processen att ta fram en modell av ett verkligt system med syftet att förstå dess beteende och/eller utvärdera strategier för systemets användande [12]".

Genom användning av simulering kan en stor mängd potentiella förändringars inverkan på ett system undersökas utan att störa produktionen eller genomföra större investeringar. Det går även betydligt fortare att köra en simuleringsmodell än att modifiera det verkliga systemet vilket skapar möjligheter att jämföra en stor variation av förändringar på relativt kort tid. Dessutom kan enskilda element undersökas för att hitta flaskhalsar och kritiska moment. Ett av de svåraste problemen vid simulering är att bedöma när modellen är tillräckligt bra, då kostnaden för den tid det tar att skapa modellen snabbt ökar vartefter fler funktioner läggs till [13, 14], se Figur 3. Målet är här att nå en tillräckligt hög konfidensgrad utan att kostnaden blir för hög.



Figur 3. Utvecklingskostnad och nytta av en simuleringsmodell jämfört med modellens konfidensgrad.

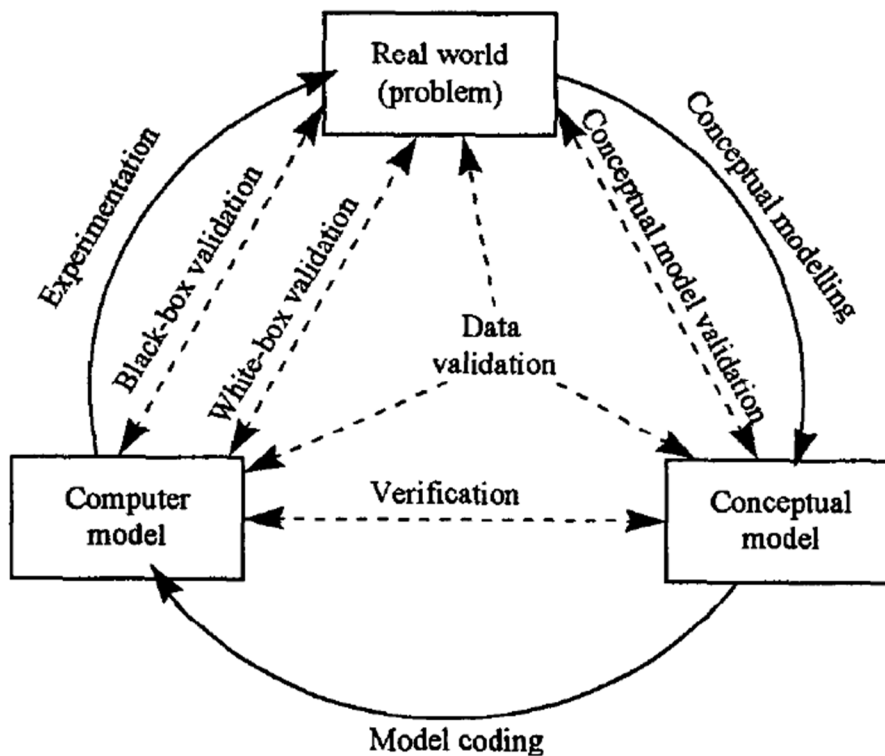
Produktionssimulering kan delas upp i tre huvudkategorier [15]:

- Kontinuerlig/Dynamisk (SD – System Dynamics)
 - Baseras på en kontinuerlig tidsuppdatering där tidsstegen alltid är lika långa. Används främst för att beskriva produktionsflöden med mycket korta cykeltider, exempelvis fyllning av dryck i flaska eller faktiska partikel- och vätskeflöden. Används även för att i ett större, mer abstraherat perspektiv, få en uppfattning om materielbehov och flöden för materielplanering [16].
- Händelsestyrd (DES – Discreet Event Simulation)
 - Baseras på en serie av operationer och logiska beslut där en enhet löper genom ett system av operationer och köer enligt en definierad bana. Har en lista på kommande händelser vilken uppdateras vid varje inträffad händelse. Tiden hoppar efter avslutad process till nästa tid i listan. Används ofta för att simulera produktion i exempelvis verkstäder, där verksamheten kan beskrivas som tydliga operationer, samt vid planering av vårdinrättningar. Enheterna kan vara exempelvis produkter eller patienter.
- Agentbaserad (ABS – Agent-Based Simulation)
 - Använder en uppsättning aktiva enheter vilka styrs genom definierade regler. Relativt nytt sätt att modellera ett system. Har möjlighet att på ett effektivt sätt modellera exempelvis folkmassors rörelser vid utrymning ur byggnad eller allokering av lastbärare i en produktion med prioritering utifrån flera kriterier.

Förutom de användningsområden som anges ovan kan dessa tekniker kombineras för att ge fördelar från flera områden; vanligt är att kombinera DES med ABS för att dynamiskt allokera resurser eller SD med DES för att representera naturliga flöden styrda av externa processer [15].

2.3.1. Verifiering och validering

Verifiering innebär inom simulering att säkerställa att både modellens element och dess helhet har det beteende som förväntas. Det innefattar att kontrollera allt från ekvationer till cykeltider och statistiska fördelningar, kortfattat att bekräfta att modellen är byggd rätt [11, 14]. Verifieringen är inte något som lämpligt att göras när modellen är färdig, utan något som bör göras kontinuerligt vartefter operationer och logik läggs till i modellen. Genom detta arbetssätt är det möjligt att säkerställa att varje operation som läggs till fungerar, dels för den individuella operationen, men också att operationen inte skapar problem för simuleringen som helhet. Figur 4 illustrerar arbetsgången vid skapandet av en simuleringsmodell och hur den jämförs mot verkligheten.



Figur 4. Utvecklingsprocessen för en simuleringsmodell [14].

Simuleringsmodellens validering är att kontrollera att modellen och dess element representerar det verkliga systemet. Detta kan, något förenklat, göras med två metoder; black box- och white box-validering [14, 17]. Vid black box undersöks enbart systemets in- och utdata och modellen anses validerad om dessa ligger inom rimligt intervall, utan att ta hänsyn till dess inre. Detta ger möjlighet att på ett enkelt sätt jämföra mot mätningar från den verkliga produktionen redan i ett tidigt skede då data för anläggningen eller avdelningen som helhet oftast finns lätt tillgänglig. White box studerar istället de individuella operationerna och processerna för att säkerställa att dessa beter sig som förväntat, något som ger en högre tillförlitlighet då det kan gömma sig problem i blackbox-validering, nackdelen är att det tar betydligt längre tid. Det är dock först när metoderna används i kombination som det går att säkerställa att modellen på ett bra sätt beskriver verkligheten.

2.4. Prestandamätning

Traditionellt används ofta utnyttjandegrad och tillgänglighet som nyckeltal vid undersökning av en operations lönsamhet [18, 19]. Utifrån dessa utvärderas sedan processen utan vidare hänsyn till övriga operationer i produktionskedjan. Från ett ekonomiplaneringsperspektiv antas att på samma sätt att maskinen är mest lönsam och har kortast möjliga återbetalningstid när den har full beläggning. Detta medför ett antal problem där överproduktion är det största men också falska flaskhalsar har en tendens att uppstå när alla maskiner förväntas köras konstant [18]. För att gå ifrån dessa problem måste dessa mått få en sekundär roll, det finns som bekant ingen vinning av att tillverka produkter som inte säljs, istället bör mätningarna fokusera på led- och cykeltider [3], med vilkas reduktion mängden i buffertar och lager kan minskas då behovet att producera materiel i förväg minskar.

2.4.1. Tidsstudie

En tidsstudie är en välanvänd undersökningsmetod som mäter en eller en samling arbetsuppgifter för att beskriva dess tidsåtgång. Målet är att beskriva hur lång tid en uppgift kräver för att ha en förståelse för tidsåtgången alternativt att förstå hur mycket arbete som genomförts för varje tidsenhet. En tidsstudie utförs för att nå en eller flera av följande mål [20];

- Förbättring av arbetsorganisation och planering.
- Kontroll och uppföljning av operationer.
- Förbättring och jämförelse av arbetsmetoder, verktyg och maskineri.
- Att skapa data för prestanda och kostnadskalkyler.

För att utföra en tidsstudie behövs en klar förståelse av arbetsförhållanden, arbetsuppgiften och arbetarna. Arbetsuppgiften ska delas upp i sina individuella operationer som mäts enskilt. Detta möjliggör undersökning av olika arbetsmoment för att särskilja tidsåtgången för varje delmoment. Flera arbetsmoment kan mätas gruppvis för att tydligare beskriva en situation där individuell mätning vore olämpligt just för att flera arbetsmoment kan utföras oregelbundet alternativt parallellt.

