

Produktionssäkerhetsanalys av produktion i avancerad sammansatt linje

Christina Stål

2011

Förord

Rapporten är resultatet av ett examensarbete som avslutning för civilingenjörsutbildningen i maskinteknik vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har en omfattning av 30 hp och är utfört som ett samarbete mellan Alfa Laval och avdelningen för Industriell produktion. Studien har ingått i forskningsprojektet Sustainable Production Initiative, (SPI).

Jag vill tacka mina två handledare Per Gabrielson, Alfa Laval och Jan-Eric Ståhl, Industriell produktion för kontinuerligt stöd och vägledning under arbetes gång. Dessutom vill jag rikta ett stort tack till de anställda vid företaget som ställt upp och hjälpt mig genomföra mitt arbete.

Speciellt skulle jag även vilja tacka Kathrine Spang och Carl Nilsson som utfört projekt i samband med mitt arbete, där jag fått ta del av resultat och diskussioner.

Lund, 23 juni 2011

Christina Stål

Abstract

In order to compete on the international market, companies today constantly need to streamline their production. One way to achieve this is to minimize the amount of downtime in the production.

The work is performed at one of Alfa Laval's production facilities, where production performance analysis has been done with regard to the downtime of one of its lines. The study is based on downtime reported by the operators working at the line. All of the downtimes have been categorized based on what generated them and thereby it has been possible to obtain downtime proportions depending on the cause of downtime. For all products manufactured in the line a cost model has been applied. After an initial study of all products, five products were selected for a more detailed analysis.

Randomly selected batches of the five products, manufactured in 2010 and 2011 have been compared and analyzed. It is possible to conclude that production cost is very different both between products and even between batches of the same product and that there are relatively large improvement potentials for four of the five products. Five major problem areas have been identified: Unknown short downtimes, downtime depending on process-related factors, downtime due to problems with peripheral equipment, downtime due to personnel and organization, and downtime due to wear and maintenance. In connection with the work two independent projects were initialized, which more closely studied problems with grippers and the ability to prevent unplanned maintenance, respectively. The survey also finds that the company needs to have better control over its rejection rates and to what extent materials wastage occur.

Sammanfattning

För att kunna konkurrera på den internationella marknaden behöver företag i dag ständigt effektivisera sin tillverkning. Ett sätt att uppnå detta är att minimera mängden stillestånd i produktionen, vilken också är ett led i strävan efter långsiktig hållbarhet.

Examensarbetet är utfört vid en av Alfa Laval's produktionsanläggningar, där en produktionssäkerhetsanalys med avseende på stillestånd vid en av företagets linjer har genomförts. Studien baseras på den stilleståndsrapportering som operatörerna vid linjen redovisar. Samtliga stillestånd har delats in i faktorgrupper beroende på vad som orsakat dem och på så sätt har det varit möjligt att få fram stilleståndsandelar beroende på stilleståndsorsak. För samtliga produkter tillverkade vid linjen har en kostnadsmodell applicerats. Efter en inledande studie av samtliga produkter har fem produkter valts ut för mer ingående analys.

Slumpmässigt utvalda batcher av de fem produkterna tillverkade under år 2010 och 2011 har jämförts och analyserats. Det går att konstatera att produktionskostnaden skiljer sig stort både mellan produkter men även mellan batcher för en och samma produkt.

Det finns relativt stora förbättringspotentialer för fyra av de fem produkterna. Fem större problemområden har identifierats vilka är korta okända stopp, stillestånd beroende på processrelaterade faktorer, stillestånd beroende på problem med kringutrustning, stillestånd beroende på personal och organisation samt stillestånd beroende på slitage och underhåll. I samband med arbetet initialiserades två enskilda projekt, där gripdonsproblem och möjligheten att förebygga oplanerat underhåll studerades närmre. Det framkommer också under studien att företaget behöver större kontroll av kassationer med tillhörande orsak samt i vilken omfattning som olika typer av materialspill uppträder.

Innehållsförteckning

Förord	ii
Abstract	iii
Sammanfattning	iv
Symbollista	vii
1 Introduktion	1
1.1 Inledning	1
1.2 Företagspresentation	1
1.3 Syfte och mål	3
1.4 Problemformulering och avgränsningar	3
2 Metod	5
2.1 Informationsinhämtning	5
2.2 Analys	5
2.3 Källkritik	7
3 Teori	9
3.1 Systematisk produktionsanalys	9
3.2 Kostnadsmodellen	12
3.3 OEE	15
3.4 Tillverksekonomisk verkningsgrad	16
3.5 Statistiska modeller	17
4 Anpassning av teori	19
4.1 Batcher	19
4.2 Kostnadsmodellen	19
4.3 Produktionssäkerhetsmatrisen	20
5 Analys av produktionslinjen	21
5.1 Stillestånd och stilleståndsandelen	21
5.2 Stillestånds-kostnaden	24
5.3 Kostnadsfördelning mellan batcher	31
5.4 Batchstorlek, N_0	32
5.5 Simulering av produktionskostnaden	35
5.6 Stilleståndsandel, q_S	35
5.7 Ställtider, T_{su}	37
5.8 Kassationsandel, q_Q	39
5.9 Utnyttjandegraden, U_{RB}	39
5.10 OEE och TEV	40
6 Analys av förbättringspotential	45
6.1 Underhållsanalys	45
6.2 Fel knutna till gripdon	46
6.3 Korta stopp	46
6.4 Materialspill	47
7 Diskussion och rekommendationer	49

7.1	Sammanställning	49
7.2	Stilleståndsorsaker	49
7.3	Omställning av produktion	51
7.4	Personal och organisation	51
7.5	Användningen av OEE	52
7.6	Kassationer och materialspill	52
7.7	Förslag till åtgärder	53
Referenser		54
Bilaga A		55

Symbollista

Produktionstid och takt vid serietillverkning		
t_0	Nominell cykeltid per detalj	min
t_m	Maskintid	min
t_p	Produktionstid per detalj	min
DT	Downtimes	min
TBF	Times Between Failure	min
q_s	Andel produktionsstillestånd	-
q_Q	Andel kassationer	-
q_P	Relativ taktförlust	-
N_0	Nominell seriestorlek	styck
T_{su}	Ställtid (omställningstid)	min
Tillgänglighet, utnyttjandegrad		
T_{plan}	Planerad produktionstid under given tidsperiod	h
U	Kapacitetsutnyttjande, utnyttjandegrad	-
Tillverkningskostnad		
k	Detaljkostnad vid förädling	kr/styck
k_B	Materialkostnad per detalj	kr/styck
Δk	Ändring i detaljkostnad	kr/styck
Δq_s	Ändring i stilleståndsandel	-
k_{Cp}	Maskintimkostnad under produktion	kr/h
k_{CS}	Maskintimkostnad vid stillestånd och omställning	kr/h
k_D	Lönekostnad	kr/h
n_{OP}	Antal operatörer vid tillverkning	-
$n_{OP,su}$	Antal operatörer vid omställning av utrustning	-
k_A	Verktygskostnad	kr/styck
$k_{verklig}$	Verklig detaljkostnad	kr/styck
k_{ideal}	Ideal detaljkostnad	kr/styck
k_{medel}	Medelkostnad per detalj	kr/styck
Detaljkostnad vid reducerad beläggning		
U_{RB}	Utnyttjandegraden vid reducerad beläggning	-
Tillverkningsekonomiska nyckeltal		
OEE	Utrustningseffektivitet	-
η_E	Tillverkningsekonomisk verkningsgrad	-
Statistiska symboler		
S	Sannolikhet	-
λ, β, α	Sannolikheten för att en händelse inträffar	-
μ	Väntevärde	-
t_{PBB}	Genomsnittlig tid då en utrustning fungerar under en obemannad tid	min
E_{PBB}	Genomsnittligt tidsutnyttjande under en obemannad tid	-

1 Introduktion

I denna officiella version rapporten är samtliga data och resultat fingerade.

1.1 Inledning

Arbetet har bedrivits i syfte att finna orsaker till stillestånd och samt stilleståndens tillhörande tillverkningskostnader. Studien riktar sig till företagets anställda samt för de som har intresse för hur tillverkningsekonomiska studier kan bedrivas.

1.2 Företagspresentation

Alfa Laval är ett världsomspännande företag som har sina rötter ur AB Separator som grundades 1883 av Gustav de Laval och Oscar Lamm. Företaget har ca 12 000 anställda med merparten av dem lokaliserade i Sverige, Danmark, Indien, USA samt Frankrike.¹ Kunderna finns i nästan 100 länder och 28 större produktionsanläggningar är belägna i Europa (15), Asien (8), USA (4) och Latinamerika (1)² Företagets tre huvudområden är värmeöverföring, separering av vätskor och partiklar i vätskor samt flödeshantering³ och nyckelprodukterna är värmeväxlare, separatorer, pumpar och ventiler. Ett urval av var produkterna används är vid framställning av livsmedel, kemikalier och läkemedel, i verkstadssektorn, i raffinaderinäringen, i kraftverk, på oljeplattformar i gruvindustrin, i klimatanläggningar, i kylsystem och för hantering av avloppsvatten⁴. Alfa Lavals internationella huvudkontor är beläget i Lund, Sverige och anläggningen innefattar även produktion av plattvärmeväxlare. Produktionen är indelad i olika steg där plåtarna till värmeväxlarna pressas, eventuellt svetsas ihop och monteras till färdiga värmeväxlare, vilka provtrycks och emballeras för transport⁵.

1.2.1 Värmeväxlare

Värmeväxlare används för värmeöverföring mellan två eller flera fluider med olika temperaturer. De återfinns vid en mängd olika områden, så som ångkraftsanläggningar, kylare till bilar, luftkonditioneringsanläggningar, processindustrin ect⁶. Det finns flera olika typer av värmeväxlare, så som tubvärmeväxlare, plattvärmeväxlare, flänsade plattvärmeväxlare, flänsade rörvärmeväxlare och regenerativa värmeväxlare. Tubvärmeväxlare är den vanligaste typen av värmeväxlare, dessa är mestadels uppbyggda av ett stort antal rör placerade i ett cylindriskt skall. Principen bygger på att ett medium strömmar genom rören och ett annat runt om rören⁷.

¹ www.alfalaval.com 17 februari 2011 kl. 10:23

² Alfa Lavals årsredovisning 2009.

³ www.alfalaval.com 17 februari 2011 kl. 10:23

⁴ Alfa Lavals årsredovisning 2009.

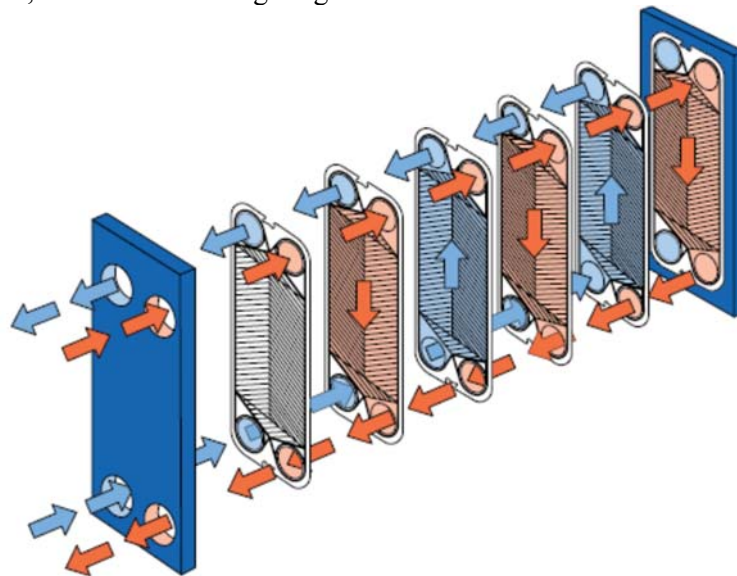
⁵ www.alfalaval.com 17 februari 2011 kl. 10:23

⁶ Sundén B Värmeöverföring (2006) (sid. 315).

⁷ Sundén B Värmeöverföring (2006) (sid. 318).

Den näst vanligast typen är plattvärmeväxlare, dessa är uppbyggda av ett antal tunna plattor, vilka kan vara släta eller korrugerade, mönstrade i form av fiskbensmönster och tvättbrädemönster. Plattorna sätts samman till paket och är ofta försedda med gummipackningar som placeras i spår längs med kanten runt hela detaljen, dessa är till för att tätar mot den närmast liggande plattan, se **Figur 1**. Plattorna som är den värmeöverförande ytan bildar tillsammans med packningarna kanalsystem, i vilka två medier strömmar. Medierna strömmar i varannan kanal och har det andra mediet på varje sida om de omkringliggande plattorna som bildar kanalen. Plattorna hängs upp på två axlar och pressas samman med hjälp av spännbulvar av två stativplattor. Fördelen gentemot tubvärmeväxlare är att plattvärmeväxlare vanligen har en högre värmegenomgångskoefficient, högre kompakthet (värmegenomförande area per volymenhet) och är lättare att underhålla. Nackdelen är att dessa värmeväxlare klarar lägre temperaturer och tyck i jämförelse med tubvärmeväxlare. För att öka temperatur- och tryckkänsligheten kan man istället för att använda packningar löda och svetsa ihop produkterna, detta gör det dock att möjligheten att demontera värmeväxlaren försvinner⁸.

Produktionsanläggningen i Lund tillverkar plattvärmeväxlare där den värmeöverförande ytan är formad som ett fiskbensmönster. Plattmaterialet består främst av rostfritt stål, titan- och nickellegeringar.



Figur 1: Schematisk bild över hur en plattvärmeväxlare är uppbyggd⁹.

⁸ Sundén B Värmeöverföring (2006) (sid. 351-352).

⁹ <http://local.alfalaval.com/sv-se/products/pages/default.aspx> 2 juni 2011 kl. 13:15.

1.2.2 Produktionslinje

Arbetet har utförts vid en produktionslinje på produktionsanläggningen i anslutning till huvudkontoret. Linjen är helautomatiserad och består av flera olika utrustningar, bland annat ett pressavsnitt och ett klippavsnitt, som gör det möjligt att få ut färdiga produkter från en coil av tunnplåt. Vid produktion är flera operatörer knutna till linjen både vid drift och vid verktygsbyte.

1.3 Syfte och mål

Syftet är att undersöka de stillestånd och stilleståndsparametrar som uppkommer i produktionen. Detta genom att genomföra analyser av DT (Down Times) och TBF (Times Between Failure) och genom att använda produktionssäkerhetsmatriser för att strukturera informationen avseende orsaker till dess uppkomst och kopplats till deras varaktighet. Detta medför att det är möjligt att visa på var det är mest effektivt och lönsamt att rikta insatser för förbättring. Förhoppningarna är även att kunna hitta samband och mönster som förklarar varför vissa moment och produkter medför sämre respektive bättre produktionsprestanda.

Målet med undersökningen är att kategorisera stillestånden och sättet att avhjälpa dessa. Följande typer av åtgärder kan identifieras:

1. Problemet löses genom förändring av utrustning, ombyggnad (mer än justering).
2. Åtgärder som minimerar effekter från 1 ovan m.h.a. justering och smärre modifiering.
3. Åtgärder där rutiner, utbildning och instruktioner reducerar eller helt eliminerar stillestånd.
4. Produktspecifika stillestånd som ej direkt kan knytas till 1 och 2.
5. Sekvenser av produktion som resulterar i ”naturliga” stillestånd.
 - a. Ny coil, (SMED).
 - b. Viss typ av slitage som kräver underhåll.

1.4 Problemformulering och avgränsningar

Företaget önskar förbättra lönsamheten i den aktuella produktionslinjen, genom att undersöka vilken förbättringspotential som finns. Detta genom att på ett strukturerat sätt studera sambanden mellan produktionsstörningar och deras resultatparametrar. Arbetet går ut på att noggrant analysera stopporsakerna samt hitta de styrande faktorerna som kan åtgärdas för att minska stillestånden. Undersökningen avgränsas till en linje, där data är inhämtad från rapporteringen erlagd under året 2010 och första kvartalet 2011. Inga jämförelser har gjorts med andra befintliga linjer för att undersöka likheter och skillnader i processen, då det inte varit tids-

mässigt möjligt. Efter noga övervägt beslut har författaren valt att inte ta hänsyn till några kassationer, bl.a. på grund av begränsad access till dessa uppgifter samtidigt som erhållna kassationer är svåra att hänföra till specifika operationer och specifika batcher. De kassationer som är rapporterats resulterar i mycket små kassationsandelar (q_Q). Författaren har även valt att inte ta hänsyn till taktförluster (q_P), då det är mycket oklart vad som är den nominella produktionshastigheten.

