

# Tillståndsovervakning av industriella mekaniska maskiner



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Industriell Elektroteknik och Automation**

Examensarbete:  
Adam Abusagr  
Joel Baranji



© Copyright Adam Abusagr, Joel Baranji

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Lunds universitet  
Lund 2018

## Sammanfattning

Detta examensarbete utfördes på ett företag som av olika skäl valt att vara anonym. Företaget säljer sina produkter globalt och har specialiserat sig på industriella maskiner inom livsmedelsindustrin. Idag underhåller man maskinerna utifrån ett intervall som är baserat på estimerade livslängder på olika delar i systemet. Därför kan haveri ske innan dessa planerade underhåll och till följd av detta kan större underhåll krävas. Därför vill man nu undersöka möjligheten att implementera en condition monitoring funktion på deras maskiner.

Resultatet av examensarbetet är en förundersökning på hur ett condition monitoring system kan implementeras och vilka tillvägagångssätt som är mest lämpliga att undersöka. Att implementera ett condition monitoring system innebär i grunden att försöka identifiera olika parametrar som t.ex vibration eller oljeanalyser som man direkt kan koppla till olika komponenters hälsa eller förfall. Därefter kan man med hjälp av dessa parametrar planera sina underhållstillfällen för att maximera drifttid och minimera underhållsperioderna. I detta examensarbete har olika mätningar gjorts för att försöka identifiera dessa parametrar. Men för att skapa ett färdigt system krävs att längre mätningar utförs för att bevisa de resultat och påståenden som presenteras i denna rapport.

Nyckelord: Tillståndsövervakning, tillståndsbaserat underhåll, likströmsmotor, servomotor, SIMOTION SCOUT, Intelligent underhåll

## **Abstract**

This bachelor thesis was conducted on a company that for various reasons has chosen to be anonymous. The company works internationally and specializes in industrial machinery within the food industry. Today, maintenance on the machines are performed based on scheduled periods of time, based on the expected remaining useful life. Because of this, failure may occur before these planned services are made and as a result, a longer and more thorough maintenance might be required. As a result this study investigates the possibilities of implementing a condition monitoring system on their products.

The result of this bachelor thesis is a preliminary study of how a condition monitoring system can be implemented and which approaches are most appropriate to investigate. To achieve this, the most important thing is to try to identify parameters with different types of methods like vibration analysis or tribology that can directly be connected to the health and degradation of a component. With these parameters, you can schedule the maintenance to maximize operating time and minimize maintenance periods. In this study, various measurements have been made to try to identify these parameters. However, in order to create a complete system, longer measurements are required to prove the results and statements presented in this report.

**Keywords:** Condition Monitoring, Condition-Based Maintenance, DC Motor, Servo Motor, SIMOTION SCOUT, Intelligent Maintenance

## **Förord**

Detta examensarbete utgör den avslutande delen av författarnas utbildning inom elektroteknik med automation, och omfattar 22.5 högskolepoäng.

Vi vill tacka handledare Christian Isaksson all handledning och vägledning genom examensarbetet, och för möjligheten att utföra examensarbetet på detta företag. Vi vill även tacka övriga anställda, bland annat Joakim Nilsson, Mikael Borg och Mikael Nilsson för insikt, stöd och hjälp under arbetets gång.

Vi uppskattar och tackar hjärtligt den hjälp vi fått under examensarbetet från handledare Bengt Simonsson och examinator Mats Lilja, som tillhandahölls av Lunds Tekniska Högskola.

Till sist vill vi även tacka Berit Funke, bibliotekarie vid Campus Helsingborg, för allt hon hjälpt oss med gällande litteratur och vetenskapliga artiklar.

Helsingborg, augusti 2018

Adam Abusagr och Joel Baranji

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Målformulering.....	2
1.4 Problemformulering .....	2
1.5 Motivering av examensarbetet .....	2
1.6 Avgränsningar .....	2
<b>2 Teknisk bakgrund</b> .....	<b>3</b>
2.1 Intelligent maintenance.....	3
2.2 Condition monitoring .....	4
2.3 Siemens.....	5
2.3.1 TIA Portal .....	5
2.3.2 SIMOTION SCOUT .....	5
2.4 Matlab.....	6
2.5 Olika motortyper .....	6
2.5.1 Likströmsmotorn.....	6
2.5.2 Servosystemet .....	6
<b>3 Metod</b> .....	<b>9</b>
3.1 Implementering.....	9
3.1.1 Datainsamling .....	9
3.1.2 Analysmetod .....	10
<b>4 Analys</b> .....	<b>13</b>
4.1 Datainsamling.....	13
4.1.1 Likströmsmotorn.....	13
4.1.2 Servomotorn.....	14
<b>5 Resultat</b> .....	<b>17</b>
5.1 Likströmsmotorn .....	17
5.2 Servomotor .....	21
<b>6 Slutsats och diskussion</b> .....	<b>27</b>
6.1 Reflektion över etiska aspekter .....	28
6.1.1 Sekretess.....	28
6.1.2 Hederskodex .....	28
6.1.3 Samhällsnytta.....	28
6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter .....	29
<b>7 Terminologi</b> .....	<b>30</b>
<b>8 Källförteckning</b> .....	<b>31</b>





