

CODEN: LUTMDN/(TMMV-5290)/1-76/2017

# Industri 4.0

## - Grundläggande studie inför en implementering av realtidssystem

Ola Mattsson Endrit Smajli

2017



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola

---

EXAMENSARBETE  
AVDELNINGEN FÖR INDUSTRIELL PRODUKTION  
LUNDS UNIVERSITET

---

Handledare: Fredrik Schultheiss, Tekn. Dr.  
Examinator: Jan-Eric Ståhl, Professor

Författare: Ola Mattsson och Endrit Smajli  
Lund, Sverige 2017

Avdelningen för Industriell Produktion  
Lunds Tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund  
Sverige

Division of Production and Materials Engineering  
LTH, School of Engineering  
Lund University  
Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet

---

## Förord

Examensarbetet är utfört på Lunds Tekniska Högskola i samarbete med institutionen Industriell produktion och ett kontraktstillverkande företag inom elektronik. Arbetsmaterialet som producerats under år 2017 kommer att ligga till grund för den projektgrupp på företaget vars fokusområde är Industri 4.0.

Vi vill tacka alla involverade i examensarbetet som bistått med vägledning och stöd under arbetets gång.

Ett särskilt stort tack vill vi rikta till handledare Fredrik Schultheiss och examinator Jan-Eric Ståhl

Lund 2017-05-29

Ola Mattson och Endrit Smajli



---

# Sammanfattning

Digitaliseringen har på senare tid ökat och blivit ett mer användbart hjälpmedel inom industrin. Genom goda kommunikativa nätverk mellan maskiner, system, personal, kunder och leverantörer, ges möjligheten till snabba uppföljningar och beslutstaganden inom industrin. Detta genom att analysera och förmedla både historiska data och realtidsinformation. Digitaliseringen banar vägen för den fjärde industriella revolutionen, vilken här benämns Industri 4.0.

Examensarbetet är utfört i samarbete med ett kontraktstillverkande företag inom elektronik. De önskar att i framtiden kunna beräkna detaljkostnader i realtid för att på så sätt få bättre insikt i företagets förbättringsmöjligheter. Rapporten presenterar grunderna till en sådan framtida implementering. En nulägesanalys av företaget har utförts och nya underlag har tillämpats för att förverkliga ett realtidssystem enligt Industri 4.0. För att exemplifiera analysmodellens potential har den tillämpats på ett fåtal produkter, samtliga tillverkade vid samma produktionslina.

Resultatet har visat det möjligt att kunna implementera en fungerande realtidsmodell av produktionen. För att förverkliga detta måste företaget fortsättningsvis lagra och analysera data. En vidareutvecklad maskinmjukvara är nödvändig för en effektivare analys och informationshantering. Samtidigt krävs också investeringar i hårdvara för att möjliggöra informationslagring på detaljnivå. Företaget behöver också aktivt involvera personalen i arbetet med Industri 4.0.

**Nyckelord:** Industri 4.0, Realtidsmodell, Detaljkostnad, Digitalisering.



---

## Abstract

Digitalization is a phenomenon that is currently making big changes in the way industrial companies operate. The established networks enables communication between machines, systems, personnel, customers and suppliers, which increases the possibilities for quick assessment and decision making within a company. The accumulation of data enables these decisions to be based on both current and historical data. The digitalization have made the way for the fourth industrial revolution, here called Industry 4.0.

The thesis is made in collaboration with a company which specializes in contract manufacturing of electronics. In the future they would like to be able to calculate the part cost in real-time as to better understand their potential for improvement. The goal of this rapport is to give the underlying basis for the implementation of a tool which will provide this information. After analyzing the company's current situation new methods and systems were established to be able to create a real-time analytical system in accordance with Industry 4.0. To exemplify the potential of the created model it was applied to a handful of products, all of which were assembled on the same production line.

The results have shown that it is possible to implement a functioning real time model representing the production process. To actualize this, the company must continue to store and analyze production data. They must also purchase new hardware to better be able to collect and visualize data. Finally the company need to work on creating an atmosphere where the personnel take an active part in the process of implementing Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0, Real time model, Part cost, Digitalization





# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>1</b>
1.1. Bakgrund och problembeskrivning	1
1.2. Syfte och målsättningen	1
1.3. Avgränsningar	2
1.4. Ytmonteringen	2
<b>2. Metod</b>	<b>5</b>
2.1. Industri 4.0	5
2.2. Nulägesanalys	5
2.3. Analys av data	5
2.4. Tillämpning av kostnadsformeln	5
<b>3. Teori</b>	<b>7</b>
3.1. Industri 4.0	7
3.1.1. Definition av Industri 4.0	7
3.1.2. Möjligheterna med Industri 4.0	8
3.1.3. Grunderna för applicering av Industri 4.0	8
3.1.4. Undersökningsbaserad information om Industri 4.0	11
3.2. Kostnadsmodellen	13
3.2.1. Processrelaterade KPI	14
3.2.2. Administrativa/Ekonomibaserade KPI	16
3.2.3. Beräkning av balanseringsförluster	18
<b>4. Analys</b>	<b>19</b>
4.1. Nulägesanalys	19
4.1.1. SIPLACE OIS/SIS mjukvara	19
4.1.2. SIPLACE Explorer	21
4.1.3. Affärssystem	21
4.1.4. Mjukvara för spårbarhet	21
4.1.5. Mjukvara för produktionsuppföljning	22
4.2. Produktionsparametrar	23
4.2.1. Produktionsdata	23
4.2.2. Styrande maskiner	24
4.2.3. Antal kort per panel	24
4.2.4. Nominell cykeltid och verklig cykeltid	25
4.2.5. Stillestånd	25
4.2.6. Stålltid	31
4.2.7. Materialkostnad	31
4.2.8. Materialspill och Plockfel	31
4.2.9. Kassationer	32
4.2.10. Planerad produktionstid	33

4.2.11.	Utnyttjandegrad	33
4.2.12.	Taktförluster	33
4.2.13.	Antal operatörer	34
4.2.14.	Underhåll och renoveringskostnader	34
4.2.15.	Maskintimkostand vid produktion och stillestånd	34
4.2.16.	Balanseringsförluster	35
4.2.17.	Detaljkostnad	36
<b>5.</b>	<b>Resultat</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>Rekommendationer</b>	<b>43</b>
	<b>Referenser</b>	<b>44</b>
	<b>Bilaga A</b>	<b>45</b>
	<b>Bilaga B</b>	<b>46</b>
	<b>Bilaga C</b>	<b>47</b>
	<b>Bilaga D</b>	<b>48</b>
	<b>Bilaga E</b>	<b>57</b>
	<b>Bilaga F</b>	<b>58</b>
	<b>Bilaga G</b>	<b>59</b>
	<b>Bilaga H</b>	<b>63</b>
	<b>Bilaga I</b>	<b>64</b>
	<b>Bilaga J</b>	<b>65</b>
	<b>Bilaga K</b>	<b>66</b>

# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund och problembeskrivning

Företaget har idag ett flertal självständiga system som lagrar information under tillverkningsprocessen och känner ett behov av att sammanställa befintligt data. Stilleståndsorsaker kopplade till maskinfel registreras idag av SIPLACE Pro vilket är en mjukvara som finns i de maskiner som bygger upp ytmonteringen. Vidare har man inom företaget utvecklat en egen mjukvara som gör det möjligt att lagra information om övriga störningar som påverkar produktionsprocessen. Mjukvara för produktionsuppföljning kräver att operatörer registrerar orsaker till stillestånden. En utvärdering önskas om huruvida en automatiserad hantering av denna information kan utgöra stöd till personalen för olika utvecklings- och förbättringsåtgärder. Vidare önskas en väldefinierad analysmodell som skall användas till ändamålet att utvärdera utfallet i produktion. Modellen skall vara anpassad för att analysera historiska data samt pågående produktion i realtid.

### Problembeskrivning

- Flera olika självständiga system för informationshantering finns och ett helhetsperspektiv önskas
- Brister i de olika systemen finns och behövs lokaliseras samt åtgärdas
- En analysmodell krävs för att utvärdera utfallet i produktion samt för att skapa en tydlig förståelse för dess betydelse i de dagliga förbättringsaktiviteterna.

## 1.2. Syfte och målsättningen

Företaget önskar att i framtiden kunna beräkna detaljkostnader i realtid för att på så sätt få bättre insikt i de förbättringsmöjligheter som finns i företagets olika avdelningar. Syftet med examensarbetet är att skapa en grund för realtids nyckeltal som gör en implementation av detaljkostnaden i realtid möjlig. Målsättningen är att utföra en nulägesanalys av befintliga nyckeltal och datalagring, samtidigt som nya underlag skall tillämpas för att utgöra en grund till ett realtidssystem inom Industri 4.0

### 1.3. Avgränsningar

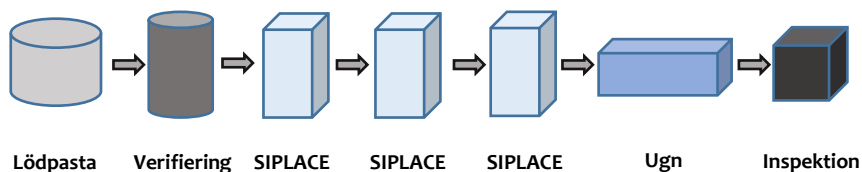
Arbetet avgränsar sig till en produktionslinje i ytmonteringen som är det andra förädlingssteget i tillverkningsprocessen. Analysmodellen som framställs skall vara en generell metod lämpad för alla produkter som förädlas i ytmonteringen. Vidare fokuseras det enbart på ett fåtal produkter för att åskådliggöra modellens potential i det dagliga förbättringsarbetet. Eventuella balanseringsförluster beaktas inte. Begreppet Industri 4.0 behandlas enbart översiktligt med syftet att belysa möjligheterna med ett realtidssystem inom området Industri 4.0.

### 1.4. Ytmonteringen

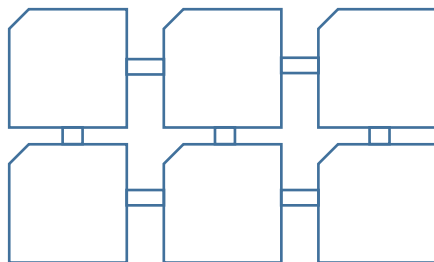
Ytmonteringen är andra förädlingssteget i tillverkningen av ett kretskort. Produktionslinan består av flera olika maskiner/stationer och transportband, vilka tillsammans skapar en produktionslina. I **Figur 1** illustreras en enkel modell av ytmonteringsens möjliga delar. Produkterna som genomgår ytmonteringen förädlas inte alltid styckvis utan kan också ingå i en panel. Det kan bestå av ett eller flera kretskort, se **Figur 2**. I slutskedet av förädlingen vid ytmonteringen bryts dessa därefter av till enskilda kretskort. Var SIPLACE maskin är självständig men är också uppkopplade mot en huvuddator/linjedator vilket gör det möjligt att styra enskilda maskiner från denna.

## Exempel på produktionslinje

- Steg 1 - Applicering av lödpasta
- Transportband
- Steg 2 - Verifiering av rätt mängd lödpasta
- Transportband
- Steg 3 - SIPLACE maskiner applicerar komponenter på panel
  - Produktionslina kan bestå av en eller flera SIPLACE maskiner
- Transportband
- Steg 4 - Kretskort passerar ugn för en sammanfogning mellan panel, lödpasta och komponenter
- Transportband
- Steg 5 - Optisk inspektion för verifiering av kvalitet



**Figur 1:** Exempelbild på möjlig monteringslinje.



**Figur 2:** Panel bestående av 6 kretskort.

SIPLACE maskinen hämtar kretskortskomponenter från en remsa i en rulle bestående av samma sorts komponenter. Via en matare kan komponenterna matas fram för att sedan plockas upp av en arm, som applicerar komponenterna på rätt position. Var SIPLACE maskin har utrymme för flera matare och remsor av komponenter. Det är därför möjligt att applicera olika komponenter i samma station.



## 2. Metod

Under examensarbetet har olika metodiker använts för att producera ett komplett arbete. I följande kapitel presenteras därför tillvägagångssättet för att tydliggöra denna process.

### 2.1. Industri 4.0

För att skapa en god förståelse för begreppet Industri 4.0 och hur det tillämpas i praktiken så har vetenskapliga artiklar studerats. Vidare har också universitetslitteratur används och företagets projektgrupp med fokusområde Industri 4.0 har konsulterats.