2 Metod

I det aktuella kapitlet redogörs tillvägagångssättet för hur information inhämtats, behandlats och sorteras. Den befintliga informationen har kritiskt granskats och redogörelsen för detta går att läsa i avsnitt 2.3.

2.1 Informationsinhämtning

Insamling av data och information har till huvudsak skett på tre olika sätt:

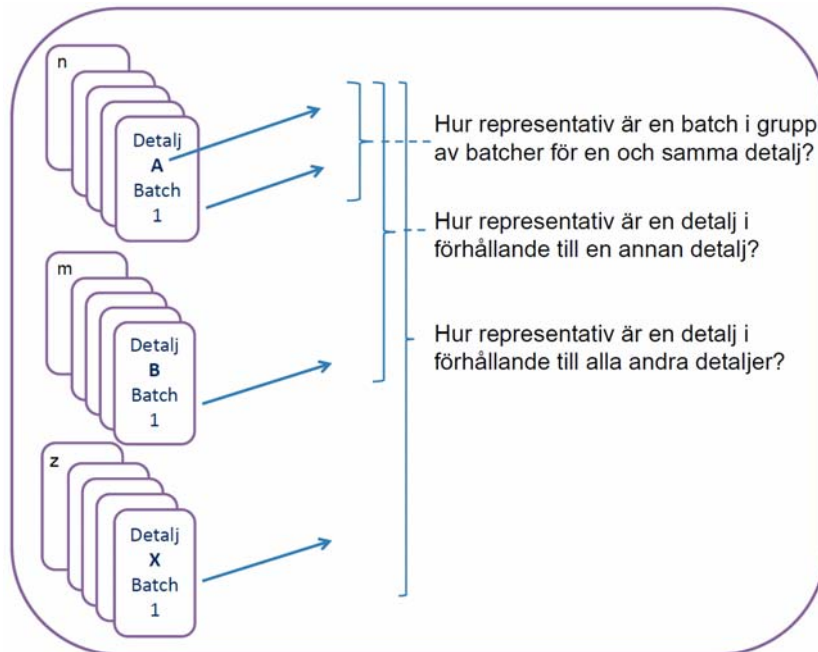
- Informationsinhämtning från olika system och filer (MES, JEEVES, konton)
- Intervjuer
- Observationer

MES och JEEVES är interna order- och rapporteringssystem, från MES har information om när olika produkter tillverkats samt stillestånd hämtats och från JEEVES materialkostnaden för de olika produkterna. Stilleståndsrapporteringen som finns i MES baseras på automatiska och manuella rapporteringar från styrsystemet av linjen respektive operatörerna. Denna rapportering innefattar samtliga stopp som inträffats vid linjen. Annan nödvändig information så som kostnader för investeringar, lokal och personal har inhämtats från intervjuer och filer som lämnats ut i samband med dem. Bland annat har kostnader för lokal, underhåll och utrustning hämtats från företagets ABC-kalkyl. Från dessa kostnader har avskrivningar inte varit medräknade utan, annuitet på 12 för investeringar har använts för att beräkna den slutliga produktionskostnaden. De intervjuer som ägt rum har både varit planerade med i förväg strukturerade frågor, och spontana samtal. Observationer av linjen har framförallt medfört en förståelse för hur linjen fungerar och hur arbetet är utformat runt den.

2.2 Analys

Undersökningen har gjorts på flera olika nivåer vilka förklaras i **Figur 2**. Det är då möjligt att ta reda på hur unika lösningar som krävs för förbättringar i följande nivåer i produktionen:

- Enskild batch.
- Enskild detalj.
- Produktfamilj.
- All produktion.



Figur 2: Olika nivåer som studien kan utföras på.

Genom att jämföra olika batcher av samma produkttyp kan variationer och överensstämmelser inom samma grupp bli synliga. Det är då möjligt att svara på frågan om det är någon typ av stillestånd som är återkommande inom samma produkttyp. Då man slår ihop samtliga batcher för en produkttyp går det att göra liknande jämförelser mellan olika produkttyper och se om det finns något problem som är produktspecifikt. Det är även möjligt att jämföra data från en batch av en sorts detalj med data från samtliga batcher från en annan typ av detalj.

Analysen började med att olika produkttyper jämfördes med varandra, med avseende på de stillestånd som var kopplade till dem. Det var då möjligt att få fram besparingspotentialen knuten till olika störningar. Under denna fas i undersökningen samlades samtliga batcher för en produkt ihop till en enda batch och jämförelse mellan produkterna gjordes. Det var då möjligt att få fram en medelstilleståndskostnad för samtliga produkter. Utifrån denna kostnad valdes produkter ut för att sedan slumpvist utvalda batcher jämt fördelade över hela år 2010 och början av 2011 jämfördes med varandra.

Datahanteringen har främst behandlats med hjälp av Excel, där även tabeller och vissa av diagrammen konstruerats. För de matematiska beräkningarna och skapandet av flera diagram har programvaran Mathcad 14 använts.

2.3 Källkritik

Mycket av informationen som sammanställts bygger på observationer som gjorts av personalen, vilket leder till att en stor del av datamängden bygger på personliga tolkningar av verkligheten. Det är framförallt stilleståndsorsaker i stilleståndsrapporteringen som inte är exakt, då det ibland kan vara svårt att fastslå den exakta orsaken. Även variation i sättet att rapportera mellan olika operatörer finns, vilket kan medföra en del felkällor. Det förekommer även en del mindre brister i systemet, i form av dubbelrapporteringar och felklassificeringar. Dessa har i möjligaste mån sorterats ut och eliminerats från den behandlade datamängden genom manuell genomgång av samtlig data. Diskussioner med dem som är anställda vid linjen har även förts för att säkerställa olika uttrycks betydelse, samt omfattande närvaro vid linjen har bidragit till ökad förståelse för rapporteringssätt, arbetssätt samt var problem uppstår i produktionen. I fråga om kassationer anser författaren att denna rapportering inte är tillräckligt tillgänglig och specifik för att kunna användas i detta arbete. Framst för att det inte rapporteras var i förädlingskedjan som kassationen inträffat. Den kassationsmängd som observerats är inte omfattande, men bidrar ändå till den verkliga produktionskostnaden. Det är även en del oklarheter angående takt, vilket medfört att de cykeltider som används är uppmätta och mer motsvarar de ideala cykeltiderna och inte de måltider som företaget använder. Genom att inte ta hänsyn till taktförluster och kassationer blir redovisat resultatet bättre än det verkliga resultatet.

I projektets andra del har batcher slumpvist valts ut för att representera den aktuella produkten, vilket bidrar till att slutsatser och analyser görs på mindre mängd data. Detta försämrar den statistiska säkerheten, men gör det möjligt att hantera informationen på ett tidseffektivt och mer lätthanterligt sätt.

3 Teori

Följande kapitel behandlar teorin bakom de olika analyser och beräkningar som genomförs och presenteras i arbetet.

3.1 Systematisk produktionsanalys

Nedan förklaras metodiken för produktionssäkerhetsmatrisens uppbyggnad.

3.1.1 Produktionssäkerhet

Hög produktionssäkerhet syftar till att produktionen skall vara effektiv med få störningar i form av kassationer, stillestånd och taktförluster. Grundidén för produktionssäkerhetsbegreppet bygger på tre mål:

- **Rätt kvalitet** – de krav som sätts på detaljen med avseende på funktion, egenskaper och prestanda skall uppfyllas.
- **Rätt tid** – Produkten skall levereras efter avtalad tid.
- **Rätt kostnad** – Kostnaden för produkten skall inte överskrida den kalkylerade.

Det går att beskriva resultatet från förädlingsstationer och produktionsavsnitt i resultatparametrar som beskriver processernas prestanda, vilka i regel kan uttryckas i absoluta tal. Resultatet av en produktionsprocess kan delas in i tre huvudgrupper:

- **Kvalitetsparametrar**, vilka avser krav på dimensioner ytor och egenskaper, $Q_1, Q_2 \dots Q_n$.
- **Stilleståndparametrar**, vilka avser stillestånd orsakade av händelser i processen $S_1, S_2 \dots S_n$.
- **Takt- eller produktionshastighetsparametrar**, vilka avser beskriva antal detaljer per tidsenhet $P_1, P_2 \dots P_n$.

Miljö- och kretsloppsparametrar (MK) börjar få större aktualitet i och med miljö- och återvinningsfrågor¹⁰. Vid bedömning av produktens miljöbelastning behöver hela livscykeln uppmärksammas vilket leder till att såväl ingående material som utrustning och processtillätsar beaktas¹¹.

¹⁰Jovane F. et.al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing (2006)

¹¹Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 160).

3.1.2 Faktorgrupper

Ett antal faktorgrupper (A-H) kan kopplas till verkstadstekniska tillverkningsmetoder och då beskriva produktionssäkerheten och resultatparametrarna för tillverkningen. Indelningen ger grund för den produktionssäkerhetsmatris (PSM) som den ekonomiska analysen bygger på, se **Figur 3**. Faktorgrupperna¹² har följande indelning:

- A. Verktyg.
- B. Arbetsmaterial och ämne.
- C. Förädlingsprocessen.
- D. Personal och organisation.
- E. Slitage och underhåll.
- F. Speciella processbeteenden.
- G. Kringutrustning.
- H. Okända orsaker som inte direkt går att spåra.

A. Verktyg

Verktygsrelaterade faktorer som påverkar produktionen, så som skador på verktyget, dragningar, sprickor och grader, att verktyg fastnar i den befintliga utrustningen m.m.

B. Material

Faktorer som kommer ur kvalitetsbrist på plåtmaterialet, samt andra faktorer som gör materialet svårbehandlat eller svårhanterbart, som t.ex. geometri, struktur topografi, styvhet m.m.

C. Förädlingsprocessen

Utrustningsrelaterade faktorer som rör processdata och processtillsatser i pressen och klipputrustningen. Det som sorteras in under denna kategori är kvalitetssäkring, byte av coil, centrering och justering, pallbyte, provpressning och mätning, men även planerade stopp.

¹²Ståhl J-E Industriella Tillverkningssystem (2009) (sid. 186)

D. Personal och organisation

Det som innefattas i denna kategori är bland annat möten, bristande planering, skiftbyte, administrativt arbete, raster, utbildning, personalbrist, felmontage och felriggningar.

E. Slitage och underhåll

Underhåll och sådant som uppstått p.g.a. att underhåll inte utförts. Följande rapporter är sorterade under denna faktor: Planerat underhåll, oplanerat underhåll, städning, oljeläckage, hydrauliska fel och schimsning etc.

F. Speciella processbeteenden

Följd av A, B, C, E, som för det mesta i detta arbete innebär skrotning av materialet/ämnet.

G. Kringutrustning

Problem kring den utrustning som inte tillför någon värdehöjande process så som gripdon, rullband och annan hanteringsutrustning, men även de problem med medier (olja, el m.m.) som behövs för att processen skall fungera räknas med här.

H. Okända orsaker som inte kan spåras

Under denna kategori sorteras korta stopp, som är stillestånd under 5 minuter som inte behöver rapporteras manuellt och därför blir okända. Även andra typer av stopp där anledningen är okänd sorteras in under denna faktorgrupp.

3.1.3 Produktionssäkerhetsmatris

Produktionssäkerhetsmatrisen (PSM) är en sambandsmatris där resultatparametrar och faktorer kombineras liksom i **Figur 3**. Sambanden emellan kan både vara kvantitativa och kvalitativa och kan användas i följande områden:

- Uppföljning av löpande produktion.
- Underlag för framtida produktionsuppbyggnad.
- Vid bedömning av resultatparametrar och konsekvenser av olika beslut knutna till faktorgrupper¹³.

¹³Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid.188).

Faktorer	Resultatparametrar				Σ Faktorer
	Kvalitetsparametrar Q	Stilleståndsparametrar S	Taktparametrar p	Miljö och kretsloppsparametrar Mk	
A. Verktyg					
B. Arbetsmaterial					
C. Process					
D. Personal och organisation					▶
E. Slitage och underhåll					
F. Specifika faktorer					
G. Kringutrustning					
H. Okända faktorer	↓				↓
Σ Resultatparametrar					▶

Figur 3: Produktionssäkerhetsmatrisens principiella uppbyggnad¹⁴.

3.2 Kostnadsmodellen

Beräkningarna av stilleståndsandelen bygger på de rapporterade stillestånden (Down Time, DT) och den tid som förflutit mellan varje stillestånd (Time Between Failure, TBF). Beräkning av stilleståndsandelen q_S kan ses i *Ekvation 1*¹⁵.

$$q_S = \frac{\Sigma DT}{\Sigma DT + \Sigma TBF} \quad \text{Ekvation 1}$$

Grundekvationen för att beräkna detaljkostnaden beskrivs enligt *Ekvation 2*¹⁶.

$$k = \frac{k_A}{N_0} \left[\frac{1}{n_{pA}} \right]_a + \frac{k_B}{N_0} \left[\frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_c$$

$$\frac{k_{CS}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_{c2} + \quad \text{Ekvation 2}$$

$$\frac{k_D}{60N_0} \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_d$$

Det finns olika sätt att beräkna ändringen Δk_i i detaljkostnaden k_i för valda variabler i kostnadsekvationen. Ett approximativt sätt att beräkna kostnadsförändringen är att använda sig av derivering enligt *Ekvation 3*¹⁷. Genom att beräkna kostnadsderivatan är det möjligt att få fram den maximalt teoretiska kostnadsförändringen vid reduktion av en parameter.

¹⁴ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 189).

¹⁵ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 146).

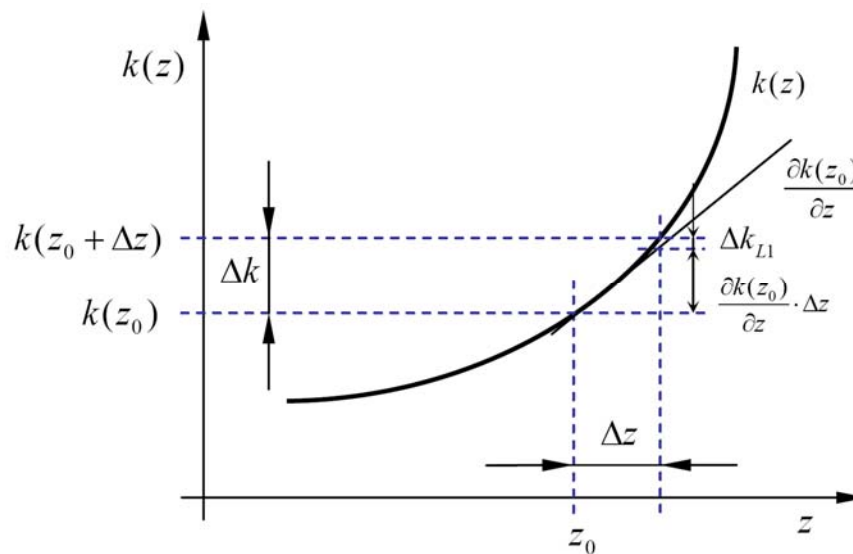
¹⁶ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 98, 211).

¹⁷ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 212).

$$\Delta k_i = \frac{\partial k_i}{\partial z} \cdot \Delta z \quad \text{Ekvation 3}$$

Nackdelen med denna metod är att felet blir betydande vid användning av Δq_s större än 0.4 och Δq_Q större än 0.1. Ett annat sätt att beräkna Δk_i redovisas enligt *Ekvation 4*¹⁸ och är det är en variant av denna ekvation som används i denna rapport. De två olika beräkningarna redovisas i **Figur 4**.

$$\Delta k_i = k(z + \Delta z) - k(z) \quad \text{Ekvation 4}$$

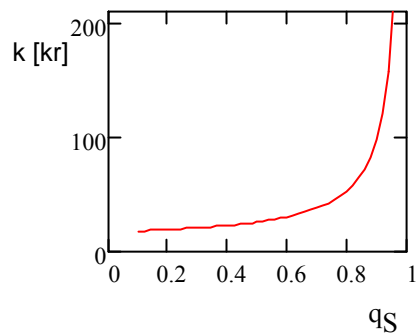


Figur 4: Beskrivning av hur en förändring av en godtycklig variabel z med storleken Δz i punkten z_0 påverkar detaljkostnaden $k(z)$ ¹⁹.

Den främsta anledningen till att *Ekvation 3* inte är aktuell är att den bygger på att sambanden kan antas vara linjära, vilket under de aktuella föresättningarna inte gäller. Figur 5 visar ett exempel på sambandet mellan förändringen i detaljkostnaden k som funktion av stilleståndsandelen Δq_s . Det som framförallt framkommer är att efter en förändring större än 0,6 är linjära modeller inte användbara på grund av att felet blir stort.