En mätning kan ske av olika hjälpmedlen där arbetet exempelvis klockas med ett stoppur, elektroniska hjälpmedel eller filmas. Det finns en risk för att den person som utför tidmätningen påverkar arbetsmomentet med sin närvaro. Det är då kritiskt att arbetsmomentet förblir ostört och operatören får arbeta som vanligt [21]. I en ideal situation ska mätningen ske av en objektiv part utan inverkan på utförandet för att säkerställa en god representation av verkligheten. I tidsstudien kan det förekomma att operatören blir påverkad vilket reflekteras i resultatet med förskjutna resultat. Detta kan finnas flera orsaker som bidrar till detta. Exempelvis att person i fråga känner obehag av att vara under tillsyn. Det är då kritiskt att utföra tidsstudien där psykologiska faktorer minimeras. Åtgärder är då att införa anonymitet och klargöra syftet med tidsstudien för att få med sig medarbetarna.

För att beräkna genomsnittlig procentuell skillnad används ekvationen

$$\text{Relativ skillnad} = \frac{\sum t_{\text{mätt}}}{\sum t_{\text{sap}}} - 1, \quad (1)$$

som summerar observerad tid och dividerar med summan av planeringstider och subtraherar med ett. För att mäta en relativ genomsnittlig skillnad används ekvationen

$$\text{Teckenlös relativ skillnad} = \frac{\sum \left| \frac{t_{\text{mätt}}}{t_{\text{sap}}} - 1 \right|}{n}, \quad (2)$$

vilket summerar absoluttalen av differensen mellan observerade tider och planeringstider. Därefter divideras uttrycket med antal observationer och subtraheras med ett för att visa den genomsnittliga procentuella förändringen mellan förväntad och verklig tidsåtgång. Båda beräkningar ska genomföras för att bedöma precisionen av förväntad tidsåtgång av individuella operationer och för samtliga operationers tidsåtgång för att bedöma precisionen i helhet.

3. Metod

I detta avsnitt beskrivs samtliga moment vilka genomförts i projektet för att klargöra de omständigheter under vilket arbetet har utförts samt de antaganden som gjorts.

3.1. Kartläggning av nuläge

För att undersöka nuläget i produktionen ska en värdeflödesanalys genomföras. Denna kommer i ett första steg skapas utifrån tabellerad data och vartefter mer detaljerade undersökningar genomförs ska den att uppdateras för att återspegla verksamheten.

3.1.1. Tidsstudie

Fem olika modeller har valts ut för att observeras i tidsstudien. För att bilda ett underlag av tidsåtgången i de olika operationsstegen ska varje operation mätas med fokus på mellantider i de olika produktionsstegen. Då flera operationssteg varar i dagar samt att det fackliga avtalet förbjuder att enskilda individers arbetsinsatser mäts ska varje medarbetare själv mäta utfört arbete. De områden som ska mätas är svarv, automatsvets, svets, OFP, montering och kalibrering & provning. Medarbetarna får formulären tillgängliga vid varje respektive arbetsstation för att fastställa startpunkt och när de olika momenten är avklarade. Dessa formulär lämnas in i samband med inrapportering av uppdraget. Tider i dessa formulär sammanställs i kalkylblad och bearbetas till en beskrivning av brännartillverkningens individuella operationer. Eftersom medarbetarna mäter systemet själva klassas tiderna som sekundärdata. Brännarsatserna har en aktiv genomloppstid i brännartillverkningen av storleksordningen hundratals timmar och därmed bestämdes precisionen i tidmätningen till hela minuter.

En detaljnivå på fullständiga operationssteg valdes ut, där ett operationssteg motsvarar ställtid, operation, och avplockning. Vid utformningen av tidsformulären valdes det att flera olika operationer innefattas i varje tidsformulär. Medarbetaren ska markera aktuell modell och vilket operationssteg som genomförts, detta för att minska pappershanteringen som unika tidsformulär för respektive operationssteg hade inneburit. Eftersom det vore för komplext att inkludera samtliga operationssteg i ett gemensamt blad har de olika arbetsstationerna fått ett eget tidsformulär vilket är anpassat för dem.

På förslag av medarbetarna mäts produktionsstegen hos svets, svarv, rörpassning och OFP i hela batcher då det med de befintliga arbetsmetoderna förekommer det att arbetet utförs uppdelat i omgångar innan hela operationssteget är avklarat. Under de initiala omgångarna av tidsformulären har förbättringsförslag tillkommit där tidsformulären har uppdaterats för att förenkla utförandet av tidsstudien för medarbetarna. När tidsformulären är ifyllda lämnas bladen i ett dokumentfack tillgänglig på plats. Dessa blad samlas upp och förs in i ett kalkylblad som sammanställer mätdata.

3.1.2. Värdeflödesanalys

Värdeflödesanalysen (VFA) kommer att skapas utifrån operationslistan från tillverkningen. Detta då genomflödet inte är kontinuerligt och produktionen inte heller genomgått alla steg under arbetets genomförande. Tiderna som används kommer initialt från SAP, men när tillräcklig data samlats in uppdateras denna med mätta tider. Då tillverkningen sker i en mängd steg görs en VFA i två nivåer, där den första visar tillverkningens huvudsteg och den andra de ingående operationerna.

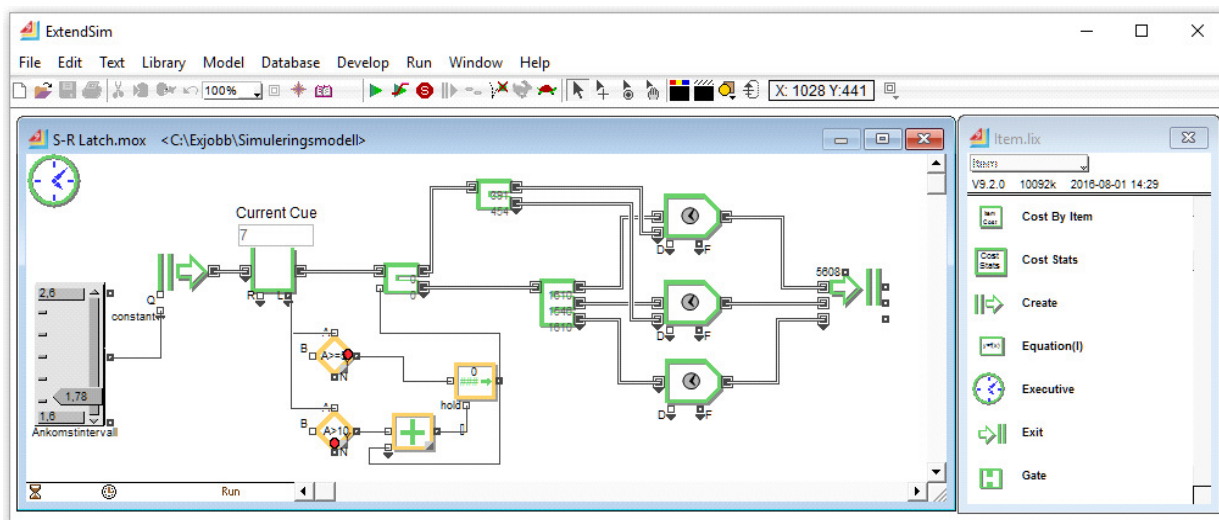
3.2. Simulering av produktion

3.2.1. Princip för simuleringsmodell

Det finns i grund och botten två sätt att modellera en produktionslinje; flödesmodell eller funktionell modell. Den sistnämnda byggs upp så att modellen motsvarar produktionens layout och ger då en tydlig fokus av en produkts rörelse och transporter. I flödesmodellen beskrivs istället produktionen enligt samma princip som i en värdeflödesanalys vilket ger fokus på utnyttjande av resurser och produkten i sig. Den funktionella layouten används med fördel vid utvärdering av layoutförändringar och framtagning av nya produktionsmiljöer, då genom att använda skalenliga mått och låta modellen själv räkna fram transporttiderna. Vid användning av flödesmodell är detta ej lämpligt då modellen inte beskriver verklighetens fysiska layout, utan endast hur produkter och information rör sig i produktionskedjan. Då fokus för detta examensarbete inte är placerat på produktionslayout kommer modellen att byggas enligt flödesprincipen.