# 1 Inledning

Utvecklingen av internet och allt snabbare datorer har nu skapat nästa revolution inom industriteknik som kallas för den fjärde industriella revolutionen, även kallad Industri 4.0. Med industri 4.0 menas att man allt mer försöker integrera de vanliga mekaniska delarna i industrin så att de direkt kommunicerar med varandra och kan övervakas på helt nya sätt [1]. Enligt Bosch är detta ett nytt koncept inom industri och automation, där tanken är att man skall kunna få ut data om olika komponenter i en produktionslinje. Detta då för att man lättare skall kunna planera ett avbrott för utbyte av delar innan ett fel inträffar, och därmed spara tid och pengar. Detta kallas condition monitoring (CM), och med CM medför condition-based maintenance (CBM). Det innebär då att man med ett övervakat system kan underhålla maskinen utifrån hur maskinen mår i realtid.

## 1.1 Bakgrund

Företaget som examensarbetet skall utföras på är ett globalt industriföretag med huvudkontor i Helsingborg. Företaget har specialiserat sig på industriella maskiner inom livsmedelsindustrin. Det långsiktiga målet med detta examensarbete är att skapa ett sätt att hitta slitage på utvalda komponenter, innan ett oplanerat stopp inträffar. Detta skall genomföras genom att analysera ett urval av parametrar och hitta en gemensam nämnare i exempelvis ljud, värme eller vibration som kan identifiera slitaget på axlarna i maskinerna och motverka produktionsstopp.

Idag underhåller man maskinerna i förebyggande syfte, enligt en underhållsplan baserat på egen erfarenhet av tidigare haverier och diverse problem som uppstått. Denna underhållsplan har fasta intervall, baserat på antal maskincykler, och utförs för att behålla maskinen i ett gott skick samt att minimera oplanerade stopp. Slitaget beror dock på olika faktorer, så som produktionstakt, operatörer samt hur väl det vanliga underhållet utförs.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka om det är möjligt att använda sig utav condition monitoring på utvalda komponenter. Detta genomfördes genom att analysera statistik över vilka delar som är mest utsatta för slitage samt genom att ta hänsyn till den ekonomiska aspekten. Projektet som utfördes på uppdrag av företaget har som sitt långsiktiga syfte att skapa ett system för att övervaka slitaget på komponenter. Ett förväntat resultat är en fullständig analys huruvida det är möjligt att skapa ett sådant system.

### **1.3 Målformulering**

Eftersom detta är det första projektet inom detta område på företaget så skall det undersökas vilka vägar som skall tas för att skapa ett system som condition monitoring på just detta företag. Målet med examensarbetet är att analysera hur företaget kan utföra detta och även på vilket sätt det skall implementeras. Målet är då att välja vilka komponenter som skall undersökas och även på vilket sätt man kan gå tillväga för att få lämplig information som berättar om komponentens skick. Det som även skall undersökas är ifall man skall använda sig utav befintliga värden eller ifall externa sensorer skall placeras.

### **1.4 Problemformulering**

I detta examensarbete ska följande frågor besvaras:

- På vilka sätt kan man tillämpa condition monitoring?
- Vilka fördelar samt nackdelar finns det med condition monitoring?
- Vilka mätmetoder finns det och vilka är lämpliga att använda?
- På vilket sätt ska mätdatan analyseras?

### **1.5 Motivering av examensarbetet**

Detta examensarbete utfördes på uppdrag av företaget som har för avsikt att utveckla ett system utifrån analysen som utförts i detta projekt. Condition monitoring är ett relevant område då industrin allt mer moderniseras och fler företag väljer att investera i sådana system. Därför var det passande för utbildningen att fördjupa sig inom detta område då det är väsentlig kunskap i det fortsatta arbetslivet. Även att bekanta sig med rutinerna som finns kring att driva ett projekt själva är ett givande steg in i arbetslivet. Eftersom tanken med projektet är att i realtid uppskatta hur lång livslängd som finns kvar på komponenten ifråga kan man även argumentera för att det minskar på slöseri av komponenter då man bara byter delar vid behov istället för att byta vid en viss period.

### **1.6 Avgränsningar**

I detta examensarbete kommer det i huvudsak undersökas hur man kan skapa ett system för tillståndsovervakning på industriella komponenter. Det som primärt kommer att granskas är komponenterna som används i maskinerna på företaget i fråga. I arbetet kommer det inte att ingå orsaker till varför elmaskiner och drivsystem förfaller eller hur man kan motverka dessa effekter. Examensarbetets fokus kommer vara på att fördjupa sig i uppbyggnaden och analysdelen av tillståndsovervakning, vilket innebär att en färdig lösning inte kommer vara resultatet av projektet utan ett förslag på vilket sätt det kan genomföras på.

## 2 Teknisk bakgrund

I detta kapitel kommer samtliga program och tekniker som använts i examensarbetet att presenteras. Även olika motortyper samt bakgrunden till condition monitoring kommer att beskrivas.