### 2.2. Nulägesanalys

En omfattande analys har bedrivits på företaget för att skapa en helhetsbild av nuläget. Det har utförts genom intervjuer med personal från olika avdelningar inom företaget samt genom kontakt med maskinleverantör. Vidare har självständiga analyser genomförts av befintliga mjukvaror, det dagliga arbetet och utförda fältstudier. Följande har utförts:

- Intervju av personal
- Kontakt med maskinleverantör
- Fältstudier
- Analys av mjukvaror

### 2.3. Analys av data

Ett flertal olika system och mjukvaror har funnits tillgängliga med historiskt lagrad information gällande produktionsprocessen. Den information som inhämtats samt producerats under arbetets gång har sammanställts för vidare analys. En betydande del av informationsanalysen har bedrivits i Microsoft Excel och grundat sig i kunskaper från universitetsutbildning samt tidigare erfarenheter från liknande projekt.

### 2.4. Tillämpning av kostnadsformeln

De analyser som producerats har legat till grund för den kostnadsmodell som tillämpats. Kostnadsmodellen har efter diskussion med företaget anpassats efter behov men också efter de begränsningar som funnits i lagrad data.





## 3. Teori

En förståelse för begreppet Industri 4.0 är nödvändigt för att förstå bakgrunden till examensarbetet. Arbetet utgör primärt den grund som krävs för en framtida implementering av en kostnadsmodell i realtid, och senare en fullskalig adaptering av konceptet Industri 4.0.

### 3.1. Industri 4.0

Modern teknologi och allt mer kundstyrda marknader har bidragit till att det inte längre räcker för ett företag att producera bra produkter av hög kvalitet för att kunna vara konkurrenskraftiga. Efterfrågan på allt mer kundspecifika produkter har lett till ett krav på flexiblare produktion. Tillsammans med trenden av ökande digitalisering har det lagt grunden till konceptet Industri 4.0. På senare tid har det fått mer uppmärksamhet och vuxit fram till att bli en viktig internationell trend. Förståelsen för begreppet och dess möjligheter är av stor betydelse för framtida insatser inom området.[1]

#### 3.1.1. Definition av Industri 4.0

Termen Industri 4.0 står för den fjärde industriella revolutionen. Den beskrivs bäst som en ny nivå av organisation och kontroll över hela värdekedjan för produkternas livscykel. Den är gjord för att möta det ökande individuella kundkraven hos kunderna. Cykeln börjar med grundidén för produkten och fortsätter genom produktorder, produktutveckling och produktion, hela vägen till kundleverans. Cykeln avslutas med återvinning och tar hänsyn till alla ingående delmoment.

Basen för den fjärde industriella revolutionen ligger i tillgången till all relevant information i realtid för samtliga delmoment i värdekedjan. Det är också nödvändigt att när som helst, baserat på erhållen data, kunna beräkna det optimalt värdeskapande produktflödet. Kopplingen mellan människor, saker och system skapar dynamiska, självorganiserande och realtidsberäknande kopplingar inom och genom företaget. Dessa kan sedan vidare optimeras emot olika kriterier så som kostnader, tillgänglighet och resurskonsumtion.

Definitionen av Industri 4.0 är översatt till svenska och den ursprungliga texten återges i referenserna.

### **3.1.2. Möjligheterna med Industri 4.0**

En fullständig implementation av industri 4.0 är resurskrävande och innefattar svårigheter i uppskattandet av återbetalningstiden. Investeringen är långsiktig med ändamålet att via dess fördelar stärka organisationens konkurrenskraft.

Korrekt implementering av industri 4.0 innebär ett fullt fungerande kommunikativt nätverk mellan samtliga maskiner, sensorer och andra programvaror. Kommunikationen mellan dessa benämns som "the Internet of Things", IoT. Vidare skall anställda, kunder och leverantörer ges möjligheten att kommunicera och interagera med varandra och fabriken genom en sammankoppling av det som kallas "the Internet of People" (IoP) och the Internet of Things.[1] När data från IoT och IoP erhålls skall en analys ske i realtid vilket gör det möjligt att skapa en virtuell kopia av den verkliga värdekedjan. Det är därför möjligt att i realtid följa en produkt från lagd order till kundleverans i en virtuell miljö, innehållande all väsentlig information gällande denna.

Den virtuella kopian kan även användas till ändamål att visualisera önskad information för olika personer och avdelningar. De anställda ges på så sätt en bättre inblick i organisationen och det dagliga arbetet, vilket således kan underlätta beslutstagandet. En korrekt implementering leder därför i kommande tid till att maskiner har möjligheten att arbeta relativt autonomt. Genom att dessa kommunicerar med varandra och annan mjukvara genom IoT, ges möjligheten till maskinerna att fatta egna beslut grundat på historisk men också nuvarande data. Arbetsuppgifter som är operatörsstyrda kan därför skötas automatisk av maskinerna. Vidare leder det till mer tillgänglig personal som kan riktas mot andra värdeskapande ändamål. [2]

### **3.1.3. Grundarna för applicering av Industri 4.0**

Professor Detlef Zühlke, är en av grundarna till konceptet Industri 4.0 och hävdar att ett viktigt steg i appliceringen av industri 4.0 är att få in det grundläggande tänkandet i små och medelstora företaget. Vidare nämner också Zühlke att många företag är väldigt inriktade i Lean production konceptet och förbiser innebörden av långsiktigt tänkande.[3] Ett första steg för många företag är därför att förmedla betydelsen av långsiktigt tänkande bland de anställda. Det är av stor vikt att personalen hålls uppdaterad och involverad i arbetet med Industri 4.0. Utan en motiverad och välutbildad personal är det svårt att implementera Industri 4.0. [4]

Hur ett företag bör göra rent praktiskt för att implementera industri 4.0 beskrivs nedan. Tillvägagångssättet är indelat i fyra steg för att göra processen mer överskådlig.

Första steget i implementeringen av Industri 4.0 innebär namngivning av produkter och andra väsentliga objekt. För att kunna följa en produkt genom värdekedjan måste denna kunna identifieras i samtliga steg. Det görs lämpligen genom en produkt identitet som scannas i de olika delmomenten. För att skapa mer ingående data bör även komponenter namnges. Det är viktigt att samma namn används under hela värdekedjan, från kundorder till kundleverans. Namngivning är en väsentlig del i skapandet av pålitlig och användbar data.[2]

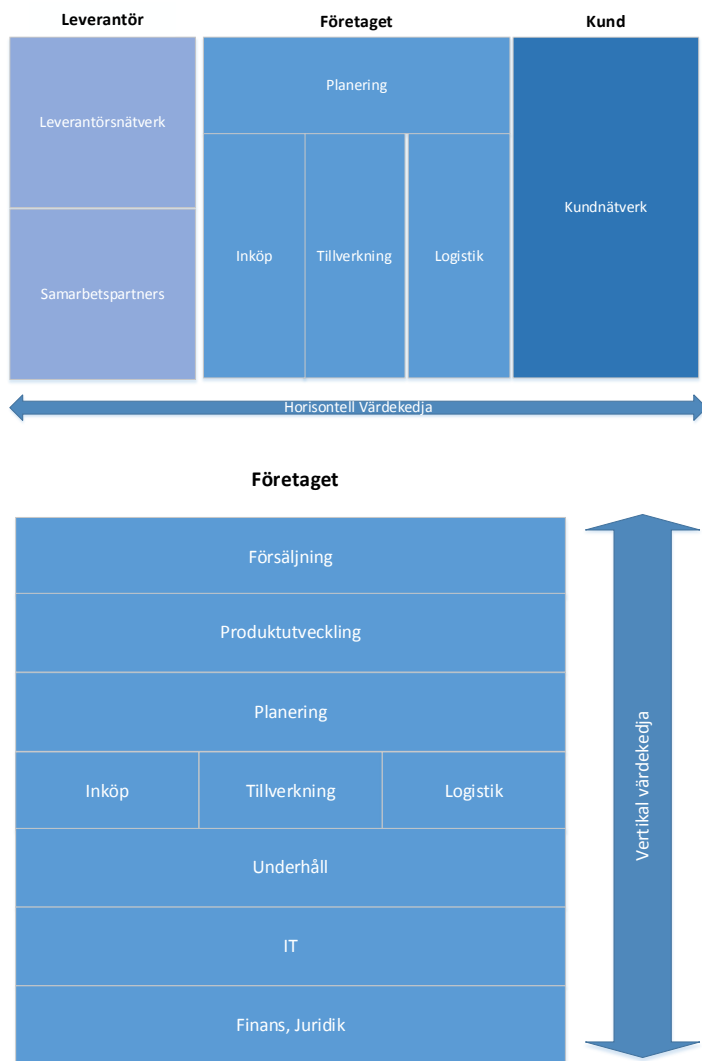
När en fungerande namngivningsbas är uppbyggd kan data lagras ifrån mätningar. Det är av stor betydelse att mäta produktionen i flertal positioner och lägen genom hela värdekedjan. Mätningar görs lämpligtvis genom att installera sensorer vid olika mätpunkter, vilka automatiskt lagrar data via inskaning. Det är även möjligt att lagra data manuellt men är något som är mer tidskrävande. [2][1]

Nästa steg är att analysera insamlad data. Här görs en bedömning utifrån all data som finns att tillgå för att kunna dra relevanta slutsatser om värdekedja. I analysen bedöms hur insamlad data skall användas och hur de olika mätningarna i slutändan skall kopplas för att ge relevant information om värdekedjan.[1][5]

Det sista steget blir att skapa kopplingar mellan samtliga databaser för få en självuppdaterande helhetsbild av värdekedjan. Här knyts produkter, komponenter, maskiner och annat samman via deras identitet och de mätningarna som gjorts i de olika mätstationerna. I de flesta fall rör det sig om väldigt stora mängder information i ett flertal databaser. Det är därför viktigt att man har en väl fungerande IT-infrastruktur, för att på ett korrekt sätt kunna koppla och analysera insamlad data i realtid. En visualisering av databasanknytningarna som behövs kan ses i bild **Figur 4**. [1][5]

Enligt **Figur 4** kan nätverken delas in i en horisontell och en vertikal värdekedja. Den horisontella värdekedjan representerar informationsflödet mellan kunden, det egna företaget samt underleverantörer och samarbetspartners. Genom att dela data ifrån denna värdekedja med samtliga involverade parter kan dessa hjälpa till att utveckla och optimera flödet i värdekedjan. Den vertikala värdekedjan representerar det interna informationsflödet. Här representeras hur samtliga avdelningar inom företaget fungerar och samarbetar.

En god insikt och optimering av den vertikala värdekedjan leder till bland annat minskade kostnader och ökad flexibilitet för företaget.[5]



**Figur 4:** Visualisering av de databasknytningar som behövs vid implementering av Industri 4.0.

### 3.1.4. Undersökningsbaserad information om Industri 4.0

Undersökningar gällande en implementation av Industri 4.0 finns tillgängliga trots ett förhållandevis nytt område. Enligt en tysk undersökning bland 235 företag inom olika branscher har man kunnat lista de största utmaningarna inom området. I undersökning framgick det att 46 % av de tillfrågade företagen anser att den största svårigheten är osäkerheten i de ekonomiska fördelarna i förhållande till de stora investeringarna. En implementering av Industri 4.0 leder oftast inte omedelbart till en avkastning på investering, vilket kan tänkas avskräcka många företag. [2]

Implementeringens fördelar är något som speglas på lång sikt och är spridda över hela värdekedjan. Av de tillfrågade företagen anser 30 % att de saknar tillräcklig kompetens inom företaget för att skapa och underhålla den nätverksstruktur som krävs för Industri 4.0. [2]

Vidare anser 26 % av de tillfrågade att de saknas tillräckliga standarder, regulatorer och certifieringsmöjligheter för att uppnå den spårbarhet som industri 4.0 kräver. Andra utmaningar som ansågs föreligga var också en oklar lagstagnning när det kommer till användning av extern data, för låg mognadsnivå på tillgänglig teknologin och problem med datasäkerheten. [2]

Undersökningen anser sig kunna dela in hur de tillfrågade företagen arbetar med industri 4.0 i tre generella strategier. [2]

**Ledande:** Strategin går ut på att vara i framkanten vad det gäller digitalisering och utveckling av konceptet industri 4.0. Det innebär stora risker för de företag som lägger grunden för ett relativt utforskat och oprövat område. Men fördelarna med att vara först och lyckas kan vara stora. [2]

**Snabbt anpassande:** Företag som använder strategin lär av den redan insamlade kunskapen och erfarenheten av de ledande företagen. Den insamlade informationen anpassas sedan till den egna värdekedjan. Fördelen med metoden är en lägre investering, då koncepten redan implementerats och testats av andra företag. Nackdelen är att det kan vara svårt att utnyttja den fulla potential av de färdiga metoderna då dessa inte är skraddarsyddna och lämpade för alla företag. [2]

**Väntande:** Företagen väntar på att Industri 4.0 skall bli en vida spridd standard innan en implementering görs i det egna företaget. Strategin går ut på att endast använda sig av väl beprövade koncept och standarder för att på så

sätt på förhand kunna göra en välgrundad investeringsanalys. Nackdelarna med denna strategi ligger i risken för minskad konkurrenskraft. [2]

Professor Detlef Zühlke anser i en intervju från 2017 [3] att ett av de största problemen som hindrar övergången till Industri 4.0 och ”smart manufacturing” är den bristande nätverkssäkerheten (Cybersecurity). Zühlke refererar till en attack på det tyska nätverket som inträffat, där omkring hälften av all nätverkskopplingar bröts. För ett företag med användning av ”smart manufacturing” kan en sådan attack innebära förödande konsekvenser så som total produktionstopp. Zühlke exemplifierar också en attack mot ett läkemedelsföretag som katastrofala om obemärkta individer ändrar recepten. Hög nätverkssäkerhet är därför av stor vikt vid tillämpning a Industri 4.0.