3.2.2. ExtendSim 9.2

För att analysera produktionen ska ett simuleringsprogram användas, av dessa finns en stor mängd med olika för och nackdelar. På grund av erfarenhet och möjligheten att få en fullständig licens ska i detta arbete programmet ExtendSim 9.2 [22] användas. ExtendSim, tidigare Extend, är ett program för DES, SD samt enklare ABS vilket utvecklas av Imagine That!. Programmet ger goda möjligheter att integrera modeller med övriga system, genom inbyggd möjlighet att läsa och skriva direkt till kalkylblad och statistiska verktyg, samt har en väl fungerande databas för intern hantering av exempelvis processtider och resurstillgänglighet. En simuleringsmodell i ExtendSim byggs upp av en serie sammankopplade så kallade block vilka antingen kan hålla ett objekt eller enbart släppa igenom det. De block som kan hålla ett objekt används för att simulera exempelvis operationer, förflyttningar eller köer, medan övriga används för att antingen styra flödet av objekt eller läsa och skriva information, dessa block kan inte hålla ett objekt utan de passerar momentant. Dessutom finns en mängd block vilka inte hanterar objekt utan enbart används för att behandla eller presentera data [23]. Programmets gränssnitt tillsammans med en enkel modell kan ses i Figur 5.



Figur 5. Användargränssnittet i ExtendSim 9.2.

3.2.3. Framtagande av simuleringsmodell

Modellen kommer att byggas först som en serie av aktiviteter med flera ingående operationer enligt konceptet top-down, vilket innebär att en hel arbetsstations operationer representeras med en enda aktivitet. Därefter utvecklas varje aktivitet och fyllas med innehåll för att beskriva deloperationer i den utsträckning som bedöms nödvändig för att undersöka de förbättringsförslag som tas fram. Vartefter modellen byggs verifieras och valideras den genom att jämföra den mot existerande data både från individuella operationer samt i sin helhet. Den kontinuerliga verifieringen och valideringen är nödvändig vid uppbyggnad för att undvika att behöva felsöka modellens alla delar samtidigt, om modellen istället verifieras efter varje förändring av dess uppbyggnad säkerställs att dess delar och helhet fungerar tillfredsställande.

Modellen kommer att byggas med grundtanken att allt som är möjligt ska modulariseras. Detta ger möjlighet att snabbt anpassa modellen för att prova nya scenarion samt vid ändring av produktionsflödet. De moduler som skapas sparas därefter i ett bibliotek där ändringar uppdateras rekursivt, detta kommer att underlätta vid verifiering och validering då alla modulblock av en sort alltid ser lika ut och fungerar identiskt. För att underlätta hanteringen av tider och mätdata ges alla moment ett operations-id vilket ger, tillsammans med brännartypen och operationstypen, vilken operation och vilken adress i databasen som skall användas. Genom detta system görs det möjligt att ha endast ett litet antal tabeller i databasen, vilket i sin tur underlättar vid felsökning.

3.3. Utvärderingspunkter

Lämpligt antal repetitioner och längd på simulering kommer att utvärderas innan de faktiska försöken påbörjas. En analys av följande åtgärder har efterfrågats då de bedöms vara genomförbara i den verkliga produktionen. Dessa variabelers effekt på produktionens flöde kommer att utvärderas var för sig samt i kombination genom scenariohanteraren i ExtendSim. Resultatet presenteras i form av en sammanställning av respektive resultat från ett antal repetitioner. I de fall där istället variationen över tid är av intresse presenteras också ett diagram med ledtid, PIA och veckoproduktion.

3.3.1. Val av simuleringslängd och antal repetitioner

För att finna lämplig längd på simulering ska modellen köras och ett stabilt läge identifieras. Detta kommer att göras genom att först köra en simulering under lång tid för att finna när ledtid och PIA har stabiliserats. Därefter körs ett antal successivt längre simuleringar till dess att även de numeriska värdena har stabiliserats och standardavvikelsen är rimlig.

3.3.2. Känslighetsanalys

För att se hur känslig modellen är för variation i operationstider introduceras en faktor α vilken skapar en likformig triangelfördelning utifrån SAP-tiderna enligt

$$Triangel_{min,max} = t_{sap} * (1 \pm \alpha), \quad (3)$$

vilket tillämpas på samtliga tider, även ställtid. Medianen i triangelfördelningen sätts här lika med den förväntade tiden tagen från SAP. Faktorn varierar därefter för att se dess inverkan på led- och cykeltid samt hur den påverkar variansen för dessa.

3.3.3. Bemanning och arbetsstationer

Då dagens produktion inte når önskad volym kommer bemanningen en försöksserie köras med varierad bemanning av arbetsstationerna. Detta kommer att genomföras först för den batchstorlek som används i dagsläget samt därefter även för den batchstorlek som vid anpassad bemanning visar störst potential till förbättring. För samtliga scenarion varierar först operationstyperna en och en, och vid behov körs sedan ytterligare försök där kritiska antal provas tillsammans.

3.3.4. Batchstorlek

Med minskning av ledtiden som mål finns en drivkraft för att sänka batchstorleken. Detta bör även ge en reduktion av antalet PIA samt jämna ut belastningen något, så länge belastningen är lägre än den maximala kapaciteten. För att klara av den önskade årsvolymen och för att få ett användbart läge görs följande antaganden:

- Förbättrat läge från bemanning och arbetsstationer används, detta för att önskad årsvolym inte nås med dagens bemanning.
- Då ställtiderna i SAP är långa gör antagandet att arbetssättet måste ses över och därför används en faktor för ställtidskorrigerings. I simuleringen sätts denna till

$$\beta = \frac{\text{Antal per turbin}}{\text{Batchstorlek}}. \quad (4)$$

4. Resultat och Analys

I detta avsnitt presenteras en sammanställning av resultaten tillsammans med analys och kommentarer relaterat till detta.

4.1. Kartläggning av nuläge

Brännarnas samtliga komponenter tillverkas av underleverantörer som levererar till SIT, det finns ingen egen tillverkning av dessa på plats utan enbart montering. De olika leverantörerna har viss variation i materialet vilket medför att framför allt svetsning och svarvning måste anpassa sina parametrar och därmed också operationstider. En av parametrarna som varierar är svavelhalten i materialet där båda leverantörer är inom toleranserna men är tillräckligt olika för att svetsparametrarna måste anpassas i svetsoperationen. Produktionsordrar kommer till produktionen från en planerare, vilken i sin tur hämtar nuvarande behov från SAP och prioriterar om då det behövs, dessa omprioriteringar sker relativt ofta och medför att påbörjade operationer kan behöva avbrytas varpå en order med hög prioritet får gå före, detta ger en förkortning av ledtiden för just den ordern men får eftersvallningar i övrig produktion då ledtiden blir längre för övriga ordrar. Dessa omprioriteringar sker för att det byggs brännarsatser på spekulering för potentiella kunder.

Eftersom det inte fastställts vilken brännarmodell som ska sitta på kundens turbin beställs det två brännarsatser av försäljning. När den potentiella kunden blir en officiell kund med specificerad order avbokas den extra beställda brännarsatsen eller ställs i lagret vilket innebär att brännaravdelningen belastas i onödan. När en potentiell kund blir en officiell kund kan det ske att deras brännarsats blir högre prioriterad i produktionen vilket fördröjer andra turbiners brännare när de prioriteras i efterhand och blir sena. Planeraren eftersträvar att hålla cirka 80-120 uppdrag i produktion samtidigt, detta då en order aktiveras när materialet beställs ut och det är lång leddid på internt transporter. I den kvalitativa undersökningen av brännaravdelningen framkom det att komponenter kopplas till en specifik kund från start fastän de är identiska i tidigt stadiet av produktionen. En värdeflödesanalys är genomförd och kan ses i Bilaga B, denna har sedan legat till grund för simuleringsmodellen.

På grund av leveransstörningar av material, låg bemanning och flaskhalsar har produktionen anpassats till de komponenter som finns tillgängliga så långt som möjligt, dock har det hänt att det gått så långt att det förekommer periodvis arbetsbrist. Detta resulterar i att det under examensarbetet inte gått att följa ett normalfall för produktionen så som den sett ut.

SAP är ett verktyg som anpassats för att passa hela organisationen vilket innebär att det krävs en stor insats för att genomföra förändringar i systemet som kan underlätta i produktionen. Detta har lett till att interaktioner med SAP har försvårats och att systemets fulla potential inte nyttjas. En produktionstekniker arbetar med SAP på plats hos brännartillverkningen som ger understöd vid behov när avvikelser uppstår. Samtliga medarbetare rapporterar genomförda operationer till SAP. De specifika uppdragens tidsåtgång är definierade i SAP. Vid planering antas en arbetare ha en viss del effektivt arbete per dag, detta för att hinna med exempelvis daglig styrning och toalettbesök. Den tillgängliga effektiva tiden skiljer sig mellan olika planeringsnivåer vilket kan skapa problem. I detta arbete har den lägsta nivån använts som referens, vilket innebär 80 % effektiv arbetstid per medarbetare och dag. Som jämförelse kan nämnas att på strategisk nivå ligger motsvarande andel på 85 %. Orsaken till att olika procentsatser används är okänd, men skillnaden ställer till problem med planeringen.

4.1.1. Tidsstudie

Sammanställningen av tidsstudien och dess jämförelse med planeringstider presenteras i två format.

