



**CHALMERS**

# Effekter av Kombinerade Datakällor ur Rotorsaksanalytiskt Perspektiv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik

ELIAS TENGELIN

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
AVDELNINGEN FÖR PRODUKTIONSSYSTEM**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



# Effekter av Kombinerade Datakällor ur Rotorsaksanalytiskt Perspektiv

ELIAS TENDELIN

INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
Avdelning för Produktionssystem

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

Effekter av Kombinerade Datakällor ur Rotorsaksanalytiskt Perspektiv

Elias Tengelin

© Elias Tengelin, 2023

Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2023

## Förord

Denna rapport är resultatet av ett kandidatarbete på Chalmers Tekniska Högskola på Institutionen Industri- och Materialvetenskap. Tesen utfördes av mig själv mellan mars och maj 2023 för programmet Ekonomi och Produktionsteknik.

Ett stort tack riktas till Anders Tingström, VD på EyeAtProduction, för att ha varit till stor hjälp under hela processen. Du har alltid varit full av idéer och har aldrig backat för att ge hjälp om det skulle behövas.

Ytterligare vill jag uppmärksamma Torbjörn Ylipää, forskare, tekniklektor, examinator, och framför allt för min del; handledare. Tack för all hjälp, både under arbetstid och utanför, för att ha gett mig med riktlinjer, observationer och motivation under hela processen.

Till sist riktar jag ett tack till hela DFusion-teamet, för att ha givit stöd i form av många olika kompetenser, allmänt vänliga inställning och hjälp med frågeutformning.

## Sammanfattning

Produktionsstörningar är ett stort problem i dagens fabriker. Det visar sig också att företag stöter på utmaningar när det kommer till hantering av dessa störningar, speciellt i termer av rotorsaksanalys. EyeAtProduction är ett teknikleverantörsföretag som specialiserar sig i att lösa vissa problem i producerande företags rotorsaksanalys genom att förse användaren med videofilm innan störningen inträffar.

En kvalitativ studie har utförts, där två producerande företag har intervjuats med målet att kartlägga dess nuvarande utmaningar och hur de arbetar med rotorsaksanalys i nuläget. Genom detta har ett antal rekommendationer utformats baserat på företagens insikter, samt tidigt dokumenterade utmaningar och möjliggörare för effektiv analys.

Tesen visar att operatörsinvolvering är en central variabel i effektiviseringen vid effektiv användning av FilmTheFault. Ytterligare diskuteras förutsättningarna för fortsatt effektivisering, samt hur tekniken kan användas på ytterligare områden innan, under och efter en produktionsstörning.

Nyckelord: Rotorsaksanalys, Six Sigma, Datakällor, produktionsstörningshantering, Arbetsmetodik.

## Abstract

Production disturbances continue to be a major issue in the modern factories. It is also evident that enterprises encounter challenges in regard to handling said disturbances, especially in terms of root cause analysis. EyeAtProduction is a technology provider that specializes in solving these problems in manufacturing companies' root cause analysis through providing the individual with video footage right before the disturbance happens.

A qualitative analysis has been performed, where two manufacturing companies have been interviewed with the goal of mapping their challenges and how they currently approach root cause analysis. Thus, several recommendations have been formulated based on the companies' insights, as well as previously documented challenges and enablers for effective analysis.

The thesis shows that involvement of the operator is a central variable in effective usage of FilmTheFault. Furthermore, prerequisites for further improvement are discussed, as well as how the technology could be further utilized before, during and after a production disturbance.

Keywords: Root Cause Analysis, Six Sigma, Data Sources, Production Disturbance Management, Work Methodology.

## Akronymer

DFusion – Disturbance Data Fusion (Projekt)

D3H – Data Driven Disturbance Handling (Projekt)

EAP – EyeAtProduction

FTF – FilmTheFault

IT – Information Technology

KPI – Key Performance Indicator

OEE – Overall Equipment Efficiency

PLC – Programmable Logic Computer

PS – Produktionsstörning

RCA – Root Cause Analysis

SPS – Statistisk Processtyrning

UI – User Interface

5W – Fem Varför

# Innehållsförteckning

Förord.....	I
Sammanfattning .....	II
Abstract .....	II
Akronymer .....	III
1. Inledning .....	1
1.1 Beskrivning av Företaget .....	1
1.2 Projektets Bakgrund .....	1
1.3 Syfte .....	2
1.4 Mål .....	2
1.5 Avgränsningar .....	2
2. Teoretisk Referensram .....	3
2.1 FilmTheFault .....	3
2.1.1 Hårdvara .....	3
2.1.2 Mjukvara.....	3
2.2 Typer av Störningar.....	4
2.3 OEE .....	5
2.4 Six Sigma .....	6
2.4.1 Statistisk processtyrning .....	6
2.4.2 8D .....	8
2.5 RCA Metoder .....	9
2.5.1 Five Why .....	9
2.5.2 Fiskbensdiagram.....	9
2.6 Arbetssätt.....	10
2.6.1 Operatörsinriktat Underhåll .....	11
3. Metod .....	13
3.1 Forskningsmetod .....	13
3.2 Litteraturstudie .....	13
3.2.1 ChatGPT.....	13
3.3 Studiebesök .....	14
3.4 Intervjuer .....	14
4. Resultat .....	15
4.1 Företag A.....	15
4.1.1 RCA och Problemlösning.....	15
4.1.2 FTF i RCA Processen .....	15

4.1.3 Datavisualisering Företag A .....	16
4.2 Företag B .....	18
5. Diskussion av Resultat .....	19
5.1 Förutsättningar .....	20
5.2 Ideell Implementering av FTF med 8D som Standard .....	20
5.3 Före, Under och Efter Störning .....	20
5.3.1 Under Störning .....	21
5.3.2 Efter Störning .....	22
5.3.3 Före Störning .....	22
5.4 Förslag till Arbetsmetod .....	23
5.4.1 Fördelar .....	25
5.4.2 Fortsatta Utmaningar .....	26
5.5 Hållbarhetsaspekter .....	26
6. Diskussion av Metod .....	27
6.1 Källkritik och Utvärdering .....	28
7. Framtida Forskning .....	29
Källor .....	

# 1. Inledning

I detta kapitel diskuteras bakgrundsinformation för utformningen av arbetet.

## 1.1 Beskrivning av Företaget

Colmeo grundades år 2009 i Borås som ett IT bolag med fokus på innovativa tekniska lösningar. År 2022 döptes företaget om till EyeAtProduction (EAP) och skiftade fokus till att utveckla mjukvara med fokus på att hjälpa företag att ha ett datadrivet tillvägagångssätt till rotorsaksanalys och felsökning med hjälp av sin lösning FilmTheFault (FTF).

EAP är numera ett teknikleverantörföretag vars affärsmodell är att på tidsbasis hyra ut en ”verktygslåda” till tillverkande företag. Verktygslådan inkluderar en lasersensor, tillhörande mobil och fixeringsverktyg för att på ett par minuter sätta upp en kamera för att filma ett segment i produktion som visat sig problematisk. Kameran kopplas automatiskt till sensorn, och ger utslag då en händelse inträffar utifrån ramarna för fel. EAP förser därmed kunden med information och video utan någon större arbetsinsats av produktionsansvarig, vilket naturligtvis sparar mycket tid för individen som skulle ha använts genom att personen fysiskt inspekterar produktionen. Dessutom kan informationen användas som ett effektivt beslutsunderlag, återigen med en liten arbetsinsats gentemot resultatet. Alternativt kan kameran kopplas till systemets befintliga Programmable Logic Computer (PLC) system. Målet är att utveckla en enkel och lättillgänglig lösning som kan användas av såväl produktionschefer som operatörer.

EAP har dock stött på problem med att förmedla värdet av sin lösning och är därmed intresserade av hur de på bättre sätt kan involvera ytterligare personal i det dagliga arbetet, där användarna i dagsläget påstås främst bestå av eldsjälar, ofta produktionsansvariga. Att få fler användare är beroende av hur enkelt systemet är och hur väl det passar i arbetssätt och förbättringsarbete. Därför är EAP intresserade av att utveckla ett arbetssätt där FTF tillsammans med data från olika källor på ett effektivt och enkelt sätt kan underlätta analys av störningar och förbättringsarbete. Ett sådant arbetssätt kan då användas för att på sätt förmedla värdet av FTF.

## 1.2 Projektets Bakgrund

Idag äventyras så mycket som 50% av Sveriges produktion av produktionsstopp (Ylipää et al., 2017). Detta kan bero på allt ifrån maskinfel till mänsklig faktor. Förbättringar i hur tillverkande företag hanterar störningar leder till direkt ökad produktivitet och mer effektivitet i sina produktionssystem.

Som följd av en tidigare satsning i ett projekt utfört av Production-2030, Data Driven Disturbance Handling (D3H), har ett nytt projekt inletts vid namn DFusion, som handlar om samverkan mellan olika datakällor i störningssammanhang. Målet med satsningen är undersöka hur data från olika källor kan kombineras för att främja ett förbättrat Overall Equipment Efficiency (OEE) -tal, och därmed uppnå högre effektivitet. I projektet ingår också följande aktörer: Chalmers, RISE, tre tillverkande företag, ytterligare två teknikleverantörsföretag samt ett konsultföretag. Projektet försöker att leda utvecklingen mot datadrivet arbete i producerande företag för att öka kvalitet, reducera slöseri, öka planeringsförmåga, och därmed förbättra företages OEE.

GoodSolutions är en ytterligare teknikleverantör i projektet som har utvecklat ett produktionsuppföljningssystem där operatörer kan logga och beskriva störningar. Liknande system är grunden för förbättringsarbete i producerande företag, men flertalet störningar förblir trots det olösta.

Då EAP:s styrka är just enkelheten, har de valt att hålla sig ifrån att implementera mer tekniska funktioner. Detta är fantastiskt för problem där man visuellt kan avgöra felkällan, men missar ibland mer strukturella problem. Av den anledningen kan FTF:s effektivitet ökas genom sammankoppling med ytterligare data. På så sätt kan den mer avancerade dataströmmen kompletteras med mer intuitiva element, och därmed främja nyttan av systemen mer än genom att använda dessa separat.

### **1.3 Syfte**

Syftet med arbetet är att bidra till den ökade kunskapen om tillämpning av rotorsaksanalys (RCA) inom tillverkningsindustrin med hjälp av data från olika källor och dess potentiella effekter på producerande företags OEE-tal. Att bidra med kunskap till DFusion-projektet, som i sin tur har som mål att bidra till Sveriges långsiktiga industriella konkurrensförmåga. Ytterligare är syftet att öka användandet av FTF samt underlätta användandet av dessa genom utveckling av arbetsmetodik för att därmed främja kvaliteten.

### **1.4 Mål**

I projektet utförs forskning angående arbetsmetodik i samband med tekniska verktyg och hjälpmedel. Med det i åtanke är målet att utveckla ett arbetssätt för optimal användning av FilmTheFault, alternativt att upprätta riktlinjer för detta.

Frågeställning:

Vad utgör en effektiv användning av tekniska hjälpmedel i RCA-arbetet?

### **1.5 Avgränsningar**

Då arbetet består av en utvärdering och reflektion över hur data används inom ramarna för RCA, kommer inte någon ytterligare funktionalitet att utvecklas för FTF. De program som kommer granskas är främst FTF, men också vissa underhållsystem. Därmed kommer andra system, om dessa existerar, enbart att nämnas ytligt.

## 2. Teoretisk Referensram

I detta kapitel diskuteras relevant teori för arbetet.

### 2.1 FilmTheFault

FilmTheFault (FTF) är lösningen som nämndes i avsnitt 1.1. FTF erbjuder en lösning som på ett tids- och kostnadseffektivt sätt kan erbjuda videofilm av produktionsstörning utan att en expert behöver vara närvarande.

#### 2.1.1 Hårdvara

Den tidigare beskrivna verktygslådan kommer med en rad medel för att fästa CAT mobilen på ytor i närheten av den störning som skall filmas. Både mekaniska samt magnetiska fästen och sugproppar, i kombination med trepunktsbaserade armar ger möjlighet för att fixera mobilen i alla riktningar. Se Figur 1.