### 2.1 Intelligent maintenance

I industriell tillverkning krävs alltid underhåll av maskiner för att de skall fortsätta fungera på det sätt som de blivit designade på. Många industrier idag använder sig utav metoder som har utrymme för förbättring vilket kan vara givande både ur ett ekonomiskt perspektiv men även ur ett effektivitetsperspektiv. Systemen för underhåll kan vara reaktiva eller blint proaktiva. I reaktiva system görs underhåll först när saker har gått sönder vilket kan medföra att felet kan skapa större underhållsjobb än vad som egentligen hade krävts om man enbart gjort underhåll på den delen som hade försämrat tillstånd. Den andra metoden är att proaktivt byta delar som man tror kommer gå sönder och utgå från att en maskindel har en viss livslängd utan att egentligen undersöka delens faktiska hälsa [2]. Det har därför uppkommit en nyare typ av underhåll som kallas för intelligent underhåll (i-maintenance eller e-maintenance). I den använder man insamlad data från produktionsutrustning och maskineri för att förutsäga haveri. Detta kan göras på olika sätt antingen med externa givare eller via inhämtning av data via styrsystemet som mäter parametrar automatiskt för att hjälpa till att styra driften. Idag har e-maintenance blivit en vanlig term inom underhåll och företag som Canon, American petroleum institute(API), British Petroleum (BP) och American Telephone & Telegraph (AT & T) gör på sina företagshemsidor reklam för sina olika E-maintenance lösningar till sina produkter [3]. Enligt författarna finns det i huvudsak fyra faktorer som har lagt grunden till uppkomsten av e-maintenance idag och de är:

- Underhållets påverkan och roll för företag i en alltmer konkurrensutsatt marknad
- Behovet av hög prestanda, 100 % tillgänglighet och inga defekta produkter
- underhållets inverkan på säkerhet och miljö
- Framstegen inom informations- och kommunikationsteknik (ICT).

Denna utveckling och även condition-based maintenance (CBM) är roten av e-maintenance eftersom CBM fortfarande delar många liknande egenskaper som att förutsäga och förebygga underhållet på ett effektivt sätt. Som sades tidigare har även en viktig faktor kring utvecklingen av ICT gjort det möjligt för många olika mindre delar att på ett snabbt och enkelt sätt kommunicera och dela data med varandra. På detta sätt kan maskindelars hälsa visualiseras på

nya och enkla sätt i realtid [3]. För att implementera systemet e-maintenance krävs en del förkunskaper och förarbete. I e-maintenance inkluderas följande:

- **Baskunskap:** Inhämtning av förståelse av det fysiska systemet som skall underhållas och vilka kritiska komponenter och karakteriken utav dessa delar. Utifrån detta kan dess drift och hälsa i teoretiska aspekter förutsägas.
- **Data inhämtningssystem:** Använda sig av ICT för att övervaka det fysiska systemet och inhämta relevant data om utrustningens egenskaper och karakteristik så dess hälsa kan bestämmas.
- **Matematisk och statistisk modell:** Här utnyttjas teoretiska modeller som skall hjälpa till i valen när det gäller underhåll såsom att bestämma RUL(remaining useful life), det fysiska systemets pålitlighet och även bestämma när själva underhållet skall utföras.
- **Prestanda rapportering:** Detta är ett system för att rapportera prestandan vilket inkluderar e-maintenance, produktion, och andra tjänster.