Tabell 2. Genomsnittlig relativ avvikelse mellan mätta och SAP-tider.

<i>Operationstyp</i>	<i>Ställtid</i>	<i>Operationstid</i>	<i>Genomsnittligt</i>
			<i>Fel (minuter)</i>
Svets	65%	22%	13,6
Svarv	90%	55%	24,4
OFP	-	90%	7,0
Montage	-	33%	15,2
Provning & Kalibrering	58%	53%	25,0

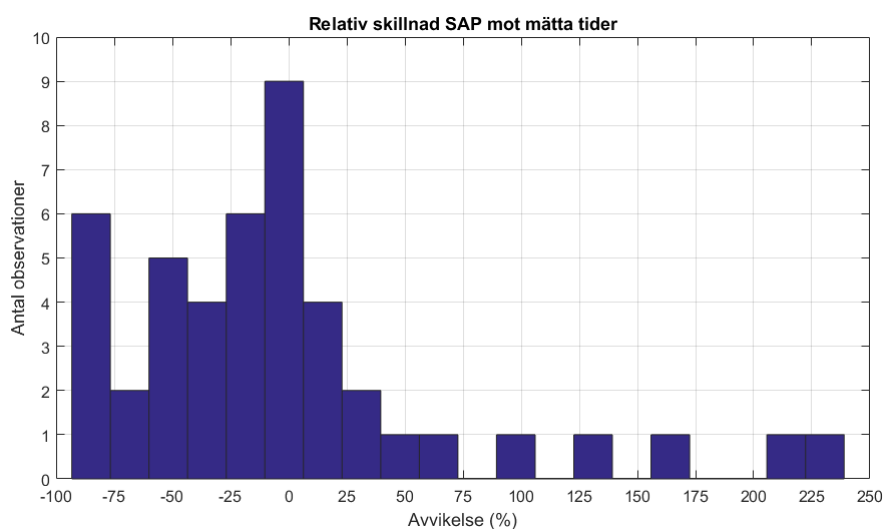
I Tabell 2 visas en sammanställning av den genomsnittliga procentuella skillnaden mellan de mätta tiderna och planeringstiderna från SAP. De insamlade tiderna och planeringstiderna har sorterats och sammanställts till respektive stationstyp samt i kategori ställtid och operationstid. En genomsnittlig skillnad i operationstid minutvis presenteras för att förtydliga avvikelsernas storlek. Procentsatserna visar hur det skiljer sig i genomsnitt från planeringstiderna utan hänsyn till vilken riktning avvikelsen verkar. För de områden som saknar värden har inga mätpunkter samlats in under perioden examensarbete har varat. Det kan ses i Tabell 2 hur mycket planeringstiderna i genomsnitt avviker i jämförelse med de mätta tiderna för att visa den relativa storleken på felet och hur låg precisionen är.

Tabell 3. Procentuellt fel mellan mätta och SAP-tider.

<i>Operationstyp</i>	<i>Ställtid</i>	<i>Operationstid</i>
Svets	2,7 %	1,0 %
Svarv	-7,5 %	-57,0 %
OFP	-	38,6 %
Montage	-	-33,7 %
Provning & Kalibrering	-50,5 %	-40,5 %
Samtliga	-10,6 %	-14,0 %

I Tabell 3 visas en sammanställning av de procentuella avvikelserna mellan mätta tider och planeringstider med hänsyn till vilken riktning avvikelsen har för att klargöra om det tar längre eller kortare tid. Det resulterar i att avvikelser kan kompensera för varandra och att felen döljs när avvikelserna fördelar sig likvärdigt i båda riktningar. Relativt planeringstiderna visar de negativa procentsatser hur mycket mindre tid det tar jämfört med förväntat tid från SAP. Det finns en sammanställning för varje område och en för hela systemet, med samtliga tidsoperationstyper inräknade, med sina respektive resultat. Det ses när systemet i sin helhet sammanställs att operationstid och ställtid är mindre i tidsstudien än i SAP:s egna tider. Procentsatserna i de olika operationstyperna är direkt beräknade av de totala tiderna i tidsstudien och planeringstider. Procentsatserna är inte direkt jämförbara med varandra då de utgår från olika tider.

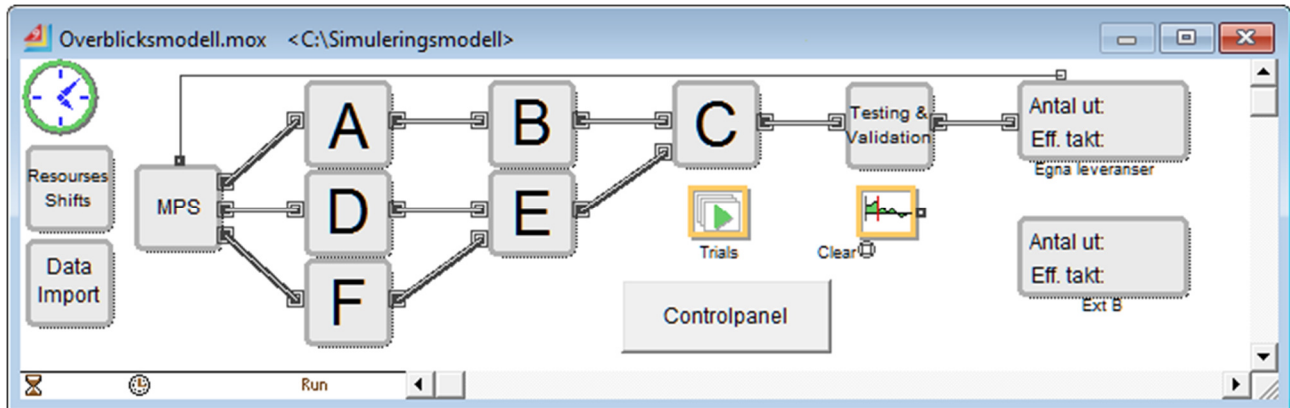
För att ge en bild av hur avvikelserna är fördelade skapades ett histogram för den relativa skillnaden, Figur 6. Detta visar antalet observationer inom respektive intervall fördelat över 20 grupper motsvarande 18 %. Den första gruppen, med en tid motsvarande 88-100% kortare än SAP, består av kalibreringen, vilken under projektets gång har bytt arbetsätt och därmed kraftigt reducerat sin operationstid.



Figur 6. Relativ avvikelse för mätta tider jämfört med SAP.

4.2. Simulering av produktion

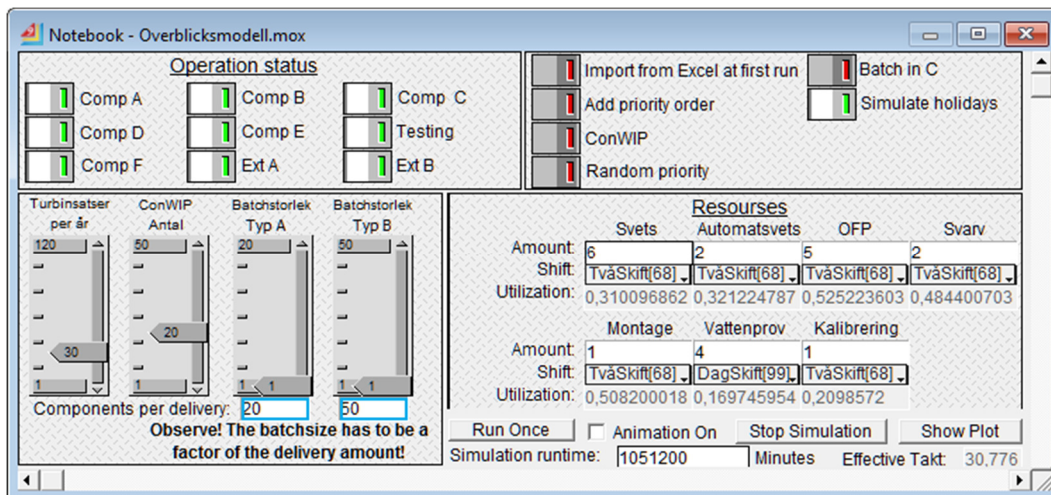
Simuleringsmodellen byggdes upp enligt flödesprincipen och visar i sin huvudnivå, se Figur 7, produktionen från det att delarna kommit till avdelningen till dess att de färdigkalibrerade brännarna packats till en turbinsats och är klara att avtransporteras till antingen lager eller slutmontering.



Figur 7. Översiktsbild av simuleringsmodell.

Flödet går från vänster till höger i modellen och varje block motsvarar en funktion eller ett delmontage. Blocket märkt "MPS", Master Production Schedule, innehåller funktioner för skapande av beställningar och tilldelning av prioritering och attribut till dessa. De sex följande blocken (A-E) motsvarar respektive delmontage och brännarna hanteras här i batcher. "Testing" innehåller ett antal kvalitetstester samt en slutkalibrering.