*Figur 1: Bild på verktygslådan där alla komponenter visas. (EyeAtProduction, 2023)*

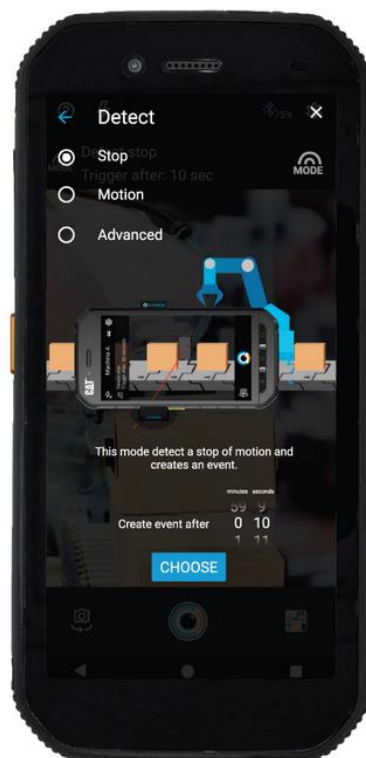
CAT mobilen är tryck, vatten och dammtålig, har en 1080p videoupplösning och batteritid på cirka åtta timmar vid konstant användning, som i sin tur kan expanderas med hjälp av det medföljda externa batteriet. En ljuskälla med justerbar styrka finns med för produktionssegment som av någon anledning är dåligt upplysta. Sensorn ansluter sig till mobilen genom Bluetooth och använder en laser med maximal räckvidd på 120cm för att identifiera avvikelser och att skapa ett event (EyeAtProduction, 2023).

#### 2.1.2 Mjukvara

Mjukvaran – FTF appen – finns förinstallerad i mobilen och är kärnan som driver användbarheten av verktyget. Gränssnittet är med avsikt utformad för att användaren skall kunna känna igen sig, och har av den anledningen klassiskt igenkännbara symboler och utformning för mobilt användande. Under monteringsfasen bestäms i FTF appen vilka villkor

som skall gälla för att event skall skapas. Detta kan vara ett stopp, alltså att sensorn inte registrerar aktivitet under den specificerade tiden, alternativt avsaknaden av aktivitet under en förbestämd tid. Utan att använda sensorn kan signaler som identifierar händelser identifieras utifrån signaler i styrsystem/PLC. I företag där avvikelshantering redan finns, och styrs av digitala medel kan FTF då komplettera med videoklipp.

När ett event identifierats sparar FTF videosegment med en förbestämd tid innan felet inträffade. Eventet markeras i en videotidslinje som man kan se i appen, för enkel framtida återkoppling. Vid tillfälle är det också möjligt att skapa sina egna events i den färdiga tidslinjen, om FTF till exempel inte lyckats fånga ett fel. Se figur 2.



Figur 2: Exempelbild av gränssnittet vid definition av eventvillkor. (EyeAtProduction, 2023).

Den färdiga videon kan skickas till externa applikationer direkt från mobilen, till exempel OneDrive eller en intern server för ytterligare analys, alternativt för diskussion med kollegor. FTF har också funktionalitet för något de kallar SharePoint, där appen kopplar upp sig till valfri enhet, vilket kan ge notiser om störningar i realtid, och kommer med automatisk fillagring.

Dessutom har FTF funktionen exportera ett Excelark där viss viktig data som tidpunkter då störningar inträffat är markerade, komplett med kommentarer och klassificering.

## 2.2 Typer av Störningar

Inom RCA talas det ofta om reaktiva, proaktiva och förbättrande åtgärder (Ylipää et al., 2017). Naturligtvis vill man minimera mängden reaktiva åtgärder då dessa innebär produktionsstopp på icke förutsägbara intervaller. Sandberg et al., (2014) utförde en studie inom flygindustrin, där ett företags-case visade sig jobba 70% reaktivt och 30% proaktivt. Inom ramen av proaktivt arbete för störningshantering inkluderas ofta saker som förbestämda

underhållsstopp, vilket i vissa fall kan leda till längre stopp baserat på dålig planering inför underhållstillfället (Bokrantz et al., 2016).

Dessutom är det viktigt att klassificera om en störning är kronisk eller sporadisk. De kroniska störningarna är konstanta, ofta små, gömda och mer komplicerade då de ofta har flera anledningar till utfallet (Eswaramurthi & Mohanram, 2013). Sporadiska fel är lättare att kategorisera då dessa innebär en avvikelse från normalläget, ett normalläge som mycket väl kan inkludera de kroniska felen i produktionen (Eswaramurthi & Mohanram, 2013).

I båda fallen innebär dessa typer av produktionsstörningar (PS) en förlust i produktionssystemet som inte genererar värde, vilket OEE har som syfte att mäta.

## 2.3 OEE

OEE är en Key Performance Indicator (KPI) som ofta används inom industrin och som har direkt koppling till produktivitet (Ylipää, et al., 2016). Trots det är OEE i dagens producerande företag relativt låga, i många fall närmare 50%, där även de världsledande företagen har OEE tal närmare 85% (Ylipää et al., 2017; Blanchard, 1997).

OEE har klassiskt definierats som:

$$\text{Tillgänglighet} \times \text{Effektivitet} \times \text{Kvalitet}$$

Där tillgängligheten är den verkliga produktionstiden dividerat med den teoretiska produktionstiden. Effektivitet är:

$$\frac{\text{Ideel cykeltid} \times \text{Andel producerade detaljer}}{\text{Verklig produktionstid}}$$

Kvalitet är därefter kvoten av antalet acceptabla detaljer dividerat med totala antalet producerade enheter (Nakajima, 1988).

OEE är inte ett diagnosticeringsverktyg, men det kan användas som en mätsticka som visar på produktiviteten i produktionen, samt för att ta beslut om var åtgärder behövs. Dessutom ger det möjligheten att objektivt kunna mäta förbättringen från grundläget (Eswaramurthi & Mohanram, 2013). Definitionen har expanderats från de sex förlusterna från Nakajima:s (1988) ursprungliga modell, och har ofta kompletterats med ytterligare PS-klassifikationer. Det finns dock många olika meningar om hur detta skall utföras, och ingen direkt konsensus har etablerats.

En stor debatt inom litteraturen har varit om underhållsarbete i förebyggande syfte borde klassas som en PS (Bokrantz et al., 2013). Bokrantz et al., (2013) utförde en studie med erfarna individer från industrin där acceptansen av att klassificera förebyggande arbete som PS var mellan 32 och 36%. I termer av PS-hantering är förebyggande underhåll något paradoxalt, då det av vissa antas är en oundviklig del i produktionen som ej kan elimineras eller reduceras (Smith & Hawkins, 2004), medan vissa andra menar att det bör behandlas precis som vilket annat produktionsuppehåll som helst (Ljungberg, 1998). För att överkomma faktum att OEE definitioner ej är konsekventa mellan olika aktörer på marknaden måste därför företaget etablera sin egen konsekventa standard (Bokrantz et al., 2016). På så sätt fyller OEE mätningen syftet att agera som jämförelseobjekt gentemot tidigare produktion, utan att resultatet skuggas av omdefinitioner (Bokrantz et al., 2013).

## 2.4 Six Sigma

Six Sigma kan klassas som många saker, vissa anser att det är en verktygslåda, andra anser att det är en managementteknik som bara fungerar om den implementeras på alla nivåer (Pyzdek & Keller, 2014; Tjahjono et al., 2010). I grunden ligger kunden och dess krav i fokus, vilket sammanfaller med Lean-Management ideologin av att minimera icke värdeskapande tid.

Motorola summerade Six sigma processtyrningsfilosofin på följande sätt:

*Sigma is a statistical unit of measurement that describes the distribution about the mean of any process or procedure. A process or procedure that can achieve plus or minus six-sigma capability can be expected to have a defect rate of no more than a few part per million, even allowing for some shift in the mean. In statistical terms, this approaches zero defect.*

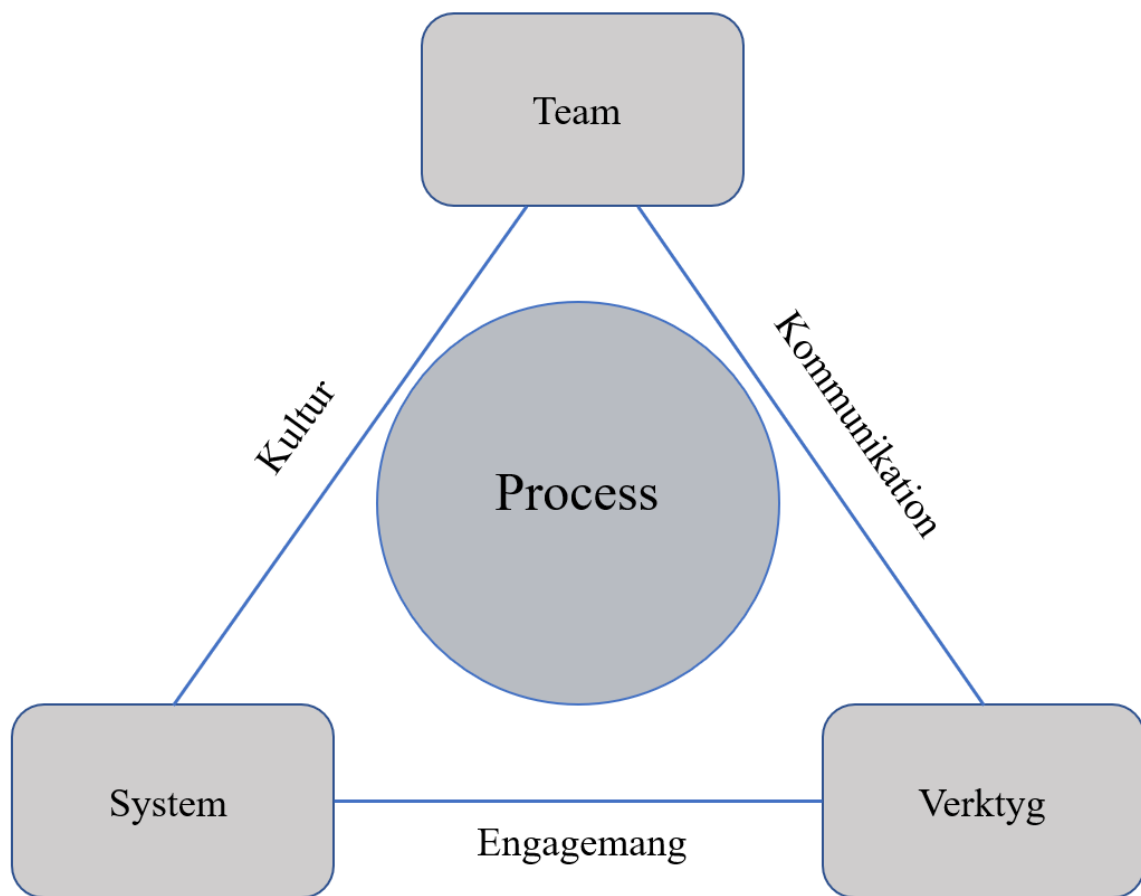
(Oakland, 2018, s.356).

Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC), är en systematisk metod och problemlösningsmodell som kännetecknar 6 Sigma, och som ofta är utgångspunkten vid organisationer med 6 Sigma Management (Tjahjono et al., 2010). Detta tillvägagångssätt poängterar den centrala aspekten i både Lean och Six Sigma, alltså att på faktabaserat sätt minimera variation och slöseri (Pyzdek & Keller, 2014). I praktiken är DMAIC en mycket omfattande samling av verktyg som kompletteras av den överordnande filosofin för att uppnå sina mål.

Pyzdek och Keller (2014) belyser dessutom vikten av att etablera team som arbetar med dessa frågor. Detta projektbaserade arbetssätt är ofta lett av en mer erfaren individ som litteraturen kallar ett "svartbälte". Detta system anses också vara en förutsättning för att främja samarbete mellan individer och att undvika oproduktiva konflikter.