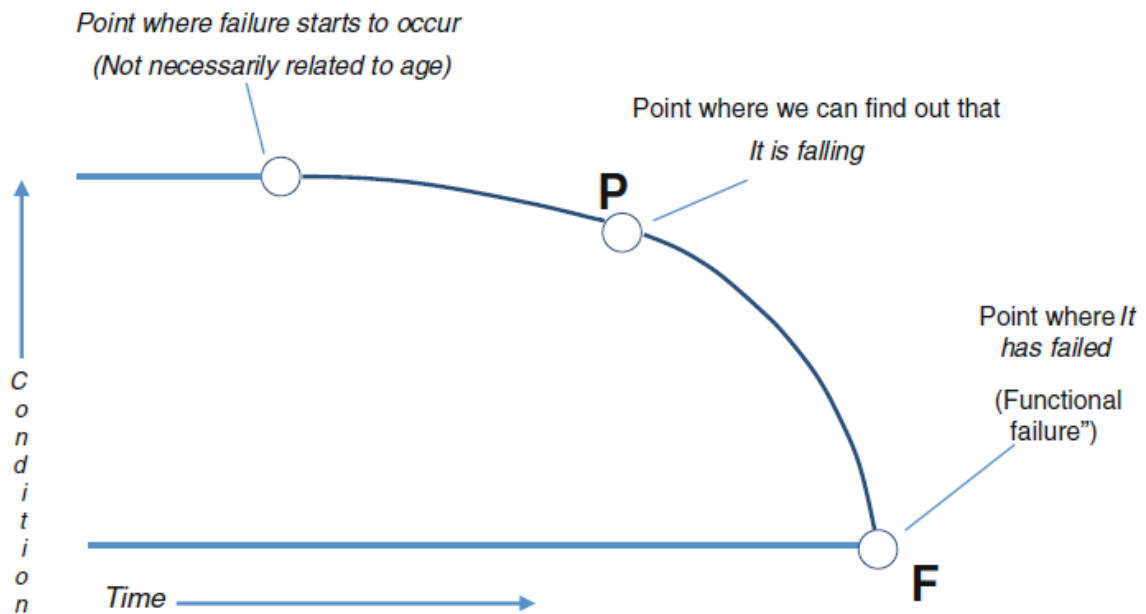
## 2.2 Condition monitoring

Författarna Duffua och Raoufa använder i sin bok termen Predictive maintenance(PdM) men de säger att den allmänna termen är CBM. CBM eller PdM är en proaktiv underhållstyp som skall prediktera haveri och degraderingstillståndet på en specifik del eller på ett helt system. CBM använder sig av olika tekniker för att förutspå hälsotillståndet. De teknikerna kan vara vibrationsanalys, infraröd termografi, tribologi (oljeanalys), brus och temperaturmätningar [3]. Uppbyggnaden av condition monitoring består av tre faser:

- **Övervakning** - Datainsamling av utrustningens tillstånd som är relevanta och som effektivt kan upptäcka underhållsproblem med hjälp av statistiska och matematiska modeller.
- **Diagnostik och prognostik** - Att hitta och isolera vilken specifik del som det behöver utföras underhållsåtgärder på. Även att lägga upp åtgärdsplan utifrån prioritet, hälsotillstånd, haveririsk och dess återstående livslängd (RUL).
- **Korrektion och förhindring** - Utförandet av de underhållsåtgärder som krävs för att motverka haveri.

Logiken bakom CBM är att ett haveri inte är en plötslig händelse utan att en utrustning går igenom en mätbar process av förfall tills det uppstår ett haveri. Det finns en punkt P där ett fel som har uppstått kan märkas. Felet i sig uppstår egentligen tidigare men kan inte detekteras med befintlig teknologi. Mellan punkten P och ett haveri finns ett intervall. Detta intervall kallas för P-

F intervallet [4]. Figur 1 nedan illustrerar just detta P-F intervallet. De flesta haveri som inträffar av olika anledningar ger som sagt olika typer av indikationer innan de inträffar och det är därför lämpligt att man använder olika mätmetoder som kan komplettera varandra. P-F intervallet styr hur hög frekvens av övervakningstillfällen som behövs för att man skall kunna detektera ett fel. Om övervakningstillfällena är glesare än intervallet kan det vara att haveri kan uppstå innan man hinner göra någon typ av stopp eller underhåll i driften [3].



Figur 1. Förtydligande illustration över P-F intervallet

## 2.3 Siemens

Siemens AG är ett globalt företag med elektricitet som sin röda tråd. Man erbjuder idag intelligenta lösningar på komplexa problem inom tekniksektorn genom att digitalisera och automatisera komponenter och maskiner.

### 2.3.1 TIA Portal

TIA Portal är Siemens utvecklingsplattform där användaren får full tillgång till Siemens breda erbjudande av digitaliserade och automatiserade tjänster. Syftet är att integrera diagnostik, kommunikationsnätverk och olika programvaror till en enda plattform. Enligt Siemens så bidrar plattformen till ökad produktivitet, flexibilitet, snabbare produktlanseringar och konkurrenskraft till ditt företag [5].

### 2.3.2 SIMOTION SCOUT

SIMOTION är ett avancerat motion-control system man utvecklat för att tillhandahålla optimal prestanda för olika maskinkoncept. Systemet finns integrerat i TIA Portal för möjligheten att öppna projekt direkt i SIMOTION. SCOUT effektiviserar utvecklingen av projekt och ger möjligheten att fullständigt utnyttja de tjänster SIMOTION erbjuder. Kombinationen av alla

funktioner i ett enda system ger användaren ett komplett verktyg för organiserad utveckling [6].

## 2.4 Matlab

Matlab används främst för sin förmåga att utföra matematiska beräkningar och ofta i undervisningen av matematik på högskole- och universitetsnivå. Matlab används även vid tekniska beräkningar, algoritmutveckling, visualisering och signalhantering. Detta på grund av de färdiga funktioner och algoritmer som redan finns implementerade. Vid visualisering och signalhantering kan man importera flera olika filtyper för analysering och behandling. CSV-format används vid överföring av tabelldata, och används i detta examensarbete för beräkning av tabellerna i Matlab.

## 2.5 Olika motortyper

De motortyper som man stöter på i arbetet är likströmsmotorer och servomotorer. Likströmsmotorn har ett konstant varvtal vid drift av maskinen, medan servomotorn hanterar en intermittent rörelse och därmed varierar både moment och ström. I detta examensarbete kommer inte regleringen av servosystemet i sig att diskuteras vidare.