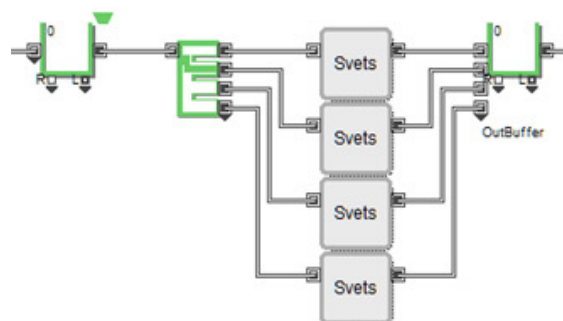
För bästa flexibilitet finns möjlighet att sätta ihop batcherna till turbinsatser antingen först i SMST eller först i "Testing". Detta för att simulera både dagens läge och ett framtida läge med samma modell. Det sista blocket i kedjan utför beräkningar för takt och PIA samt innehåller funktionerna för att presentera dessa. Blocket under detta innehåller en funktion för att kalibrera brännare från en extern leverantör, detta delar resursen för kalibrering med den egna produktionen och finns därför med då den skulle kunna bli ett problem vid ökning av orderingång, denna är byggd så att den matchar takten på det egna flödet. Längst till vänster i modellen finns två block som inte är del av flödet, dessa innehåller resurshanteringen och funktionen för import av data från kalkylblad. Slutligen finns en knapp för att aktivera kontrollpanelen, där de mest kritiska simulationsparametrarna och vald utdata finns presenterad, se Figur 8.



Figur 8. Kontrollpanel.

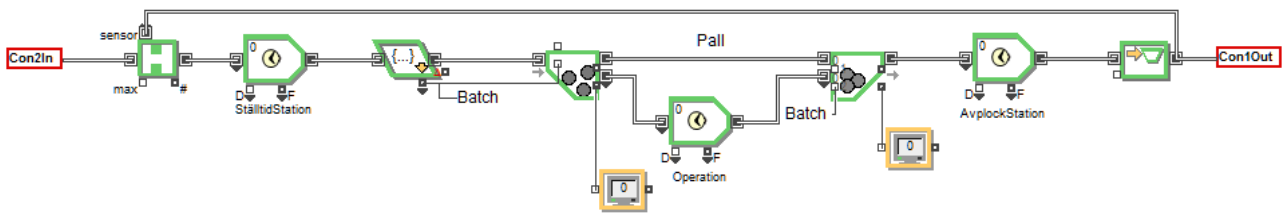
Kontrollpanelen är uppdelad i fem områden, paneler; operationsstatus, funktionsval, batchhantering, resurshantering och simulationskontroller. Operationsstatus har ett antal knappar vilka ger en möjlighet att blockera respektive funktion för känslighetsanalys. Funktionsvalen styr principerna för ordringång och import av data, dessutom finns här en knapp för att manuellt lägga in en högprioriterad order, en så kallad 6:a. Knappen slumpad prioritering är inlagd för att simulera dagsläget där det med jämna mellanrum kommer in beställningar som frångår FIFO-principen och ersätter därför denna med en slumpad prioriteringsordning. Reglagen i panelen nere till höger styr behovet, samt vid ConWIP, antalet ordrar i systemet, samt batchernas storlek. Resurspanelen ger en samlad överblick över de resurser som finns tillgängliga, vilken skiftgång de tillämpar samt hur hög beläggingsgrad de har. Simuleringskontrollerna syns längs ned till höger och är till för att enkelt nå de funktioner som behövs för att köra simulationen och en knapp för att öppna ett diagram med veckoproduktion, ledtid och antal PIA, räknat i turbinsatser.

Produktionens delmontage är modellerade som raka flöden med gemensamma resurser. Varje flöde består av köer, modulära operationer samt moduler för att hantera adressering av operationerna. En operation påbörjas med att vänta på en tillgänglig resurs, därefter genomförs operationen och resursen återlämnas varpå detaljen placeras i nästa kö för vidare arbete. Ett exempel på detta ses i Figur 9.



Figur 9. Svetsoperation med upp till fyra parallella arbeten och resurshantering.

Varje operationsblock, innehåller aktiviteter och andra block för att simulera ställtider och operationstid för varje detalj, exempel på ett sådant kan ses i Figur 10.



Figur 10. Svetsoperationens delsteg.

Funktionerna i operationen är, från vänster, ett block för att säkerställa att enbart en batch befinner sig i operationen, därefter ställtid. Nästa block läser av batchstorleken och separerar brännarna från lastbäraren varpå operationen görs klart för alla brännare, en åt gången. Slutligen packas delarna tillbaka på lastbäraren, operatören plockar undan och rapporterar in sitt arbete i produktionssystemet och resursen återlämnas till resurspoolen. De två block med orange bakgrund som ”hänger” under flödet är till för att förenkla diagnos av modellen genom att tydligt visa antalet brännare som befinner sig i respektive packningsmoment.

4.3. Utvärderingspunkter

Med hjälp av simuleringsmodellen, beskriven ovan, har ett antal åtgärder utvärderats, nedan presenteras tendenser och observationer som gjorts från dessa. Då resurserna, i form av bemanningen, i dagsläget inte räcker till för att tillgodose den begärda produktionsvolymen har de flesta utvärderats utifrån ett förbättrat läge med ändrad skiftgång för OFP, svarv och automatsvets.

4.3.1. Antal repetitioner och simuleringslängd

Tabell 4. Utvärderade simuleringslängder och standardavvikelser.

<i>Månader</i>								
<i>/Standardavv.</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>9</i>	<i>12</i>	<i>24</i>	<i>60</i>	<i>120</i>
Årstakt	-	20,1	4,7	3,7	1,8	1,8	0,7	0,4
PIA	63,8	13,9	33,0	15,5	21,3	15,5	17,6	8,1
Ledtid	-	85,1	40,4	94,8	88,2	61,2	54,6	50,4

En tillräckligt lång simuleringslängd togs fram genom att köra fem repetitioner vardera enligt Tabell 4. I tabellen presenteras standardavvikelserna för respektive simuleringslängd utan enhet, dock ses att det som förväntat finns en tydlig tendens till stabilisering vid ökad längd. I de första fyra fallen har ännu inte produktionen nått sitt normalläge utan här finns fortfarande tendenser till uppstartseffekter. Vid tolv månaders längd har simuleringen nått ett stabilt läge för de indata som valts, detta är egentligen tillräckligt för att nå önskad kvalitet på resultaten, men då standardavvikelserna minskar något och den extra tidsåtgången för varje repetition enbart är omkring tio sekunder valdes det att köra simuleringen 24 månader. Detta ger dessutom marginal för de fall där uppvärmningstiden blir längre.

Med utgång från den första analysen kördes simuleringen 50 repetitioner varpå standardavvikelsena räknades fram för 3, 5, 10 och 50 repetitioner. Vid tre repetitioner fås en hög standardavvikelse vilket tyder på att detta antal är för lågt. Avvikelsen blir betydligt lägre när antalet ökas till fem, medan ytterligare ökning inte ger någon signifikant förbättring, trots den längre tiden. På grund av detta valdes att köra följande simuleringar fem repetitioner.

4.3.2. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen med förändrad varians men bibehållet medelvärde visar att effekten på längre tid är begränsad. Ledtiden blir aningen längre även om variansen för denna blir större. Effekten är mindre än väntat men beror troligen på att det finns tid att ta igen variansen samt att då de tillverkas i batch med variansen per styck blir summan av varians ganska låg. Med minskad batchstorlek blir skillnaden tydligare men är fortfarande liten.

4.3.3. Batchstorlek

Det kan ses att när batchstorleken blir lägre och antalet batcher ökar i antal får ställtiden för respektive order en mycket större betydelse då varje batch genomgår en ställtid. Detta betyder att arbetssättet måste ändras vid en minskning av batchstorleken och detta kompenseras för genom att minska ställtiden proportionerligt mot batchstorleken. Efter denna kompensation är den primära förändringen att antalet PIA minskar, och även ledtiden.

4.3.4. Bemanning

Det vore i dagsläget möjligt att minska antalet svetsare utan att påverka produktionstakten, men om denna höjs blir antalet kritiskt, detsamma gäller även monteringen. Det skall dock nämnas att monteringen har andra arbetsuppgifter vilka inte är kopplade mot brännartillverkningen, något som förklarar den låga utnyttjandegraden. Bemanningen är som nämnt ovan inte tillräcklig i dagsläget, och från simuleringen av bemanningsvariationer ses att flaskhalsarna ligger i OFP, svarv och automatsvets. Genom att öka bemanningen i dessa tre stationer fås möjligheten att öka produktionstakten till en teoretisk maxkapacitet på omkring 150 % av nuvarande tak. I dagsläget nås inte kapaciteten på grund av materialproblem, därför kompletteras den egna produktionen med en extern leverantör.