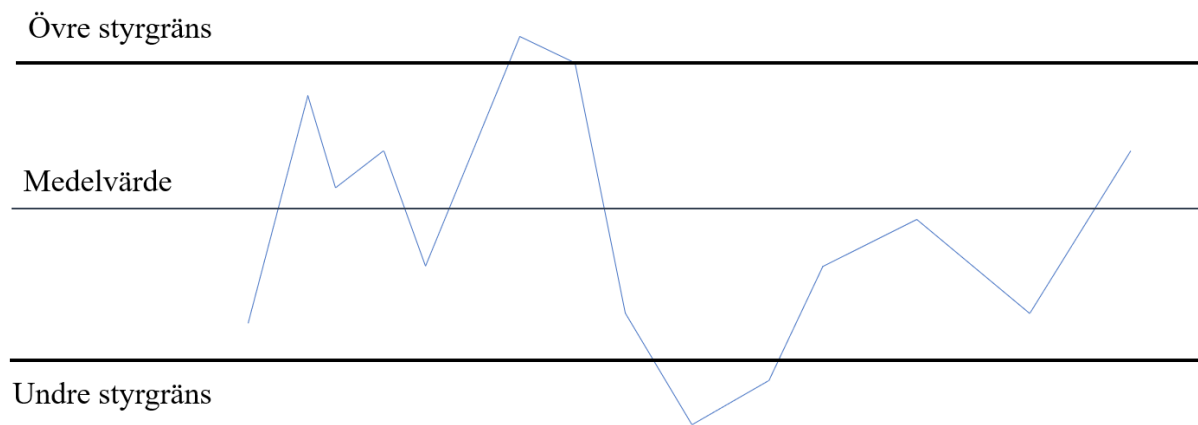
### 2.4.1 Statistisk processtyrning

Oakland (2018) menar att Statistisk Processtyrning (SPS) är en strategi för att minimera orsaker till variation i ett produktionssystem. Styrning, eller Control på engelska, i namnet bedrar platsen i DMAIC kedjan. Det är ett system för kontinuerlig kontroll av produktionen. Den grundläggande frågeställningen som ligger centralt för strategin är hur man kan göra processen så *stabil* som möjligt. Oakland (2018) menar att process skall ses i sin helhet med alla sina aktörer, detta innebär att man inte bara skall se processen som ett input/output diagram, utan systemet skall samarbeta med de verktyg och individer som driver denna för att uppnå högre kvalitet. Se Figur 3.



*Figur 3: Illustration av Oaklands tolkning av SPS. (Inspirerat av Oakland, 2018)*

Det verktyg som kännetecknar SPS är styrdiagrammet som är den viktigaste för övervakning av en process. Diagrammet kartlägger förändringar i produktionen över tid. Detta är mycket värdefullt då majoriteten av alla processer inte befinner sig i statistisk jämvikt i utgångsläget (Montgomery, 2009). Vid konstruktion av ett styrdiagram används ett antal ”stickprov” ur produktionen, och bidrar därmed till observationens population. Medelvärdet utifrån en given kvalitetsparameter utgör centrumlinjen, som avgränsas av en övre och undre toleransgräns. Om ett utfall hamnar utanför en av dessa gränser, är detta tecken på ett systematiskt fel i produktionen, och behöver därför undersökas (Montgomery, 2009). Se Figur 4 för exempel.



Figur 4: Exempel av styrdiagram. De olika punkterna i grafen representerar stickprov av verkliga produktion.

### 2.4.2 8D

8D är en standardiserad metodik som introducerades av amerikanska armén och populariserades av Ford Motor Company senare på 70-talet. Metoden gick senare vidare för att bli en globalt erkänd metod, speciellt inom bilindustrin (Kaplík et al., 2013).

Metoden kan ses som en expansion av den klassiska 6 Sigma projekt-team som har anpassats till problemlösning. Detta kan ses genom första steget, D1. Den speciella ordningen som en 8D rapporteras på är enligt Kaplík et al., (2013) som följande, översatt från engelska och parafaserat:

**D1 – Etablera ett team** med tillräcklig kompetens för problemet i fråga, ofta mellan 4 och 10 medlemmar.

**D2 – Identifiera problem.**

**D3 – Utveckla en tillfällig lösning** för att stoppa problemet i nuläget och för att förhindra ytterligare skada.

**D4 – Definition och analys av rotorsaker.**

**D5 – Beslut om permanenta lösningar**, baserat på de identifierade rotorsakerna i föregående steg.

**D6 – Implementering och validering av föregående beslutade lösning.** Detta inkluderar därmed att de tillfälliga handlingar man tagit för att minimera den nuvarande skadan tas bort och byts ut mot den permanenta lösningen.

**D7 – Förebygg ytterligare problem.** Detta innebär att förebygga framtida liknande problem genom den kunskap man införskaffat, samt att reflektera över eventuella systematiska fel man identifierat som kan appliceras på andra ställen.

**D8 – Avslut av problem och uppmärksammande av individernas prestation.** Här är målet att ta vara på den nya kunskapen och att dokumentera 8D-rapporten.

## 2.5 RCA-Metoder

Det finns olika teorier till vilken form av RCA-metoder som passar bäst i olika situationer på ett företag. Rotorsaksanalytiska-metoder har som syfte att kartlägga kausala relationer mellan händelser i produktion (Doggett, 2005). Doggett (2005) identifierar tre vanligt citerade kategorier som en RCA-metod kan falla under, Cause-Effect-Diagram (CED), Interrelationship-Diagram (ID) och Current-Reality-Tree (CRT). ID är ett diagram som beskriver hur olika aspekter, ofta avdelningar eller intressenter påverkar varandra. CRT är en metod där nuläget beskrivs som symptom av systematiska fel. Det är en mer komplicerad metod som främjar systemtänkande. För denna tes kommer CED metodik att undersökas.

CED utvärderar potentiella orsaker till ett problem genom att kartlägga potentiella orsaker till ett problem grafiskt (Doggett, 2005). Metoden har fördelen att vara relativt intuitiv, drar nytta av individernas expertis och erfarenhet, men har potentialen att överskatta just individernas åsikt, då metoden i sin utgångspunkt inte använder sig av kvantitativa metoder (Gangidi, 2017; Doggett, 2005).

### 2.5.1 Five Why

Fem Varför eller Five Why (5W) är en teknik som föddes ur Toyota Motor Company där rotorsaken till ett problem skall finnas genom att upprepa frågan ”varför” fem gånger (Liker, 2021). Verktöget har expanderat utanför Toyota och blivit del i Kaizen, Lean och Six Sigma (Liker, 2021). Med en så simpel verktygslåda kan man tänka att metoden är mycket användarvänlig, men det krävs trots det mycket expertis från ingenjören för att nå den riktiga rotorsaken i diagnosticeringsprocessen (Gangidi, 2017).

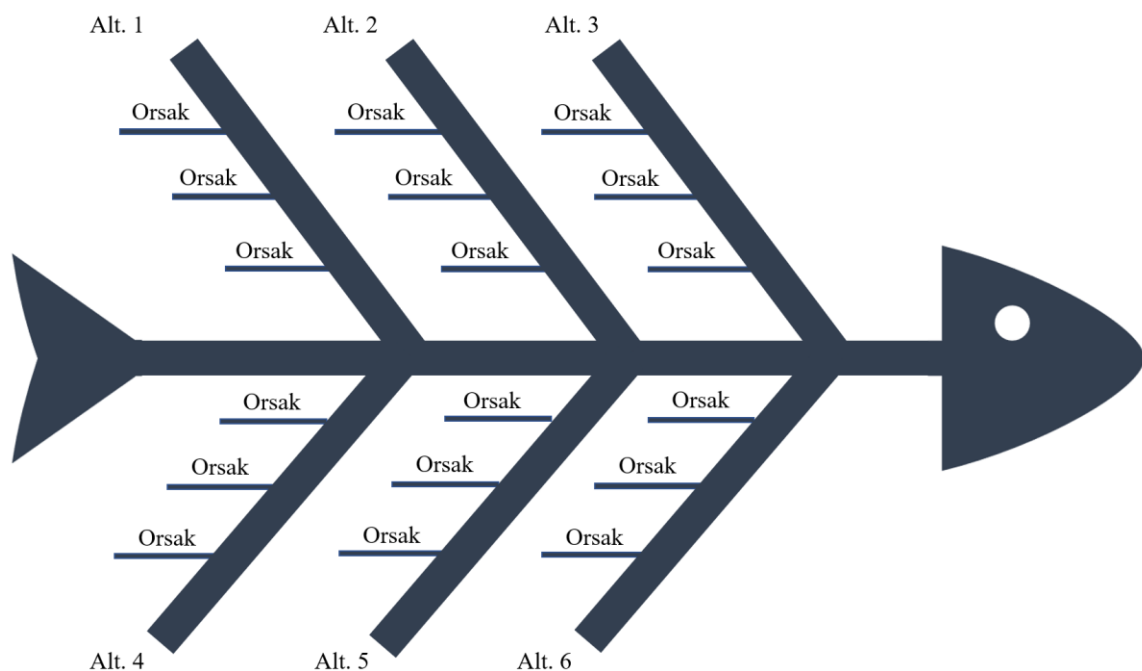
Gangidi (2017) kartlägger i sin text vad som ofta går snett vid implementering av 5W:

- (1) Intressebrist av experter att genomföra hela undersökningen med djupgående frågor, med risk för att därmed missar mer djupgående systematiska problemen som skulle kunna påverka utfallet
- (2) Risk för att blanda ihop symptom för grundorsak.
- (3) Oförmåga eller ovilja för experter inom ett område att tänka utanför ramarna för dess expertområde.
- (4) Risk för att inte kunna återskapa resultaten mellan olika personer och avdelningar.
- (5) Svårighet genom tendens att applicera välkända tekniker eller att dra på egen expertis, då dessa inte alltid är lämpliga för att lösa det specifika problemet.

I grunden handlar 5W om att man observerar ett problem, och etablerar en orsak och verkan kedja genom den tidigare frågeställningen (Gangidi, 2017). Därmed bör flödet i en ideal 5W kedja vara lika enkel att förstå i ”varför”-ledet som i ”därför” ledet (Gangidi, 2017). Denna omvänt konsekventa ordning är användbar för verifiering att frågekedjan når en djupare rotorsak i varje steg, och inte faller för cirkulär frågeställning (Gangidi, 2017).

### 2.5.2 Fiskbensdiagram

Fiskbensdiagram är en CED som beskriver grafiskt potentiella orsaker till ett problem genom att placera problemet på en kant, dra en rak linje med ett antal ”ben” som markerar en kategori, som sedan kompletteras med ytterligare orsaker, eller ”grenar”, inom dessa ben. Denna metod har fördelen att kunna systematisera olika orsaker, samtidigt som den ger teoretiskt oändlig komplexitet genom att inte begränsa andelen orsaker i varje ben (Pyzdek & Keller, 2014). Se Figur 5 för exempel.



Figur 5. Exempel av fiskbensdiagram. De olika benen representerar kategorier, medan grenarna refererar till grundorsaker inom samtliga kategorier.

De olika kategorierna delas traditionellt in i 6M. Dessa är Materials, Methods (Process), Machines, Measurement, Milieu (Environment) och Man (Arthur, 2016). I vissa fall inkluderas också Management, vilket då utgör 7M. Genom detta ramverk kan orsakerna lättare grupperas från ett bredare perspektiv. I fall där man av någon anledning redan vet i vilket M problemet uppstod, men inte vet hur, är ett fiskbensdiagram med andra delkategorier att föredra.

## 2.6 Arbetssätt

Med dagens snabba utveckling är det viktigt att inte bli överväldigad. Ett effektivt sätt att motarbeta detta är att ha ett systematiskt arbetssätt på plats.

*Arbeta systematiskt. Det finns många viljor, många problem och förändringar går trögt.  
- Per Gullander (Kvalitetsmagasinet, 2005)*

Ett arbetssätt i en organisation är något som är individuellt och svårt att standardisera i detalj. Det är viktigt att företag fokuserar på det de är bra på, för att inte störa den nuvarande verksamheten, samtidigt som potentiella förbättringar realiserar. Axelson et al., (2005) etablerade en manual med syftet att användas som en snabbstart till företag i mitten av en omstrukturering. Av anledningen att ett arbetssätt är just individuellt på företagsnivå, är naturligtvis det första steget vid förändring eller utformning av denna att definiera och utvärdera nuläget, baserat på observationer och erfarenhet i alla företagets led. Ytterligare, bör aspekter som definition av nyckeltal för datainsamling, samverkan och kommunikation i företagets alla led, samt informationshantering, ofta inom kontexten av IT system utvärderas (Axelson et al., 2005).

Axelson et al., (2005) bryter ner de olika skeden vid en PS, se Figur 6.



Figur 6: Illustration av ingrepp Före, Under och Efter störning. (Axelson et al., 2005, med tillåtelse av RISE)

"Före"-PS refererar till läget innan en störning inträffar. Det innebär att man fokuserar på preventivt underhåll, underliggande problem eller allmänna systemförbättringar.