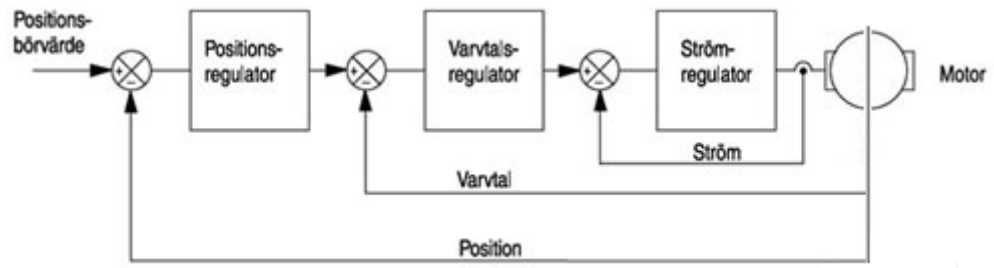
### 2.5.1 Likströmsmotorn

Elektriska motorer är motorer som omvandlar elektrisk ström till magnetisk energi som slutligen omvandlas till rörelseenergi. Likströmsmotorn är den vanligaste elektriska motorn på grund av sin enkelhet. Kortfattat så skapar den tillförda strömmen ett magnetfält i statorn, som i sin tur får rotorn att rotera. Detta i sin tur driver en extern last på rotorns axel [7].

### 2.5.2 Servosystemet

Ett servosystem är kortfattat en motor med tillhörande styr- och drivelektronik. Motorn är vanligtvis av typen permanentmagnetiserad synkronmotor (PMSM) eller likströmsmotor, med en återkoppling. I detta arbete används en PMSM. Vidare i rapporten kommer ordet ”servomotor” att referera till just den motor som används i detta servosystem.

Systemet ger en väldigt exakt rörelse. Ett servosystem arbetar på så sätt att den styrs av en avvikelse, det vill säga en skillnad mellan bör- och ärvärde. Elektroniken i systemet har en gemensam uppgift: se till så att ärvärdet inte skiljer sig för mycket från börvärdet [7]. Detta innebär även att man behöver avvikelser för att motorn skall röra sig. Eftersom att regleringen sker med elektrisk ström så får man en direkt respons, vilket är det viktigaste i en servostyrning. Med hjälp av systemets återkoppling kan man mäta de aktuella värdena. Det är med hjälp av återkopplingen man beräknar avvikelserna och reglerar sedan för att uppnå minsta möjliga avvikelse.



Figur 2. Blockschemat över reglering i servomotor





## 3 Metod

Arbetsgången under examensarbetet har utgått ifrån den initiala beskrivningen av examensarbetet där arbetet delades upp i tre olika faser: Förstudier, implementering och analys. Detta kapitel beskriver själva genomförandet av arbetet.

Det som gjordes först var att med hjälp av förstudier och intervjuer undersöka själva maskinen för att hitta lämpliga ställen som gick att granska mer ingående. För att skapa ett condition monitoring system krävs framförallt inhämtning av data. Med data menas att man behöver ha reda på hur de olika komponenterna som skall övervakas ser ut i drift. Det behövs både i drift i så kallat friskt tillstånd och även i så kallat försämrat skick eftersom man vill veta vilka värden som gäller för de olika fallen. Det finns olika sätt att genomföra det på. De sätt som valdes var två olika metoder, det ena är att genom PLC:n hämta data över en servomotor som kör en intermitterent rörelse och det andra är att genom att sätta dit en extern vibrationsgivare på en likströmsmotor som kör i konstant varvtal. Efter datainsamlingen ska informationen granskas för att kunna identifiera vilka parametrar som kan korreleras med komponentens hälsa.

### 3.1 Implementering

För att man skall kunna dra en slutsats huruvida det är möjligt att implementera CM på en industriell maskin, så bör man veta vilka relevanta tillvägagångssätt det finns. Trots att olika företag som exempelvis Siemens och Omron har färdiga lösningar på detta problem med hjälp av deras komponenter så vill man undvika att använda dessa då det kommer att innebära en omkonstruktion av den befintliga maskinen. Därför har man bestämt sig för att använda den tillgängliga datan och undersöka ifall det är möjligt att utföra en sådan implementering utan en tredje part.

#### 3.1.1 Datainsamling

Då inga data sedan tidigare tillhandahölls av företaget inleddes en process för att inhämta mätvärden under fem veckor. Inhämtningen av dessa mätvärden utfördes på två olika sätt, då det var två olika motorer som undersöktes. Motivering till varför just dessa motorer undersöktes diskuteras i kapitel 4.

#### Vibrationsmätning

Den första metoden innebar att en extern vibrationsgivare placerades direkt på den likströmsmotor man valt att analysera. Vibrationsgivaren har en tillhörande styrenhet och behövde ett spänningsaggregat som företaget tillhandahöll. Man använde sig även utav ett program som tillhandahölls av leverantören till vibrationsgivaren. Detta program upprättade kontakten till vibrationsgivaren och skötte kommunikationen mellan givaren och datorn. I

programmet fanns olika verktyg för att visualisera signalerna, både i tids- och frekvensplanet. De parametrar man valde att titta på under denna mätning var vibrationens acceleration i tidsplanet samt frekvensplanet, och även vibrationshastigheten i frekvensplanet. Här gjordes flera olika mätningar, med olika placeringar och filter. Motivering och resultat presenteras i senare delar av rapporten.