¹⁸ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 212).

¹⁹ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 213).



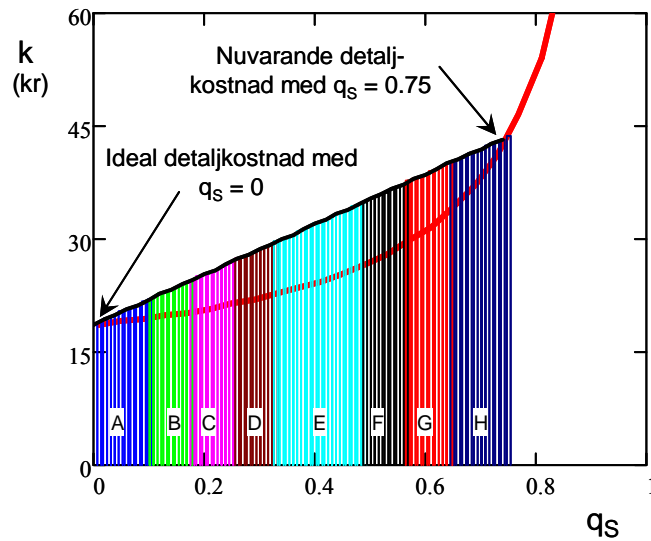
Figur 5: Detaljkostnaden k som funktion av stilleståndsandelen q_s .

I syfte för att komma till rätta med kostnadsförändringen i samband med stora q_s -värden (inte linjära), har en ny ekvation tagits fram i arbetet enligt Ekvation 6. För att beräkna ändringen Δk_i för detaljkostnaden har Ekvation 5 använts och kostnadsförändringar knutna till olika faktorgrupper kan beräknas enligt Ekvation 6, där j motsvarar faktorgrupperna A – H och i motsvarar batchnummer. Detta leder till att $\Delta k_{i,j}$ motsvara den andel som den aktuella parametern ur en faktorgrupp motsvarar av de totala faktorernas parametrar. Det är då möjligt att fastställa stilleståndskostnaden för en detalj för varje enskild faktorgrupp.

$$\Delta k_i = k(z_0 + \Delta z) - k(z_0) \quad \text{Ekvation 5}$$

$$\Delta k_{i,j} = \Delta k_i \cdot \frac{\Delta q_{s,j}}{\Delta q_s} \quad \text{Ekvation 6}$$

Nedan i **Figur 6** visas hur varje faktorgrupps stilleståndskostnad fördelar sig över q_s då beräkningen baseras på Ekvation 6.



Figur 6: Exempel på fördelning av stilleståndskostnad i proportion till respektive faktorgrupps andel av q_s .

3.3 OEE

Ett mätetal som många företag använder för att beräkna utrustningens lönsamhet är OEE (Overall Equipment Efficiency). Nyckeltalet har sitt ursprung i konceptet TPM, Total Productive Maintenance. Det finns olika sätt att beräkna OEE och modellen som företaget använder sig av är följande²⁰:

$$OEE = \text{Tillgänglighet} \cdot \text{Anläggningsutbyte} \cdot \text{Kvalitetsutbyte} \quad \text{Ekvation 7}$$

Tillgängligheten innebär hur stor del av tiden som en produktionsutrustning är i drift, medan anläggningsutbytet är ur väl den utnyttjas under tiden som utrustningen är i drift och kvalitetsutbytet hur stor andel av produkterna som är korrekta.

I arbetet används ett annat sätt för att beräkna OEE, vilket visas i Ekvation 8, där belägningsgraden U_{RB} kan sättas till 1.0 då produktionsanläggningen kan antas ha full beläggning²¹.

$$OEE = \frac{N_0 \cdot t_0}{T_{su} + \frac{N_0 \cdot t_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)(1 - q_P)} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb}} \quad \text{Ekvation 8}$$

²⁰Nakajima S Introduction to TPM (1988) (sid. 28).

²¹Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 80).

En studie utförd vid Lunds universitet och Mälardalens Universitet visar att OEE inte fångar alla förändringar i produktivitet. Därför är det viktigt att nyckeltalet kompletteras med metoder som t.ex. fångar utrustningsinvesteringar²².

Vid användandet av OEE är det viktigt att de ideala cykeltiderna är väl definierade annars finns det risk för att OEE-talet blir missvisande och att problem döljs. Vid allt för långa cykeltider får man ett omotiverat högt OEE-tal, vilket minskar incitamentet till utveckling och nödvändig investeringar. Principen blir den samma som vid hög lagernivå, då buffertar gör det svårt att se problem i produktionen

3.4 Tillverksekonomisk verkningsgrad

Ett komplement till OEE är den tillverksekonomiska verkningsgraden, η_E , vilken beräknas enligt Ekvation 9 nedan²³.

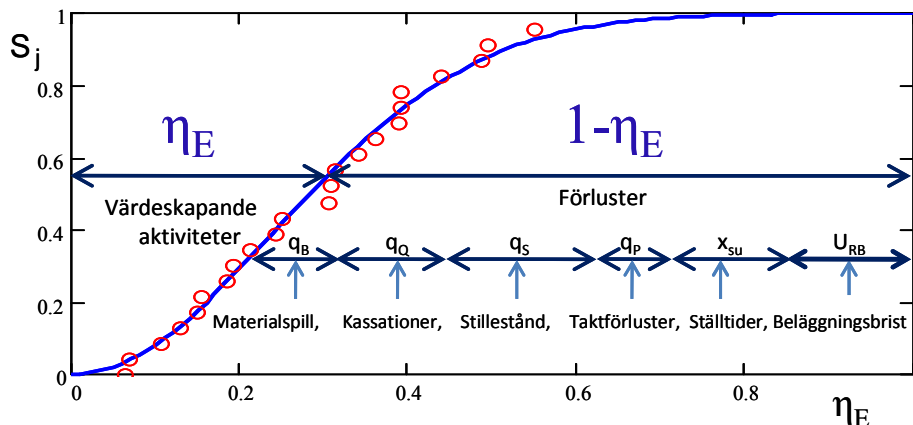
$$\eta_E = \frac{k_{ideal}(q_Q = 0, q_S = 0, q_P = 0, T_{su} = 0, U_{RB} = 1)}{k_{verklig}} \quad \text{Ekvation 9}$$

Där k_{ideal} motsvarar den kostnad som uppkommer då stilleståndsandelen q_S , kassationsandelen q_Q , relativ taktförlusten q_P samt T_{su} ställtiden är noll och utnyttjandegraden U_{RB} är lika med ett. I ekvationen motsvarar $k_{verklig}$ den verkliga kostnaden. Den tillverkningsekonomiska verkningsgraden är ett mått på hur stor del av ingående resurser som kommer kunderna till nytta, d.v.s. visar hur stor förbättringspotential som finns och ger samtidigt ett mått på hur stort slöseriet är. En schematisk bild över hur den ekonomiska verkningsgraden kan statistiskt fördela sig, samt hur den påverkas av olika förluster kan ses i **Figur 7**. Uppskattningsvis återfinns värdena för tillverksekonomisk verkningsgrad, η_E för industriell produktion mellan 0.4-0.8²⁴.

²² Andersson C Combining Overall Equipment Efficiency (OEE) and Productivity Measures as Drivers of Production Improvements (2011).

²³ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 104).

²⁴ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 105).



Figur 7: Schematisk bild över hur olika förluster kan påverka den ekonomiska verkningsgraden för 23 batcher av en och samma produkt.

3.5 Statistiska modeller

Det kan vara mycket användbart att kunna bestämma under hur lång tid det är sannolikt att produktionen fortlöper utan störningar för att kunna optimera bemanning och raster. Genom att använda sig av statistiska modeller går det att få en överblick över vad som styr störningarna samt med vilken frekvens de uppkommer och med vilken statistisk fördelning. Vanligt förekommande fördelningarna inom produktion där kontinuerliga system betraktas är exponentialfördelning, weibullfördelning och gammafördelning. Dessa system kan antingen beskrivas med en frekvensfunktion $f(x)$, vilket motsvarar sannolikhetsfunktionen eller med hjälp av fördelningsfunktionen $F(x)$.²⁵ Det är inte enbart tid som kan beskrivas med hjälp av nämnda fördelningar utan även hållfasthetsproblem, kostnader och andra ekonomiska nyckeltal m.m. Nedan beskrivs de två fördelningar som uppträtt under arbetets gång.

3.5.1 Exponentialfördelning

Vid undersökning av slumpmässigt i tiden inträffade tidsintervall mellan två händelser är det vanligt att exponentialfördelningar uppträder. Fördelningens frekvensfunktion kan skrivas som:²⁶

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}$$

Ekvation 10

samt fördelningsfunktionen som:

²⁵ Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 131).

²⁶ Blom G Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar (2005) (sid. 60).

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

Ekvation 11

där väntevärdet är²⁷

$$\mu_x = \frac{1}{\lambda}$$

Ekvation 12

Fördelen med exponentialfördelning är att endast en parameter behövs för att beskriva fördelningen.

3.5.2 Weibullfördelning

Information som är för komplex för att kunna beskrivas med en exponentialfördelning kan ibland beskrivas med weibullfördelning, då fördelningen innehar två parametrar α , β . Weibullfördelningens frekvensfunktion kan beskrivas som:²⁸

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$$

Ekvation 13

och fördelningsfunktionen som:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Ekvation 14

²⁷ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 133).

²⁸ Ståhl J-E Industriella Tillverkningsystem (2009) (sid. 135).

4 Anpassning av teori

Den teori som redovisas i litteraturen är ofta framtagna för att passa för flera olika applikationer. Det är därför nödvändigt att modifiera ekvationer/samband redovisade i kapitel 3 för att få dem att passa in på de specifika förhållanden som undersökts i arbetet.

4.1 Batcher

Definitionen av en batch är i vanliga fall, de produkter som tillverkas mellan två olika omställningar. I detta arbete motsvarar en batch de produkter ur samma produktfamilj som tillverkas i anslutning till varandra. Det innebär att det kan förekomma material och verktygsbyte under flera tillfällen under tillverkningen av en batch. Anledningen till detta synsätt är att specifika produkter ofta tillverkas i en speciell sekvens. Detta leder till att de som tillverkas först ofta får bära kostnaden av inkörning och riggning, då det är vid produktionsstart som en stor del av problemen uppstår. En annan anledning är att omställningarna är olika omfattande beroende på mellan vilka produkter som produktionen skiftar mellan. Produktskifte inom samma produktfamilj innebär ofta mindre omställning än mellan olika produktfamiljer, då vissa verktyg är dem samma.

4.2 Kostnadsmodellen

Maskintid t_m och cykeltid t_0 anses vara identiska i denna analys och värdena är hämtade från mätningar utförda i produktionen av operatörerna²⁹.

Den modifierade kostnadsekvationen är formulerad enligt Ekvation 15.

$$\begin{aligned}
 k = & \frac{k_B}{N_0} \left[\frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_{c1} + \\
 & \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_{c2} + \\
 & \frac{n_{OP} \cdot k_D}{60N_0} \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_{d1} + \left[\frac{n_{OP,su} \cdot k_D}{60N_0} T_{su} \right]_{d2}
 \end{aligned}
 \tag{Ekvation 15}$$

Den stora skillnaden mellan den ursprungliga kostnadsmodellen och den som används i arbetet är att kostnaden för verktyg inte är behandlad (term a) samt att modellen är modifierad så att den passar in på företagets personaluppsättning. Exempel då det är fem operatörer som har hand om två linjer är 2,5 direkt knuten till den

²⁹ Produktionstekniker A1 intervju.

aktuella linjen (term d1). Vid riggning kan det exempelvis behövas tre personer som delat tar ansvar och därför kopplas tre operatörer till linjen under ställtiden T_{su} (term d2). Term b innehåller de kostnader som är knutna till det inkommande materialet, så som materialkostnad, kassationer samt materialspill. Term c1 innehåller kostnader knutna till utrustningen vid produktion och c2 vid stillestånd. Som nämnts i kapitel 1 och kapitel 2 är kassationsandelarna (q_Q) samt taktförlusterna (q_S) satta till noll, då informationen om dessa inte är tillräckligt exakt för att kunna användas. För beskrivning av *Ekvation 15* ingående termer se Figur 8.

$$\begin{aligned}
 k = & \underbrace{\frac{k_B}{N_0} \left[\frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]}_b + \underbrace{\frac{k_{CP}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]}_{c1} + \\
 & \underbrace{\frac{k_{CS}}{60N_0} \left[\frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]}_{c2} + \text{Utrustningskostnad vid stillestånd} \\
 & \underbrace{\frac{n_{OP} \cdot k_D}{60N_0} \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]}_{d1} + \underbrace{\left[\frac{n_{OP,su} \cdot k_D}{60N_0} T_{su} \right]}_{d2} \\
 & \text{Lönekostnad vid produktion/stillestånd} \qquad \qquad \qquad \text{Lönekostnad vid riggning}
 \end{aligned}$$

Figur 8: Beskrivning över detaljkostnadens ingående termer.

4.3 Produktionssäkerhetsmatrisen

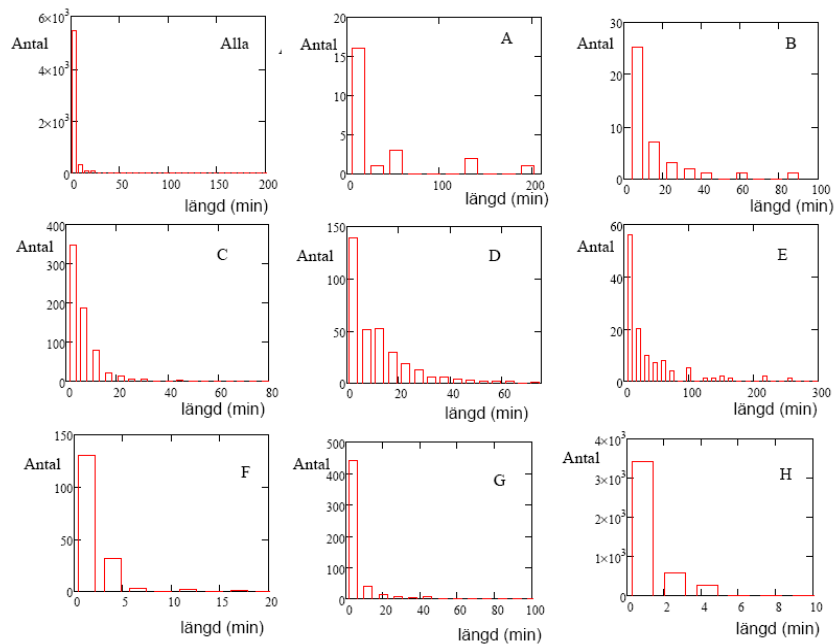
I undersökningen har tidsanalyser för olika produkttyp utförts och stillestånd i minuter har förts in i respektive faktorgrupp. Fokus har enbart varit på stillestånd. I Bilaga A visas produktionssäkerhetsmatrisen använd i detta arbete. Då informationen kring vilka typer av stillestånd är konfidentiell är alla stilleståndsorsaker dolda.

5 Analys av produktionslinjen

Analys har genomförts på samtliga produkter tillverkade i linjen. Därefter har fem produkter valts ut för mer genomgående analys. I följande kapitel redovisas de resultat som framkommit.