"Under"-PS är kanske det mest självklara skedet i hantering av störningen. Oavsett hur omfattande de förebyggande åtgärderna är, kommer det alltid att uppstå oförutsedda problem. När störningen inträffar implementeras de valda metoderna som diskuterats under kapitel 2.5, och man löser problemet så snabbt som möjligt.

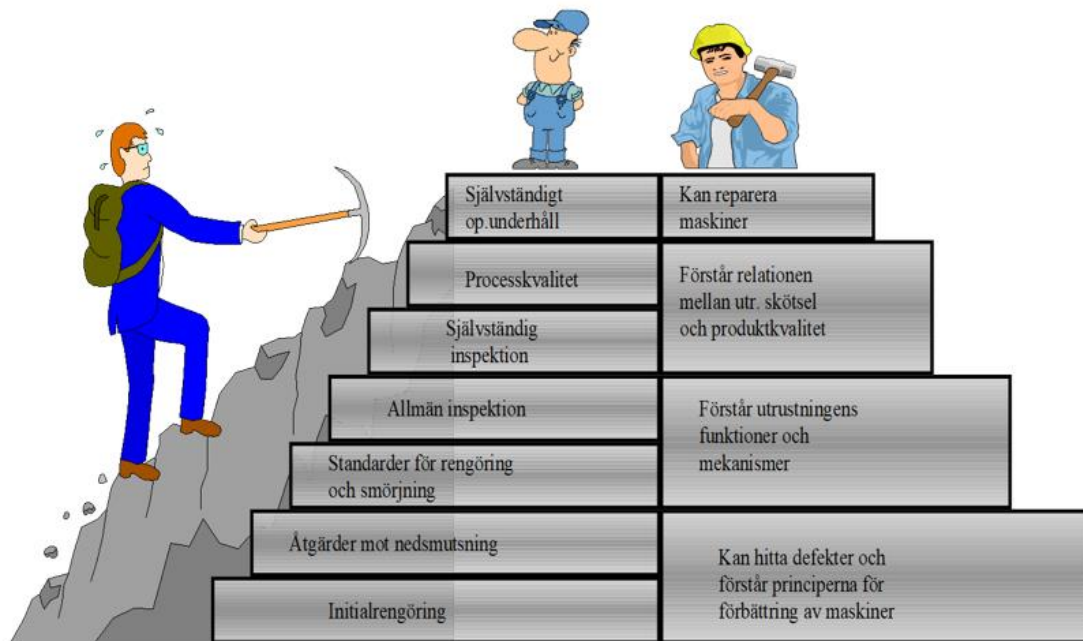
"Efter"-PS är ett skede som ofta inte får lika mycket vikt som det borde. Detta inkluderar dokumentation och uppföljande arbete. Axelson et al., (2005) påpekar att den absoluta majoriteten av allvarliga PS dokumenteras, men att de mindre störningarna sällan dokumenteras eller ges lika mycket vikt. Detta speglas av Axelson et al., (2005) genom att påpeka att de mindre, men återkommande felen, alltså de kroniska, utgör majoriteten av produktionsförlusterna i de flesta företagen.

### 2.6.1 Operatörsinriktat Underhåll

Axelson et al., (2005) beskriver hur operatörernas involvering kan ha positiv inverkan i produktionen då operatörerna har den största påverkan på den dagliga driften. Anledningen till att operatörsinvolvering i underhållsarbetet är viktigt är eftersom operatörerna är direkt beroende av varandra. Att operatörer kan ta del av underhållsarbetet inom sitt eget ansvarsområden kan därmed främja det dagliga arbetet på bästa möjliga sätt (Axelson et al., 2005). Detta lägger också grunden för kompetensutveckling och systemtänkande från operatörernas sida, vilket leder till ytterligare självständighet, driftsäkerhet och motivation. Axelson et al., (2005) beskriver en sjukskalig trappa där operatören klättrar upp för underhållskompetensen, ofta relaterat till renlighet och standarder som ofta tillkommer inom Lean management.

De individuella stegen är inte helt relevanta för tesen, men de kompetenser de bygger upp som beskrivs är det. Inledningsvis ges operatören möjlighet till att hitta defekter och förstå principer för maskinförbättring. Därefter utökas förståelsen till utrustningens funktion, som sedan utvecklas till att förstå samspelet mellan dessa. Detta kulminerar i att operatören i vissa fall kan utföra reparationer på egen hand. Detta är någon som Nakajima (1988) kallar autonomt underhåll, och menar att lyckad implementering kan leda till upp 80% OEE.

Axelsson et al., (2005) illustrerar hur kompetensutvecklingen baserat på autonomt underhåll kan se ut, och vilka effekter detta kan ge. Se Figur 7.



Figur 7: Axelsson et al. (2005) modell för kompetensutveckling hos operatörer vid ökat ansvarstagande av underhållsuppgifter. Bild använd med tillstånd från RISE.

Vidare beskrivs vikten av förbättringsgrupper, något som skulle kunna speglas till Six Sigmas projektgrupper på mindre skala. Axelsson et al., (2005) beskriver hur grupper, ofta arbetslag, sätter grunden för ökad kompetensöverföring, och att en lärande organisationskultur faller på plats. Dessa grupper träffas i regelbundna intervaller för att förbättra produktionen eller lösa praktiska tekniska problem.

## 3. Metod

Följande kapitel beskriver hur arbetet har utförts. Detta inkluderar vart information har hämtats och hur det bearbetats, samt resonemang om hur metoder har valts.

### 3.1 Forskningsmetod

Utformningen av tesen har varit av främst kvalitativ karaktär, men med vissa inslag av kvantitativa metoder. Ett kvalitativt tillvägagångssätt innebär att man ställer frågor, och på så sätt resonerar sig fram till ett svar på problemet (Corbin, & Strauss, 2008). Av just den anledningen är kvalitativa metoder ett effektivt verktyg både för datainsamling, alltså att man ställer frågor till individer, samt till analytiska ändamål, alltså att man ställer följdfrågor efter inhämtat resultat (Corbin & Strauss, 2008).

Kvantitativa metoder karakteriserar sig genom användning av mätningar, beräkningar, eller annan numeriska data (Watson, 2015). Insamling av kvantitativa data varierar i komplexitet, men kommer inte att användas i denna tes. Kvantitativ analys har som mål att dra paralleller med resultatens datakällor, till exempel genom statistiska medel, korrelation av hypoteser med de insamlade data med mera (Watson, 2015).

### 3.2 Litteraturstudie

För att lägga den teoretiska grunden som beskrevs i kapitel 2 användes både tryckta och digitala verk. För att samla och finna dessa användes Google som sökmotor, i kombination med Google Scholar för vetenskapliga artiklar. Chalmers Library är universitetsbibliotek, som användes för att låna böcker inom relevanta ämnesområden, samt för att få tillgång till vetenskapliga artiklar med författare från Chalmers. Genom handledare och forskargruppen har vissa tryckta verk också lånats baserat på rekommendationer, som sedan granskats efter trovärdighetsnivå genom sökmotorerna ovan.

Källornas trovärdighet har hanterats olika beroende på vilken detaljnivå som önskats. För yttlig information, som företagsinformation, har organisationens hemsida, ofta genom en About Us sida använts. För mer djupgående analys, granskades både tryckta och digitala verk efter antal citeringar. I vissa fall kunde dock ingen relevant information utvinnas från de mer populära verken. Då har en Google, alternativt Google Scholar sökning utförts med mindre strikta termer, för att sedan granska innehållet av en mindre citerad artikel med en mer generellt accepterad källa. Om källan anses relevant har också referensanvisningen granskats för ytterligare specificerad information om ett speciellt intresseområde.

Majoriteten av sökorden i sökmotorerna utfördes på engelska, för att öka mängden internationella källor och därmed få ett mer globalt perspektiv på källorna. Relevanta nyckelord har varit; Data sources in manufacturing, Production Disturbance Management, Root Cause Analysis (och tillhörande specifika metodiker), Modern Lean Six Sigma, med mera.

#### 3.2.1 ChatGPT

ChatGPT är ett kraftfullt Artificiell Intelligens (AI) verktyg som genererar text baserat på promptar. Inom akademien har den varit kontroversiellt, då man mycket snabbt kan generera väl bearbetad text inom ett speciellt område på bara några sekunder. I tesen har ChatGPT använts på liknande sätt som en sökmotor, genom att fråga den artificiella intelligensen om material inom ett speciellt område. På så sätt utvanns en känd text som kompletterades med

en sammanfattning av innehållet. Texten som genererades behandlades på samma sätt som vid kapitel 3.2 för att granska källans trovärdighet.

### 3.3 Studiebesök

Studiebesök utfördes i början av Maj hos Företag A. Syftet med mötet var att få insikt i hur företaget använder olika datakällor i sin RCA, samt att få insikt i utmaningarna som de olika delarna i hierarkin upplever. Detta företag valdes som inledande kontakt då de sedan tidigare använder både FTF och RS-Production i sitt dagliga arbete. Genom erfarenheten av de båda systemen kunde en reflektion utföras om hur systemen hjälper produktionen. Dessutom reflekterades över vilket data som är relevant, vilka problem systemen löser och vilka som är ett fortsatt problem. Framför allt undersöktes vilken värdeökning som kombinationen av de två systemen har givit. Under besöket utfördes samtal med produktionschef, produktionstekniker och kvalitetsansvarig.

### 3.4 Intervjuer

Under arbetet har ett antal intervjuer utförts med olika kunskapsägare, med målet att identifiera möjligheter och utmaningar för företagen som intervjuats. Detta har åstadkommit genom ostrukturerade och semi-strukturerade intervjuer personligen, fysiskt och digitalt.

Intervjuer utfördes digitalt med Företag B på grund av stora geografiska avstånd. De digitala intervjuerna utfördes på ett semi-strukturerat sätt genom att ha ett antal definierade frågeställningar som skall besvaras på ett eller annat sätt, men som är öppna nog att låta kommunikationen fritt expandera sitt resonemang (Merriam & Tisdell, 2015). En semi-strukturerad intervju har inte heller en förbestämd ordning, påstår Merriam och Tisdell (2015), men frågorna grupperades efter ett logiskt spår för att göra det enklare att ha en flytande diskussion. Med det sagt så omskyfflades frågorna fritt om konversationen organiskt rörde sig mot en annan frågeställning.

Studiebesöket skulle kunna klassas som en rad av ostrukturerade intervjuer, då syftet med besöket är att införskaffa relevant information. En helt ostrukturerad intervju kan liknas mer med en vardaglig konversation, och är ett attraktivt alternativ då informationsnivån hos intervjuaren är låg, och passade därför bra som en introduktion till arbetets syfte (Merriam & Tisdell, 2015). Även här hade en rad frågeställningar förberetts som presenterades innan mötet, dock flöt resten av dagens konversationer på ett ostrukturerat vis.

Hanteringen av informationen som samlades föll under sekretessavtal för DFusionprojektet. Ett av de undersökta företagen tillät inte inspelning, vilket innebär att eventuella observationer är parafraaserade från mötet genom minnesbilder, observationer och skriftliga anteckningar.

## 4. Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten som införskaffats under samtal med kunskapshavare, samt presentation av data som DFusion-projektet redan hämtat. Företagens namn och bransch har skuggats av sekretesskäl.

### 4.1 Företag A

Företag A har cirka 7000 anställda och har en omsättning på cirka 10 miljarder kronor år 2022. Studiebesöket utfördes hos företag A där produktionstekniker, produktionschef och kvalitetsansvarig intervjuades.

Företaget har morgonmöten dagligen klockan 07.00 som oftast tar runt 30 minuter. Företaget producerar "24/5", alltså dygnet runt fem dagar i veckan, som ibland kompletteras med ytterligare produktion på helgerna, dock utan dessa uppföljningsmöten. Medlemmarna i detta möte är 4 parallella grupper med team-ledare, produktionstekniker, underhållstekniker, samt en överordnad produktionstekniker, som ibland kompletteras av ytterligare kompetens i enstaka fall.

Informationen som delas är deriverat från de styrsystem som tillämpats i fabriken. Dessa är främst RS Production (RSP), som kompletteras med kommentarer från personal i kombination med skiftrapporter. I snitt finns 2–5 PS som behöver uppmärksamhet varje dag, enligt de som intervjuades.