## PLC

Den andra metoden var att hämta data genom det befintliga PLC-systemet via servo drivern. De data som hämtades var en samling av olika parametrar från servomotorn som nämns i kapitel 4.1.2. Max antal parametrar man kan mäta samtidigt är åtta, med en lägsta samplingsperiod på 4 ms. Med endast fyra parametrar kan man ha en samplingsperiod på 2 ms som lägst, vilket är att föredra då man vill ha en så noggrann mätning som möjligt. De huvudsakliga parametrar man valde att undersöka i mätningen är *ström, moment, är- och börhastighet*. Den bakomliggande teorin till de parametrar man valt att analysera kommer att diskuteras vidare i kapitel 4.1.2.

### 3.1.2 Analysmetod

För att analysera den inhämtade datan användes olika sätt för de olika metoderna av datainhämtning. För de mätvärden man fick från PLC:n valde man att bilda ett medelvärde över tiden, för att se hur värdena förändrade sig. Detta för att få en helhetsbild över maskinens välmående. En annan metod som diskuterades, men inte användes, var att mäta under en längre tid före och efter utförd service av en maskin. Denna metod använde man inte sig utav, då en längre mätning med en samplingsperiod på 2 ms resulterar i stora filer med överflödigt information.

När vibrationsgivaren användes var datainformationen redan transformerad med hjälp av FFT till frekvensplanet. Här förväntades en viss frekvens då den motor vibrationsgivaren var fäst till roterade med ett konstant varvtal. Skillnaden mellan de olika mätningarna var främst placeringen av givaren, där man valde att undersöka den uppmätta signalen vid placering högt upp på motorn kontra lågt vid den roterande axeln. Man gjorde dessa mätningar när maskinen var i manuellt läge där endast motorn i fråga kördes, men även i så kallat skarpt läge där hela maskinen var i full drift. Vibrationsgivaren kan mäta utan filter, med ett högpasfilter på 2 Hz samt ett högpasfilter på 10 Hz. Detta medförde att tre olika mätningar utfördes vid de olika placeringarna samt driftlägena.

Den sista mätningen utfördes genom att placera vibrationsgivaren på den tidigare nämna servomotorn och mäta vibrationerna när maskinen var i skarpt

läge. Vidare i kapitel 5.1 kommer resultatet av dessa mätningar att presenteras och i kapitel 6 kommer de att analyseras och diskuteras.



## 4 Analys

Efter intervjuer och diskussioner kunde man konstatera att det var i huvudsak de två motorer som nämns i kapitel 3.2.1, servomotorn och likströmsmotorn, man var intresserad av att övervaka. Den avgörande faktorn till varför man valde att analysera just dessa motorer var kostnaden. Detta för att servomotorn i fråga är en stor kostnad för företaget, men även för att den efterföljande kostnaden som uppstår vid ett haveri utav likströmsmotorn också är kostsam. Haverier och oplanerade stopp sker frekvent på grund av olika fel kring likströmsmotorn som man undersöker. Vidare i detta kapitel kommer val kring mätalternativ samt parametrar att motiveras och diskuteras.

### 4.1 Datainsamling

Som tidigare nämnts så var det främst en servomotor och en likströmsmotor man valt att arbeta vidare med i detta examensarbete. Med hjälp av att dela upp de olika mätalternativen och utföra två olika mätningar hoppades man på att man skulle kunna se vilken av metoderna som verkade mest lovande och som man i framtiden skulle investera mer resurser i.

#### 4.1.1 Likströmsmotorn

Det mätalternativ man arbetat vidare med när det handlade om likströmsmotorn var vibrationsmätning. Även om det finns fler alternativ än vibrationsmätning valdes andra metoder bort. Tribologi valdes bort då det krävde att man skulle göra fysikaliska förändringar i motorn vilket inte var ett alternativ inom detta examensarbete. Infraröd termografi är en form av temperaturmätning och denna typ av mätning gjordes på servomotorn med hjälp av PLC och därför var ännu en mätning i samma form redundant. En annan typ av mätning som diskuterades var även ljud- eller brusmätningar. Detta alternativ verkar lovande då det innan haveri kan förekomma oregelbundna former av ljud och brus. Men då likströmsmotorn sitter i en komplex maskin med många olika rörliga delar kring sig och med delar som slår kan dessa ljud som man letar efter drunkna i bakgrundsbruset. Det finns fler mätningmetoder som kan vara relevanta för att just skapa ett condition monitoring system men då ett av de vanligaste sätten är användningen av vibrationsmätning och för att det var ett av de spåren som företaget ville utforska så valdes just denna metod för likströmsmotorn. Placeringen av vibrationsmätning gjordes genom att granska vilka delar som skulle vara lämpliga att göra vibrationsmätningar på. Med hjälp av intervjuer på de personer som skötte underhåll på maskinerna fick man veta att ett av de vanligaste ställena där haveri uppstod var på en likströmsmotor som arbetade i jämn takt med ett konstant varvtal. Det var även positivt att just denna motor var placerad lättillgängligt och att en extern givare skulle vara enkel att placera både på själva motorn och på dess axel. Det som också var positivt med just att likströmsmotorn arbetade i konstant varvtal var att vid normal

drift kunde ett visst värde förväntas och vid slitage av lager i motorn uppstår tydliga förändringar i mätningen.