5. Diskussion

Denna del innehåller diskussion kring arbetets utförande och de problem som uppstått under arbetets gång.

5.1. Kartläggning av nuläge

5.1.1. Tidsstudie

Tidsstudien varade under en för kort period. I simuleringsmodellen inkluderades fem olika brännarmodeller med tidsvariationer mellan sig. Möjligheten att samla mätdata för varje modells individuella operationssteg har varit högst osannolik då det inte kunde garanteras att samtliga brännarmodeller skulle finnas i produktionen. Genomloppstiden för en brännarsats är lång och det har inte varit ett tillräckligt stort genomflöde av brännare under mätperioden för att bilda ett välgrundat statistisk underlag. För att få ett tillräckligt stort underlag var ambitionen att mäta brännarna styckvis men detta var inte genomförbart när större delar av arbetet inom enskilda stationer skedde parallellt och i vissa fall delades upp. Detta gäller speciellt svetsoperationerna där arbetsstycket behöver svalna av mellan olika svetsmoment för annars riskerar materialet förvrängas i nästa svetsoperation. Under den tid som materialet svalnar påbörjades operationen på nästa arbetsstycke. I svarv och automatsvets förekommer det att flera batcher genomgår det första produktionssteget i grupp för att undvika fler antal ställ i produktionen. Situationer som dessa har bidragit till att tidmätningen behövde utföras batchvis. Detta har även underlättat genomförandet av tidsstudien för medarbetarna där antalet interaktioner med tidsformuläret minskade till en fraktion. För att kompensera för avsaknaden av insamlad data har identiska operationer likställts tidsmässigt mellan brännarmodeller, specifikt sker detta för komponenten swirlkona. Montaget är identiskt och genomförs med samma fixturtyp där toleranserna är anpassade till ett medelvärde mellan de olika modellerna för att i en senare operation kalibreras till specifik brännarmodell.

I provning har antalet arbetare växlat mellan en och tre vilket inte har påverkat den mätdata som samlats in där. Mätningen inkluderar arbeten där de har varit en till två personer på arbetet och ingen hänsyn har tagits till den variationen då det inte har varit en tydlig inverkan. I kalibrering har det varit två personer på arbetsstationen där den ena personen är under upplärning. Det kan ses i tiderna att det inte har blivit en signifikant skillnad i de insamlade tiderna förutom att de har undvikit att ta rast samtidigt. I provning och kalibrering har det under projektets gång införts ett kanbansystem för att reglera antalet brännarsatser i omlopp, detta har inte haft någon synbar inverkan på tidsstudien.

I utformningen av tidsloggen togs det stor hänsyn till att underlätta tidsinsamlingen för medarbetarna. Hänsyn togs till de förslag och åsikter som framfördes för att förbättra utförande av tidsstudien. Ett exempel är att ambitionen att mäta brännarna styckvis förändrades efter respons från svetsarna. Det gick igenom hur en styckvis mätning skulle genomföras men slutsatsen var att det inte skulle avvika från det befintliga arbetssättet och därför bedömdes mätningen till att utföras batchvis. Det finns en brist i tidsformuläret där avvikelser som att en har gått hem för dagen inte lyfts fram som en av tiderna att antecknas. Där har en kvalitativ bedömning genomförts för att avgöra om arbetet har skett i en eller flera dagar och en kompensation bortfall av tid över natten har dragits bort. Medarbetarna har till viss del antecknat detta i kommentarsfältet på eget initiativ. Övertidsarbete presenterar ett problem i den situationen där det inte tydligt framkommer om det sker.

Att det tilläts i tidsstudien att medarbetarna själva mäter egna prestationer var ett oundkomligt beslut då det fackliga avtalet förbjuder att individuella arbetsinsatser från medarbetarna mäts. Eftersom de själva har utfört mätningarna klassas det insamlade mätdata som sekundärt då det inte har funnits en kontroll över hur medarbetarna har genomfört mätningen. Detta har medfört risker för felaktigheter som systematiska fel, inkonsekvent mätning, egenbedömda tidsuppskattningar, inkorrekta tidsnoteringar, uteblivna mätningar och avvikelsernoteringar. Det har förekommit att mätningar uteblivit vilket har bidragit till att en komplett samling tider inte finns. Alla operationer har ej heller genomförts under den period examensarbetet varat. En fördel av att medarbetarna utförde tidsstudien var att det inte orsakades ett obehag av att en utomstående part som mäter dem och att de har fortsatt arbeta oförändrat. Det finns en tendens att medarbetarna siktar på planeringstiden före respektive arbete. Om de hamnar före i arbetet kan det ske att de tar det lugnare eller gör något annat. I kombination av periodvis sysslolöshet finns det ingen anledning att hamna före planeringstiderna.

De tider som samlats in har inte varit tillräcklig eller precis nog för att bilda ett statistiskt underlag. För att åtgärda detta vore att utföra en tidsstudie med en egen kontroll av genomförandet av mätningar. Flera arbetsstationer saknar eller följer inte ett standardiserat arbetssätt vilket bidrar till avvikelser i hur arbetarna genomför arbetet. Arbetsbordet hos OFP har inte alltid utrymme nog för att utföra arbetet på samtliga komponenter parallellt, vilket innebär att en batch med större arbetsstycken delas upp till mindre grupper och att en med mindre arbetsstycken klumpats ihop med andra arbetsstycken. Detta sker när det inte finns en risk för att innehållet i olika batcher kan förväxlas. Flera batcher inom en batch innebär ett större antal ställ och att de som tillkommer hamnar under operationstid. De insamlade mätvärdena från OFP är då inte representativa för att operatören har ett arbetssätt som är förenklat i tidsformulären. Detta problem framkom inte tidigt nog i tidsstudien för att korrigeras utan läts vara under resterande tiden av examensarbetet.

De tider som samlats in har sammanställts i ett kalkylblad där de arbetsmoment som inte utfördes under studieperioden kan fyllas ut med tider från SAP. I sammanställningen bearbetades tiderna för att bilda stycktider av operationerna. Detta har varit för att simuleringsmodellen ska klara av att hantera förändringar i batchstorleken. De tider som samlades in var samtliga under bedömning, hur länge arbetet varade och matchar det med skiften eller är det overtidsarbete, har det varit mer än en person som har utfört tidsloggen, är det någon större avvikelse i tider som inte antecknats, vilka avvikelser har skett och hur påverkar de, hur mycket varierar eller stämmer insamlade tiderna överens med de planerade tiderna.

I sammanställningen för jämförelse av insamlad data och SAP-tider har inte en fullständig analys utförts då det inte finns mätpunkter på samtliga aktiviteter. Den insamlade mätdata jämfördes med dess motsvarighet i SAP för att ta reda på hur mycket det skiljer sig mellan dem. Att de operationerna tar mindre tid i verkligheten än i planeringstiderna var förväntat då det har getts utrymme för att hantera mindre kritiska produktionsstörningar.

5.1.2. SAP

De planeringstider som använts är tagna från Siemens egna affärssystem SAP. Tidernas ursprung och vad de innehåller är okänt men de uppdateras av produktionstekniker på plats hos brännaravdelningen för bättre stämning överens med verkligheten. Det förekommer ett beräkningsfel i SAP där den summerar ställtider på ett inkorrekt sätt. Den hanterar ställtiden som en stycktid när den egentligen är tiden för en hel batch. Det har förts en dialog med produktionsteknikern för att hantera tider som sticker ut. Tiderna i SAP, i produktion och simuleringsmodellen är annorlunda definierade. I SAP är det två klumpsummor av hela batchen på operationstid och hanteringstid som inkluderar omkringliggande arbete som behövs för att genomföra och avklara uppdraget. I verkligheten är de delvis beblandade då en hanteringstid förekommer under operationen när de batchar internt. I simuleringsmodellen är de uppdelade i stycktid i kategorierna ställtid, operationstid och avplock.

5.1.3. Värdeflödesanalys

Den värdeflödesanalys som är genomförd är inte gjord enligt normalt arbetssätt då det inte är möjligt att följa produktionen av en enskild produkt eller batch utan att spendera flera månader. För att kompensera för detta har en dialog förts med de ansvariga för produktionen; avdelningschef, produktionstekniker och planerare. Dessutom har data hämtats från företagets system produktionsstyrning för att skapa en bild av det historiska läget.