### 3.2. Kostnadsmodellen

Vid tillämpning av detaljkostnadsmodell används en kostnadsformel framställd av professor Jan-Eric Ståhl [6], enligt Ekvation 1. Kostnadsmodellens ingående parametrarna beskrivs i **Tabell 1**. Modellen använder sig av ekonomiska nyckeltal, även kallat "Key Performance Indicators" (KPI). De är en typ av mätvärde som används för att avgöra hur väl ett företag eller process presterar inom ett specifikt område. För korrekt användning bör de anpassas efter de område som skall representeras. Definitionerna kan därför variera mellan företag men också i olika processer inom företaget. Generella riktlinjer finns för beräkningar av olika KPI och dessa presenteras i teoriavsnittet. Vid en mer ingående beskrivning kommer de ingående parametrarna delas in i vad i denna rapport benämns som administrations/ekonomibase- rade KPI och processrelaterade KPI. Resterande del i teorin som berör kostnadsmodellen och dess parametrar är baserade på Professor Jan-Eric Ståhls teori [6]. a

$$\begin{aligned} k = & \frac{k_A}{n_{PA}} + \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)} \right]_{c1} \\ & + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + T_{SU} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{pb} \right]_{c2} \\ & + \frac{n_{op} \cdot k_D}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)(1-q_S)} + T_{SU} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_{pb} \right]_d \end{aligned} \quad \text{Ekvation 1}$$

De ingående komponenterna i kostnadsformeln kan delas in i materialkostnader (markeras nedsänkt b), maskinkostnader vid produktion (markeras nedsänkt c1), maskinkostnader vid stillestånd (markeras nedsänkt c2) och lönekostnader (markeras nedsänkt d).

**Tabell 1:** Beskrivning av de ingående parametrarna i kostnadsmodellen.

Variabel	Värde
$t_0$	Cykeltid
$N_0$	Nominell seriestorlek
$n_{pa}$	Antal serier/batcher knutna till respektive verktyg
$n_{cp}$	Antal operatörer
$q_B$	Andel materialspill
$q_s$	Stilleståndsandel
$q_Q$	Kassationsandel
$q_p$	Relativ Taktförlust
$T_{su}$	Ställtid (min)
$T_{pb}$	Produktionstid för en batch (min)
$k_A$	Verktygskostnad
$k_B$	Materialkostnad per detalj
$k_{CP}$	Maskintimkostnad under produktion
$k_{CS}$	Maskintimkostnad vid stillestånd
$k_D$	Lönekostnad
$U_{RB}$	Utnyttjandegrad vid reducerad beläggning
$a_f$	Annuitetsfaktor
$K_0$	Grundinvesteringskostnad för maskin/lina
$k_{ren}$	Renoveringskostnad i förhållande till $K_0$
$N_{ren}$	Antal renovationer
$Y$	Yta maskin/lina upptar
$k_y$	Lokalkostnad per kvadratmeter
$T_{plan}$	Planerad produktionstid
$K_{MH}$	Planerad underhållskostnad per timme
$h_{PM}$	Operationstid/Underhållstid
$k_{PH}$	Maskinkostnad under operation

### 3.2.1. Processrelaterade KPI

**Nominell Cykeltid  $t_0$ :** Nominell cykeltid är den optimala tid det tar för en korrekt detalj att passera en station eller maskinlinje. Det är tiden för en passering utan taktförlust eller stillestånd. Denna KPI beräknas antingen genom granskning av maskinspecifikationen eller klockas. Det väsentliga är att tiden är optimal och inte anpassad efter produktionsproblem. Vid beräkning av nominell cykeltid för en produktionslina är det den mest tidskrävande stationens värde som används, benämns som styrande station. Tiden är enbart knuten till denna station och inte den totala genomloppstiden.



**Verklig Cykeltid  $t_{0v}$ :** Den uppmätta och verkliga cykeltiden, vilket inkluderar taktförluster.

**Stilleståndsandel  $q_s$ :** Stilleståndsandelen utgör den andel av produktionstid för en batch då tillverkningen inte är produktiv. Beräkning sker genom att summera samtliga stilleståndstider (exklusive ställtid) och dividera dessa på den totala produktionstiden för en batch. Det finns flera sätt att ta fram stilleståndstider. De kan beräknas genom automatisk loggning i program, vilka hämtas från befintliga filer i maskiner eller loggas utav operatörer. Det är fördelaktigt med ett flertal loggningssystem så det går att härleda stilleståndsorsakerna.

$$q_s = \frac{t_p - t_0}{t_p} \quad \text{Ekvation 2}$$

$$t_p = t_0 + t_s \quad \text{Ekvation 3}$$

Där  $t_s$  är den summerade tiden av samtliga stillestånd.

**Kassationsandel  $q_Q$ :** Den andel av produkter som passerar en station eller maskinlinje utan att uppnå kvalitetskrav. Dessa produkter kan sedan åtgärdas eller kasseras och utgör en kostnad antingen som taktförlust vid reparation eller materialspill vid kassation.

$$q_Q = \frac{N - N_0}{N} \quad \text{Ekvation 4}$$

Där  $N$  är det antalet detaljer som behövs produceras i en batch för att få ut  $N_0$  korrekta detaljer.

**Relativ Taktförlust  $q_P$ :** Den relativa taktförlusten är den optimala cykeltiden i förhållande till den verkliga cykeltiden. Det vill säga hur snabbt maskinen har potential till att producera, förhållande till den verkliga produktionshastigheten.

$$q_P = \frac{t_{0v} - t_0}{t_{0v}} \quad \text{Ekvation 5}$$

**Ställtid  $T_{su}$ :** Ställtid är den tid det tar att ställa om en station eller maskinlinje vid start av ny produktion. Tiden är enbart knuten till den tid som leder till eventuella avbrott i produktion.

**Produktionstid för en batch  $T_{pb}$ :** Verklig produktionstid för en batch.

$$T_{pb} = T_{su} + N \cdot t_p = T_{su} + \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_p)} \quad \text{Ekvation 6}$$

**Andel materialspill  $q_B$ :** Andel av inköpt material som inte ingår i slutprodukt. Det vill säga material som slängs eller alternativt säljs som skrot.

$$q_B = \frac{m_{tot} - m_{part}}{m_{tot}} \quad \text{Ekvation 7}$$

Där  $m_{tot}$  är den verkliga materialåtgången för en detalj och  $m_{part}$  är det teoretiskt beräknade materialåtgången för en detalj.

**Antal operatörer  $n_{cp}$ :** Antalet operatörer som arbetar på linan vid produktion för den aktuella batchen.

**Utnyttjandegrad vid reducerad beläggning  $U_{RB}$ :** Parametern representerar hur företaget utnyttjar linan/maskinen då de saknar full beläggning.

$$U_{RB} = \frac{T_{pb,tot}}{T_{plan}} \quad \text{Ekvation 8}$$

Där  $T_{pb,tot}$  är den sammanlagda verkliga tiden för samtliga batcher producerade under ett år.

**Verktögs kostnad  $k_a$ :** Kostnaden knuten till ett verktyg. Parametern används främst vid skärande bearbetning.

### 3.2.2. Administrativa/Ekonomibaserade KPI

**Lönekostnad  $k_D$ :** Lönekostnaden per operatör knutna till en batch.

**Materialkostnad per detalj  $k_B$ :** Inköpskostnad för materialet till en detalj.

**Annuitetsfaktor  $a_f$ :**

$$a_f = \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \quad \text{Ekvation 9}$$

Där  $p$  är räntefaktorn (kostnaden för kapital). Den tekniska maskinlivslängden betecknas som,  $n$ .

**Grundinvesteringskostnad,  $K_0$ :** Kostnaden för inköp av station eller maskinlinje.

**Renoveringskostnad i förhållande till grundinvestering  $k_{ren}$ :** Den planerade kostnaden för att renovera maskinen. Parametern beräknas genom att dividera den förväntade renoveringskostnaden med grundinvesteringen.

**Antal renovationer  $N_{ren}$ :** Antalet renoveringstillfällen för att behålla ett lönsamt skick på stationen eller maskinlinjen.

$$N_{ren} = trunc\left(\frac{n \cdot \frac{T_{plan}}{h_y}}{n_{syren}}\right) \quad \text{Ekvation 10}$$

**Planerad underhållskostnad per timme  $k_{MH}$ :** Den estimerade kostnaden baserad på historik data eller offert för maskinunderhåll.

**Ytan maskinen/linan upptar  $Y$ :** Yta som tillverkningen upptar.

**Lokalkostnad per kvadratmeter  $k_y$ :** Lokalhyra och liknande kostnader fördelade per kvadratmeter.

**Planerad produktionstid  $T_{plan}$ :** Den planerade produktionstiden är den tid företaget anser att de kommer ha möjlighet att vara aktiva under ett år. All tid utanför denna tid benämns övertid.

**Maskintimkostnad under produktion  $k_{CP}$ :** Den kostnad stationen eller maskinlinjen utgör då denna är verksam. Det inkluderar inköpskostnad, elektricitetskostnad med flera.

$$k_{CP} = \frac{a_f \cdot K_0(1+k_{ren} \cdot N_{ren}) + Y \cdot k_y + T_{plan} \left( \frac{k_{MH}}{h_{P,M}} + k_{ph} \right)}{T_{plan}} \quad \text{Ekvation 11}$$

Där  $h_{PM}$  är antalet timmar maskinen underhålls per operativa timmar,  $k_{MH}$  är kostnaden per underhållstimme och  $k_{PH}$  den operativa driftskostnaden.

**Maskintimkostnad vid stillestånd  $k_{CS}$ :** Den kostnad maskinen/linan utgör för företaget då den inte är verksam.

$$k_{CS} = \frac{a_f \cdot K_0(1+k_{ren} \cdot N_{ren}) + Y \cdot k_y}{T_{plan}} \quad \text{Ekvation 1}$$

### 3.2.3. Beräkning av balanseringsförluster

Vid tillverkning kan balanseringsförluster tillkomma i produktionsprocessen. En stor produktflora kan dessutom innebära att inte samtliga stationer används vid tillverkning av olika produkter. En balanseringsförlust kan därför i många fall vara oundviklig, men det är viktigt att vara medveten om att dessa medförda kostnader. Examensarbetet tar inte hänsyn till eventuella balanseringsförluster i den tillämpade kostnadsmodellen. I Ekvation 13 presenteras en alternativ kostnadsmodell vilket inkluderar kostnader för balanseringsförluster.

$$\begin{aligned}
 k(N_0, D, R_C) = & \left[ \frac{k_B}{(1-q_Q)(1-q_B)} + \frac{k_{CP} \cdot t_{mean}}{60(1-q_Q)} \cdot \frac{(1+R_C \cdot D - D)}{(1-D)} \right] \\
 & + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_{mean} \cdot N_0}{(1-q_Q)(1-D)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + D \cdot (1 - R_C)(T_b - T_{Su}) + T_{Su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_b \right] \\
 & + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_{mean} \cdot N_0}{(1-q_Q)(1-D)} \cdot \left( 1 + \frac{q_S}{1-q_S} \right) + T_{Su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} T_b \right] \quad \text{Ekvation 13}
 \end{aligned}$$

Där  $t_{mean}$  är summan av de nominella cykeltiderna för samtliga stationer dividerat med antalet stationer. Linans linjeeffektivitet  $E_{line}$  ges då som  $t_{mean}$  dividerat med den styrande stationens nominella cykeltid  $t_0$ . Parametern  $D$  kan väljas antingen som balanseringsförlusten  $D_{line}$ , vilket beräknas som 1 subtraherat med  $E_{line}$ , eller också som  $D_{Mod}$ . Den senare ger en mer verklighetstrogen bild av kostnader för balanseringsförluster, då den exkluderar styrande maskin.

$$D_{Mod} = \frac{D_{line} \cdot n_s}{n_s - 1} \quad \text{Ekvation 14}$$

$R_C$  representerar den styrande stationens maskintimkostnader genom hela linans maskintimkostnad.

$$R_C = \frac{k_{CP, styrande} + k_{CS, styrande}}{k_{CP} + k_{CS}} \quad \text{Ekvation 15}$$

## 4. Analys

### 4.1. Nulägesanalys

Det finns ett flertal självständiga system i företaget som lagrar information av olika slag under tillverkningsprocessen. Systemen är kända bland de anställda men det saknas ett helhetsperspektiv kring deras funktioner. De önskar därför förståelse för huruvida en sammanvävning av de olika systemen kan bidra till ny berikad information. De system som finns används i varierande utsträckning och det finns funktioner bland dessa för vilka det saknas kännedom bland de anställda. Den produktionsdata som finns tillgänglig berör enbart SIPLACE maskiner av fabrikat siemens. Övriga stationer i tillverkningen saknar uppkoppling mot databaser och därmed också rådata för vidare analys.