Ett alternativ till att använda en vibrationsgivare är att använda en accelerometer. Enligt leverantörens hemsida rekommenderar man en accelerometer vid kortare mätningar av vibrationer. I detta examensarbete uppfyller en accelerometer de krav som ställs. Man valde dock att använda sig utav en vibrationsgivare istället. Den valdes för att den klarar av att mäta under en längre tid. Att utföra längre mätningar är någonting som kommer att krävas för att implementera ett condition monitoring system. Varför det är ett krav diskuteras vidare i kapitel 6.

#### **4.1.2 Servosystemet**

Anledningen till att man valde att hämta mätdata genom det befintliga systemet var för att det var lättåtkomligt och ingen extern utrustning behövde användas, utan man använde sig utav Siemens integrerade system. Detta var en väldigt positiv faktor för företaget då det endast skulle kräva förändringar i mjukvara på de befintliga maskiner som finns runt om i världen. Denna implementation skulle enkelt kunna genomföras via internet på befintliga maskiner utan att behöva ha driftuppehåll. Då vibrationsmätning var aktuellt för likströmsmotorn försökte man även göra mätningar på servomotorn med samma givare, men som det beskrivs i tidigare kapitel så hanterar servomotorn i fråga en intermitterent rörelse som innebär att vibrationsmätningar på servomotorn drunknar i brus och andra frekvenser.

I kapitel 3.2.1 nämns vilka parametrar som använts när man mätt med en samplingstid på 2 ms. Då det är strömmen som i grund och botten får en elektrisk motor att rotera, är den mest relevant att undersöka. Vid slitage och försämring av maskinens skick förväntas strömåtgången att stiga för att uppnå samma produktionshastighet som tidigare. Detta för att vid sämre skick och mer slitage uppkommer ett högre moment i rörelsen som servomotorn hanterar, vilket resulterar i att man måste tillföra mer ström för att kompensera motståndet.



Figur 3. Sambandet mellan ström och moment

Vid mätning av åtta parametrar använde man sig utav samma parametrar sedan tidigare, men inkluderade även *spänning*, *motortemperatur*, *rotorresistans* och *procentuell momentanvändning*. Den parameter man mest är intresserad av mellan dessa är *motortemperaturen*, då man förväntar sig en ökning i temperatur när motorn jobbar hårdare, det vill säga vid högre moment och strömförbrukning. *Rotorresistansen* valdes tillsammans med *motortemperaturen* då resistansen förväntas att öka i samma takt. Med ökad resistans förväntas mer energi att istället omvandlas till värme istället för drivkraft. *Procentuell momentanvändning* valdes eftersom man ville undersöka ifall man kunde se ett samband mellan förslitningar och reglerfelet. Spänningen valdes endast för att man ville bestryka de antagande om att det är ström som driver en motor och inte spänning. Alla dessa parametrar valdes för att undersöka ifall man kan identifiera ett samband mellan de olika parametrarna, och dra slutsatser huruvida de är beroende av varandra. De andra parametrarna ansågs vara intressanta, men inte i huvudsak det man var intresserad av. De lades ändå till i förhoppning om att man eventuellt skulle kunna se något samband bland parametrarna. Resultatet av dessa mätningar presenteras i kapitel 5.2.





## 5 Resultat

Efter att ha genomfört mätningarna på både likströms- och servomotorn fanns det en stor mängd data som skulle analyseras. Målet med insamlingen av alla data var att man på något sätt skulle kunna binda någon av parametrarna till maskinernas hälsa och utifrån det ha en grund för att skapa ett condition monitoring system. För att kunna hitta ett samband användes en medelvärdesbildning på alla parametrar som sammanställdes i excel. En sammanställning gjordes även med strömmätningar i frekvensplanet med hjälp av Matlab.

Det svåra med alla mätningarna var att man inte hade en riktig referens att titta på. Det fanns väldigt många aspekter att ta med i beräkningen. Till exempel har varje maskin sin egen sorts vibration som baseras på hur just den maskinen har blivit inställd. Även strömnivå varierar från maskin till maskin eftersom de använder olika produkter som har olika viskositet och densitet vilket gör att maskinen ifråga får arbeta på olika sätt. En annan faktor att ta i beaktande är att servicen på de olika maskinerna kanske inte görs lika grundligt. För att en referenspunkt skall kunna göras på ett noggrant sätt behöver längre mätningar utföras på ett flertal maskiner som precis har satts i drift. På det sättet kan en allmän referenspunkt sättas för maskiner av samma typ.