#### 4.1.1 RCA och Problemlösning

Då problem som inte kan lösas omedelbart lyfts upp i morgonmötena har företag A en förbestämd metodik för att angripa PS. Inledningsvis ritas ett fiskbensdiagram, där enbart 6M används, då de intervjuade kommenterade att det annars läggs för mycket fokus på Management i felsökningen. Därefter tillämpas 5W för att ytterligare precisera problemet. Om detta inte är tillräckligt för att lösa problemet, tillkallas speciell personal med kompetens för att lösa det speciella problemet, där de inte har en lika precis metod. De intervjuade kunde inte fastslå hur ofta processen går längre än till 5W, men menar att problemet oftare är lösta vid det skedet än inte.

Vid reklamation av produkter är en 8D rapport ett krav från alla kunder. Detta har lett till att 8D har sammantvinnats med företags dagliga verksamhet. Vid tillfälle då det sker mycket stora störningar, alternativt att det finns intresse för verksamheten att ta del av kunskapen som införskaffats vid lösningen av problemet, utförs en sådan rapport också internt. Vid reklamation är rapporten tidsbegränsad, företaget skall ge besked till kund inom 24 timmar om anledningen till avvikelserna i kvalitet. Medan företaget har två veckor att leverera den färdiga rapporten, komplett med åtgärder för att eliminera liknande problem i framtiden.

#### 4.1.2 FTF i RCA Processen

Företag A har använt FTF som hjälpmedel i cirka sju månader och rapporterar goda resultat. De hyr ett exemplar på heltid och vid applicering delas den ut av en produktionschef. Innan beslutet att hyra FTF använde företaget en kommersiell GoPro kamera, med kapaciteten att filma i tio timmar, med fem minuters intervall i videon. Anledningen till att fem-minutersgrupperingen är relevant är då felan rapporteras med tiden då den inträffat i RSP, är det lätt att plocka ut det korrekta segmentet ur GoPro:ns SD kort.

Produktionsteknikern kommenterar att det stora värdet i FTF var möjligheten att koppla till PLC, något som eliminerar behovet av att använda sensorn överhuvudtaget. De rapporterar att det har funnits PS som inte fångats av underhållssystemet, men att dessa var sällsynta, och att de nu förlitar sig mer eller mindre helt på output från PLC. Med det menas alltså att personalen uppfattat problem utan att systemet gett utslag på detta. Det enda klagomålet på lösningen var att kameraupplösningen är för låg, med anledningen att spara så mycket batteri som möjligt. Gruppen menar att de inte behöver en längre inspelningstid än ett dygn och ser gärna en högre upplösning i stället.

Under besöket presenterades en mapp i det interna filsystemet där gynnsamma tillämpningar av FTF sparats. Videoklippen hade sparats i syfte för att illustrera återkommande problem till möten, i utbildningssyfte, samt för diskussionsmaterial under de dagliga mötena. Alla instanser sparas därmed inte, men de videoklipp som sparades kan uppskattas till drygt 50 stycken, och visade varierande orsaker till PS. De vanligast förekommande var dock felaktig hantering av material av personalen och fel vid automatiska maskiner som hanterar mindre detaljer. De kommenterar att de aldrig misslyckats att lösa ett problem efter användning av FTF, där den längsta tiden från inledande störningsmeddelande till att det var löst var två veckor, dock är diagnosticeringstiden aldrig högre än en dag.

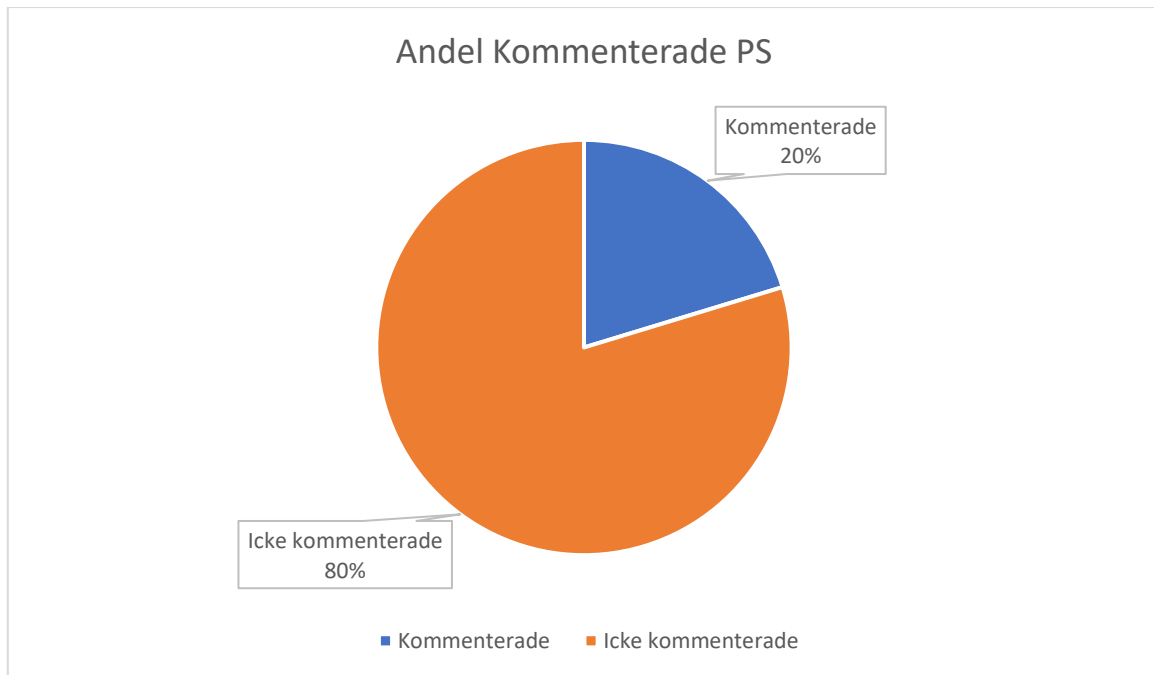
Från operatörernas perspektiv är de mycket nöjda med FTF och de tekniska hjälpmedlen över lag, men kommenterar att uppstart och introduktion av nya verktyg kan vara ett tröghetsmoment om det inte kommuniceras på ett bra sätt. Operatörer frågar ofta om att FTF skall sättas upp vid deras cell med stor entusiasm, vilket antas av de intervjuade vara på grund av frustrationen som känns vid återkommande problem.

### **4.1.3 Datavisualisering Företag A**

Då företag A samarbetar med DFusion genom att förse data som underlag för analys har detta inkluderats i tesen för att ge en översikt över nuläget.

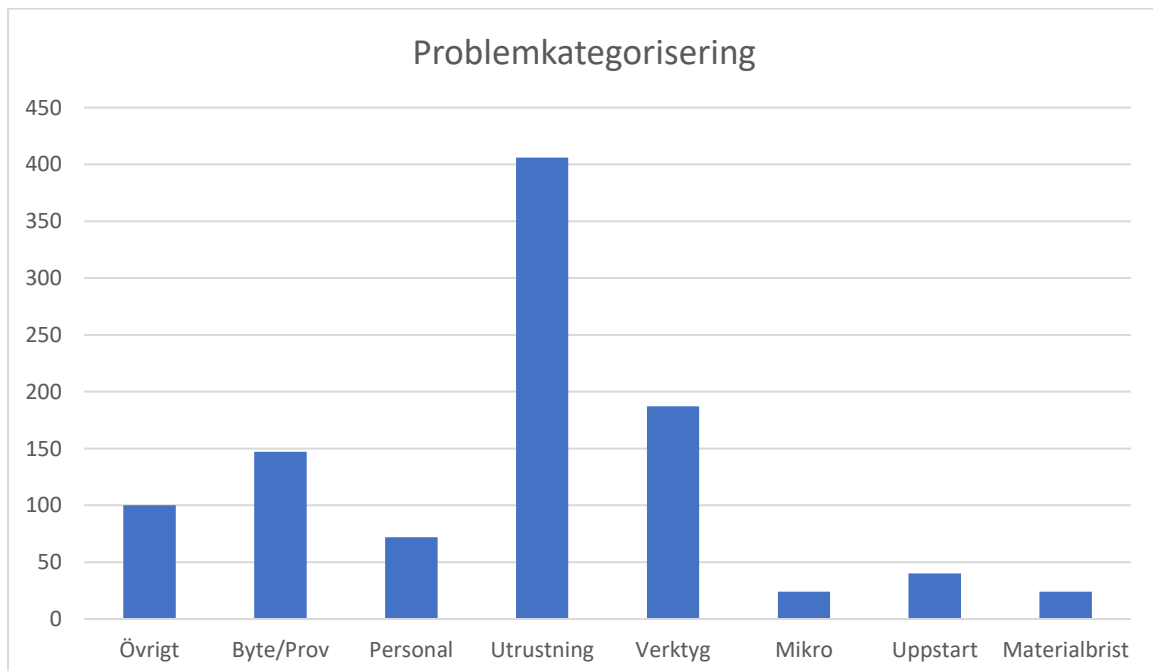
Störningsdata har försetts från en individuell maskin i tillverkningen med hjälp av RSP över ett års tid. Då störningen inträffar rapporteras den i systemet med en kategori samt ger möjlighet för operatören att ge en kommentar. Tiden då maskinen var inaktiv loggas, samt när händelsen inträffade. De senaste 1000 rapporterade störningarna har analyserats nedan.

Inledningsvis undersöktes andelen PS som kommenterades av operatören. Figur 8 visar den klara gränsen mellan de två, där enbart 203 av de tusen undersökta störningarna kommenteras av operatören. Kommentarer är ofta ordagrant kopierade mellan fall som ligger nära tidsmässigt mellan händelser, ofta även med samma rapporterade orsak. Ytterligare har vissa kommentarer antagligen lagts in retroaktivt, då vissa PS rapporterats som "semester", vilket skedde på varje rapporterad störning i två veckor under de undersökta störningarna. Det noteras också att operatörer ibland uttrycker sin frustration med produktionens nuläge genom kraftigare språk, alternativt genom användning av versaler.



*Figur 8: Andel kommenterade kontra icke kommenterade PS inrapporterade i företag A:s styrsystem.*

Ytterligare undersöktes kategoriseringen av störningarna i samma intervall. Detta refererar till de tidigare nämnda kategorierna som operatörerna bestämmer när stoppet rapporteras. Om ingenting är ifyllt förblir fältet som okategoriserat. I Figur 9 har de okategoriserade felen slagits samman med fel som kategoriserats som "övrigt".



*Figur 9: Stapeldiagram av problemkategorisering i systemet.*

Ytterligare beräknades Företag A:s genomsnittliga OEE-tal. Detta utfördes genom att utesluta de loggade tiderna då det inte var någon produktion överhuvudtaget, då detta ansågs oftast vara på grund av semester eller andra planerade stopp. Intervallet delades sedan genom att

först undersöka resultatet utan ytterligare ändringar, vilket gav ett OEE-tal på 67%, med en standardavvikelse på 27%. Därefter exkluderades de loggade produktionstiderna med mindre än 24 timmars planerad produktion, på grund av planerat stopp, semester eller andra anledningar, vilket ökade OEE till 69% med en standardavvikelse på 23,3%. Motivationen till exkluderingen var för att utesluta den större påverkan av uppstarts förluster.

## 4.2 Företag B

Företag B:s produktion utmärker sig av extremt korta processtider i den tillverkningsstation som fokuserats på. Ofta är de så korta som några tiondelars sekund. Detta gör det komplicerat att följa produktionen med blotta ögat, och avvikelser i produktion kan förekomma utan att man märker det vid inspektion, till exempel om skruvar blir klara efter 0,2 sekunder istället för 0,1, vilket innebär en produktionsförlust på 50%.

I samtalet intervjuades en produktionstekniker vars ansvarsområde var inom digitalisering i fabriken. Detta med anledningen att personen som intervjuats är involverad i DFusion. Det visade sig snabbt dock att personen inte arbetade i produktionen, utan var mer insatt i digitaliseringen i företaget. Därför kände personen inte till vissa detaljer inom den faktiska produktionen.

Företag B arbetar helt projektbaserat, något som går så djupt att även vid tillfällen där RCA måste appliceras på grund av en större störning i produktion, måste en projektgrupp sättas upp för att lösa problemet varje gång. Det beskrivs också att personerna i RCA gruppen ofta byts ut och att de väljs ut baserat på officiell kompetens, och det antas ofta vara individer som utför uppgiften för första gången. Det nämns också att det inte finns något standardiserat tillvägagångssätt för att handskas med problemet. Ingen kommentar ges angående dokumentationskrav.