#### 4.1.1. SIPLACE OIS/SIS mjukvara

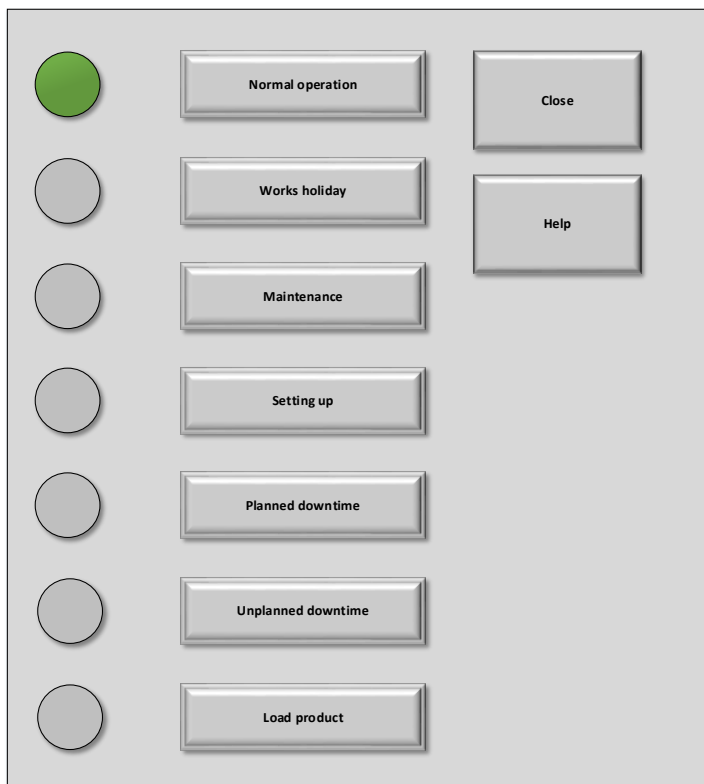
Maskinerna i ytmonteringen som förädlar kretskorten är av fabrikat Siemens. Vid inköp av maskinerna har mjukvaran OIS/SIS (Operations Information System/Setup Information System) tillkommit. Mjukvaran gör det möjligt att lagra produktionsdata samt att illustrera analyser av de senaste 48 timmarnas produktion. All information som finns att tillgå i mjukvaran sparas i databaser. Databasen har möjlighet att lagra information i upp till 400 dagar, vilket kontinuerligt uppdateras och finns tillgängligt för tredje part användare/program. I mjukvaran skapas en virtuell produktionslina bestående av alla ingående SIPLACE maskiner. Informationslagring och analyser sker på maskinnivå. Dessa är sedan uppkopplade mot en linjedator vilket gör det möjligt att se analyser på linjenivå.

Vid en nulägesanalys har det konstaterats att informationslagring via mjukvaran är ofullständig som en direkt följd av inkorrekta tidstämplingar mellan maskiner. Analyser av rådata under specifika tidsperioder är därför inte möjligt. Lagrad data och mjukvarans funktioner används inte i någon större utsträckning. En stor del av datalagringen i ytmonteringen sker på batchnivå och förmågan att koppla all data till specifika detaljer saknas. Det krävs ett extra tillägg i maskinerna för att möjliggöra spårbarhet på kretskortnivå.

Det finns många möjligheter för analyser i realtid samt av historisk data via nuvarande OIS. Den data som finns att tillgå är bland annat information som automatiskt lagras under processen som exempelvis rotorsaker till stillestånd

och materialspill. Operatörer har också möjlighet att registrera information gällande ställtid, raster och andra yttre faktorer som påverkar processen.

För korrekt analys krävs det att personal anger rätt orsak vid stillestånd genom att välja bland den fördefinierade listan av stilleståndsorsaker, se **Figur 5**. Det är även möjligt att göra tillägg av egna definitioner på stilleståndsorsaker i listan.



*Figur 5: Gränssnitt för registrering av aktuella produktionshändelser i OIS mjukvara.*

### **4.1.2. SIPLACE Explorer**

SIPLACE Explorer är ett komplement av redan befintlig mjukvara och analysmetoder. Den gör det möjligt att analysera rådata i större utsträckning och mer användarvänligt. Mjukvaran var inte tillgänglig i ytmonteringen under nulägesanalysen.

#### **Standardversionens analysmöjligheter**

- Realtidsdata för uppföljning av maskiner och produktionslinjer
- Nyckeltalsuppföljning
- Statusinformation från produktion (pågående jobb, tekniska fel, produktionstakt, produktivitet, etc.)
- Alarm och loggfunktioner
- Automatisk rapport generering och mailutskick
- Jobb information
- Rapporter och trend analyser på kasserade komponenter, cykeltid, placeringskvalitet, utnyttjandegrad, materialkonsumtion, etc.
- Processdata
- SPC verktyg och funktioner
- Möjligheter för lagring och analyser av historisk data [7]

### **4.1.3. Affärssystem**

Systemet gör det möjligt att följa flödet för olika produkter samt att analysera och knyta operatörer till produktionstid för specifika batcher. Information gällande lagersaldo, materialkostnader samt registrerade ställtider finns också att tillgå.

### **4.1.4. Mjukvara för spårbarhet**

Mjukvaran gör spårbarhet på produktnivå möjlig efter ytmonteringen. Information gällande reparationer, kassationer samt funktionstestsresultat finns tillgängligt och kan knytas till personal och tidpunkt. En unik streckkod appliceras på varje kretskort och registreras först i samband med slusket av ytmonteringen. Information gällande kretskortet, dess förädling och hantering, registreras därefter kontinuerligt fram till att det lämnar verksamhet. Det är därmed möjligt att spåra kretskort tillbaka i tiden för utvärdering.

#### 4.1.5. Mjukvara för produktionsuppföljning

Programmet gör det möjligt att registrera stillestånd i ytmonteringen. Stillestånd registreras automatiskt men kräver att en operatör anger orsak, vilket finns att välja bland en redan definierad lista, se **Tabell 2**. Programmet tar inte hänsyn till stillestånd under 5 minuter och avrundar till hela intervall om fem minuter. Mjukvaran används som stöd vid uppföljning av produktionen. Informationen är begränsad till de orsaker som aktivt registreras av operatörerna.

*Tabell 2: Valbara stilleståndsorsaker*

<b>Valbara orsaker</b>
AOI-verifiering
Drypackhantering
Etikettkörning
Flytt av jobb
GF/Shape-problem
Kvalitetsproblem
Maskinproblem
Maskinprogram saknas
Matarproblem
Materialbrist
Möte
Personalbrist
Pilotkörning
Rast
Ritningskoll innan ugn
Service
Skiftöverlämning
Ställtid
Uppstart
Utbildning



## 4.2. Produktionsparametrar

Från den tidigare producerade nulägesanalysen har det konstaterats att det saknas väsentlig data som en följd av inkorrekta tidstämplingar mellan maskiner. För att bedriva korrekta analyser på produkter och batcher under specifika tidsperioder har därför tidstämplingar mellan maskiner synkroniserats. Felfria tidsstämplingar mellan SIPLACE maskiner finns därför enbart tillgänglig efter denna korrigerig, med start 28 februari 2017.

En testlicens av SIPLACE Explorer mjukvaran har inbringats för att möjliggöra en analys.

### 4.2.1. Produktionsdata

Det har konstaterats att det finns felkällor i produktionsdata vilka försvårar en korrekt framställd analys. Stämpling av raster används inte i mjukvaran vilket gör det svårt att knyta dessa till specifika klockslag och händelser i datalagringen. Vidare saknas också registrering av avslutat arbetspass samt helgdagar vilket leder till problematik när den lagrade informationen skall analyseras.

Produktionsdata kopplat till ovan nämnda felkällor har därför exkluderats ur rapporten och dess olika analyser för att minimera risken för felaktigheter. I **Tabell 3** listas de produkter som skall exemplifiera analysmodellens potential, samt antal batcher som ingår av respektive produkt.

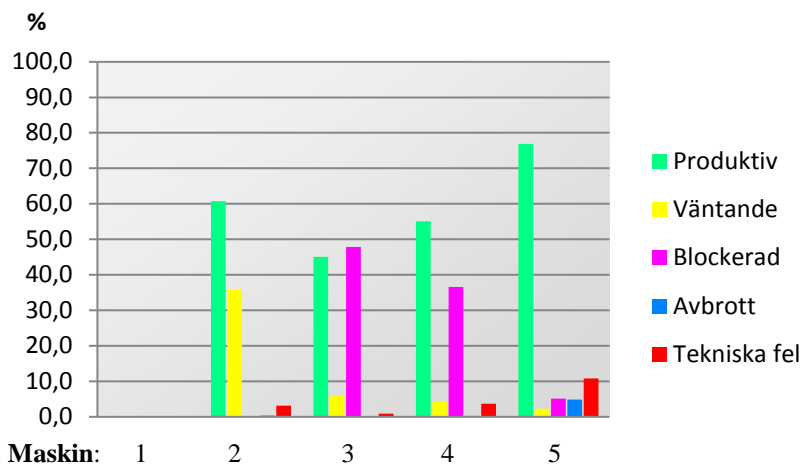
*Tabell 3: Utvalda produkter för exemplifiering av kostnadsmodellens potential samt antalet batcher för var produkt.*

<b>Produkt</b>	<b>Antal batcher</b>
A	8
B	7
C	7
D	6
E	4
F	3
G	3
H	2

### 4.2.2. Styrande maskiner

En varierande produktflora leder till olika styrande maskiner i tillverkningsprocessen. Dessa styrande maskiner, även kallad flaskhalsar, är av stor betydelse att lokalisera då de styr processen och därmed också utfallet av kostnadsmodellen. Genom att kartlägga produktiviteten för respektive station erhålls god kännedom om huruvida maskinlinjen är balanserad eller inte.

För att exemplifiera hur en slutsats kan dras om vilken maskin som är styrande för en specifik batch, se till **Figur 6**. Den gröna stapeln representerar producerande tid för en batch, därmed värdeskapande tid. Resterande staplar representerar någon form utav stillestånd. Det finns stora skillnader i produktiviteten för respektive maskin. Den station med högst produktivitet utgör i flesta fall flaskhalsen och skapar väntetid hos övriga maskiner. Hos en väl balanserad lina finns det ingen tydlig flaskhals och samtliga maskiner har likvärdig produktiv tid.



*Figur 6: Visualisering av styrande maskiner.*

### 4.2.3. Antal kort per panel

De produkter som analyseras tillverkas i paneler om 1, 3 eller 4 kretskort. Samma produkt kan produceras i olika paneler. Därför innehåller inhämtad produktionsdata dessa variationer mellan batcherna. Som följd av detta varierar också produktionsparametrarna som exempelvis nominell cykeltid. Vid

sammanställning av de produkter som har varierande panelstorlekar används den högre panelstorlekens nominella cykeltid.

#### 4.2.4. Nominell cykeltid och verklig cykeltid

Den nominella cykeltiden är fastställd via det simuleringsprogram som tillhör maskinerna. Verklig cykeltid för en batch beräknas som ett medelvärde för samtliga enheter. Summan av den totala produktiva tiden för den styrande maskinen, divideras på antalet passerade paneler. **Tabell 4** visar styrande maskin/maskiner, nominell cykeltid och verklig cykeltid för de utvalda produkterna.