5.1 Stillestånd och stilleståndsandelen

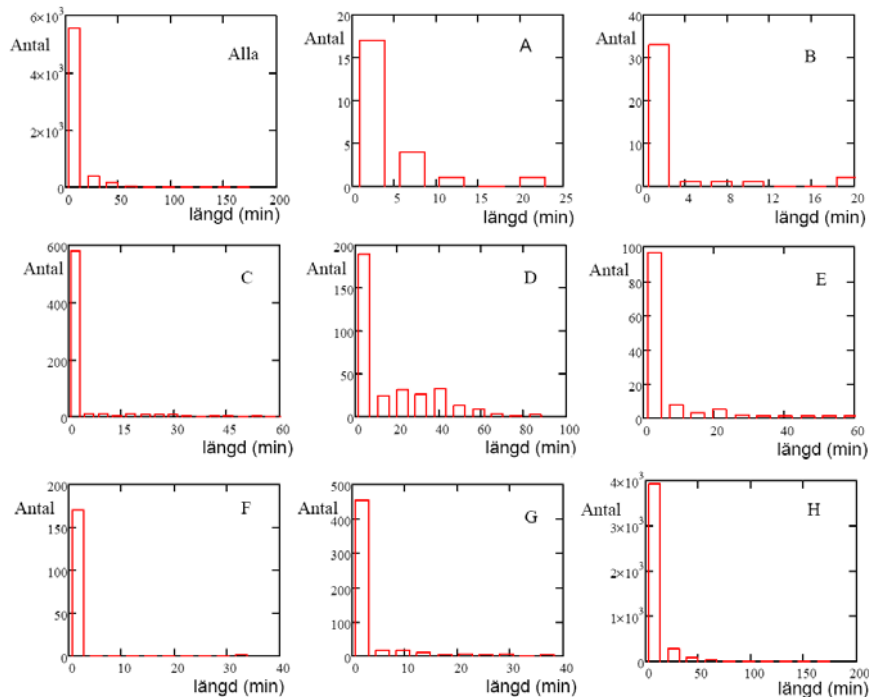
För att få en överblick över produktionsstörningarna har samtliga batcher för varje produkt delats upp i stilleståndstid (DT) och knuten till varje stopp tillhörande tid för produktion (TBF). I detta avsnitt har batcherna slagits samman till en enda batch och undersökningen har gjorts på hela populationen av stillestånd under år 2010. Likt Jönsson m.fl.³⁰ gör i sin artikel har stillestånden delats in efter vilka faktorer som orsakat dem, samt sorterats efter längd. Genom att redovisa stillestånden och tiden då produktion ägde rum i stapeldiagram med antal på y-axeln och tid på x-axeln, går det att få en överblick över mönster och samt hur många och hur långa tidsintervall som ägt rum. Nedan visas i **Figur 9** ett exempel på hur stilleståndstiden för en av produkterna är fördelad mellan de olika faktorgrupperna samt vilka tidsintervall som förekommer.



Figur 9: Exempel på DT-analys där stilleståndstiderna är uppdelade efter faktorer A-H och efter tidslängd.

³⁰ Jönsson M, Gabrielson P m.fl., Downtime variability from cost perspective (2011)

Till varje stillestånd är en tid för produktion knuten, dessa har behandlats på samma sätt som stillestånden och redovisas i **Figur 10**.



Figur 10: Exempel på TBF-analys där den producerade tiden är indelad efter de faktorer (A-H) som det efterföljande stoppet berodde på.

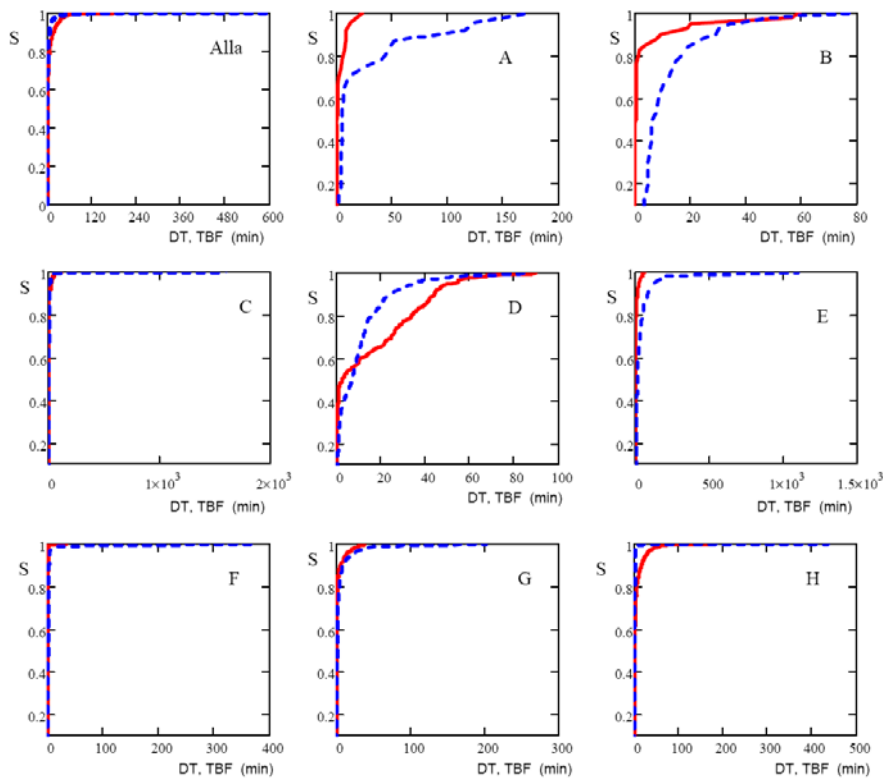
Tanken är att använda de olika diagrammen för att få en tydligare bild över längd och förekomst av stillestånd i produktionen. I figuren ovan går det att se att det är mycket vanligt med kortare stopp samt att tiden för produktion mellan stoppen ofta är mycket kort. Genom att studera TBF i diagrammet för faktorgrupp F som innefattar stillestånd kopplade till specifika processbeteenden ofta kopplade till kvalitet går det att identifiera att tiden före stoppet är omkring noll minuter, vilket överensstämmer med gjorda observationer. Detta då stillestånd på grund av faktorgrupp F (speciella processbeteenden) inträffar efter att något annat stopp inträffat. En kvalitetssäkring kan ha lett till att kassation och skrotning av har gjorts av materialet/ämnet.

För att få ytterligare kunskaper om stillestånden och den producerade tiden, har de fördelats efter hur stor sannolikhet som finns för att tidsperioden skall ha en viss längd. Ett exempel på detta för samma produkt som tidigare går att se i **Figur 11**.

För den undersökta produkten är medeltiden mellan stillestånden (MTBF) 5.2 minuter och fördelningen av samtliga perioder av stillestånd kan beskrivas med en exponentialfördelning. För att t.ex. ta reda på sannolikheten att linjen fortfarande

går efter en 5 minuters kafferast, då operatören precis omstartat linjen innan paus kan följande ekvation användas³¹:

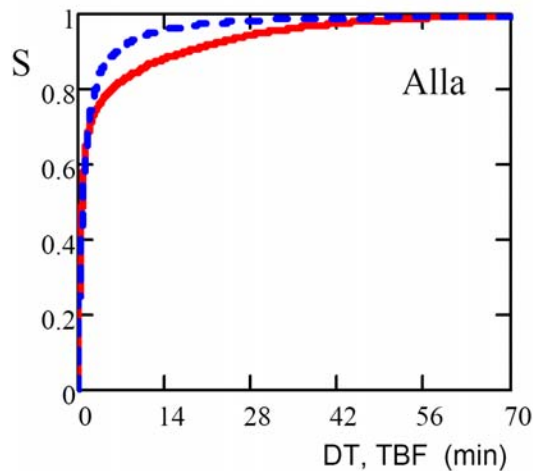
$$E_{PBB} = \frac{1}{t_{PBB}} \cdot MTBF \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{PBB}}{MTBF}}\right) = \frac{1}{5} \cdot 5.2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{5}{5.2}}\right) = 64 \% \quad \text{Ekvation 16}$$



Figur 11: Exempel på empirisk sannolikhetsfördelning över DT (blå) och TBF (röd).

För bättre överblick över den empiriska sannolikheten för samtliga stillestånd visar **Figur 12** ett mindre stilleståndsintervall jämfört med diagrammet i **Figur 11**.

³¹ Ståhl J-E Industriella Tillverkningssystem (sid. 140).

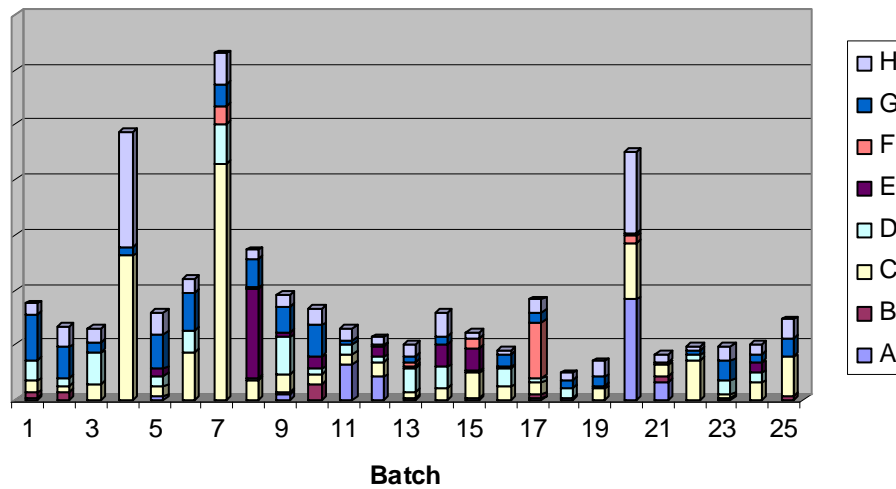


Figur 12: Mer ingående bild över den empiriska sannolikhetsfördelningen av DT och TBF för alla faktorgrupper.

Det är även intressant att studera hur stilleståndsandelen är fördelad över faktorgrupperna, samt över den studerade populationen. Genom att beräkna den genomsnittliga stilleståndsandelen och ta fram årskostnaden för stillestånden för samtliga batcher producerad för alla produkter i linjen valdes efter diskussion med företagets personal intressanta fem produkter ut.

5.2 Stilleståndskostnaden

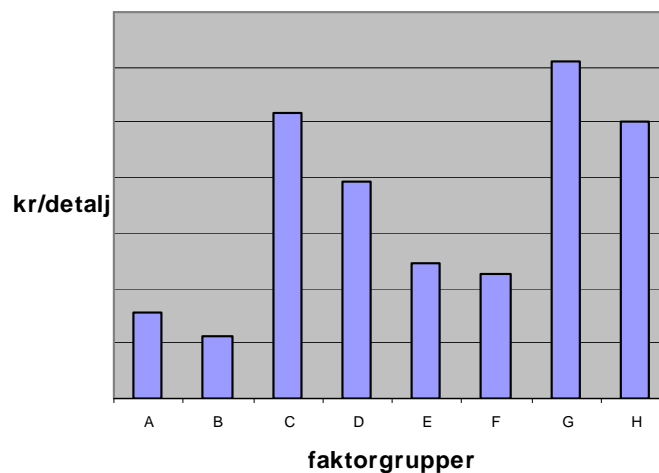
Beräkningar av produktionskostnaden enligt Ekvation 15 har genomförts på slumpvist utvalda batcher, jämt fördelade under året, för de fem produkterna enligt modellen i kapitel 4. För att inte produktionskostnaden skall försvinna i den totala kostnaden har materialkostnaden negligerats, då materialkostnaden är en mycket betydande del av den totala kostnaden. Detta gör att man får en tydligare och mer rättvis bild över hur stillestånd påverkar den totala produktionskostnaden. Då data angående taktförlust och kvalitetsbrister inte ansetts tillförlitlig har q_s och q_q satts till noll vid kostnadsberäkningarna. För varje batch har en stilleståndsandel beräknats ut ifrån den stilleståndsrapportering som operatörerna rapporterat in i rapporteringssystemet. Från kostnadsmodellen erhålls en produktionskostnad per detalj vid insättning av den totala stilleståndsandelen för batchen. Utifrån produktionskostnaden går det att få fram stilleståndskostnaden enligt Ekvation 5 som behandlas i kapitel 3 där z_0 motsvarar Δq_s . Därefter kan andelen från varje faktorgrupps påverkan på stilleståndskostnaden beräknas enligt Ekvation 6. Resultatet för de olika produkterna går att avläsa i Figur 13. till Figur 23, där skalorna på x-axeln är maskerade på grund av sekretess. Det som framkommer mycket tydligt är att spridningen är stor mellan de olika faktorgrupperna, samt mellan de olika batcherna.



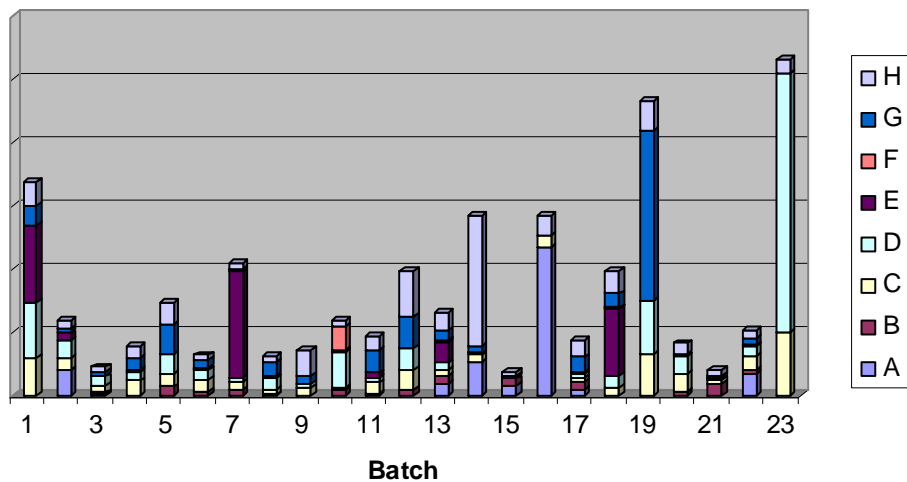
Figur 13: Stilleståndskostnaden per detalj för de olika batcherna beroende av de olika faktorgrupperna för produkt E.

Stillestånd beroende på faktorgrupperna H och G är frekvent förekommande och utgör en icke försumbar del av den totala tillverkningskostnaden. Det finns antydning till att stilleståndskostnaden beror på batchstorleken, vilket försvårar jämförandet av kostnader för olika faktorgrupper. Detta behandlas i avsnitt 5.4.

I **Figur 14** visas medelstilleståndskostanden per faktorgrupp och detalj för produkt E. Detta gör det möjligt att se vad som orsakar de största stilleståndskostnaderna. För produkten i fråga är det framförallt kostnaderna för stillestånd beroende av kringutrustning, okända stopp, stopp som kan härröra till processen samt organisatoriska stilleståndsorsaker.



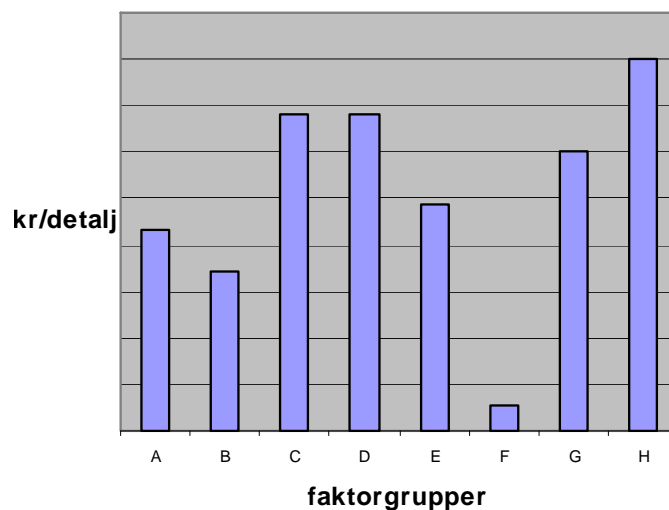
Figur 14: Medelkostnaden per detalj per faktorgrupp och detalj för produkt E.



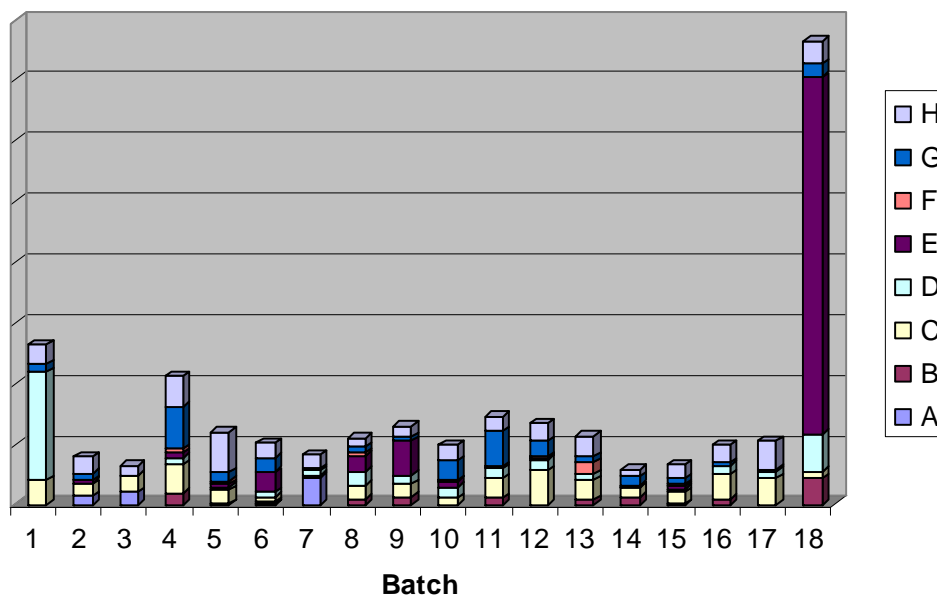
Figur 15: Stilleståndskostnaden för de olika batcherna beroende av de olika faktorgrupperna för produkt D.