5.2. Simulering av produktion

Produktionssimulering är ett kraftfullt verktyg för att utvärdera vad som kommer att hända när en åtgärd planeras. Något som är viktigt är att validera modellen regelbundet och att kritiskt granska det resultat som fås ut, manuella beräkningar för tider är här ett bra stöd för att kontrollera att modellen ger korrekt resultat. Genom att addera tiderna fås en bild av vilket område resultatet från simuleringen bör hamna. Något som visat sig vara ett problem är att varje gång en funktion läggs till eller ändras måste inte bara den specifika funktionen utvärderas, utan även hela modellen då flera andra funktioner ofta påverkas. Vid ett flertal tillfällen har problem uppstått vilka inte upptäckts vid första utvärderingen men senare visat sig när modellen nått ett kritiskt läge.

Vid simulering av produktion finns två sätt att se på produktionen; antingen modelleras den med arbetstid så som den ser ut i verkligheten eller så antas den vara kontinuerlig utan att ta med nattuppehåll, helger, semester och/eller liknande. Det senare ger en enklare modell, och om enbart exempelvis genomsnittlig produktionstakt eller resursutnyttjande efterfrågas är det en smidig lösning på problemet. I detta fall efterfrågades dock bland annat effektiv årskapacitet, ledtid och återhämtningstid efter stopp, något som gjorde det svårt att simulera kontinuerligt då den totala ledtiden i det fallet enbart fås i produktionsstimmar, där helger och liknande inte tas med. Genom att modellera semester, helger och nätter ges också en bild över hur beläggningen i produktionen ser ut över året, något som förenklar vid diskussion med personer som saknar tidigare erfarenheter av simulering och dess resultat.

Modulariseringen av simuleringsmodellen har gjort arbetet smidigt då det anpassats efter övriga delar men metoden att skapa identiska block med intern adressering kan skapa begränsningar i de fall där operationerna skiljer sig i utförande. Fullständiga simuleringsresultat kan ses i Bilaga D.

5.3. Utvärderingspunkter

En simulering kan aldrig bli bättre än dess indata. Med detta som utgångspunkt är det uppenbart att de resultat som presenterats måste läsas kritiskt, då de flesta simuleringsscenarion körts utifrån planeringstider, SAP. Genom att ändå köra simuleringarna fås en bild av hur systemet i helhet kan väntas reagera vid de olika förändringarna. Modellen byggdes enligt principen top-down utifrån den VFA som genomförts, vilket underlättade det tidiga arbetet och förståelsen för produktionen. Denna utgångspunkt gjorde också det möjligt att snabbt skapa en bild över var de största potentialerna och problemen fanns. Modellen kunde på detta sätt enkelt valideras på toppnivå och därefter stegvis fyllas med mer detaljer. Användningen av databaser för kontroll av simuleringsparametrarna möjliggör dels koppling mot Excel för enkel hantering, dessutom skapas, som de är använda här, möjligheten att använda moduler. Modulerna löser problemet med att hålla operationernas uppbyggnad konsekvent och uppdaterad och gör att valideringen vid förändring enbart behöver göras en gång per operationstyp då de är identiska.

5.3.1. Simuleringslängd och antal repetitioner

Dessa två parametrar är kritiska vid analys av ett system. För att kunna förlita sig på en simulering måste de vara satta så att modellen har hunnit ta sig förbi uppvärmningsstadiet och att de värden som söks har stabiliserat sig. Idealt ska modellen köras en mycket lång tid, eller i extremfallet, mot oändligheten, något som av praktiska skäl inte är möjligt. Istället måste längden vara så pass kort att modellen hinner köras, helst flera gånger. Då en modell av typen som används här innehåller stokastiska element, i form av beställningsintervall och operationstider, kommer den att behöva köras mer än en gång för att ge ett tillförlitligt resultat. Detta antal kan antas till ett värde om så önskas, men här har valts att istället välja antal repetitioner genom experiment, vilket säkerställer att det är högt nog för att ge tydliga resultat, men också så pass få att en mängd olika scenarion hinner köras.

5.3.2. Batchstorlek

Att minska batchstorleken är önskvärt då det i de flesta fall leder till en kortare ledtid. Det ställer dock stora krav på att minimera tidsåtgången för varje ny batch. Då ett förändrat arbetssätt är en förutsättning för att klara den önskade produktionstakten infördes faktorn för att minska ställtiden i proportion till storleken på varje batch. Att ha i åtanke vid minskning av batchstorlek är att även om produktionen av en individuell brännare får kortare ledtid ska leveransen från produktionen ske i hela satser, nyttan av förändringen blir då istället fokuserad på en ökad flexibilitet, som resultat av kortad operationstid, istället för ledtid. Ett möjligt sätt att minska påverkan av ställtider är att produktionen kan styras så att batcherna sekvenseras efter produkttyp vilket leder till att antalet ställtider minimeras. I analysen fanns det att extremfallet med övergång till enstycksproduktion skulle kräva en total omstrukturering av produktionen och mycket högre leveranskrav när en kontinuerlig produktionslinje skapas.

5.3.3. Bemanning och arbetsstationer

Bemanningsbehovet utvärderades i flera steg, där det kom fram att nuvarande personal bör kompetensutvecklas för att klara beläggningen i OFP och svarv. Alternativt behöver det nyanställas personal eller genomföra en omstrukturering av arbetssättet. Ytterligare alternativ kan vara att i större utsträckning ta hjälp av andra avdelningar på företaget. Resultatet från denna tar enbart hänsyn till arbete som görs inom ramen för brännartillverkningen, i verkligheten förekommer även en mindre mängd andra arbeten inom avdelningen.

6. Slutsatser

I denna del presenteras de slutsatser och rekommendationer som tagits fram baserat på resultatet från arbetet.

I examensarbetet utfördes mätningar i tidsstudien om batcher då den befintliga tidsstudien inte hanterade alla arbetssätt väl. Mätning på hela batcher är ej idealt när batchstorleken förändras och därför är en mer utförlig tidsstudie önskvärt för att bättre beskriva tidsåtgången för varje operation av en enskild brännare. Mätningar utfördes av medarbetarna själva för att inte hamna i konflikt med facket vilket har orsakat att insamlad data klassas som sekundär utan insyn i hur mätningen genomfördes och under vilka omständigheter.

I produktion har det förekommit produktionsvarianser just för att det finns fler än nödvändig mängd variationer av brännarmodeller. För att minska variansen i produktion bör det genomföras ett standardiseringsinitiativ där mängden komponenter och modeller reduceras. Alla arbetsstationer har inte ett standardiserat arbetssätt eller följer inte det befintliga standardiserade arbetssättet. Detta bör åtgärdas för att minska variationer i tillverkningen och att bättre klara av att förutsäga framtida produktion. Det finns utrymme för att se över konstruktionen av brännarna med ett produktionsperspektiv för att förenkla tillverkningsprocessen och introducering av automatiserade svetsrobotar. Det förekommer även olika kvalitetskrav mellan egentillverkad och inköpt brännare. De inköpta brännarna har för vissa delar lägre toleranskrav.

I dagsläget finns ett antal automatsvetsar på avdelningen för svetsning av rörskarvar, en är dock i behov av att bytas ut, vilket om rätt utrustning köps in kan höja produktiviteten för denna resurs. Svarv och OFP är kritiska resurser för avdelningen då det inte finns något alternativ till dessa, vilket innebär att vid problem eller underhåll måste kapacitet lånas från andra avdelningar. Genom tillförsel av ytterligare resurser kan detta problem minimeras.

Från simuleringsresultatet går det att utläsa att den inte behövs någon stor omstrukturering för att klara det mål som är uppställt, utan det går att nå dit enbart genom anställning av ytterligare personal eller vidareutbildning av befintlig. Genom ytterligare mindre investeringar finns möjlighet att ta hem hela produktionen. Simuleringsmodellen ger möjlighet att på kort tid och med minimal arbetsinsats undersöka vilka åtgärder som skulle resultera i den största ökningen av produktiviteten vilket sedan kan ställas i proportion till kostnaden för att genomföra åtgärden. Baserat på simuleringsresultatet är rekommendationen att minska batchstorleken från dagens läge för att nå en lägre ledtid och högre flexibilitet i produktionen, detta kräver dock en utveckling av arbetsmetoderna.

7. Fortsatt Arbete

I denna del presenteras några av de punkter vilka bör utföras för att få en bättre bild av verksamheten samt hur arbetet kan utvecklas i framtiden.

En förbättrad tidsstudie behöver genomföras för att bättre hantera de två dilemman som projektet har fått handskats med.

Ett standardiseringsinitiativ på modeller, komponenter och arbetssätt skulle behövas för att bättre förutsäga produktionen.

Flera artiklar med olika artikelnummer är egentligen identiska och har enbart olika nummer för att hålla dem grupperade efter maskintyp. Detta skapar problem när det finns en typ på lager men en annan efterfrågas.

Simuleringsmodellen kan utvecklas för att innehålla materialflödet från leverantörer, där faktorer som leveransförmåga och lagerhantering kan simuleras.