*Tabell 4: De olika produkternas styrande maskiner och cykeltider.*

Produkt	Styrande maskin	Nominell cykeltid	Verklig cykeltid
A	5	41,8/55,74*	77,1/101,3*
B	4 + 5	40,96/52,62*	48,9/73,2*
C	5	40,33/52,14*	54,7/72,2*
D	4 + 5	41/52,14*	55,4/72,3*
E	4	24,58	35,6
F	5	41,8/54,74*	78,0/103,5*
G	5	14,84	20,5
H	5	41,8/54,74*	78,0/105,0*

\*Panel med 3 kort/Panel med 4 kort

#### 4.2.5. Stillestånd

Stilleståndstid finns att inhämta för samtliga ingående maskiner i produktionslinan. Kostnadsmodellen är baserad på den styrande maskinen för respektive produkt och batch. Metoden förutsätter att stillestånden i övriga maskiner har liten påverkan på processen samt att linan är välbalanserad. Stillestånden är indelade enligt nedan lista

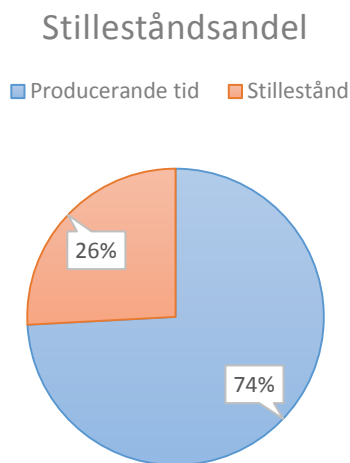
- Tekniska fel (Fault)
- Avbrott/Förhindring (Interrupted)
- Blockerad (Blocked)
- Väntande (Waiting)

I **Tabell 5** presenteras en sammanställning av stillestånden för respektive produkt.

*Tabell 5: Total Stilleståndsandel för respektive produkt.*

Produkt	Stillestånd
A	26 %
B	39 %
C	39 %
D	33 %
E	29 %
F	30 %
G	51 %
H	34 %

Fördelning mellan stillestånd och producerande tid ges i **Figur 7**. Stålltid ingår inte i stilleståndsandelen utan behandlas separat. Tabeller återfinns i Bilaga A för samtliga produkter.

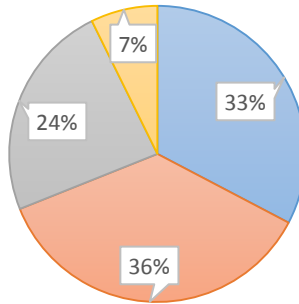


*Figur 7 Total stilleståndsandel för produkt A.*

En fördelning av stilleståndens olika beståndsdelar finns sammanställt för samtliga batcher för respektive produkt. I **Figur 8** åskådliggörs en sådan fördelning, för samtliga produkters fördelning, se Bilaga B.

## Stilleståndsandelar

■ Tekniska fel ■ Väntande ■ Avbrott ■ Blockerad



**Figur 8:** Stillestånd indelat i fyra beståndsdelar för produkt A.

### 4.2.5.1. Tekniska fel

Stillestånd orsakade av tekniska fel är direkt knutna till maskinen och uppkommer inte till följd av eventuella stillestånd i övriga stationer. De kan delas in i maskinfel, spårfel, transportfel och referensfel. En fördelning av dessa finns att tillgå i Bilaga C.

- **Maskinfel** - I produktionen förekommer plock samt appliceringsfel och antalet försök av samma komponent är fördefinierat i programmet. Ett överskridande av det förbestämda värdet orsakar ett stillestånd och i Bilaga D listas alla dess rotorsaker.
- **Spårfel** – Leder till stillestånd, rotorsaker till dessa fel saknas.
- **Transportfel** – Fel vid transport kan leda till stillestånd. Transportfel saknar angivna rotorsaker.
- **Referensfel** - Då komponenter skall appliceras på kretskort används koordinatsystem samt olika mätpunkter. Vid problem med lokalisering av dessa mätpunkter kan stillestånd av denna sort uppstå.

#### 4.2.5.2. Avbrott – Interrupted

Stillestånd av kategorin avbrott är kopplade till operatörer och deras ingripande i processen. De fördefinierade rotorsakerna enligt maskinleverantör är:

- Nödstopp (Emergency Stop)
- Öppen lucka (Cover Open)
- Stoppknapp nedtryckt (Stop Button Pressed)
- Stegningsfunktion – (Step Mode)
- Key Switch
- Single Functions
- Vision Menus

En fördelning av rotorsakerna för samtliga produkter finns i Bilaga E.

#### 4.2.5.3. Blockerad och väntande

Maskinstatus blockerad och väntande kan uppstå vid olika situationer och inga rotorsaker till dessa stillestånd finns angivna. Utgående transportband kan vara upptaget av andra paneler men kan också blockeras av operatörer vid passage mellan maskiner. Då en maskin är blockerad kan det resultera i att kommande maskin får maskinstatus väntande.

- Blockerad – Maskin väntar på att utgående transportband skall bli ledig.
- Väntande – Maskin väntar på att ingående transportband skall innehålla en panel för att påbörja ett arbete.

#### 4.2.5.4. Raster

Vid behov av en kontinuerlig produktion, kan maskinoperatörer avlösa varandra vid raster så att tillverkningsprocessen kan fortgå utan längre avbrott. Vanligtvis sker rasterna gemensamt, enligt schemalagda tider och utan en övervakad produktion. Ytmonteringen är av hög automationsgrad och kan därför producera självständigt under kortare perioder. Vid inträffande av maskintekniska problem krävs dock en manuell återställning för fortsatt tillverkning. De stillestånd som inträffar under raster registreras inte av operatörer som rast. Stilleståndstiden registreras istället per automatik av mjukvaran på det tekniska maskinproblemet som orsakat stilleståndet. Denna kom-

mer att addera stilleståndstid fram till åtgärdat maskinproblem. Ytmonteringen kan också manuellt hindras från att producera under raster. Det kan ske genom att exempelvis använda nödstopp eller andra stopp funktioner.

För att inte missrepresentera stilleståndstid av maskinproblem, framkallad vid raster så har dessa manuellt lokaliserats och korrigerats. Det har utförts enligt de givna rast scheman som erhållits, se Bilaga F, i kombination med rådata kopplat till maskinhändelser. Hänsyn har inte tagits till rasternas verkliga tid.

I **Tabell 6** nedan visas ett verkligt exempel på tidstämplingar för de olika stationerna i ytmonteringslinan. Tidstämpling 1 anger då ett nytt arbete påbörjats av en panel. Tidstämpling 2 visar klockslag för färdig produkt av samma panel. Tidstämpling 3 anger då ett nytt arbete påbörjats. Vidare anges också differensen mellan tidstämpling 2 och 3. Då tidstämplingarna överlappar schemalagda raster antas det därför inträffa en rast.

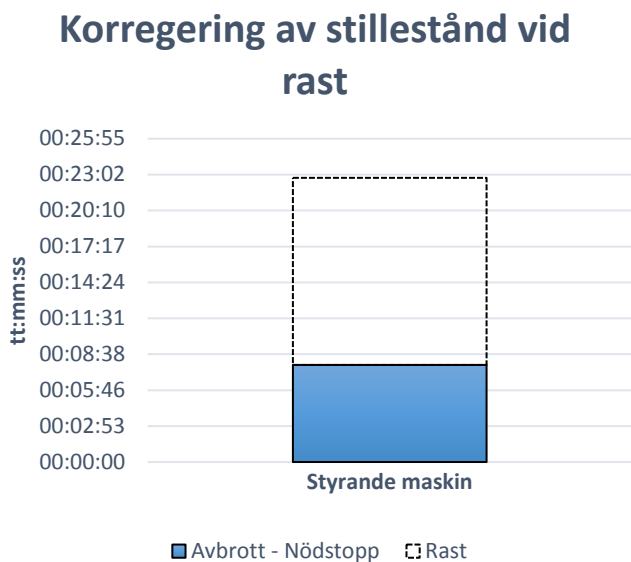
***Tabell 6:** Exempel på analys av verkliga tidsstämplingar för att lokalisera raster.*

Station	Tidstämpling 1 (tt:mm:ss)	Tidstämpling 2 (tt:mm:ss)	Tidstämpling 3 (tt:mm:ss)	Differens 2-3 (tt:mm:ss)
2	07:52:07	07:52:50	08:16:37	00:23:47
3	07:48:57	07:50:08	08:13:23	00:23:15
4	07:49:59	07:51:10	08:16:31	00:25:21
5	07:48:55	07:50:38	08:13:25	00:22:47

Vid förekomst av sådan händelse och analys, har de automatiskt loggade maskinhändelserna studerats för den styrande stationen enligt **Figur 9**. Vidare har enbart den schemalagda rasten exkluderats ur maskinhändelsens totala tid, för kategorisering av rast, se **Figur 10**. Övrig tid har till följd av osäkerhet bevarats under samma maskinhändelse.



**Figur 9:** Total registrerat maskinstillestånd i samband med rast.



**Figur 10:** Korrigerad stillestånd i samband med rast.



## 4.2.6. Ställtid

Ställtider registreras i affärssystemet av operatörer genom att utföra en in och utstämpling och kan knytas till olika batcher. Vidare finns möjligheten att producera ett ställ passande till en grupp av olika produkter. Den totala ställtiden registreras då enbart på den första batchen och fördelas inte mellan de olika produkterna och batchstorlekarna. Arbets sättet är nytt och innefattar brister vilket medför felaktig tidrapportering. Ställtiden är uppskattad efter diskussion med personal.

### 4.2.6.1. Inre och yttre still

De yttre ställ som finns i ytmonteringslinan sköts parallellt av samma operatörer som arbetar på maskinlinjen. De orsakar oftast inte stillestånd i produktion och till dessa finns möjligheten att ordna ett gemensamt ställ för en grupp av liknande produkter.

Inre ställ orsakar stillestånd i tillverkningen och sköts separat för varje produkt. Den ställtid som är ansatt i kostnadsmodellen är knuten till ställ som orsakar produktionstopp. Yttre ställ och andra förberedelser som inte orsakar stillestånd är inte medräknade i denna tid, då de inte anses vara resurskrävande.

## 4.2.7. Materialkostnad

Materialkostnaden är analyserad med hjälp av affärssystemet. Ett medelinköpspris är beräknat under år 2016 då materialet beställs från ett flertal leverantörer, med olika valutakurser. Det går inte koppla specifika materialinköp till en producerad batch.

## 4.2.8. Materialspill och Plockfel

De komponenter som bygger upp funktionerna i kretskorten har en stor spridning i storlek och form vilket också leder till svårigheter i produktion. För varje komponent och kort finns det en möjlighet att specificera antalet plock samt appliceringsförsök av samma komponent i maskinprogrammen. De som slutligen nekas hamnar i en behållare av materialspill. Beroende på komponents värde och storlek finns möjligheten för ytterligare försök genom att manuellt placera komponenten i mataren. Information gällande materialspill finns att tillgå i **Tabell 7**. För samtliga produkters materialspill och dess fördelning på maskinnivå, se Bilaga G samt Bilaga H. Hur rotorsakerna bakom plock samt appliceringsfel fördelas ges i Bilaga I.

*Tabell 7: Andel materialspill per komponent för produkt A.*

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	0,13 %
Bb	0,14 %
Cc	0,18 %
Dd	0,08 %
Ee	1,47 %
Ff	0,23 %
Gg	0,37 %
Hh	0,57 %
Ii	0,04 %
Jj	2,02 %

#### **4.2.9. Kassationer**

Samtliga kretskort passerar den optiska verifieringen och information gällande kvalitet registreras på individnivå. De kretskort som inte håller rätt kvalitet hanteras därefter olika. Vid möjlighet repareras kretskort på plats eller också skickas det vidare till annan avdelning för reparation. Vid olönsam reparation skrotas kretskortet. Kort som skrotas eller repareras, registreras i det separata systemet för spårbarhet. Då det är ett självständigt system finns det begränsningar i att knyta reparationer till specifika batcher. Vidare registreras inte alla kretskort som repareras på plats vid ytmonteringen.

Kassaktionsandelen är därför producerad som ett medelvärde över ett års tid. I **Tabell 8** presenteras respektive produkt och dess kassationsandel.

*Tabell 8: Andel kassationer för de utvalda produkterna över ett år.*

<b>Komponent</b>	<b>Kassation</b>
A	1,95 %
B	1,23 %
C	1,68 %
D	1,53 %
E	1,4 %
F	2,18 %
G	0,45 %
H	2,86 %

#### 4.2.10. Planerad produktionstid

Företaget planerar produktionstiden i ytmonteringen utifrån försäljningsprognoser. Eftersom produktionen innefattar en stor produktflora med varierande försäljningsprognoser så är de olika ytmonteringslinorna konstruerade för att vara flexibla. Det innebär att samma produkter kan tillverkas i olika linor vid behov. För att inte få ett missvisande värde på den planerade produktionstiden så har försäljningsprognoser studerats för nuvarande år, samt total produktionstid för föregående år.