För de berörda produkterna är det svårt och se ett synligt mönster på återkommande problem, utan spridningen kan ses som ganska slumpmässig. Viss koppling till högre stilleståndskostnader kan kopplas till mindre batchstorlekar.

Figur 16 visar att produkt D har liknade kostnadsposter som produkt E, men ytterligare faktorgrupper som underhåll, material och verktyg bidrar med större bidrag till stilleståndskostnaden. Det framgår tydligt att produkt D har mycket spridda kostnadsområden och ingen faktorgrupp utom möjligtvis faktorgrupp F är försumbar i sammanhanget.



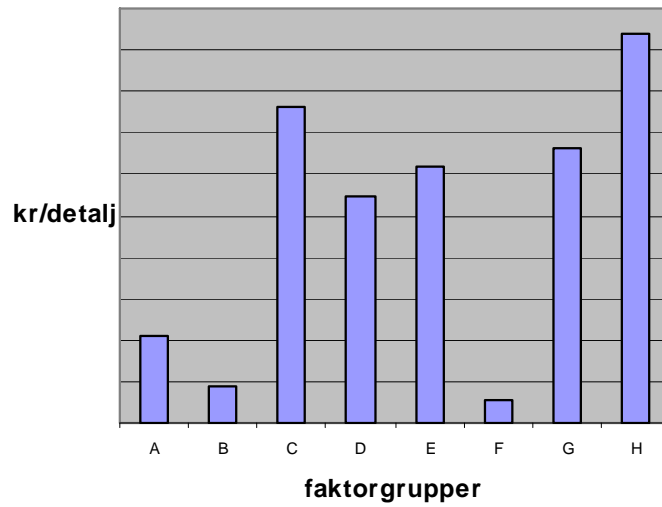
Figur 16: Medelstilleståndskostnaden för produkt D.



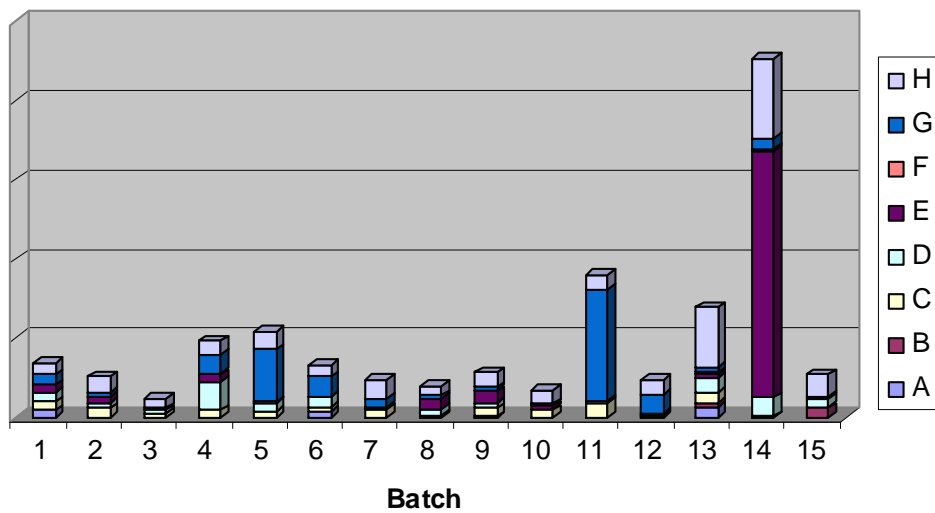
Figur 17: Stilleståndskostnaden för de olika batcherna beroende av de olika faktorgrupperna för produkt C.

Visuellt i Figur 17 kan man se att faktorgrupp C påverkar en stor del av stilleståndskostnaden, även stillestånd beroende av E och H verkar vara något mer frekvent än de andra. De utvalda batcherna av den aktuella produkten är inte under 500 artiklar och är relativt jämnstora.

Medelstilleståndskostnaden är likt för föregående produkter mest beroende av faktorgrupperna C och H, även G och E ger större inslag i kostnaden. Detta går att avläsa i **Figur 18**.

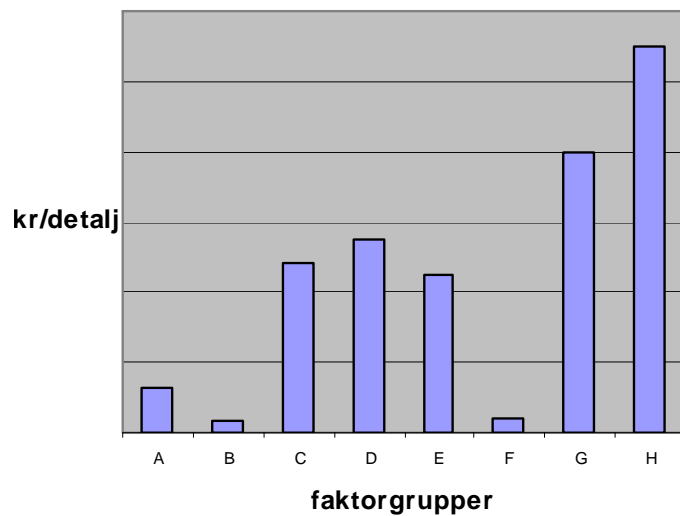


Figur 18: Medelstilleståndskostnaden för produkt C.

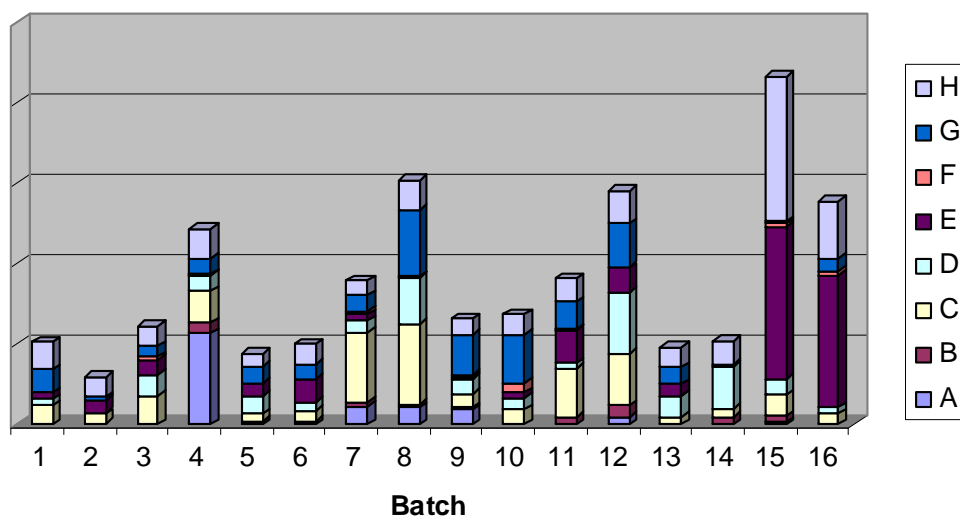


Figur 19: Stilleståndskostnaden för de olika batcherna beroende av de olika faktorgrupperna för produkt A.

Visuellt i **Figur 19** finns det indikationer på att faktorgrupp G och H är återkommande.

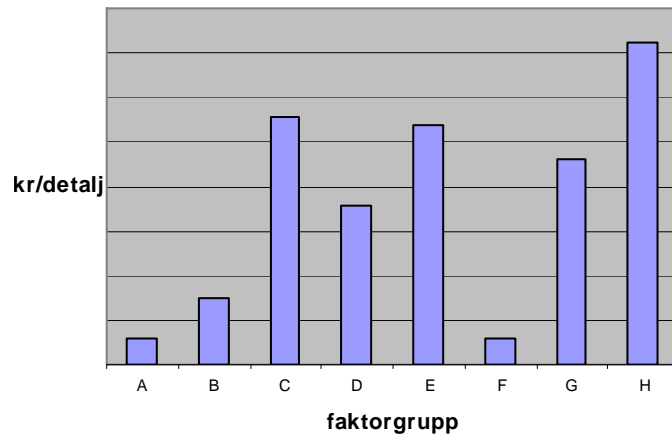


Figur 20: Medelstilleståndskostnaden för produkt A.



Figur 21: Stilleståndskostnaden för de olika batcherna beroende av de olika faktorgrupperna för produkt B.

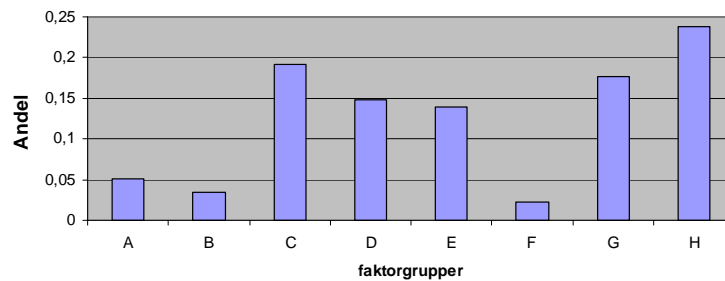
Visuellt går det att se att inverkan av många av faktorgrupperna återkommer under de olika batcherna. Spridningen i stilleståndskostnaden är betydligt mindre än för t.ex. produkt E och produkt D.



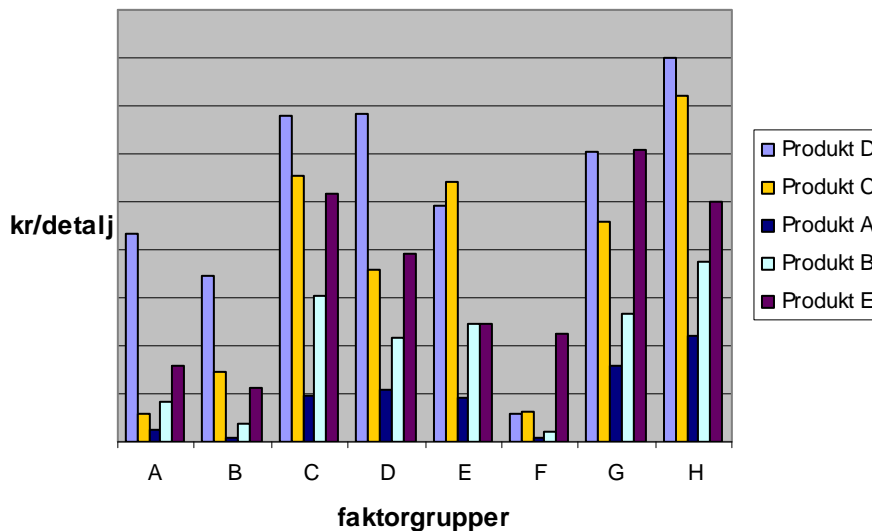
Figur 22: Medelstilleståndskostnaden för produkt B.

Precis som **Figur 21** antyder går det att se i **Figur 22** att det är många faktorer som i förhållande till varandra stor inverkan på totalkostnaden.

För ytterligare överblick över vilka faktorer som kostar har den sammanlagda stilleståndsandelen för de fem produkterna beräknats och redovisas i **Figur 23**. Det som framkommer är att faktorer som verktyg, material och speciella processbeteenden inte direkt påverkar stilleståndsandelen i något större avseende, i den studerade produktionslinjen.



Figur 23: Andel som de olika faktorgrupperna påverkar den totala stilleståndsandelen för de fem produkterna och de utvalda batcher.

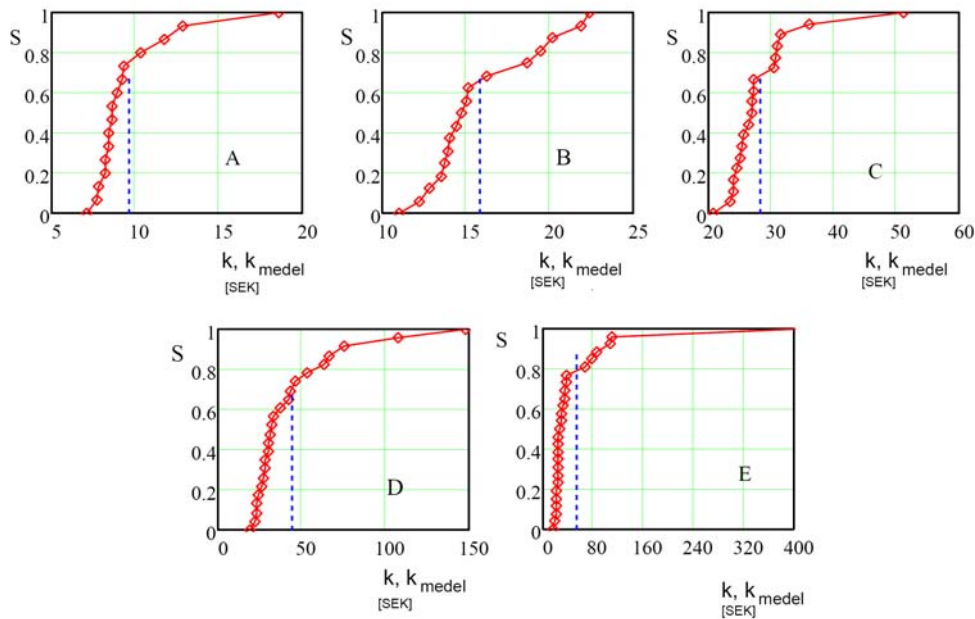


Figur 24: Jämförelse av stilleståndskostnaden för de olika produkterna.

De främsta produktionstörningarna återfinns i faktorgrupperna okända anledningar (H), processfaktorer (C), kringutrustning (G), personal och organisation (D) samt slitage och underhåll (E). Okända anledningar består främst av korta stopp som är under 5 min, medan faktorgrupp C återkommande innefattar till stor del kvalitets-säkringar och justeringar. Det mest återkommande problemet med kringutrustningen rör transfereringen av klippta produkter, vilket domineras av problem med gripdon. Stillestånd på grund av personal och organisations orsaker består främst av raster, personalbrist och administrativt arbete. Stillestånd på grund av slitage och underhåll domineras främst av stopp relaterade till oljeläckage, hydrauliska fel och omslipning av klippverktyg.

5.3 Kostnadsfördelning mellan batcher

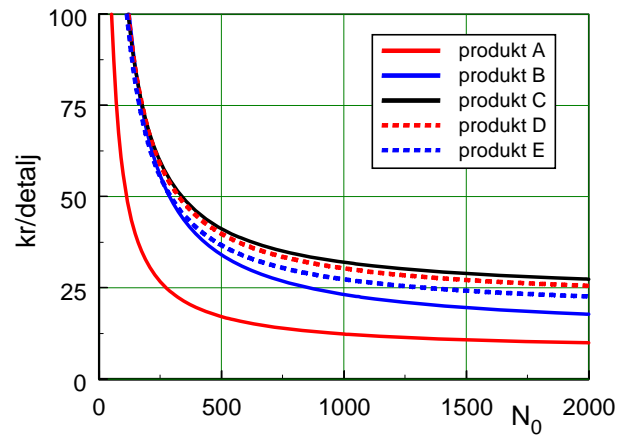
Som ett komplement till föregående presentation av stilleståndskostnaden har fördelningen av produktionskostnaden studerat. Ingen hänsyn är tagen till batchstorleken eller om enstaka stopp som t.ex. större underhållsarbete belastar en batchs produktionskostnad. Det framkommer att skillnaden i produktionskostnad kan skilja stort mellan olika batcher av samma produkt. Speciellt stor skillnad är det för produkterna D och E, där produktionskostnaden per detalj varierar mellan 20 och 150 kr för produkt D och mellan 15 och 460 kr för produkt E. De flesta batcherna av produkt E har en tillverkningskostnad som varierar emellan 15 och 60 kronor per detalj, medan produkt D:s tillverkningskostnad varierar främst mellan 20 och 50 kronor. **Figur 25** visar kostnadsfördelningen mellan de olika produkternas batcher.