Då företag B har insett problematiken i det nuvarande agerandet och har valt ett antal maskiner i samma produktionsprocess att studera avvikelser på. De har undersökt ett antal parametrar att fokusera på, till exempel temperatur och vibrationsmätningar som de inte har i nuläget. Även här finns det inget ”superstandardiserat” arbetssätt, vilket är mer förståeligt i kontexten av utvecklingsprojekt. De har i nuläget en fungerande pilot-applikation där de undersöker vissa KPI:er och parametrar, men har inte tillräcklig data i nuläget för att kunna ta beslut i förbättringssyfte baserat på informationen.

## 5. Diskussion av Resultat

I detta kapitel utförs en diskussion baserat på resultaten och reflektioner.

### 5.1 Utmaningar och Möjliggörare

Ito et al., (2022) identifierade 17 möjliggörare och 14 utmaningar för en effektiv RCA hantering. De som är speciellt relevanta för tesens syfte illustreras nedanstående i Tabell 1.

Tabell 1: Illustrering av relevanta utmaningar och möjliggörare i RCA.

Utmaningar	Möjliggörare
Dålig datakvalitet	Kombination av metoder
Missförstånd	Ökad visualisering
Krav på expertis från anställda	RCA plattformar
Underanvändning av insamlad kunskap	
Ad Hoc systematik (brandsläckande)	

Utifrån dessa kriterier, i kombination med data och synpunkter från de intervjuade företagen kan förhoppningsvis ett antal kriterier för implementering av FTF definieras.

Dessutom är det tydligt utifrån resultaten, speciellt från Företag A, att ett systematiskt arbetssätt är att föredra vid implementering av RCA, då detta drastiskt drar ner på tiden som krävs för att starta arbetet, samt maximerar användningen av informationen som utvinns. I kapitel 2.6 nämns det att arbetssätt är svårdefinierat på individnivå, då alla företag är olika. Detta är korrekt på detaljnivå, men all RCA följer samma mönster på ett eller annat sätt (Ito et al., 2022). Se Figur 10.



Figur 10: Ito et al., (2022) modell för allmänt agerande vid RCA.

Detta är en metodik som alla företag, med eller utan ett standardiserat arbetssätt, kommer att använda sig av, då detta är basen för att lösa ett mer komplext problem i produktion. För att expandera analysen, och för att kunna kartlägga vart olika data-källor kan optimalt implementeras, har 8D valts som standard (se kapitel 2.4.2), med anledning av att tillvägagångssättet har mycket överlapp med andra arbetssätt, samtidigt som den passar bra med ovanstående kartläggning av RCA som beskrivs i Figur 10.

## 5.2 Förutsättningar

Det har tidigare identifierats att ett standardiserat arbetssätt är att föredra, då dessa har flera fördelar, speciellt i termer av effektivitet och informationshantering. Då tesen behandlar kombinationen av datakällor, med extra fokus på FTF, kommer det antas att företagen har någon form av underhållssystem, som i praktiken ofta bygger på SPS (se kapitel 2.4.1), genom att övervaka vissa parametrar och avvikelser från normalläget i systemet. Företag A menade under intervjun att de inte använder SPS, men genom inspektion av deras underhållssystem var det tydligt att så ändå var fallet. Maskinerna övervakas på individ och cellnivå med förbestämda avvikelser baserat på standardläget, och ger därmed larmsignaler om läget faller utanför dessa styrlinjer.

Ytterligare en förutsättning är att det tillverkande företaget har en något högre nivå av komplexitet. RCA på djupare nivå, och speciellt vid lägen där tesens syfte besvaras där datakällor kombineras, är en lite större verksamhet en nödvändighet, då mindre företag inte har resurserna att köpa flera system. Med det sagt är det svårt att definiera speciella kriterier eller "tumregler" för företag där datautbytet skulle kunna var gynnsamt.

Vissa leverantörer av styrsystem har som minimikrav att de producerande företagen skall ha en viss omsättning. Detta är rimligt för system som är mer komplicerade och därmed dyra. För FTF specifikt är dock, kraven lägre. FTF är relativt billig och kräver inte någon större systemexpertis för att ta vara på data som utvinns. Dock är det självklart att FTF utvinner maximal nytta i kombination med andra datakällor, då FTF i ett vakuum enbart har kapaciteten att lösa individuella problem, men har inte de tekniska förutsättningarna för att övervaka individuella parametrar, och därmed diagnosticera systematiska problem.

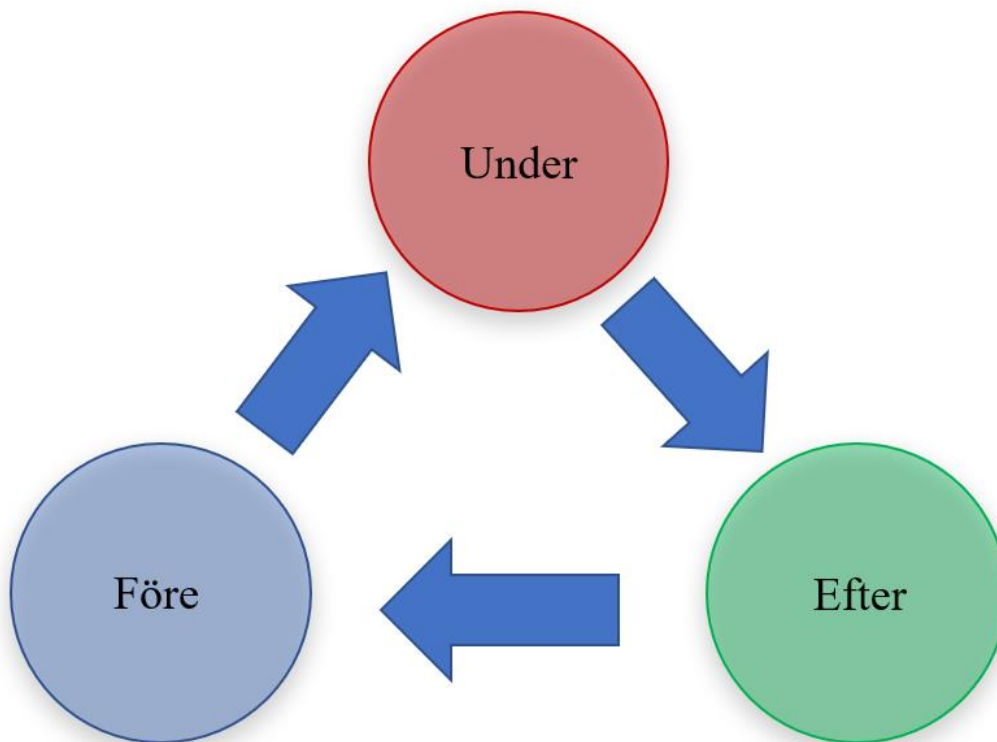
## 5.3 Implementering av FTF med 8D som Standard

När det förutsatts att företaget har någon form av underhållssystem, samt att deras produktion stämmer överens med de andra förutsättningarna som beskrivs i ovan i kapitel 5.2, kan en enkel modell definieras. Som tidigare nämnts har 8D valts som en flexibel arbetsmetod för att simulera ett företags arbetsmetodik på underhållsnivå.

Inledningsvis belyses vikten av att ha en aktiv förbättringsgrupp som har som uppgift att lösa produktionsstörningar. Gruppen består ideellt av en kombination av operatörer och underhålls-/produktionsansvariga enligt modellen som beskrivs av Axelson et al., (2005). Gruppen maximerar kompetensöverföring, en förutsättning för den lärande organisationen som beskrivs i kapitel 2.6.1. Det är också viktigt att gruppen träffas regelbundet. Detta beror naturligtvis på hur företaget fungerar, Företag A, till exempel, har dagliga möten i vad som skulle kunna beskrivas som förbättringsgrupper, även om operatörer inte spelar en lika stor roll. Detta är logiskt i Företag A då de inte har möjligheten att stoppa produktion, även under en kortare tid för möten, vilket innebär att de ansvariga som inte arbetar direkt i produktion får ta över uppgiften.

## 5.4 Före, Under och Efter Störning

Om en störning inträffar, kan den enkla arbetsmetodiken som beskrivs i kapitel 2.6 tillämpas. För att utöka den modellen, och för att framhäva den cirkulära karaktären av förebyggande underhåll baserat på tidigare information kan följande modell användas i stället. Se Figur 11.



Figur 11: Cirkulär modell av agerandet Före, Under och Efter störning.

#### 5.4.1 Under Störning

Då Före-skedet använder information från efterforskningen av ett problem, är det lämpligt att då starta när ett problem inträffar. När detta sker, appliceras de arbetssätt som organisationen förbestämt passar för problemlösning. Om vi till exempel följer Företag A som utgångspunkt där ett Fiskbensdiagram följt av 5W tillämpas, och FTF inte används förrän de andra alternativen har visat sig inte lösa problemet. Företag A visar på flertalet lyckade exempel, faktum är att de påstår sig aldrig ha misslyckats med att diagnosticera ett problem med FTF, men verktyget måste delas ut av en produktionschef och detta på individuell basis i stället för som en del i processen.

Det låter därmed rimligt att i stället för att använda FTF som sista utväg, så kan det implementeras tidigare i processen. I det specifika fallet som beskrivs av Företag A, där manuella RCA-metoder tillämpas i en specifik order kommer individerna som arbetar med problemlösningen att ta tid för att nå ett resultat. Därför rekommenderas det att sätta upp FTF som första steg vid den problematiska maskinen. Här spelar FTF:s styrkor roll då kameran kan placeras på en plats som inte stör produktion, samtidigt som den låga komplexiteten möjliggör att den börjar filma inom fem minuter. Om gruppen då lyckas lösa problemet kan videon sparas som dokumentation antaget att felet inträffade igen under undersökningstiden. Om så inte är fallet har fem minuter förlorats plus eventuell förflyttningstid från kontoret till maskinen. Om problemet då inte är löst, har videosekvensen redan satts upp för undersökning. På så sätt har man alltid ytterligare informationskällor i varje skeende.

För att expandera resonemanget ytterligare inom en 8D approach, är den nuvarande FTF applikationen ett tillägg inom D4 (se kapitel 2.4.2 för varje del i 8D) där man utför just RCA, men skulle också kunna mer specifikt kunna placeras vid den defekta maskinen i D3, där en tillfällig lösning upprättas. Om detta inkluderas i standardtillvägagångssätt vid D3 kommer dessutom ingen tid att förloras överhuvudtaget. Resonemanget kan också expanderas utanför 8D, vilket belystes i kapitel 5.2, då alla allvarliga problem måste lösas omedelbart, alltså måste elden släckas, innan systematiska lösningar implementeras. Detta är ett koncept som är genomgående genom alla nämnda arbetsmetoder, samt genom vinstmotiverad intuition även i mindre avancerade företag. Ytterligare kan FTF videoklipp, antaget att problemet fångas på kamera, ingå som standard i uppföljningsarbetet i D8 genom att illustrera ett kort videoklipp komplett med kategorisering av felet i samband med uppmärksammandet av prestationen. Ytterligare kan en enkel kostnadskalkyl utföras med hjälp av FTF:s funktioner, komplett med en enkel tidsuppskattning för att svart på vitt upprätta en uppskattning av besparade kostnader.

### 5.4.2 Efter Störning

I tidigare kapitel nämndes potentialen av FTF som dokumentationsmaterial. En av de stora utmaningarna var bristande dokumentation och tillvaratagande av viktiga lärdomar från RCA-arbetet. Här kan FTF absolut hjälpa, exempelvis genom att sätta upp egna FTF dokumentationsfiler på samma sätt som Företag A. Detta utförs hos Företag A enbart i utbildningssyfte och för beslutsunderlag i speciellt problematiska instanser. Genom att i stället integrera FTF i D3 som tidigare beskrivits i kapitel 5.4.1, potentiellt på en egen server eller annat integrerat gränssnitt för filhantering. Genom att utnyttja FTF:s integrerade Excelark skulle det också kunna göras som standard i D8 skedet. På så sätt kan en enklare kostnadskalkyl sättas upp för dokumentation av besparade kostnader, och på sätt motivera personal, samt klart beskriva nyttan som verktyget har erbjudit.