8. Referenser

- [1] Siemens AG, "Annual Report 2015," Siemens AG, Munich, 2015.
- [2] Siemens Industrial Turbomachinery AB, "Performance upgrade of Siemens SGT-800 industrial gas turbine," [Online]. Available: <http://www.siemens.com/press/en/feature/2015/power-gas/2015-06-sgt-800.php>. [Använd 10 maj 2016].
- [3] J. K. Liker, *The Toyota Way*, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [4] Y. Monden, *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*, Boca Raton: Productivity Press, 2011.
- [5] G. L. C. Jeffrey K. Liker, *The Toyota Way to Lean Leadership*, New York: McGraw-Hill, 2012.
- [6] B. Bergman och B. Klefsjö, *Kvalitet från behov till användning*, Lund: Studentlitteratur AB, 2011.
- [7] J. S. Mike Rother, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Brookline: Lean Enterprise Institute, 1991.
- [8] M. L. S. Wallace J. Hopp, "To Pull or Not to Pull: What Is the Question?," *Manufacturing & Service Operations Manage.*, vol. 2, nr 6, pp. 133-148, 2004.
- [9] P. Petersson, O. Johansson, M. Broman, D. Blücher och H. Alsterman, *LEAN - Gör avvikelser till framgång!*, Bromma: Part Media, 2008.
- [10] P. Klingstam och P. Gullander, "Overview of simulation tools for computer-aided production engineering," *Comput. in Ind.*, nr 38, pp. 173-186, 1999.
- [11] T. J. Gogg och J. R. Mott, "Introduction to Simulation," i *Proc. 1993 Winter Simulation Conf.*, Los Angeles, 1993.
- [12] D. C. Pegden, R. P. Sadowski och R. E. Shannon, *Introduction to simulation using SIMAN*, New York: McGraw-Hill, 1995.
- [13] R. G. Sargent, "Verification and Validation of Simulation Models," i *Proc. 2005 Winter Simulation Conf.*, Orlando, 2005.
- [14] S. Robinson, "Simulation Model Verification and Validation: Increasing the Users' Confidence," i *Proc. 1997 Winter Simulation Conf.*, Atlanta, 1997.
- [15] R. Maidstone, "Discrete Event Simulation, System Dynamics and Agent Based Simulation: Discussion and Comparison.," *System*, pp. 1-6, 7 March 2012.
- [16] A. Segerstedt, *Logistik med fokus på Material- och Produktionsstyrning*, Malmö: Liber AB, 2009.
- [17] J. P. Kleijnen, "Verification and Validation of Simulation Models," *European J. of Operational Research*, vol. 1, nr 82, pp. 145-162, 1995.

- [18] A. De Toni och S. Tonchia, "Performance measurement systems - Models, characteristics and measures," *Int. J. of Operations & Production Management*, vol. 21, nr 1/2, pp. 46-71, 2001.
- [19] M. J. Farrel, "The Measurement of Productive Efficiency," *J. Roy. Stat. Soc. Series A*, vol. 120, nr 3, pp. 253-290, 1957.
- [20] R. Björheden, "Basic time concepts for international comparisons of time study reports," *Journal of Forest Engineering*, vol. 2, nr 2, pp. 33-39, 1991.
- [21] J. Arnold, C. L. Copper och I. T. Robertson, *Work Psychology - Understanding human behaviour in the workplace*, London: Pitman Publishing, 1995.
- [22] Imagine That Inc., "ExtendSim Simulation Software," [Online]. Available: <http://www.extendsim.com/>. [Använd 10 maj 2016].
- [23] Imagine That Inc., *ExtendSim 9 User Guide*, San Jose: Imagine That Inc., 2013.

Bilaga A Modellspecifikation

Modellantaganden

- Tillverkning sker i batcher
- Leverans av komponenter från extern producent sker enligt behov
- Transporter till och från centrallager (lagret) utelämnas och sker oberoende av monteringen
- Truckar är ingen begränsning
- Flexitid förekommer men arbetarna antas arbeta enligt schema
- Interna buffertar är ingen begränsning

Indata

- Produktionsflöde
- Operationstider
- Ställtider och transporttider (internt på avdelning)
- Produktvariation
- Arbetstider
- Avvikelser i produktion

Utdata

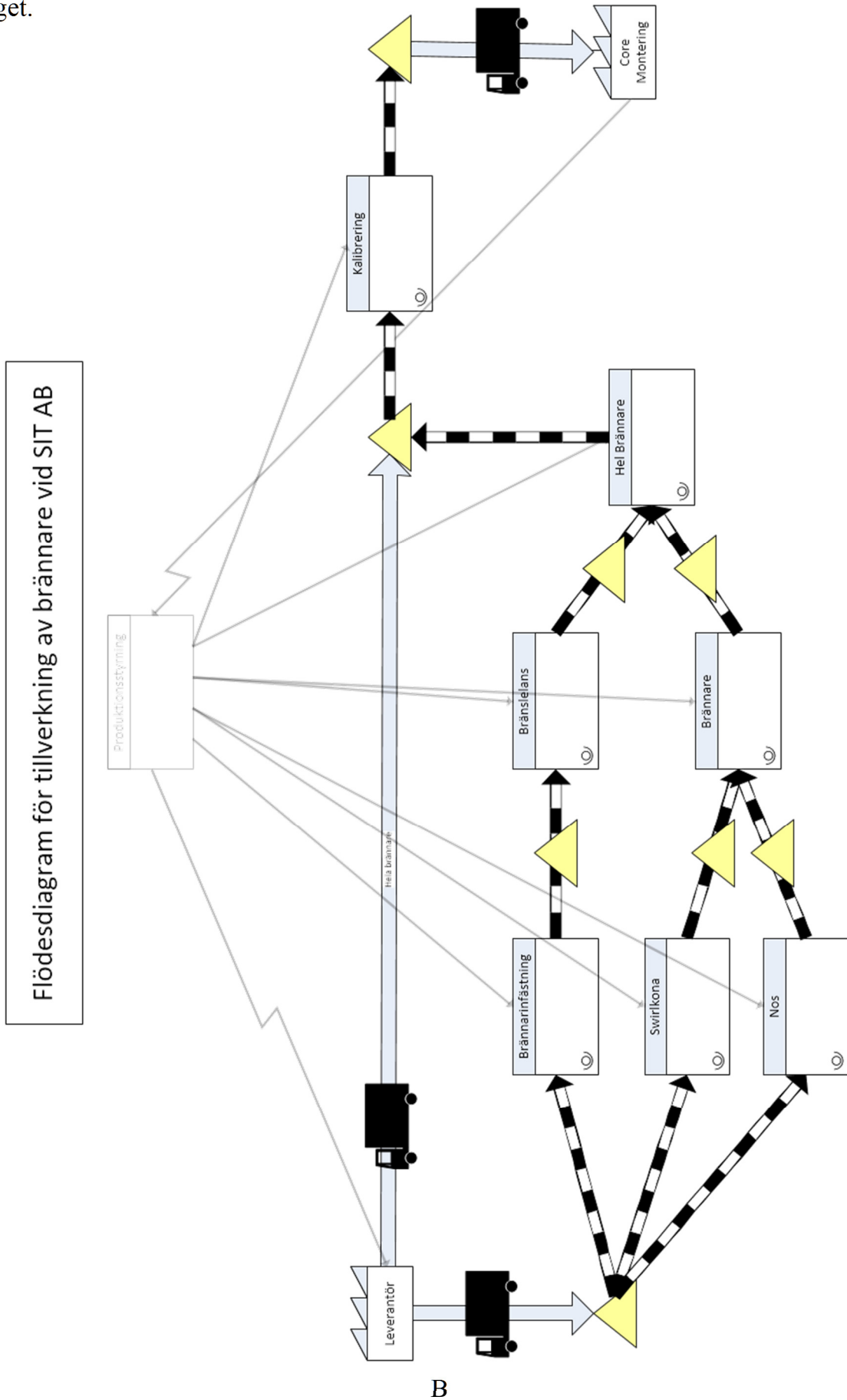
- Ledtid
- Cykeltid
- Utnyttjandegrad för resurser
- Effektiv produktionsvolym
- Produkter i arbete

Simuleringsvariabler

- Antal medarbetare och deras kompetens (vid behov)
- Skiftgång
- Batchstorlek
- Orderingång
- Produktionsstyrningsprincip

Bilaga B Flödesanalys

I denna bilaga presenteras enbart flödesdiagram, djupare analys finns i digital fil vid företaget.



Bilaga C Tidsstudie

Publiceras ej av sekretesskäl, för mer information kontakta författare.

Bilaga D Simuleringsresultat

Publiceras ej av sekretesskäl, för mer information kontakta författare.