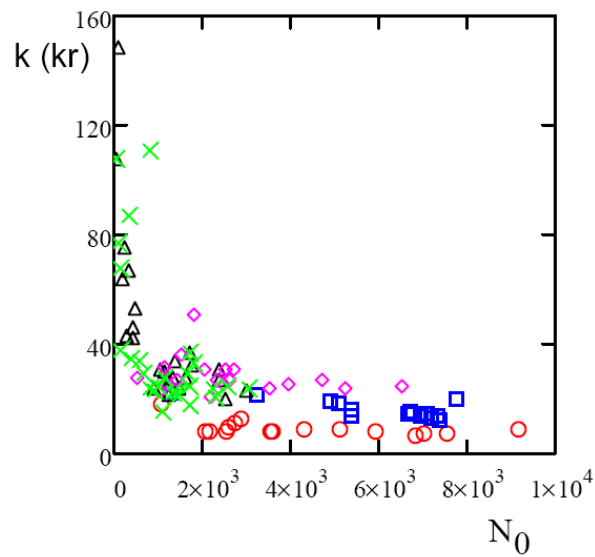
Figur 25: Den empiriska kostnadsfördelningen mellan de olika utvalda produkternas batcher

5.4 Batchstorlek, N_0

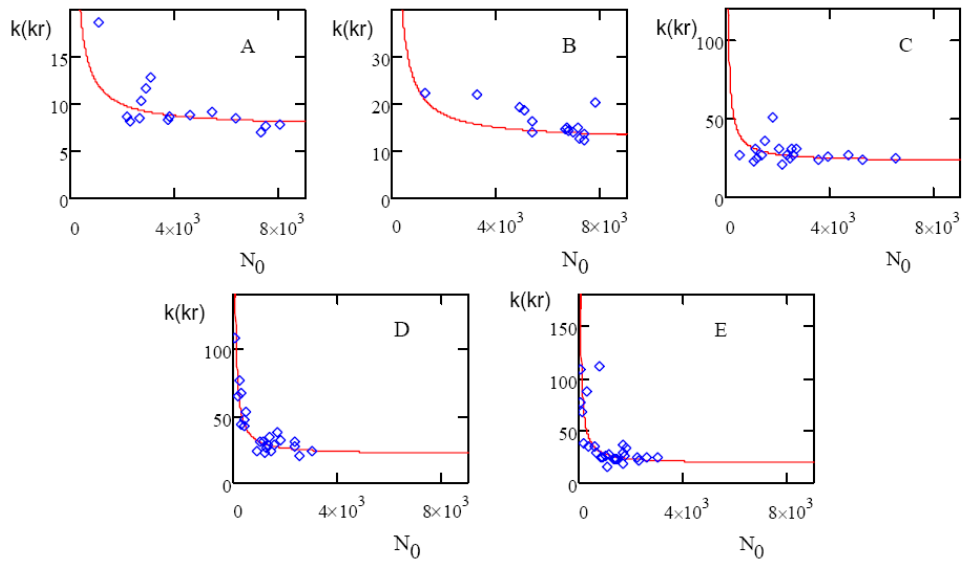
Batchstorleken inverkan på produktionskostnaden har undersökts och resultatet från den matematiska modellen kan ses i **Figur 26**. För varje produkt har medelvärden för samtliga parametrar som är indata till kostnadsmodellen. Resultatet redovisat i **Figur 26**, visar att batcher under 400 definitivt skall undvikas och batchstorlekar över 800 artiklar är att föredra. De enskilda värdena för de olika batcherna går att se i **Figur 27** och i **Figur 28** jämförs dessa med den matematiska modellen. Det finns även en antydning till samband mellan mindre batchstorlekar och större stilleståndsandelar, vilket kan ses i **Figur 29**.



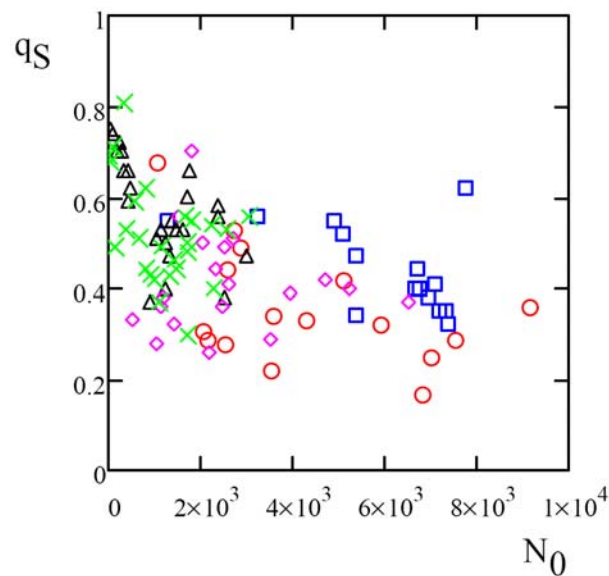
Figur 26: Förhållandet mellan batchstorlek och produktionskostnad för de olika utvalda produkterna.



Figur 27: Sambandet mellan produktionskostnaden och batchstorleken för de enskilda värdena för de olika batcherna och produkterna. Produkt A (röd), produkt B (blå), produkt D (svart), produkt C (mangan) och produkt E (grön).



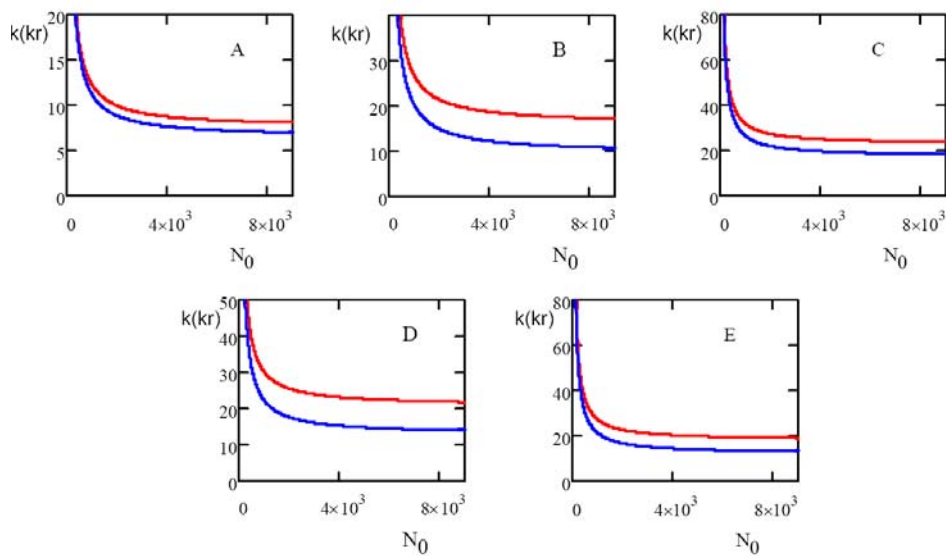
Figur 28: Jämförelse mellan den matematiska modellen, där ett medelvärde från de olika batcherna använts och värdet från de enskilda batcherna, då förhållandet mellan produktionskostnaden och batchstorleken undersöks.



Figur 29: Förhållandet mellan stilleståndsandel och batchstorlek, produkt A(röd), produkt B(blå), produkt D(svart), produkt C(mangan) och produkt E (grön).

5.5 Simulering av produktionskostnaden

Genom simulering av produktionskostanden är det möjligt att få en överblick över besparingspotentialer och målkostnader. En simulering som är utförd är produktionskostnaden som funktion av batchstorleken, där stilleståndsandelen är satt till värdet 0.2, ett värde som tillverkande industri borde kunna uppnå. Den simulerade kostnaden jämförs med kostnaden för en medelbatch för de olika produkterna. Vid jämförelse av samtliga batcher kommer variationer att uppstå som både ger större och mindre skillnader än vad som redovisas.

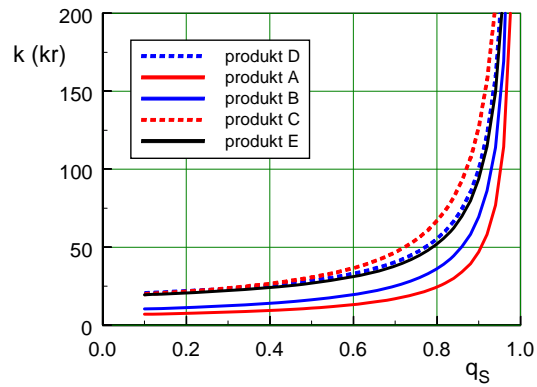


Figur 30: Simulering över produktionskostnaden för de olika produkterna beroende av batchstorleken, där den röda kurvan motsvarar kostnaden för uppkomna medelstillestånd och den blå kostnaden då stilleståndsandelen $q_s = 0.2$.

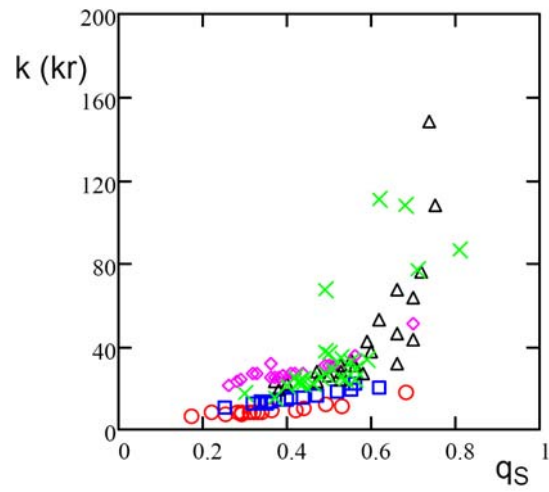
Det framgår att besparingspotentialen är relativt stor för samtliga produkter utom produkt A.

5.6 Stilleståndsandel, q_s

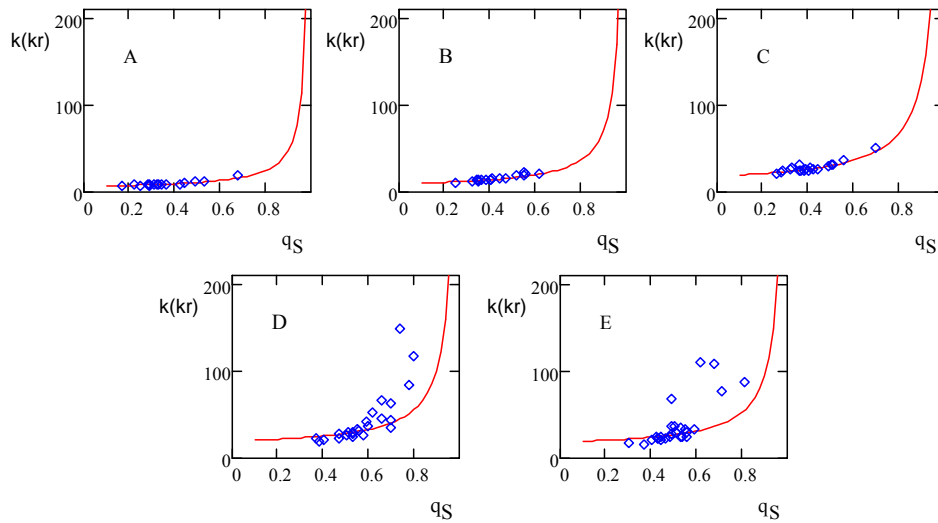
Stora stilleståndsandelar bidrar till höga produktionskostnader. Sambandet mellan stilleståndsandelen och produktionskostanden per detalj för de olika produkterna kan ses i **Figur 31** och **Figur 32**. I **Figur 31** visas resultatet av en ren matematiskmodell av medelvärden från de olika batcherna medan **Figur 32** visar verkliga värden för de olika batcherna. I **Figur 33** jämförs de olika resultaten.



Figur 31: Produktionskostnaden som funktion av stilleståndsandelen erhållen genom tillverkningsekonomisk simulering för utvalda produkter.



Figur 32: Förhållandet mellan produktionskostnaden och stilleståndsandelen q_s för de enskilda batcherna för de utvalda produkter.

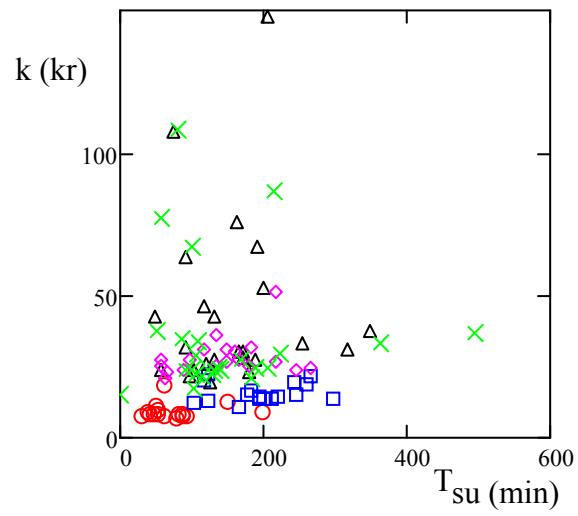


Figur 33: Jämförelse mellan den matematiska modellen, där ett medelvärde från de olika batcherna använts och värdet från de enskilda batcherna, då förhållandet mellan produktionskostnaden och stilleståndsandelen undersöks.

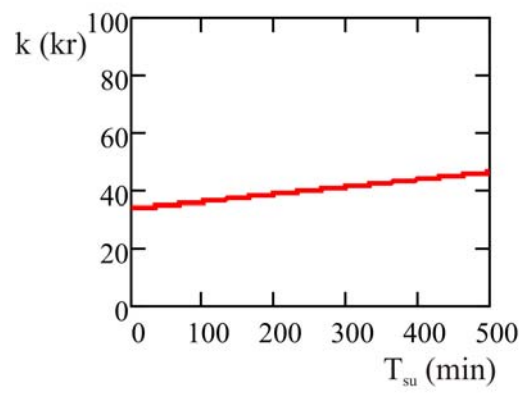
Från diagrammen framgår det tydligt att det är speciellt viktigt att stilleståndsandelen inte överstiger 0.6, då kostnaderna därefter ökar drastiskt.

5.7 Ställtider, T_{su}

Omställningar i form av materialbyte, verktygsbyte m.m. påverkar inte stilleståndsandelen utan är en term i kostnadsmodellen som är frikopplad från alla andra stillestånd. Detta för att det är ett stillestånd som är nödvändigt för att produktionen skall fortgå och starta och därför inte bör beblandas med andra typer av stillestånd som beror på störningar i produktionen. Ställtiden för de olika batcherna varierar och påverkar därför totalkostnaden olika mycket. Dock verkar det inte finnas något direkt samband mellan mycket höga tillverkningskostnader och långa ställtider, se **Figur 34**. I **Figur 35** går det att se ett exempel på hur tillverkningskostnaden kan variera beroende på hur lång ställtiden är.



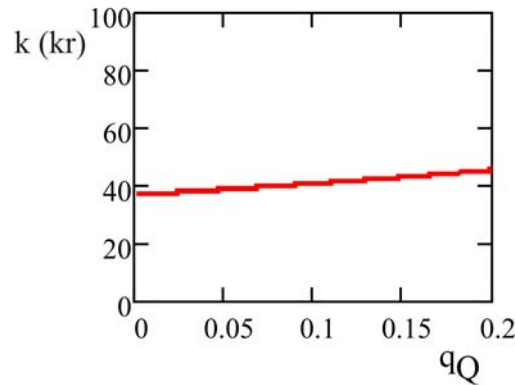
Figur 34: Sambandet mellan tillverkningskostnaden och ställtiden för utvalda produkter.



Figur 35: Förändring i tillverkningskostnad vid varierande ställtid för en utvald produkt.

5.8 Kassationsandel, q_Q

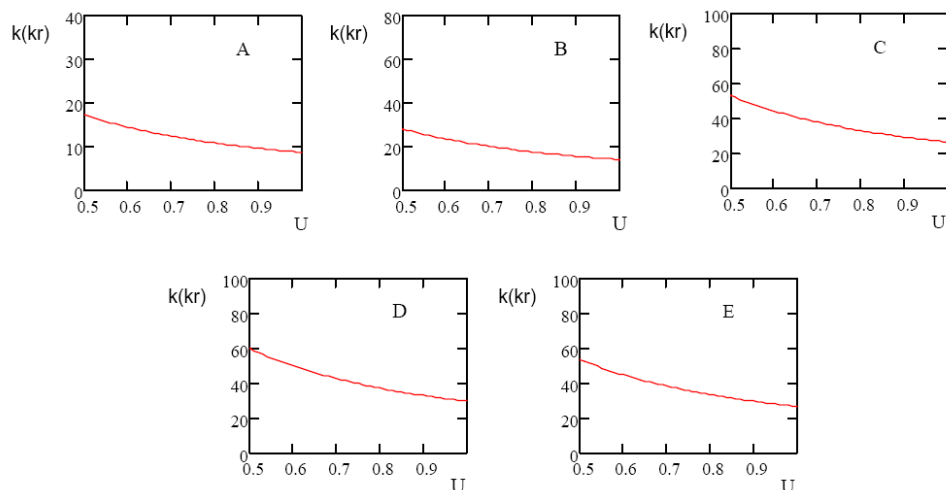
Det är inte enbart kostnaden för kasserat material som belastar produktkostnaden, utan även förlusten av att linjen inte tillverkat en detalj som går till kund. Nedan i **Figur 36** visas ett exempel på hur produktionskostnaden förhåller sig till kassationsandelen då enbart förlorad arbetstid är medräknad.