### 5.4.3 Före Störning

Slutligen skulle FTF kunna ge värde även i förebyggande syfte. För att vara tydlig antas FTF i sin nuvarande form inte ha möjligheten att användas enskilt i förebyggande RCA. Dock vid kroniska fel, där enstaka maskiner eller celler skapar problem under en längre tid, skulle FTF skulle kunna sättas upp förebyggande.

För att dra en anekdot från Företag A, fanns ett speciellt arbetsmoment som visade sig vara orsaken till återkommande problem vid ett skärningsmoment, vilket orsakade stor skada på verktygen. När problemet löste sig själv i en maskin dök det sedan upp i en annan maskin med samma funktion, återigen utan att hitta orsaken till detta. Vid ett tillfälle där detta inträffar är det därmed logiskt att i förebyggande syfte sätta upp FTF, gärna genom operatörerna, för att förhoppningsvis direkt få information om felet så fort det inträffar. Detta skulle vara extra kraftfullt vid koppling med produktionens PLC.

Den anekdoten som beskrivs kan kanske inte helt klassas som preventivt underhåll, men snabbar kraftigt på processen genom att ge en exakt förklaring på felet i momentet det inträffar. På så sätt ges möjlighet för tillägg av förbättringar i produktionen på ett mycket snabbare sätt, med FTF:s videoklipp som beslutsunderlag för alla involverade.

## 5.5 Förslag till Arbetsmetod

Genom beskrivning av de olika moment som lyfts ovan, är en förbättrad arbetsmetod, både på individ och organisationsnivå att föredra.

Då alla organisationer ser olika ut är det svårt att dra alla över en kant här, men baserat på de två företagen som intervjuats kan ett antal justeringar i Företag A:s fall, samt en reflektion över Företag B:s läge utföras, samt att utifrån dessa upprätthålla vissa tumregler.

Som beskrivs i resultatet har Företag A kommit en hel del på vägen i arbetet med FTF och RCA över lag. De har diverse underhållssystem och bedriver dokumentation i allvarligare PS och vid reklamationstillfällen. Där Företag A brister är vid det hierarkiska tilldelandet av FTF vid problemtillfällen. I kapitel 2.6.1 nämns vikten av operatörsinvolvering i underhållsarbetet, samt upprättande av förbättringsgrupper som ett effektivt och självgående sätt att arbeta i en lärande organisation.

Detta har resulterat i att det tar längre tid än nödvändigt att sätta upp FTF och börja utvinna värde av det. Då FTF, som nämnts många gånger i den här tesen har den stora styrkan att det är ett lätthanterligt verktyg, är beslutet att inte tillåta att operatörerna själva använder systemet något förvirrande. Företag A konstaterar detta iakttagande genom att säga att operatörer ofta kommer till en produktionschef efter morgonmötena upprörda över att FTF inte satts upp vid deras station än, vilket också antyder till att tekniken skulle kunna användas oftare än nuläget, alltså cirka en gång i veckan även om företaget har i snitt 2–5 fel dagligen.

Företag A har också en fördefinierad arbetsmetodik för att handskas med speciellt problematiska PS. Dock lyftes kritik till detta tidigare, med tipset om att FTF kan appliceras tidigare i ledet av anledningarna som beskrevs i tidigare i kapitel 5.1. Ytterligare beskrivs ett sätt som FTF skulle kunna appliceras i de olika skeden i Kapitel 5.4, där det kan vara speciellt relevant att expandera "Före"-skedet, då detta är ett helt oanvänt område i nuläget.

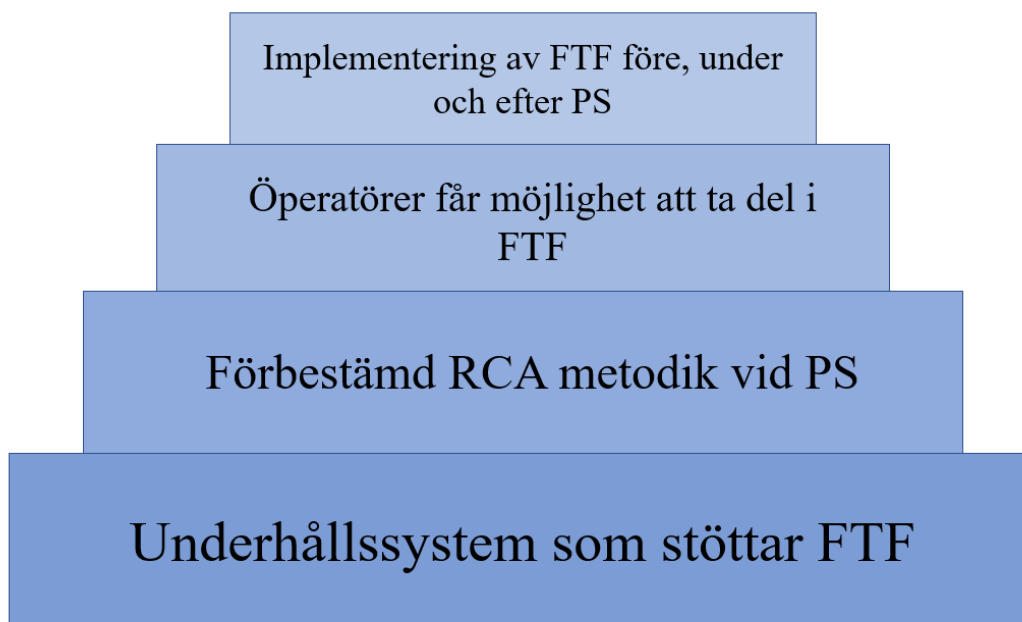
Företag B har andra förutsättningar. De använder inte FTF i nuläget och har över lag problem med att ha insikt i produktionen i nuläget. Det nämns att de experimenterar med olika system och KPIer, men har inte helt kommit i gång än. Också intressant här är att de arbetar helt på projektbasis. I ett företag som liknar Företag B är kanske problematiken i stället omvänd. Både operatörer och underhåll arbetar i förbättringsgrupper i sina egna arbetslag och är därmed relativt självgående i kontrast till Företag A. Problemet för Företag B är att de framstår som att de har mindre insikt i det dagliga arbetet på företagsnivå.

Med detta som grund skulle FTF kunna användas som ett avhjälpande verktyg i det autonoma underhållet och till förbättringsarbetet i förbättringsgrupperna. I mindre arbetsgrupper kan FTF sättas upp och användas för att lösa mindre komplicerade problem i stället för att tillkalla en expert. På så sätt kan gruppen få ett ytterligare verktyg i det autonoma underhållet och därmed komma närmare målvärdet på 80% OEE som beskrivs i kapitel 2.6.1. Detta kan samspela med det dagliga underhållsarbetet, till exempel om ett problem orsakas på grund av det dagliga arbetet. I detta fall kan FTF filma ett dygns skift, för att enkelt dra slutsatser utifrån detta.

I vardaglig konversation med DFusion nämns det att de hade undersökt att störningarna i en speciell maskin hos Företag B var så hög som hundratals störningar under given tidsintervall, vilket kraftigt förvånade underhållspersonal. Detta är naturligtvis enbart en enskild anekdot,

men kan illustrera i alla fall på teoretisk nivå hur läget är. I detta fall är det mindre en fråga om kombination av dataströmmar, det finns ju knappt någon data, utan i stället en diskussion om användbarheten av FTF som eget verktyg. FTF i detta fall bör antagligen användas i hög grad i preventivt syfte, speciellt i maskiner som visat sig vara just så problematiska som beskrevs i den tidigare anekdoten. Utöver det kan det också användas i D3 intervallen, alltså i själva brandsläckandet. Dock är det svårt att se att FTF kan utvinna maximalt värde utan att ha stöd från en kompletterande datakälla. Speciellt i fallet för Företag B, där de inte bara har brist på data från olika källor, utan också inte har någon form av standardiserat arbetssätt för RCA, enligt intervjupersonen.

I mer generella termer anses FTF ha som krav att ha ett underliggande underhållssystem som bas för att i första hand ta beslutet att kunna expandera videoklippen, eller att ens kunna placera ut kameran. Att företaget har förbestämd RCA-metodik samt att det finns någon form av förbestämd standard för såväl operatörer som chefer är också att föredra av de anledningar som beskrivits tidigare. Se Figur 12.



*Figur 12: Enkel modell på olika expertisnivåer vid användning av FTF.*

En nivå högre kommer företaget om man följer principerna av en lärande organisation, att man har en kultur av att dela med sig av kunskapen och att demokratisera, i det här fallet, RCA till de mest berörda, alltså operatörerna. Detta är en förutsättning för en mer effektiv verksamhet och för effektiv användning av FTF, där verktyget ofta antagligen kan användas för att operatören enskilt löser problemet. Det finns potential i alla tre skeden vid PS att använda FTF genom sätten som tidigare beskrivits. Detta bör leda till ökad mängd preventivt underhåll, eller i alla fall snabbare felhantering och efterarbete, vilket ger förutsättningar för framtida förbättringar, beroende på hur företaget definierar begreppet.

### 5.5.1 Fördelar

I Kapitel 5 nämns de relevanta möjliggörarna och utmaningarna i nuvarande RCA, se Tabell 2. Utifrån det som diskuteras kan slutsatser dras om vilka av dessa som underlättas genom FTF över lag och det tillvägagångssätt som har rekommenderats. Inledningsvis kan utmaningen om datakvalité underlättas rejält genom användning av FTF.

Den stora utmaningen med komplicerade underhållssystem är att de är svåra att tyda eller att de på annat sätt inte ger en verklig bild av nuläget. Detta är en av de stora säljpunkterna på FTF då videoklipp är så säkert som det teoretiskt kan bli. Video av verkliga produktionen ljuger inte, och verifiering av PS kan enkelt utföras till exempel genom metoden som Företag A använder, alltså att de kopplar FTF till deras PLC för att direkt få videoinformation vid uppmärksammat fel. Inom samma ram kan möjliggöraren av ökad visualisering direkt underlättas av uppenbara skäl.

Även möjliggöraren av RCA plattformar och kombination av metoder behandlas direkt genom FTF. Ito et al., (2022) menar att RCA plattformar är en samlad plats, antagligen i molnet, där dokumentationen kan samlas och kategoriseras. I resultatet beskrivs hur kategoriseringen, och framför allt kommenterandet av fel är kraftigt bristande i Företag A, något som antagligen kan underlättas genom FTF och dess enkla User Interface (UI). Det finns i nuläget ingen direktuppladdning till en plattform genom FTF, men då det redan finns en delningsfunktion är kan det fortfarande användas på det sättet, även om det är mindre effektivt än en integrerad lösning. SharePoint används i nuläget inte, vilket skulle kunna agera som en möjliggörare på många sätt, till exempel genom automatisk lagring i systemet med problemkategorisering, en standardfunktion till reklamationshantering med mera.

Detta behandlar också underanvändningen av kunskapen från RCA-arbetet. I allvarliga fall utförs ofta en dokumentation, men i enklare fall eller mindre störningar görs inte detta lika ofta. Genom de olika metoder som beskrivits kan även mindre allvarliga fall som fortfarande kan ha värde i utbildningssyfte eller i förbättringsarbete sparas och användas som bevis- eller beslutsmaterial för att agera reaktivt för att motarbeta dessa mindre, men lika viktiga problem.

Här tillkommer även den bristande kommunikationen som beskrivs utmanande i många företag. Ett exempel av detta är Företag B som beskriver bristande förståelse för varandras situationer mellan ansvarsområden. Genom att använda FTF videoklipp, guddad av underhållssystemet kan individer lättare komma överens med varandra genom gemensam förståelse av nuläget.

Genom FTF och dess enkla inlärningskurva kan också utmaningen om expertis från individer motverkas marginellt. I kombination med förbättringsgrupper och involvering av operatörer kan ansvaret skiftas till dessa från underhållsgruppen, medan expertiskravet samtidigt kan skifta till de enskilda operatörerna som får större förståelse för systemet genom sina dagliga uppgifter.

Till sist verkar det rimligt att det allmänna brandsläckandet också kan motverkas genom det arbetssätt som definierats, genom fördefinierade kriterier till tillämpning av RCA-metoder samt genom ökad förståelse i produktionen. Det nämndes tidigare att de mindre, kroniska problemen ofta inte ges lika stor vikt, vilket kan motarbetas med en kombination av dessa datakällor. Företag A prioriterar utifrån experters åsikter till vad som är mest relevant, vilket

ofta leder till problem till att börja med. Ökad förståelse från diverse personer och datakällor kan motverka detta, men kommer antagligen aldrig att lösa problemet fullt ut i praktiken.