I kostnadsmodellen är de direkta kostnaderna som är knutna till ytmonteringen fördelade på den planerade produktionstiden. Avvikelser mellan planerad och verklig produktionstid kan därför leda till missvisande kostnader. Det är därför av stor vikt att denna ansätts korrekt.

#### 4.2.11. Utnyttjandegrad

Företagets stora produktflora leder till svårigheter vid estimering av beläggningsgraden. Eftersom det inte har varit möjligt att producera ett tillförlitligt värde har denna därför exkluderats ur kostnadsmodellen. Det går alternativt att se det som att  $U_{RB}$  ansatts som ett, vilket innebär full beläggning

#### 4.2.12. Taktförluster

Vid analys av informationslagring har det konstaterats att stilleståndstid på grund av maskinfel eller avbrott av operatör, ingår i de registrerade process-tiderna för ytmonteringen. Vid framtagning av taktförluster på batchnivå subtraheras stillestånden enkelt i sin helhet från den totala processtiden. Det ger en korrekt total processtid utan stillestånd, för vidare beräkning av taktförluster. Eftersom datalagring kring stillestånd är begränsad till batchnivå är det inte möjligt att analysera taktförluster korrekt på detaljnivå. För beräknade taktförluster för respektive produkt se **Tabell 9**.

*Tabell 9: Sammanställda taktförluster för de utvalda produkterna.*

Produkt	Taktförluster
A	45 %
B	21 %
C	27 %
D	27 %
E	29 %
F	51 %
G	51 %
H	55 %

#### 4.2.13. Antal operatörer

I de producerade analyserna har det antagits vara tre operatörer direkt knutna till ytmonteringen. Det är så många operatörer som enligt företaget krävs för att bedriva optimal produktion, men det verkliga antalet operatörer kan variera av olika anledningar. Det finns ingen information gällande det verkliga antalet operatörer knutna till en specifik batch.

#### 4.2.14. Underhåll och renoveringskostnader

Underhåll och renoveringskostnader för ytmonteringen är sammanslagna i företaget och går inte att bryta ner. Tid för underhåll och renovering finns schemalagt till 8,75 timmar per vecka på en operatör. Förbrukade materialresurser går inte att binda till en specifik ytmonteringslinje. Estimerat värde på underhåll och renoveringskostnader är därför producerat genom att fördela totalsumman av materialåtgången under år 2016, på samtliga monteringslinjer.

Till följd av de sammanslagna kostnaderna har en anpassning av kostnadsmodellen utförts. Renovering och underhållskostnader har exkluderats ur beräkning av maskintimkostnad vid produktion, se Ekvation 11. Kostnaderna behandlas istället separat under benämningen underhållskostnader, se Ekvation 17.  $U_K$  representerar den årliga underhållskostnaden för hela produktionslinan och är fördelat på den planerade produktionstiden. Beräkningen tar hänsyn till cykeltider, kassationer, taktförluster samt stillestånd.

$$k_{CP} = \frac{a_f \cdot K_0 + Y \cdot k_y + T_{plan} \cdot k_{ph}}{T_{plan}} \quad \text{Ekvation 16}$$

$$\text{Underhållskostnader} = \frac{t_0 \cdot U_K}{60 \cdot T_{plan}} \cdot \frac{1}{(1-q_p)(1-q_s)(1-q_Q)} \quad \text{Ekvation 17}$$

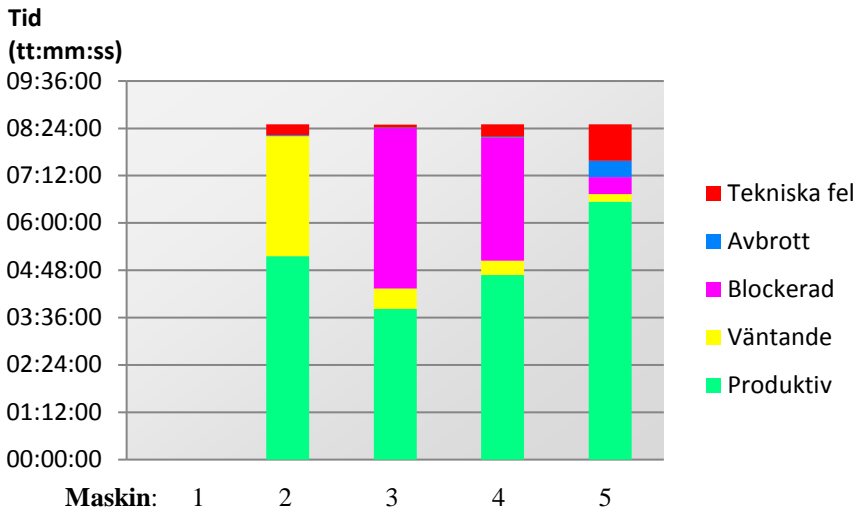
#### 4.2.15. Maskintimkostnad vid produktion och stillestånd

Drifkostnader för ytmonteringen består främst av elektricitetskostnader knutna till var station, samt den elektricitet som krävs för att driva företagets kompressorer. Det finns tre gemensamma kompressorer i företagets lokal som försörjer hela verksamheten. Vid större förbrukningsbehov används två av dessa som stöd till huvudkompressorn. Det finns inga möjligheter att knyta drifttimmar eller kostnader till olika delar i företaget. En uppskattning av dess kostnader kopplade till ytmonteringen har därför utförts genom att

studera maskinspecifikationer samt märkskyltar. En liknande studie har genomförts i ytmonteringen för dess olika maskinstationer. Efter granskning har det konstaterats att information saknas för att utföra en korrekt uppskattning. Maskintimkostnad vid produktion och stillestånd har därför grovt uppskattats. Vidare antas att driftkostnaden vid stillestånd och produktion är densamma. Antaganden och uppskattat värdet anses enligt företaget vara rimliga.

#### **4.2.16. Balanseringsförluster**

En fulländad balans i linan är svår att uppnå i den analyserade produktionslinjen på grund av företagets stora och varierande produktflora. Balanseringsförluster förekommer därför vid tillverkning av produkterna. **Figur 11** visar aktiviteten för respektive maskin i produktionslinjen för en av de analyserade produkterna med högre balanseringsförluster. Genom att studera produktionstiden för respektive maskin kan balanseringsförluster erhållas. I den tillämpade kostnadsmodellen har enbart hänsyn tagits till den styrande maskinen och därför representeras inga kostnader för eventuella balanseringsförluster. De kostnader som uppstår är knutna till stillestånd för de icke styrande maskinerna då de hindras från att producera.



*Figur 11: Representation av balanseringsförluster knutna till produkt A.*

#### 4.2.17. Detaljkostnad

Genom att analysera samtliga parametrar som formar kostnadsmodellen har en detaljkostanden beräknats. Resultatet som representerar detaljkostnaden för de olika produkterna finns att se i **Tabell 10**. Den beräknade kostnaden är starkt beroende av korrektheten hos de ingående parametrarna. Den är också knuten till den aktuella linan och representerar endast direkta kostnader. Detaljkostandens fördelning ges i Bilaga J, för produktionskostnader se Bilaga K.

*Tabell 10: Sammanställning av utvalda produktionsparametrar.*

<u>Produkt</u>	<u>EOQ</u> (st)	<u>KB</u> (kr)	<u>q<sub>0</sub></u>	<u>q<sub>B</sub></u>	<u>q<sub>S</sub></u>	<u>q<sub>B</sub></u>	<u>Detaljkostnad</u> (kr)
<b>A</b>	360	206,25	0,0192	0,0029	0,2584	0,4532	222,01 kr
<b>B</b>	576	169,17	0,0156	0,0025	0,3907	0,2173	180,96 kr
<b>C</b>	256	205,49	0,0166	0,0028	0,3858	0,2676	219,64 kr
<b>D</b>	256	182,06	0,0191	0,0044	0,3349	0,2706	195,93 kr
<b>E</b>	180	301,78	0,0140	0,0032	0,2915	0,2968	323,66 kr
<b>F</b>	240	206,08	0,0229	0,0034	0,2976	0,4678	221,59 kr
<b>G</b>	240	89,37	0,0045	0,0026	0,5100	0,2761	103,73 kr
<b>H</b>	180	183,25	0,0286	0,0049	0,3387	0,4702	203,44 kr

## 5. Resultat

Det finns goda förutsättningar för en implementering av kostnadsmodellen i realtid genom användandet av SIPLACE Explorer samt affärssystemet. För att analysera produktion på detaljnivå krävs en hårdvaruinvestering. Den tillfälliga mjukvaran som implementerats innefattar en stor del av de produktionsparametrar som formar kostnadsmodellen. För att lagra korrekt information behöver operatörer aktivt registrera information i den användarvänliga maskinmjukvaran, enligt nedan lista.

- Normal operation
- Helgarbete
- Underhåll
- Ställtid
- Planerat stillestånd
- Oplanerat stillestånd
- Inkörning av produkt

Det nya underlaget av produktionsparametrar som önskats av företaget erhålls från SIPLACE Explorer vid korrekt användning. Resterande parametrar som bygger kostnadsmodellen ges av affärssystemet och ekonomiavdelningen. Den producerade och anpassade kostnadsmodellen som tillämpats ges i Ekvation 17.

$$\begin{aligned}
 k = & \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)} \right]_{c1} \\
 & + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)} \cdot \frac{q_S}{(1-q_S)} + T_{SU} \right]_{c2} \\
 & + \frac{n_{op} \cdot k_D}{60N_0} \left[ \frac{N_0 \cdot t_0}{(1-q_Q)(1-q_p)(1-q_S)} + T_{SU} \right]_d \\
 & + \frac{t_0 \cdot U_K}{60 \cdot T_{Plan}} \left[ \frac{1}{(1-q_p)(1-q_S)(1-q_Q)} \right]
 \end{aligned}
 \tag{Ekvation 18}$$

Där maskintimkostnad vid produktion definieras enligt Ekvation 19,

$$k_{CP} = \frac{a_f \cdot K_0 + Y \cdot k_y + T_{Plan} \cdot k_{ph}}{T_{Plan}}
 \tag{Ekvation 19}$$

Nedan listas de parametrar som anses vara nödvändig för att bedriva en informationsrik produktionsuppföljning.

---

**Parametrar**

---

Cykeltid  
Nominell seriestorlek  
Antal operatörer  
Andel materialspill  
Stilleståndsandel  
Kassationsandel  
Relativ Taktförlust  
Ställtid  
Materialkostnad per detalj  
Maskintimkostnad under produktion  
Maskintimkostnad vid stillestånd  
Lönekostnad  
Planerad produktionstid  
Maskinkostnad under operation

---



## 6. Diskussion

Företaget har goda förutsättningar för att konstruera en fungerande realtidsmodell av produktionen. Mjukvaror finns tillgängliga för lagring av data och en välfungerande IT-struktur finns också i verksamheten. Det man behöver göra är att minimera antalet mjukvaror som finns och se över dess analyspotential. Informationslagring gällande tillverkningsprocessen som sköts i mjukvara för produktionsuppföljning samt i affärssystemet, kan erhållas från maskinmjukvara. SIPLACE Explorer har möjlighet att vid korrekt användning lagra, hantera samt analysera ytmonteringen. Den kan dessutom lagra alla stillestånd oberoende av dess stilleståndstid, vilket inte är fallet i befintlig mjukvara för produktionsuppföljning. Det är nödvändigt att inkludera all produktionstid i analyser för att bedriva korrekta resultat. Möjligheten finns också att föra loggbok knutet till olika tidstämplingar och maskinhändelser. Det går därför att involvera resterande maskiner som finns i ytmonteringen vid framtida analyser.

De nuvarande produktionsanalyserna är bristfälliga och företaget önskar att involvera mer korrekta produktionsanalyser i det dagliga förbättringsarbetet. Det är därför av stor vikt att personal aktivt arbetar med informationslagring för att producera korrekta resultat. För att motivera arbete ställs också krav på kontinuerliga uppföljningar och analyser av ansvariga. Genom att analyser informationen ges en inblick i det dagliga arbetet och en förståelse för de olika delmomentens betydelse.

Vid framställning av parametrar är det av stor vikt att det finns tillräcklig information för att stödja dessa resultat. De analyserade produkterna i rapporten är baserade på ett fåtal batcher och delvis bristfällig information. De producerade värdena skall därför inte representera den allmänna produktionen för de utvalda produkterna. En skall istället beakta upplägget bakom analysen för att förstå dess möjligheter och använda metoder och modeller vid rätt omständigheter.