Figur 36: Kostnadsförändringen av att kassationer görs utan att materialkostnaden är medräknad för produkt D.

5.9 Utnyttjandegraden, U_{RB}

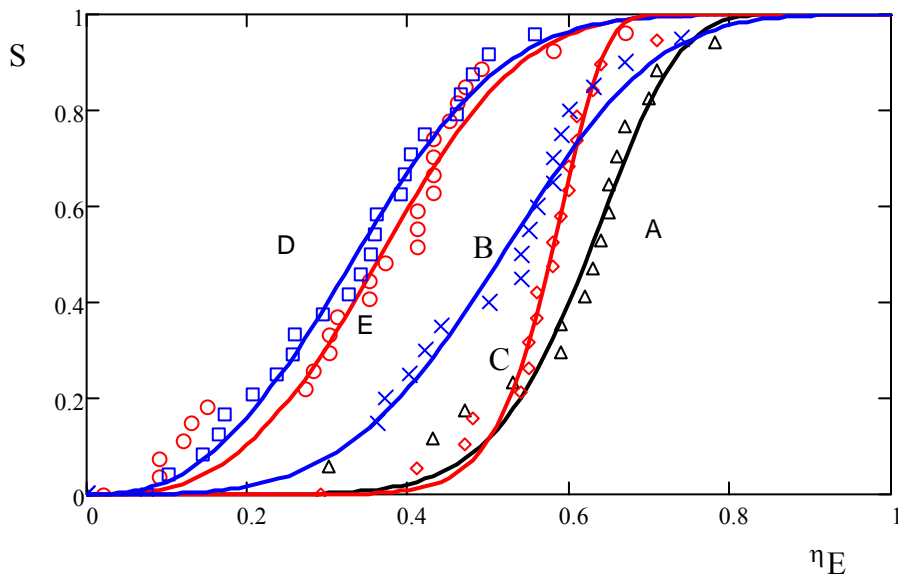
Då företaget funderar på att flytta viss produktion bort från den studerade linjen finns det anledning till att undersöka hur utnyttjandegraden påverkar produktionskostnaden. Nedan visas ett matematiskt exempel på hur produktionskostnaden ändras vid varierande utnyttjande av linjen.



Figur 37: Hur produktionskostnaden förändras med avseende på utnyttjandegraden för varje produkt.

5.10 OEE och TEV

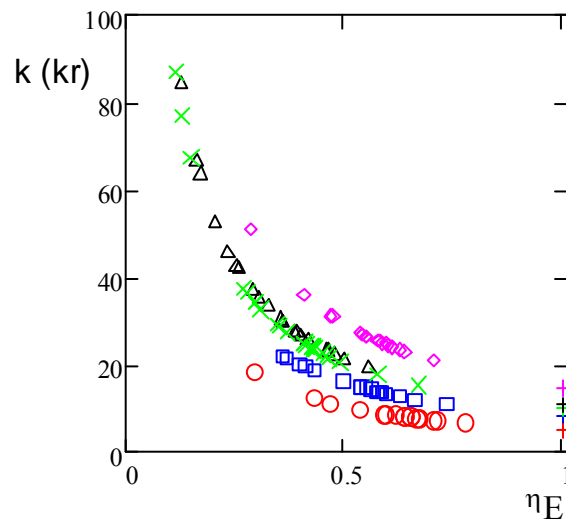
Den tillverkningsekonomiska verkningsgraden (TEV) har beräknats för varje batch för de fem produkterna. I **Figur 38** går det att avläsa de olika batchernas tillverkningsekonomiska verkningsgrads fördelning med approximerad weibullfördelning. Det är tydligt att det förekommer stor variation mellan de olika batcherna samt mellan de olika produkterna. Produkt A:s värden ligger inom intervallet för riktvärdet 0.4 – 0.8, medan C ligger i gränzonen för vad som är godtagbart.



Figur 38: Fördelningen av den tillverkningsekonomiska verkningsgraden för de fem produkterna. Punkterna representerar de verkliga η_E -värden olika batcher medan linjerna är anpassade weibullfördelningar.

I **Figur 39** kan ett entydigt samband identifieras mellan hög produktionskostnad och låg tillverkningsekonomisk verkningsgrad η_E . I samma diagram går det att avläsa den ideala kostnaden för de utvalda produkterna, dessa redovisas även i **Tabell 1**.

Det förekommer stora skillnader mellan företagets OEE beräkningar och de beräkningar som utförts i anslutning till föreliggande arbete. De främsta orsakerna till detta är att OEE beräkningarna i arbetet inte tar hänsyn till taktförluster, men även för att olika cykeltider har använts vid beräkningarna. De cykeltider som använts i arbetet är de bäst uppmätta tiderna som förekommit under en given produktionstid. Detta anser författaren motsvarar de värden som bör användas vid fortsatta beräkningar av OEE.

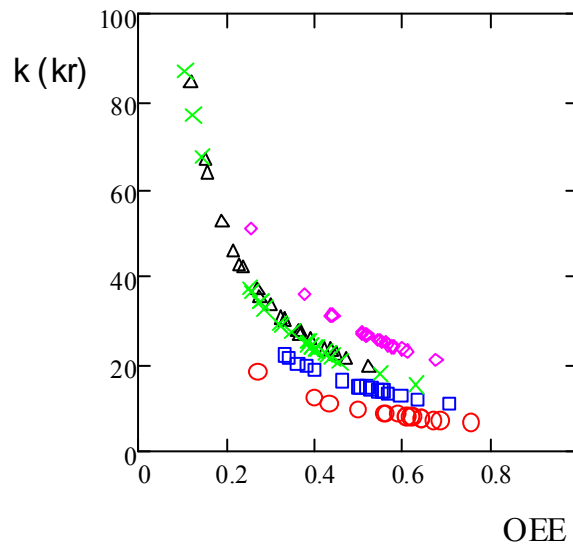


Figur 39: Produktionskostnaden som funktion av tillverksekonomisk verkningsgrad för samtliga utvalda batcher samt k_{ideal} för samtliga produkter.

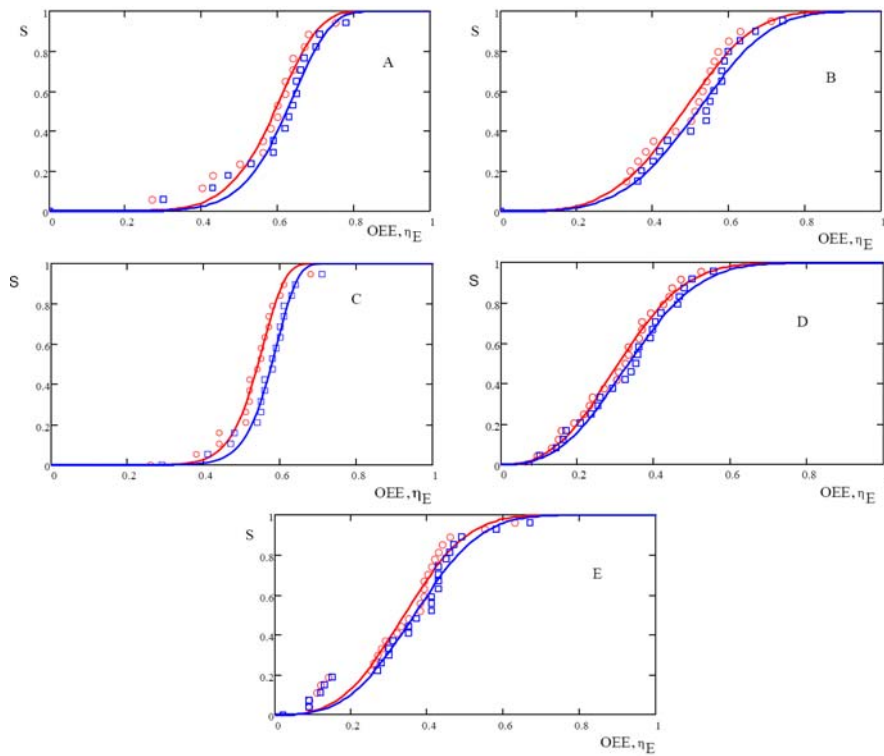
Tabell 1: Den ideala kostnaden för de utvalda produkterna.

Produkter	k_{ideal} (kr)
Produkt A	5,50
Produkt B	8,10
Produkt C	14,70
Produkt D	10,90
Produkt E	10,20

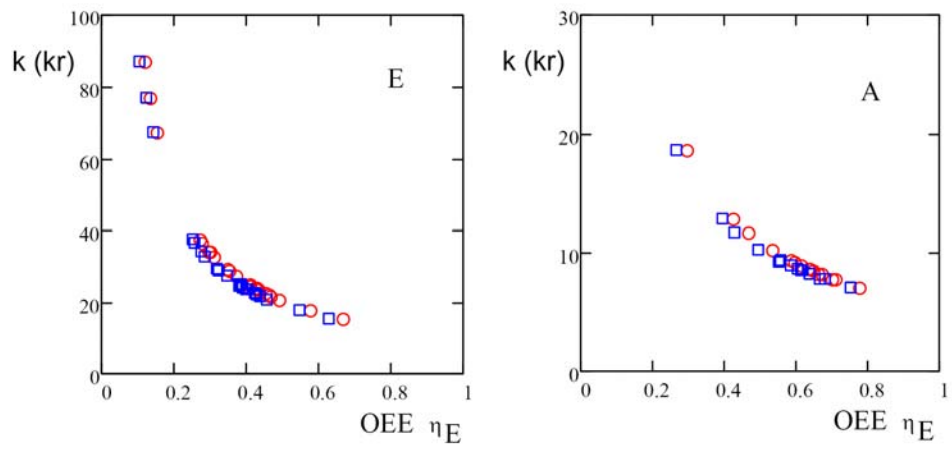
I **Figur 40** ses sambandet mellan produktionskostnaden och OEE, vilket överensstämmer mycket om sambandet mellan produktionskostnaden och verkningsgraden. En god korrelation finns mellan den tillverkningsekonomiska verkningsgraden TEV och OEE-talet, vilket redovisas i **Figur 41** och **Figur 42**.



Figur 40: Sambandet mellan OEE och produktionskostnaden för några utvalda produkter.



Figur 41: Jämförelse mellan OEE (○) och tillverkningsekonomisk verkningsgrad (◻) för utvalda produkter.



Figur 42: Jämförelsen av överensstämmelsen mellan OEE (\square) och TEV (\circ) för de två utvalda produkterna E och A.

6 Analys av förbättringspotential

Efter observationer, intervjuer och inledande arbete fastställdes tre olika problemområden som för företaget borde vara intressanta att studera närmare. Dessa är oplanerat underhåll, gripdonsproblem och korta stopp. Gripdonsproblem och oplanerat underhåll lyftes ut ur det befintliga projektet och bildade två nya delprojekt. Företaget arbetar löpande med utvärdering av hur råmaterialets toleranser påverkar producerbarheten, samt vilka toleranser som man borde ange till underleverantören.

6.1 Underhållsanalys

Ur företagets produktionsuppföljningsdata kan man identifiera att några av de största orsakerna till oplanerade underhåll är oljeläckage och hydrauliska fel. Då det är önskvärt att reducera de oplanerade underhållen så mycket det går är det av vikt att kartlägga uppkomsten av dem. Ett sätt att komma till rätta med oplanerade underhåll är att fastslå orsakerna så pass bra att de kan ersättas med planerat underhåll. En undersökning av Carl Nilsson³² har genomförts för att kartlägga när och under vilka förutsättningar oljeläckage och hydrauliska fel uppstår.

Vid undersökning av oljeläckage, visade det sig att det finns indikationer på att vid tillverkning av produkter av titanlegeringar är andelen läckage mindre än vid tillverkning av andra produkter. Detta kan förklaras med att plåten ofta är tunnare, men även att den är något mer lättbearbetad. I sin rapport anför även Nilsson att det föreligger ökad risk för oljeläckage vid långvarig tillverkning av större batcher av större produkter. Dock kan oljeläckaget inträffa vid annan tidpunkt efter de tillverkade batcherna.

Vid undersökning av hydrauliska fel går det att dra direkta samband mellan produkt och stillestånd. I undersökningen framgår tydligt att vissa produkter orsakar mer fel och andra betydligt mindre om man jämför med andelen producerade produkter. Produkt D är en av de sämre i detta avseende.

Vid jämförelse mellan första kvartalet 2010 och första kvartalet 2011 har antalet oplanerade underhåll beroende på oljeläckage och hydraulikfel minskat något. Anledningen till detta kan vara kontinuerliga uppgraderingar av komponenter i utrustningen under 2010, vilka har högre prestanda.

I rapporten framgår det även att de rekommenderade presskrafterna inte alltid verkar vara praktiskt anpassade och optimalt valda.

³² Nilsson C, Underhållsanalys (2011).

6.2 Fel knutna till gripdon

Med anledning av att det bland de anställda vid produktionslinjen upplevs som att mycket stopp beror på gripdonsproblem har följande studie genomförts.

Studien utfördes av Kathrine Spang³³ och undersöker omfattningen av stillestånd beroende av gripdonsproblem, samt var och varför dessa uppkommer. Tidigare studier utförda av Alfa Laval's personal har resulterat i ombyggnad av själva gripklon, vilket gett goda resultat, men det kvarstår fortfarande problem.

I sin rapport redogör Spang hur hanteringen av plåt in och ut ur pressen går till samt vilka gripdon som orsakar stoppen. Det visar sig att det främst är gripdonen som lyfter ut plåten som orsakar stillestånd. Det finns två teorier kring varför problemen uppstår.

1: Vid pressning av mindre produkter, kan stopporsaken bero på att gripdonen bottnar i pressverktyget, d.v.s. gripklorna går inte ut ur sina hus ordenligt då de skall plocka upp detaljen.

2: Vid tillverkning av större produkter hamnar gripdonen snett i förhållande till de urfalsningar som finns i pressverktyget och därför inte kommer åt produkterna ordenligt.

Ytterligare en orsak till att gripdonen inte fungerar tillfredställande kan vara att sensorerna blir smutsiga och då inte kan detektera produkterna ordentligt.

Enligt de data som använts vid analysen framgår det att det skiljer sig stort mellan olika produkttyper i antal gripdonsproblem.

6.3 Korta stopp

En mindre undersökning av vilka stilleståndsorsaker som döljs i korta stopp har genomförts. Korta stopp är vanliga fall stopp under 5 minuter som inte behöver rapporteras, men under undersökningen har gränsen sänkts till 2 minuter. Studien har ägt rum under två åttatimmarspass. Under tiden som linjen gått har automatiska larm loggats samt operatören rapporterat stilleståndsorsaker in i rapporteringssystemet, samtidigt har en manuell logg förts för samtliga stopp vid sidan om. Kontinuerliga intervjuer med operatörerna genomfördes på plats för att säkerställa att stilleståndsorsakerna blivit korrekt rapporterade till loggen. Efter varje undersökningstillfälle har de två stilleståndsrapporteringarna jämförts och stilleståndsorsakerna för de korta stoppen fastställts. Undersökningen visade att stilleståndsorsakerna skiljde sig markant mellan de båda tillfällena. Under dessa två tillfällen

³³ Spang K, Undersökning av transportverktyg vid stor produktionslinjetitel (2011).

tillverkades olika produkter och det var olika operatörer som var ansvariga för linjen. Under andra undersökningstillfället var linjen inställd på halverad transporthastighet. Detta på grund av att linjen inte återstälts innan produktion. Vid första undersökningstillfället var det främst problem med centering innan press som upptog över 40 % av tiden för det korta stoppen, men stillestånd orsakade av byte av coil och justering av klippverktyget förekom i högre utsträckning än andra. Vid andra tillfället handlade de korta stoppen mest om olika typer av kvalitetssäkringar vid produktionsstart.