### **5.5.2 Fortsatta Utmaningar**

Ett problem som ignorerats under hela tesen är att väskan är just det, en enskild väska. Speciellt vid det fallet att operatörer själv delegerar FTF vid problem kan det enkelt framkomma brist, till exempel när produktionstekniker identifierat ett större problem som omedelbart måste hanteras. Anledningen till att detta inte behandlats fram till nu är att FTF är en så pass billig lösning att ett företag av skalans storlek som behandlats i denna tes enkelt kan betala för fler exemplar, och fortfarande derivera värde av alla FTF-moduler, då priset ligger under 10 000 kronor.

Utöver detta är det som tidigare diskuterats gällande att FTF är en kompletterande teknologi, och behöver därför ett annat system att komplettera, vilket har sina utmaningar i sig. Dessutom finns det fortfarande en del utmaningar som Ito et al., (2022) beskriver som inte behandlas i tesen, och som inte är applicerbara till FTF.

Ytterligare finns det fortfarande stor förbättringspotential gällande dataintegrationen av FTF med andra databaser och system i fabriken. Som tidigare nämnts kan video i FTF skickas genom vanligt använda applikationer. SharePoint kan också användas, men detta möter i nuläget resistans, ofta från IT-avdelningen. Ytterligare utveckling skulle kunna leda till RCA-plattformen som beskrivs av Ito et al., (2022), där de sparade filmerna skulle kunna kategoriseras automatiskt baserat på till exempel allvarlighetsnivå.

### **5.6 Hållbarhetsaspekter**

DFusion-projektet nämner att ett av målen är att arbeta mot FN:s hållbarhetsmål. De mål som är speciellt relevanta är nummer nio, tolv och tretton, som direkt nämner hur industrin är en viktig pelare i en hållbar värld (United Nations, 2022).

Minskade produktionsstopp bidrar självfallet till ekonomisk vinst, då producenterna sparar material genom minskat slöseri vid potentiella kassationer, och kan producera mer på kortare tid då maskiner producerar oftare.

Ekologiska aspekter gynnas likaså av minskad materialanvändning och defekta monteringsmoment. Dessa är speciellt relevanta då vissa monteringsfel inte är tillräckligt stora för att lysa upp som ett fel i själva produktionslinan, och plockas i stället upp vid kvalitetskontroller eller av operatörer. Även om förkastat material återvinns, innebär detta en logistisk påfrestning på företagen, vilket därmed leder till ökade kostnader och miljöpåfrestning. Dessutom konsumerar icke-aktiva maskiner energi, och det är uppskattat att effektiva energianvändningen av en maskin är så låg som 15%, och att så mycket som 30% av den totala energianvändningen inom industrin brukas på reparationer, eller att maskinerna står still (Tian et al., 2019; Skoogh et al., 2011).

EAP:s lättillgängliga UI lägger grunden för involvering av operatörer i det dagliga underhållsarbetet och ger möjlighet till involvering i RCA-arbetet. Det föreslagna arbetssättet bidrar till ökad kompetens, motivation, och delaktighet i företaget av operatörerna. Ytterligare ökas operatörernas säkerhet genom att minimera hanteringen av defekta maskiner.

## 6. Diskussion av Metod

Metoden som valts i denna tes har varit av främst kvalitativ karaktär. Detta med anledning av att kunna bruka kontaktpersonernas expertis inom sina områden, samt att på ett effektivt sätt få insikt i företagets verksamhet, samt andra aspekter som behandlades i kapitel 3.2. De spridda inslagen av kvantitativa analysmetoder har använts för att ge insikt i den data som lyfts samt hur dessa kan kompletteras av FTF eller andra hjälpmedel.

En ökad användning av kvantitativa metoder hade varit att föredra för att ge en mer konkret spegling med teorin som lagts fram i tesen. Anledningen till att detta inte utförts var på grund av missförstånd med DFusion-teamet, där det hypotiserades finnas mer relevant data att använda, men i verkligheten var bara data för Företag A relevant för tesens frågeställning. Det var senare omöjligt att designa egna studier med den tiden som var kvar. Ytterligare, var en workshop planerad för att utforska användbarheten av olika RCA-metoder i olika sammanhang i mitten av maj. Detta var precis inom ramarna för potentiell användning för resultaten, men då denna blev framflyttad till långt efter tesens avslut var detta ytterligare en resultatdel som ej kunde inkluderas.

Problemen som stötts på inom de kvalitativa ramarna tillkommer då intervjuer förutsätter att båda personer hittar tid, något som inte var trivialt då tesen inleddes långt efter ideell startpunkt. Ytterligare var det omöjligt att hitta tid med specifika individer, vilket ledde till att dessa inte blev inkluderade i resultatet överhuvudtaget. Med det sagt har riktlinjer, lästips och andra tumregler förskaffats från utomstående personer i vardagliga samtal, vilket lett till att viss information som hade införskaffats i intervjuer i stället inkluderats genom teori.

Tidsproblemen resulterade i en lite för ytlig behandling av resultaten. Data var insamlat så sent som två veckor innan tesens avslut, vilket naturligtvis innebär att vissa analytiska aspekter kan ha missats, ej behandlats eller på annat sätt inte tagits till vara på. Speciellt i termer av datahantering, hade det möjligtvis kunnat utvinnas ytterligare nyttig information vid ännu noggrannare inspektion av de datapunkter som fanns.

Över lag anses att tesens utformning är tillfredsställande för att i alla fall på teoretisk nivå besvara frågeställningen. Ytterligare reflektion på tesförbättring och ytterligare forskning beskrivs i kapitel 7.

## 6.1 Källkritik och Utvärdering

Sättet som källorna behandlats har följt Chalmers Biblioteks guide för källevärdering. De exakta prioriteringarna nämns i kapitel 3. Tesen har baserats mycket på tidigare forskning. Detta med anledning att DFusion-projektet har gett många relevanta källor och har gett möjligheten att ta del av befintlig expertis inom området. Av den anledningen har en stor del av källorna som använts varit vetenskapliga artiklar, ofta skrivna av de tidigare nämnda personerna, vilket potentiellt ökar partiskheten i arbetet. Av den anledningen har skribenten noga med att undersöka reliabiliteten av dessa genom undersökning av liknande artiklar.

I vissa fall var dock detta omöjligt, till exempel vid Ito et al., (2022) där själva artikeln kompilerar iakttagelser från andra artiklar. Artiklarna som valts har också varit högt citerade, ofta de högst citerade inom sökorden, vilket också ofta var fallet med de källor vars författare skribenten själv talat med. I vissa fall har enklare källor, såsom hemsidor, enkla artiklar om en speciell RCA teknik, alternativt praktisk applicering av en metod inte undersökts för trovärdighet, då dessa ansågs som självklara, alternativt så pass enkla att de inte behövde granskas ytterligare.

## 7. Framtida Forskning

I Kapitel 6 diskuterades tankar till hur tesen hade kunnat förbättras, där nämndes bristfällig mängd kvantitativa data var ett problem. Av den anledningen rekommenderas att framtida forskning prövar de teorier som beskrivits i den här tesen i verkligheten. Detta är dessutom en praktisk möjlighet, då DFusion kommer fortsätta ett antal år framåt, och det kommer därmed finnas möjlighet att rekommendera vissa åtgärder till de individuella företagen i framtiden.

På en mer datainriktad nivå, finns det också möjligheter att analysera dessa ingrepps effekter på olika KPIer, till exempel OEE, vilket var det ursprungliga syftet med tesen, men som senare skiftade. För att fortsätta inom ramarna för DFusion finns det andra teknikleverantörer som skulle kunna ha egna nytta-analyser utförda i samarbete med de involverade producerande företagen, och på sätt expandera resonemanget till hur olika hjälptechniker kombineras för att uppnå resultat, alltså mer eller mindre själva syftet i DFusion projektet.

## Källor

Arthur, J. (2016). *Lean Six Sigma for Hospitals: Improving Patient Safety, Patient Flow, and the Bottom Line*. (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Axelsson, J., Bellgran, M., Fjällström, S., Gullander, P., Harlin, U., Ingemansson A., Lundin, M., Ylipää, T. (2005). *Effektiv tillverkning! Handbok för att systematiskt arbeta bort produktionsstörningar*. IVF Uppdragsrapport 05/22, IVF Industriforskning och utveckling AB (nuvarande RISE), Mölndal, Sweden

Blanchard, B.S. (1997), An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(2), 69-80.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Ylipää, T., Stahre. (2016). Handling of production disturbances in the manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Corbin, J. & Strauss, A. (2008). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. (3<sup>rd</sup> ed.). SAGE Publications, Inc.

Doggett M. (2005) Root Cause Analysis: A Framework for Tool Selection, *Quality Management Journal*, 12(4), 34-45

Dunn, A. (2004). Getting Root Cause Analysis to Work for You. *MAINTENANCE AND ASSET MANAGEMENT*. 21(3), 26.

Eswaramurthi, K. G., & Mohanram, P. V. (2013). Improvement of manufacturing performance measurement system and evaluation of overall resource effectiveness. *American Journal of Applied Sciences*, 10(2), 131-138.

EyeAtProduction, (2023).  
<https://eyeatproduction.com/> [2023-02-22]

Gangidi, P. (2017). A systematic approach to root cause analysis using 3 x 5 why's technique. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 295-310

Gopalakrishnan, M. (2018). *Data-Driven Decision Support for Maintenance Prioritization*. [Doktorsavhandling]. Chalmers Tekniska Högskola.

Ito, A., Hagström, M., Bokrantz, J. Skoogh, A., Nawcki, M., Gandhi, K., Bergsjö, D., Barring M., (2022). Improved root cause analysis supporting resilient production systems. *Journal of Manufacturing Systems*. 64, 468-478. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.015>.

Kaplík, P., Prístavka, M., Bujna, M., & Viderňan, J. (2013). Use of 8D Method to Solve Problems. *Advanced Materials Research*. 801, 95–101.

Liker, J. (2021). *The Toyota Way, Second Edition: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw Hill Education.

Ljungberg, Ö. (1998), Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities, *International Journal of Operations & Production Management*, 18(5), 495-507.

- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation* (4<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. (Översatt). Productivity Press, Inc.
- Oakland, S. J. (2018), *Statistical Process Control*. (7<sup>th</sup> ed.). Routledge.
- Offerman, C., (2005, 3 mars). Färre störningar spar miljoner, *Kvalitetsmagasinet*  
<https://kvalitetsmagasinet.se/farre-storningar-spar-miljoner/>
- Pyzdek, T. Keller, P. (2014) *Six Sigma Handbook*, McGraw-Hill Education.
- Sandberg, U., Ylipää, T., Skoogh, A., Isacsson, M., Stieger, J., Wall, H., Andersson, M., Johansson, H., Nilsson, N., Agardtsson, J., Vikström, S., Nyström, M. (2014). Working with forces promoting or hindering implementation of strategies for maintenance – experiences from Swedish industry, *Proceedings of Swedish Production Symposium 2014*
- Skoogh, A., Johansson, B. and Hansson, L. (2011). Data requirements and representation for simulation of energy consumption in production systems. *Proceedings of the 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 1-3.
- Smith, R. Hawkins, B. (2004), *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase*. Market Share, Elsevier, Amsterdam and Boston, MA.
- Tian, S. Wang, T. Zhang, L. Wu, X. (2019). *An Energy-Efficient Scheduling Approach for Flexible Job-Shop Problem in an Internet of Manufacturing Things Environment*. IEEE Access 7, 62695-62704.
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V.I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., Minguet, M., Narasimha, L., Rivas, A., Srivastava, A., Srivastava, S. and Yadav, A. (2010), Six Sigma: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 216-233.  
<https://doi.org/10.1108/20401461011075017>
- United Nations. (2022).  
<https://sdgs.un.org/goals> [1-4-2023]
- Watson, R. (2015). Quantitative research. *Nursing standard*, 29(31), 44-48.
- Ylipää, T., Skoogh, A., Bokrantz, J., & Gopalakrishnan, M. (2017). Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66(1), 126–143.

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
AVDELNINGEN FÖR PRODUKTIONSSYSTEM  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**