Det finns ett flertal kritiska parametrar som saknar tillräckligt med underlag för att producera korrekta resultat. Osäkerhet i data kan vara potentiella felkällor och behöver därför utredas. Underhållskostnader och renoveringskostnader är i nuläget besvärliga att knyta till enskilda maskinstationer. De bör undersökas för att spegla en eventuell nyinvestering mot de årliga kostnaderna. Den planerade produktionstiden är också en oerhört viktig parameter som kan producera missvisande resultat. Den årliga kostnaden skall fördelas på den planerade produktionstiden och alla dess tillverkade produkter. Ett

felaktigt uppskattat värde kan därför leda till en lägre eller högre detaljkostand. Då framtagning av ytmonteringens beläggningsgrad har varit problematisk och exkluderats ur kostnadsmodellen, innebär det att eventuella brister i den planerade produktionstiden inte kompenseras. Vidare saknas det också underlag för utredning av driftkostnader vid produktion och stillestånd.

Företaget prioriterar en stor produktflora och anser att balanseringsförluster är oundvikliga vid sådana omständigheter. En undersökning ansågs vara för tidskrävande och balanseringsförluster är därför inte inkluderade i den tillämpade kostnadsmodellen. För att bättre representera verkligheten finns också kostnadsformelen med hänsyn till balanseringsförluster. Nackdelen med att inte ta hänsyn till balanseringsförluster är att den beräknade stilleståndsandelen för linan kan bli lägre än den verkliga. Detta då hänsyn endast tas till den styrande maskinens stilleståndsandel i nuvarande kostnadsberäkningar. SIPLACE Explorer ger möjlighet till att analysera eventuella balanseringsförluster för individuella batcher.

Beläggningsgraden är problematisk att beräkna på grund av den stora produktflora som finns. Vanligtvis beräknas den som variansen mellan förutsatt och verkligt antalet producerade enheter, under samma tidperiod. Att få grepp om en så pass stor produktflora har inte varit möjligt. För att få det genomförbart krävs vetskap om verklig cykeltid, nominell cykeltid, ställtid, nominellt antal enheter, stilleståndsandel och taktförluster för samtliga produkter producerade på linan under ett år. Beläggningsgraden agerar kompensationsfaktor till den planerade produktionstiden. Om den inte används ökar vikten av att ha en tillförlitlig planerad produktionstid.

Som görs uppenbart av arbetets titel är syftet att lägga en grund för framtida implementering av industri 4.0. Därav vigs en stor del av teoridelen till att beskriva konceptet Industri 4.0 och grunden till varför detta arbete utförs och vad det kan användas till. Det visade sig, vilket också antogs från början, att insamling av data samt anpassning och applicering av en kostnadsmodell var tillräckligt extensivt för att utgöra ett helt examensarbete. Därav innehåller analysen och resultatet ingen information rörande övriga delmoment för en applicering av Industri 4.0. Detta innebär att det krävs fortsatt arbete för att kunna nyttja den grund till Industri 4.0 som examensarbete utgör.

När man ser till resultatet är det svårt att undvika observationen att materialkostnader utgör en stor del av den totala detaljkostnaden. Det är då av stor vikt att ta hänsyn till att större delen av materialkostnaden inte går att påverka i monteringen, förutom materialspill och kassationer. Det är av större vikt att se till de kostnader som går att påverka, det vill säga produktionsrelaterade

kostnader. Det är dessa kostnader som går att reducera genom förbättringar i produktionen.



## 7. Rekommendationer

- **Minimera antalet mjukvaror** - SIPLACE Explorer har möjligheten att ersätta lagring av ställtider som används i affärssystemet, samt de produktionsanalyser som utförs i mjukvara för produktionsuppföljning.
- **Aktivera de anställda i informationslagring** – De anställda behöver engageras i informationslagring.
- **Uppföljningar** – Det krävs kontinuerliga uppföljningar för att motivera och förbättra det dagliga arbetet.
- **Visualisera och automatisera en produktionsanalys** - Använd väl utplacerade bildskärmar som visualiserar tillverkningsprocessen, genom att kombinera information från affärssystem och maskinmjukvara.
- **Underlag** – Mer underlag krävs för korrekt producerade parametrar rörande driftkostnader, underhållskostnader, renoveringskostnader samt planerad produktionstid.
- **Nominell cykeltid** – Maskinspecifikationer och verkliga cykeltider bör utredas för att definiera produkternas nominella cykeltider.
- **SIPLACE Explorer** – Vid framtida användning krävs att schema-lagda skift anges i mjukvaran. Vidare bör funktioner användas som exempelvis stämpling av rast och underhåll. Detta för att inte producera missvisande information.
- **Undersökning av balanseringsförluster** – Styrande maskiner bör lokaliseras vid tillverkning av samtliga produkter. Det har visat sig finnas avvikelser mellan den teoretiskt styrande och den verkligt styrande maskinen.
- **Raster** – Förslagsvis fördelas den dagliga och verkliga rasttiden för skiftet, på skiftets alla producerade batcher. Produktionstiden för var batch styr den andel av rasten som knyts till batchen.

# Referenser

[1] Bergweiler, S., 2016- Smart Factory Systems – Fostering Cloud-based Manufacturing base on Self-Monitoring Cyber-Physical Systems,

[2] Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet, PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Dec. 2014.

[3] Industrie 4.0, as seen from ground zero, Advanced Manufacturing, Jan. 2017. <http://advancedmanufacturing.org/industrie-4-0-seen-ground-zero/>

[4] Power the Future Report: How the Internet of Things will revolutionise industrial production, Innovative Factory Systems department at the German Research Centre, Feb. 2015.

[5] Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, National Academy of Science and Engineering, April. 2013.

[6] Ståhl, J-E., 2015. NEXT STEP a Philosophy concerning Development of Manufacturing Systems – The link between technology and economics. Lund University, Lund,

[7] Our answer to your data needs: Multi-site analyses with SIPLACE Explorer, SIPLACE, 2016. <http://www.siplace.com/us/software/monitoring-traceability/explorer>

# Bilaga A

Stillstånd	A	B	C	D	E	F	G	H
Stillestånd	39,0%	26,0%	51,0%	30,0%	29,0%	34,0%	33,0%	39,0%
Producerande	61,0%	74,0%	49,0%	70,0%	71,0%	66,0%	67,0%	61,0%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>

## Bilaga B

Stillestånd	A	B	C	D	E	F	G	H
Väntande	48,6%	36,2%	48,2%	9,9%	37,0%	63,2%	50,3%	51,2%
Blockerad	30,6%	7,3%	42,4%	22,5%	33,1%	20,4%	21,9%	27,2%
Tekniska fel	16,5%	32,7%	5,0%	22,4%	28,3%	1,1%	20,1%	9,8%
Avbrott	4,2%	23,8%	4,3%	45,3%	1,5%	15,2%	7,7%	11,8%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>



# Bilaga C

<b>Fault</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
Fault/FiducialError	18,3%	0,3%	31,8%	13,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fault/MachineError	40,8%	1,6%	0,0%	24,5%	0,0%	0,0%	10,8%	72,1%
Fault/TrackError	40,2%	96,0%	68,2%	57,6%	0,0%	99,3%	84,1%	26,3%
Fault/TransportError	0,8%	2,1%	0,0%	4,5%	100,0%	0,7%	5,1%	1,7%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>

# Bilaga D

---

## Error Message

---

3D sensor: Components of this type cannot be measured

3D sensor: Gull wing and ball connections cannot be measured simultaneously

3D sensor: Too few connections for measurement with the 3D sensor

A nozzle change is needed, but not permitted during production. Too many segments are disabled

An error occurred when picking up a component

Angle (approximate) cannot be determined

Angle (approximate) cannot be determined

Attempt to access track without component tape

Ball features outside positional tolerance

Cannot address carrier

Cannot address magazine

Cannot calibrate nozzle changer

Cannot create dip job

Cannot dip component

Cannot measure component. Please change to component teaching gui

Cannot pick up component

Cannot recycle component

Colinearity: component outside feed tolerance (Corner)

Colinearity: component outside feed tolerance (Lead)

Colinearity: component outside feed tolerance. Sequential error

Colinearity: evaluation not possible

Colinearity: evaluation not possible (Corner)

Colinearity: evaluation not possible (Lead)

Colinearity: no result

Colinearity: no result (Corner)

Colinearity: no result (Lead)

---

---

Collinearity check: Lead positions outside of tolerance  
Component angle outside tolerance  
Component angle outside tolerance (Corner)  
Component angle outside tolerance (Grid)  
Component angle outside tolerance (Lead)  
Component angle outside tolerance (Row)  
Component angle outside tolerance (Size)  
Component cannot be measured  
Component cannot be picked up  
Component cannot be picked up with the selected head type  
Component cannot be placed  
Component cannot be placed because skinning time has expired  
Component combination is not allowed due to size restrictions  
Component description for measurement with SIPLACE Vision incomplete  
Component hat not been dipped in flux correctly  
Component height measurement failed  
Component inspection failed  
Component length outside tolerance  
Component length outside tolerance (Ball)  
Component length outside tolerance (Corner)  
Component length outside tolerance (Grid)  
Component length outside tolerance (Lead)  
Component length outside tolerance (Row)  
Component length outside tolerance (Size)  
Component not at nozzle after pick-up  
Component not at nozzle before placement  
Component not on nozzle during dipping  
Component not on nozzle during placement  
Component not on nozzle prior to dipping  
Component not on nozzle prior to placement  
Component not present after dipping

---

---

Component not present after pickup  
Component not present before dipping  
Component not present on nozzle after pickup  
Component not present on nozzle before placement  
Component not present on nozzle before recycling  
Component not present on nozzle before rejection  
Component not seated on nozzle correctly on pickup  
Component on the nozzle before pickup pr nozzle dirty  
Component outside feed tolerance  
Component outside feed tolerance(Ball)  
Component outside feed tolerance(Corner)  
Component outside feed tolerance(Grid)  
Component outside feed tolerance(Lead)  
Component outside feed tolerance(Row)  
Component outside feed tolerance(Size)  
Component picked up at wrong angle  
Component present on nozzle before pickup  
Component rotation angle outside tolerance  
Component still present on nozzle after placement  
Component still present on nozzle after recycling  
Component still present on nozzle after rejection  
Component too large after pickup  
Component too large before placement  
Component too small after pickup  
Component too small before placement  
Component width outside tolerance  
Component width outside tolerance (Ball)  
Component width outside tolerance (Corner)  
Component width outside tolerance (Grid)  
Component width outside tolerance (Lead)  
Component width outside tolerance (Row)  
Component width outside tolerance (Size)

---

---

Cop: Component outside measuring range  
Coplanarity: Placement level not found  
Coplanarity module: Component faulty  
Coplanarity: Bad component, to be returned  
Coplanarity: Component cannot be measured (excessive offset in lead direction)  
Coplanarity: Lead missing or row not measured correctly  
Coplanarity: Lead outside position tolerance  
Coplanarity: Measuring on one lead finished  
Coplanarity: Row not available  
Coplanarity: Too many leads measured  
Cover foil not removed from tape feeder  
Cover foil on tape feeder damaged  
Difference in vacuum too great between placement and pick-up  
Dimension: component outside feed tolerance  
Dimension: component outside feed tolerance (Ball)  
Dimension: component outside feed tolerance (Corner)  
Dimension: component outside feed tolerance (Grid)  
Dimension: component outside feed tolerance (Lead)  
Dimension: component outside feed tolerance (Row)  
Dimension: component outside feed tolerance (Size)  
Dimension: evaluation not possible  
Dimension: evaluation not possible (Ball)  
Dimension: evaluation not possible (Corner)  
Dimension: evaluation not possible (Grid)  
Dimension: evaluation not possible (Lead)  
Dimension: evaluation not possible (Row)  
Dimension: evaluation not possible (Size)  
Dimension: no result  
Dimension: no result (Ball)  
Dimension: no result (Corner)  
Dimension: no result (Grid)

---

---

Dimension: no result (Lead)  
Dimension: no result (Row)  
Dimension: no result (Size)  
Dip module: Medium empty  
Dip position cannot be reached  
Division deactivated after component pickup errors  
Division not available. Reel has been removed  
Error in feeder on pick-up  
Error moving Z axis down  
Error moving Z axis up  
Failed to create job for centering nozzle  
Failed to create job for picking up nozzle  
Failed to create job for returning nozzle  
Fatal error on a segment  
Fatal error, maximum number of retries reached  
Features outside positional tolerance  
Field of view of camera is too small for measurement  
Flipped component detected  
Foil torn. Machine was stopped to protect Z axis  
High component is on the nozzle  
IC-head: Segment not airtight after placement  
Lead length inspection failed  
Lead tip: component outside tolerance  
Lead tip: evaluation not possible  
Lead tip: No result  
Measured blob area outside tolerance  
Measured lead length outside of tolerance  
Measured lead length outside tolerance  
Measured lead width outside of tolerance  
Measured offset in X and Y outside feed tolerance  
Measured offset in X and Y outside presentation tolerance  
Measured offset in X outside feed tolerance