6.4 Materialspill

Materialspill, (q_B), förekommer alltid vid tillverkningen av produkterna vid produktionslinjen. Omfattningen beror bland annat på den aktuella produktens dimensioner, då lika långa inkörningsdetaljer alltid skrotas vid inledning av tillverkningen. Vid undersökning av tillverkning av produkt D och E motsvarade inkörningsdetaljen ca 150 % resp. 400 % av en färdig detaljs vikt. Förutom inkörningsdetaljen förekommer materialspill vid slutet av coil. Omfattningen beror bland annat på hur stor del av plåten som går att använda, då det visat sig att kvalitén på plåtmaterialet vid slutet av ämnesrullen inte alltid håller de toleranser som företaget behöver. Företaget bedriver ett projekt för att utreda hur bra toleranser som egentligen behövs för att uppnå de kvalitetskrav som finns på produkterna, samt för att tillverkning skall vara möjlig. Ytterligare materialspill förekommer vid byte av coil, men även mindre spill kan förekomma under löpande produktion. Kostnaden för materialspill varierar därför från batch till batch, men borde oavsett påverka produktionskostnaden betydande, med tanke på det höga materialpriset.

7 Diskussion och rekommendationer

I följande kapitel diskuteras arbetes resultat samt vilka åtgärder som kan leda till att problemen reduceras alternativt elimineras.

7.1 Sammanställning

I syfte att ge en överskådlig bild av olika stilleståndsorsaker och deras fördelning har Tabell 2 sammanställts. Det som framgår tydligt är att produkt A har minst stilleståndsandelar i de flesta faktorgrupperna samt högsta värdena på OEE och TEV.

Tabell 2: Medelvärden för de stilleståndsorsakerna A-H för de analyserade produkterna. Grönt avser det bästa värdet per faktorgrupp och gult det sämsta.

	N_0	q_s	q_{SA}	q_{SB}	q_{SC}	q_{SD}	q_{SE}	q_{SF}	q_{SG}	q_{SH}	η_E	OEE
Produkt C	52000	0,39	0,02	0,03	0,08	0,06	0,08	0,02	0,07	0,10	0,54	0,51
Produkt A	74000	0,33	0,02	0,01	0,05	0,06	0,05	0,01	0,08	0,11	0,62	0,58
Produkt E	35000	0,49	0,04	0,03	0,10	0,08	0,05	0,05	0,12	0,10	0,37	0,35
Produkt D	28000	0,53	0,06	0,05	0,10	0,10	0,07	0,02	0,09	0,12	0,36	0,33
Produkt B	110000	0,40	0,03	0,02	0,09	0,07	0,07	0,02	0,08	0,10	0,56	0,53

Generellt har produkterna A, B och C större batcher än produkterna D och E, vilket kan förklara en del av skillnaden i produktionskostnad. Det är dock tydligt att det är betydligt mer problem med att producera produkterna C och D. Vid tillverkning av produkt D uppkommer mycket stillestånd på grund av okända anledningar. Uppskattningsvis är medelstilleståndsandelen för denna faktorgrupp 0,12, vilket gör det extra viktigt att undersöka vad dessa fel beror på. Problem som beror på faktorgrupp F, kringutrustning, är speciellt stor för produkt E och stillestånd beroende på faktorgrupp C är stor för både produkt D och E. Samtidigt kan många av förgående uppräknade stilleståndsproblem till grunden bero på andra faktorer som t.ex. material.

7.2 Stilleståndsorsaker

Den i projektet analyserade produktionslinjen är mycket komplex, vilket bland annat visar sig i den stora variationen av stilleståndsorsaker. Då det finns flera större kategorier av faktorer som orsakar stillestånd gäller det först och främst att åtgärda de som har störst inflytande på produktionskostnaden.

7.2.1 Okända stopp, korta stopp, faktorgrupp H

Den största gruppen av stilleståndsorsaker i både antal och sammanlagd tid är okända stopp, vilket leder till att kartläggningen och förståelsen av dess är i hög grad nödvändig. I undersökningen som nämns i avsnitt 6.3 framgår det att de korta stoppen tenderar att vara produktberoende, därför är det rekommenderat att genomföra liknande undersökningar på samtliga produkter eller på ett prioriterat urval av dem. Dolda i de korta stoppen finns problem med ämneshanteringen samt en del stillestånd som beror på att justeringar är nödvändiga att utföras.

7.2.2 Processberoende faktorer, faktorgrupp C

En mycket stor del av stilleståndstiden går åt till kvalitetssäkring av tillverkade enheter och justering av ämneshanteringen i linjen. Vid jämförelse av de olika produkttyperna ser man att den klart bästa av dessa är produkt A. Generellt är stilleståndsandelarna lägre för varje övrig faktorgrupp, men en markant skillnad är att faktorgruppen C har betydligt lägre stilleståndsandelar än motsvarande för de andra produkterna. Detta kan förklaras med att kvalitetssäkringar och justeringar har gjorts i mindre omfattning, med andra ord är tillverkningen av produkt A antagligen mer inkörd än de övriga. Detta indikerar på att erfarenhet spelar en stor roll kring hur väl produktionen fortlöper. Att produkt A även tillhör de mindre produkterna kan bidra till att hanteringen och tillverkningen av produkten är mindre problematiskt.

Produkt D och Produkt E är de produkter med störst andel stillestånd (0.10) på grund av faktorgrupp C. Vid tillverkning av produkt D består 77 % av den totala stilleståndstiden beroende på faktorgrupp C av kvalitetssäkringar och ytterligare 15 % på grund av byte av coil inom samma order. Vid tillverkning av produkt E motsvarar dessa stilleståndsorsaker av 55 % resp. 16 %, men även justeringar upptar ca 15 % av tiden.

7.2.3 Underhåll, faktorgrupp E

Det är mycket som tyder på att oljeläckage inträffar på grund av materialutmattning. Större produkter innebär större presskrafter och då även större sannolikhet för läckage. Det är därför intressant och undersöka hur många slagcykler med en viss minimumkraft som kan genomföras innan läckage uppstår. Det kan då vara möjligt att förutse när nästa läckage inträffar och sätta in förebyggande åtgärder.

Ett annat sätt att förebygga oljeläckage och hydrauliska fel är att sänka presskrafterna i den mån som det går. I sin rapport skriver Nilsson³⁴ att presskrafterna inte alltid är logiskt valda. En analys av vilka presskrafter som erfordras för olika produkter eller produktgrupper kan reducera stillestånden orsakade av oljeläckage och hydrauliska fel.

³⁴ Nilsson C, Underhållsanalys (2011).

7.2.4 Hanteringsutrustning, gripdon, faktorgrupp G

Före undersökning utförd av Spang³⁵ fanns det uppfattningar om att merparten av problemen med gripdonen uppträdde vid inmatningen av plåt till pressen, samt att många av de korta stoppen berodde på problem knutna till gripdon. Undersökningen indikerar att det istället är vid utmatningen av ämnet som de största problemen uppstår. Spang diskuterar kring att det möjligtvis finns andra problem som upplevs som gripdonsproblem, men som beror på helt andra orsaker. Ett av dessa är centreringsproblem av ämnet innan det förs in i pressen, vilket innebär att produkterna hamnar ur position. Analysen av korta stopp indikerar att centreringen av ämnet före inmatning i verktyget kan uppgå till 42 % av den aktuella kategorin. Detta är inte statistiskt säkerställt och mer omfattande undersökningar rekommenderas. Det finns indikationer på att problem med hanteringsutrustningen är omfattande och därför kan vara lönsamt att undersöka närmare. En eventuell åtgärd, som även Spang tar upp, är att uppgradera transportbanan fram till pressen med något för att åstadkomma högre friktion som hindrar produkterna från att glida ur position. I detta fall kan det räcka med en mindre justering av befintlig utrustning.

7.3 Omställning av produktion

Stilleståndsandelen påverkar tillverkningskostnaden i betydligt högre grad än ställtiden och företaget verkar använda sig av bra rutiner vid omställningar. Därför är det inte primärt för insatser för att effektivisera ställtider i nuläget. Dock är det bra att vara medveten om kostnaden för onödigt långa ställtider.

7.4 Personal och organisation

Personalen som arbetar i den aktuella produktionslinjen uppvisar stort engagemang och bidrar ofta med förslag på hur olika problem skall kunna lösas, vilket är en stor tillgång för företaget. Avdelningen samlar information om hur olika problem löses på bästa sätt, vilket överförs muntligt av arbetsledaren till de olika skiften, men som även skall nedtecknas skriftligt. Ett annat alternativ till informationsöverföring via tredje man eller skriftlig kommunikation är ”workshops”, där operatörer från samtliga skift träffas under ordnade former och diskuterar vilka problem som de upplever och åtgärder för dessa. Detta bör även kombineras med team – bildande aktiviteter, så att personalen i alla skiften känner att de arbetar tillsammans. Det är även ett bra sätt för att homogenisera begrepp och nomenklatur i stilleståndsrapporteringen. Främst stillestånd beroende av faktorgrupp C skulle vara möjligt att reducera med hjälp av ovanstående arbetssätt, då förekomsten av stillestånden beror mycket på hur väl rutiner, inställningar m.m. fungerar.

³⁵ Spang K, Undersökning av transportverktyg i stor produktionslinje (2011).

Det kan även vara av intresse att anordna kurstillfällen i tillverkningsekonomi för de anställda som är direkt knutna till linjen. Detta för att få förståelse för hur olika val av arbetssätt och nyckeltal (resultatparametrar) påverkar den slutliga produktionskostnaden.

Operatörerna medverkar till stor del i de projekt som bedrivs vid linjen och med tanke på det engagemang som finns kan det finnas anledning att se över huruvida operatörerna själva skulle kunna ta initiativ till egna mindre projekt. Detta i syfte att lösa vissa problem eller utvärdera produktionsätt och optimera produktionsprocessen.

En åtgärd som skulle kunna spara flera minuter varje dygn är att göra det möjligt att återställa linjen var man än befinner sig längs den. Idag finns det olika monitorer längs linjen där det går att styra de olika avsnitten. Runt linjen finns rörelsesensorer som stänger av produktionen om någon går för nära eller öppnar säkerhetsområde m.m. Genom att kunna återställa alla sensorer från alla monitorer behöver inte operatörerna förflytta sig fram och tillbaka när flera avsitt berörts av ett produktionsstopp, för att återställa sensorer.

En orsak till de högre produktionskostnaderna kan vara små batchstorlekar, vilket innebär att ställtider och inkörningstider fördelas på ett mindre antal produkter. Det kan därför finnas anledning till att undersöka ifall vissa återkommande lågvolymsprodukter kan tillverkas mot lager. Detta genom att jämföra lagerkostnader med produktionsstörningskostnader.

7.5 Användningen av OEE

Företaget använder OEE som mått på utrustningseffektiviteten. I avsitt 5.10 undersöks dess kongruens med den tillverkningsekonomiska verkningsgraden TEV. Båda tenderar att överensstämja väl med varandra, vilket bidrar till att företaget även i fortsättningen kan använda OEE som nyckeltal för att övergripande bedöma produktionens kvalitetsnivå/standard. Det är dock nödvändigt att se över de cykeltider som är valda för att säkerställa resultatens användbarhet. En korrekt beskrivning i detta avseende är viktig då cykeltiden har ett starkt inflyttande på både OEE, TEV och den slutliga tillverkningskostnaden.

7.6 Kassationer och materialspill

Ingen hänsyn till kassationer har tagits under projektets gång, dock har det framkommit flera indikationer på att företaget behöver se över sin kassationsrapportering. Inte minst eftersom största kostnaden för produkten är just materialkostnaden. Idag går det att rapportera en allmän orsak till kassationen, men inte var i kedjan som den utförts. För att kunna bedöma vad kassationen kostar företaget är det viktigt att veta hur mycket produkten hanterats innanför och utanför företaget. I avsnitt 5.8 jämförs kostnaden för att tillverka en detalj som inte når upp till kvalitetskraven och en som gör det. Desto senare i produktionskedjan som kassationen

utförs desto dyrare blir det för företaget. Förutom att företaget gör en förlust för att en godkänd detalj inte kan produceras under den tiden tillkommer förluster i form av material. Även kostnader för att t.ex. ställa om maskiner för att tillverka en enskild detalj för att kunna få iväg en order kan förekomma och i värsta fall kan kundernas förtroende gentemot företaget bli skadat på grund av icke tillfredställande produkter, vilket också kommer att påverka företaget ekonomiskt. Det hade även varit föredömligt om anledningen till kassationen gick att specificera bättre.

Ytterligare ett problemområde som har noterats är materialspill, vilket efter inledande studier verkar omfattande. Med tanke på den höga materialkostnaden är det önskvärt att analysera var materialspill uppkommer, samt hur och varför, men även omfattningen av det. En åtgärd kan vara att försäkra materialcontainern för kasserat material med en våg för att efter varje batch kontrollera mängden materialspill.

7.7 Förslag till åtgärder

På grund att tillverkningen är så komplex är det svårt att hitta samband och mönster, men genom arbetets gång har flera problemområden identifierats. Därför föreslås att företaget vidtar följande åtgärder:

- Fastställ var och varför kassationer/materialspill uppstår, samt i vilken omfattning.
- Säkerställ stilleståndsorsaker, speciellt de korta stoppen.
- Planera mer ingående när underhåll skall utföras och arbeta med att hitta mönster och orsaker till att underhåll behöver göras. Detta gäller t.ex. oljeläckage.
- Överför kunskap och information mellan skiften under ”team - byggande” åtgärder.
- Gemensam kurs för samtlig personal i tillverknings ekonomi.

Med hjälp av produktionssäkerhetsmatrisen får man en bra överblick över hur och var stillestånd uppträder i produktionen. Idag finns all information som behövs för att sammanställa dessa, men det krävs en del arbete och justeringar för att det skall vara möjligt för automatisk framställning av parametrar. Avser företaget att arbeta med tillverkningskostnader är det viktigt att samtliga data och parametrar anpassas till tidigare redovisad kostnadsekvation.

Referenser

Böcker

- [1] Blom Gunnar m.fl., *Sannolikhets teori och statistik teori med tillämpningar*, (2005), Studentlitteratur, ISBN 91-44-02442-8.
- [2] Nakajima Seiichi, *TPM Introduction to TPM Total Productive maintenance*, (1988) Productivity Press, Inc ISBN 0-915299-23-2.
- [3] Ståhl Jan-Eric *Industriella Tillverknings system del II*, (2009) Industriell Produktion.
- [4] Sundén Bengt, *Värmeöverföring*, (2006) Studentlitteratur, ISBN 91-44-00087-1.

Artiklar

- [5] Andersson Carin, Bellgran Monica, *Combining Overall Equipment Efficiency (OEE) and Productivity Measures as Drivers of Production Improvements*, Lunds universitet, Mälardalens Universitet, SPS 2011 Lund.
- [6] Jovane F. et.al. *The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 57 (2008) 641-659.
- [7] Jönsson Mathias, Gabreilsson Per m.fl. *Downtime variability from cost perspective*, Lunds universitet, Alfa Laval AB, SPS Lund 2011.

Övriga källor

- [A] www.alfalaval.com 17 februari 2011 kl. 10:23
- [B] Alfa Laval årsredovisning 2009.
- [C] Nilsson Carl, *Underhållsanalys*, LTH, Alfa Laval, (2011)
- [D] Spang Kathrine, *Undersökning av transportverktyg i stor produktionslinje – hur påverkar olika produkter och verktygets fysiska egenskaper produktions säkerheten*, LTH, Alfa Laval, (2011)
- [E] Intervju med produktionstekniker A1, 25/2-11

Bilaga A

Produktionssäkerhetsmatris

	Produktionsförlust i minuter					S:a minuter per faktor
	Kassationer	stillestånd				
	Q	S1: Oplanerat stillestånd	S2: Planerat stillestånd	S3: Riggning	S4: Rast/Möten	
A Verktyg						0
A1						0
A2						0
A3						0
A4						0
A5						0
A6						0
A7						0
A8						0
A9						0
B Material						0
B1						0
B2						0
B3						0
B4						0
B5						0
B6						0
C Processparametrar						0
C1						0
C2						0
C3						0
C4						0
C5						0
C6						0
C7						0
C8						0
C9						0

C10						0
C11						0
C12						0
C13						0
C14						0
D Personal & Organisation						0
D1						0
D2						0
D3						0
D4						0
D5						0
D6						0
D7						0
D8						0
D9						0
D10						0
D11						0
E Underhåll & Slitage						0
E1						0
E2						0
E3						0
E4						0
E5						0
E6						0
E7						0
E8						0
E9						0
E10						0
F Speciella prc. beteenden						0
F1						0
F2						0
G Kringutrustning						0
G1						0
G2						0
G3						0
G4						0
G5						0
G6						0
G7						0
G8						0
G9						0
G10						0
G11						0

H Okända faktorer						0
H1						0
H2						0
H3						0
S:a minuter/parameter	0	0	0	0	0	