---

---

Measured offset in X outside presentation tolerance  
Measured offset in Y outside feed tolerance  
Measured offset in Y outside presentation tolerance  
Measured size in X outside tolerance  
Measured size in Y outside tolerance  
Measured size outside tolerance  
Measured structure size outside tolerance  
Measurement result has bad quality  
Measurement with 3D sensor failed  
Measurement with 3D sensor: At least one connection is damaged  
Measurement with 3D sensor: Component tilted too much  
Measurement with 3D sensor: Coplanarity outside tolerance  
Measurement with 3D sensor: Distance between component and sensor too great  
Measurement with 3D sensor: Distance between component and sensor too large  
Measurement with 3D sensor: Distance between component and sensor too small  
Measurement with 3D sensor: Not all connections were found  
No component available for placement  
No component in front of the camera or component not bright enough  
No measurement from vision system  
No. of pins: component outside feed tolerance (Corner)  
No. of pins: component outside feed tolerance (Lead)  
No. of pins: component outside feed tolerance. Sequential error  
No. of pins: evaluation not possible  
No. of pins: evaluation not possible (Corner)  
No. of pins: evaluation not possible (Lead)  
No. of pins: no result  
No. of pins: no result (Corner)  
No. of pins: no result (Lead)  
Not all ball features of the component were detected  
Not all features of the component were detected

---

---

Nozzle combination is not allowed due to size restrictions  
Nozzle contaminated or worn out  
Nozzle dirty  
Nozzle dirty or obstruction during pickup  
Nozzle duct blocked  
Nozzle is soiled  
Nozzle missing  
Nozzle not empty after placement  
Nozzle not empty prior to pick-up  
Nozzle soiled before pick-up  
Nozzle was not properly engaged when picking up nozzle  
Nozzle worn  
Number of leads on component not correct (Corner)  
Number of leads on component not correct (Lead)  
Number of leads on component not correct. Inaccurate calibration  
One feature is too small for measurement with SIPLACE Vision  
Orthogonality error during component measuring  
Orthogonality error during component measuring (Corner)  
Orthogonality error during component measuring (Lead)  
Pickup position cannot be reached  
Pitch of a lead group outside tolerance  
Pitch: Component outside feeding tolerance (Lead)  
Placement position cannot be reached  
Placement stopped  
Position (approximate) cannot be determined  
Position (approximate) cannot be determined  
Position (fine) cannot be determined  
Position cannot be determined  
Position: component outside feed tolerance  
Position: component outside feed tolerance (Ball)  
Position: component outside feed tolerance (Corner)  
Position: component outside feed tolerance (Grid)

---



---

Position: component outside feed tolerance (Lead)  
Position: component outside feed tolerance (Row)  
Position: component outside feed tolerance (Size)  
Position: evaluation not possible  
Position: evaluation not possible (Ball)  
Position: evaluation not possible (Corner)  
Position: evaluation not possible (Grid)  
Position: evaluation not possible (Lead)  
Position: evaluation not possible (Row)  
Position: evaluation not possible (Size)  
Position: no result  
Position: no result (Ball)  
Position: no result (Corner)  
Position: no result (Grid)  
Position: no result (Lead)  
Position: no result (Row)  
Position: no result (Size)  
Quality is too low for optical centering  
Quality too low during optical centering  
Quality too low during optical centering (Ball)  
Quality too low during optical centering (Corner)  
Quality too low during optical centering (Grid)  
Quality too low during optical centering (Lead)  
Quality too low during optical centering (Row)  
Quality too low during optical centering (Size)  
Results of vacuum measurement of pick-up and reject station reversed  
RV-head: Segment not airtight after placement  
Seg. not airtight  
Size check failed  
Spacing: component outside feed tolerance (Corner)  
Spacing: component outside feed tolerance. Sequential error  
Spacing: evaluation not possible

---

---

Spacing: evaluation not possible (Corner)  
Spacing: evaluation not possible (Lead)  
Spacing: no result  
Spacing: no result (Corner)  
Spacing: no result (Lead)  
The difference between open and closed vacuum values is too small  
The nozzle in the reject position is contaminated  
Track deactivated by operator  
Track empty error detected by component sensor  
Vacuum not achieved (component not located securely on the nozzle)  
Vacuum not achieved (no component on the nozzle)  
Vacuum value of segment too low with valve closed  
Waffle pack tray is empty  
Warning: Nozzle is slightly soiled  
Vision error occurred  
Vision system: Flipped component detected  
X feeder: Component was not moved to target position within time limit  
X feeder: Error on removing foil  
X feeder: Foil removal device blocked  
X feeder: Foil torn  
X-Feeder: Component was not transported into specified position in the defined time.  
X-Feeder: Feeder not mounted or communication to feeder interrupted.  
X-Feeder: Foil removal device blocked  
X-Feeder: Foil removal incorrect  
X-Feeder: Foil tom  
X-Feeder: Low foil tension  
X-Feeder: Removal handle not latched  
X-Feeder: Tape drive of the feeder is not referenced  
Z Axis, component at nozzle although no component expected  
Z Axis, component at nozzle missing  
Z Axis, component too large  
Z Axis, component too small

---

# Bilaga E

<b>Avbrott</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
Interrupted/Break	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
Interrupted/EmergencyStop	57,5%	86,0%	0,0%	11,3%	77,3%	56,7%	53,8%	12,6%
Interrupted/Init	2,6%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Interrupted/SingleFunction	2,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%
Interrupted/Stop	37,8%	13,3%	100,0%	88,8%	22,7%	43,3%	46,2%	81,8%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>

## Bilaga F

<b>Klockslag</b>	<b>Rast</b>
08:00	15 min
11:00	30 min
16:30	15 min
19:30	30 min

# Bilaga G

## Produkt A

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	2,02%
Bb	1,47%
Cc	0,57%
Dd	0,37%
Ee	0,23%
Ff	0,18%
Gg	0,14%
Hh	0,13%
Ii	0,08%
Jj	0,04%

## Produkt B

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	0,77%
Bb	0,60%
Cc	0,36%
Dd	0,29%
Ee	0,22%
Ff	0,11%
Gg	0,09%
Hh	0,08%
Ii	0,06%
Jj	0,04%
Kk	0,04%
Ll	0,03%

### **Produkt C**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	1,2%
Bb	1,2%
Cc	0,5%
Dd	0,4%
Ee	0,3%
Ff	0,3%
Gg	0,2%
Hh	0,2%
Ii	0,1%

### **Produkt D**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	3,14%
Bb	0,66%
Cc	0,39%
Dd	0,25%
Ee	0,15%
Ff	0,12%
Gg	0,09%
Hh	0,09%
Ii	0,09%
Jj	0,02%
Kk	0,01%

### **Produkt E**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	2,11%
Bb	1,64%
Cc	0,62%
Dd	0,40%
Ee	0,31%
Ff	0,31%
Gg	0,16%
Hh	0,13%
Ii	0,08%
Jj	0,08%
Kk	0,07%
Ll	0,03%

### **Produkt F**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	2,6%
Bb	0,9%
Cc	0,9%
Dd	0,5%
Ee	0,2%
Ff	0,1%
Gg	0,1%
Hh	0,1%

### **Produkt G**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	0,81%
Bb	0,53%
Cc	0,21%
Dd	0,16%
Ee	0,15%
Ff	0,11%
Gg	0,07%
Hh	0,04%
Ii	0,00%

### **Produkt H**

<b>Komponent</b>	<b>Andel materialspill</b>
Aa	1,71%
Bb	0,85%
Cc	0,58%
Dd	0,54%
Ee	0,42%
Ff	0,38%
Gg	0,29%
Hh	0,24%
Ii	0,10%



# Bilaga H

Station	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2	27,5%	39,8%	18,4%	28,8%	40,6%	17,8%	30,0%	64,2%
3	30,1%	8,4%	41,0%	26,1%	16,7%	17,0%	20,0%	26,0%
4	25,0%	11,1%	40,6%	24,1%	17,2%	18,5%	11,7%	9,8%
5	17,4%	40,7%	0,0%	20,4%	25,5%	46,7%	38,3%	0,0%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>

# Bilaga I

Error Name	A	B	C	D	E	F	G	H
Colinearity: evaluation not possible (Lead)	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Colinearity: no result (Lead)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Component angle outside tolerance (Lead)	4,53%	1,09%	1,24%	5,48%	1,66%	0,46%	2,11%	7,45%
Component length outside tolerance (Size)	1,96%	2,83%	0,16%	0,58%	0,21%	0,46%	0,70%	0,60%
Component not at nozzle after pick-up	34,65%	12,06%	12,04%	31,89%	7,68%	4,12%	7,75%	31,89%
Component not at nozzle before placement	12,06%	20,81%	1,98%	13,28%	10,17%	18,13%	16,20%	6,71%
Component outside feed tolerance (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Component outside feed tolerance (Lead)	3,35%	0,52%	1,81%	0,43%	1,24%	0,20%	0,00%	23,25%
Component outside feed tolerance (Size)	0,00%	0,00%	2,14%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Component width outside tolerance (Size)	6,79%	2,92%	1,65%	3,75%	4,98%	1,11%	1,41%	3,43%
Cover foil not removed from tape feeder	0,13%	0,63%	0,58%	0,29%	0,62%	0,20%	0,70%	0,75%
Cover foil on tape feeder damaged	0,09%	0,11%	0,16%	0,14%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Dimension: evaluation not possible (Size)	0,00%	0,00%	0,74%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
No measurement from vision system.	0,13%	0,72%	6,51%	0,14%	1,45%	0,46%	0,00%	0,00%
No. of pins: component outside feed tolerance (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
No. of pins: evaluation not possible (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
No. of pins: evaluation not possible (Lead)	4,31%	9,86%	12,20%	6,49%	12,45%	12,89%	14,08%	2,68%
Pitch of a lead group outside tolerance	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Position: evaluation not possible (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Position: evaluation not possible (Lead)	4,35%	9,93%	12,28%	6,49%	12,45%	12,89%	14,79%	2,68%
Position: evaluation not possible (Size)	0,04%	0,00%	0,82%	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%	0,15%
Position: no result (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Position: no result (Lead)	3,61%	9,55%	12,20%	4,47%	12,45%	12,70%	11,27%	2,24%
Position: evaluation not possible (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Spacing: evaluation not possible (Lead)	4,31%	9,86%	12,20%	6,49%	12,45%	12,89%	14,08%	2,68%
Spacing: no result (Corner)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Spacing: no result (Lead)	3,53%	9,46%	12,04%	0,00%	12,45%	12,70%	11,27%	2,24%
The difference between open and closed vacuum values is too small	0,04%	0,00%	0,00%	4,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Track empty, no component during pickup	15,06%	6,24%	3,13%	14,29%	2,70%	4,91%	5,63%	12,37%
Track Empty, optical centering incorrect	1,04%	3,39%	6,02%	1,44%	7,05%	5,89%	0,00%	0,89%
Waffle pack tray is empty.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

# Bilaga J

<b>Detallkostnad</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
Materialkostnad	95,2%	95,0%	86,7%	95,5%	94,9%	93,2%	95,1%	95,4%
Maskinkostnad produktion	0,4%	0,5%	0,8%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%	0,3%
Maskinkostnad stillestånd	0,3%	0,2%	1,2%	0,3%	0,3%	0,5%	0,3%	0,3%
Lönekostnader	3,7%	4,0%	10,3%	3,5%	4,0%	5,3%	3,8%	3,6%
Underhåll	0,3 %	0,3%	0,9%	0,3 %	0,3%	0,4%	0,3%	0,3%
	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

# Bilaga K

<b>Produktionskostnader</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
Materialkostnad	26,4%	29,4%	4,4%	35,8%	24,1%	31,3%	31,5%	28,7%
Maskinkostnad produktion	6,0%	6,8%	6,0%	5,4%	6,7%	5,5%	5,5%	5,3%
Maskinkostnad stillestånd	4,9%	3,7%	8,4%	4,3%	4,6%	4,8%	4,8%	5,4%
Lönkostnader	57,2%	55,0%	74,7%	50,4%	59,4%	53,9%	53,7%	55,9%
Underhåll	5,3%	4,9%	6,5%	4,1%	6,1%	4,4%	4,4%	4,9%
	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>	<u>100%</u>