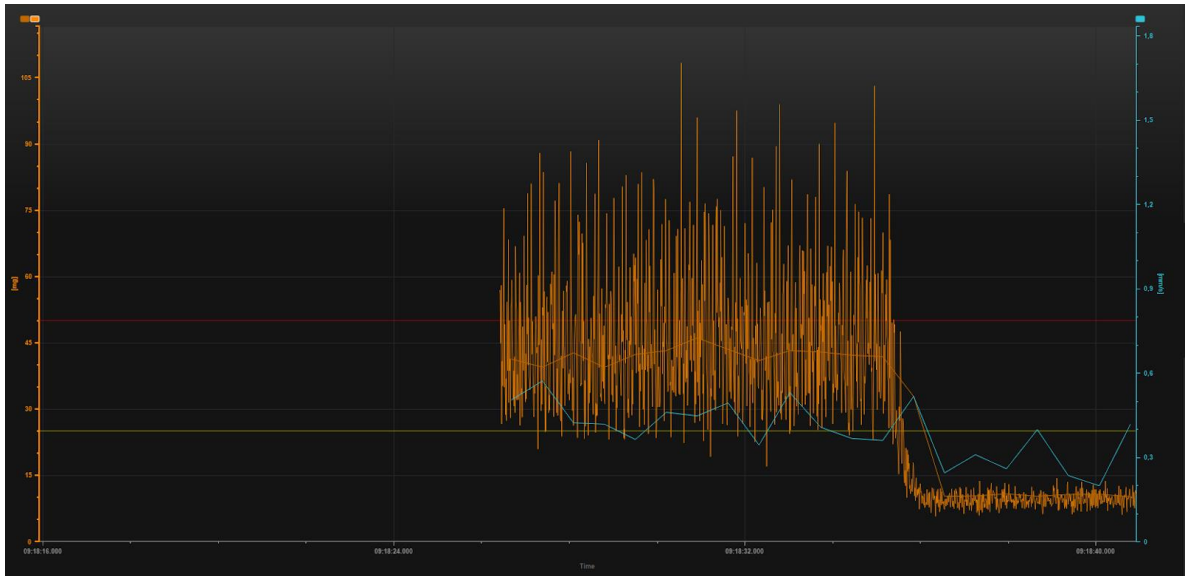
Ett alternativ till att skapa en bra referenspunkt kan vara att låta maskinen som skall drifställas med ett condition monitoring system köras ett antal gånger när den har blivit färdigbyggd och inställd enligt kundens specifikationer. Då har man ett bra grundvärde som sedan kan hjälpa algoritmerna för systemet att se avvikelser. Detta värde kommer även att ändras under längre körning och behöver justeras efter att en noggrannare service har gjorts på maskinen ifråga.

### 5.1 Likströmsmotorn

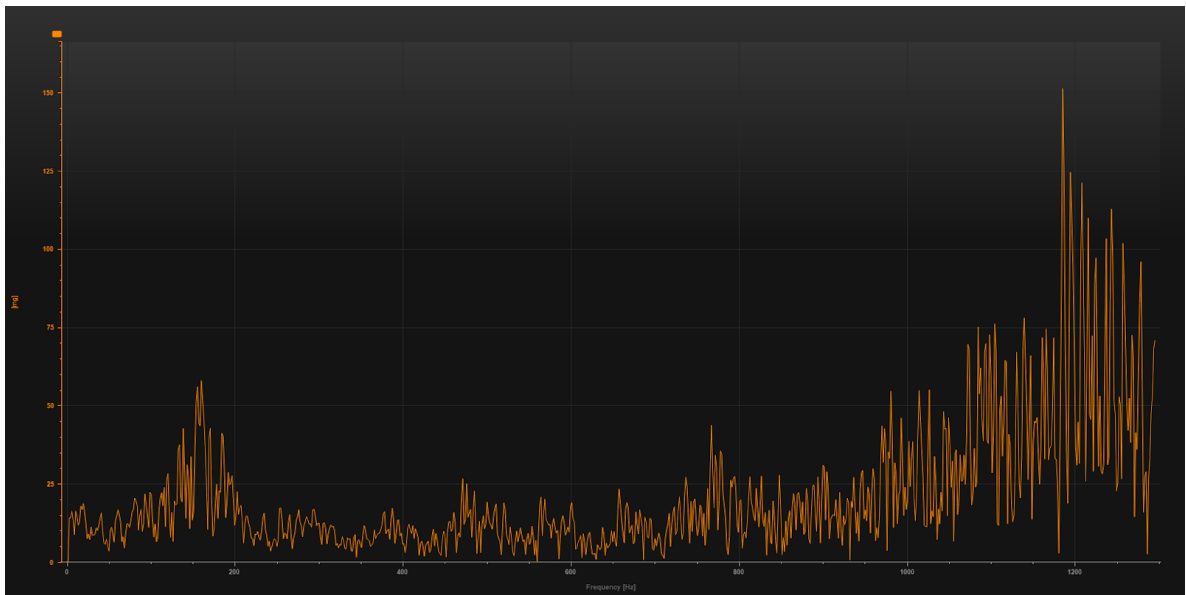
Med hjälp av leverantörens färdiggjorda program för vibrationsgivaren kunde man enkelt visualisera de olika mätningarna som gjordes på likströmsmotorn. Den första mätningen utfördes genom att placera vibrationsgivaren rakt på axeln från motorn och det gjordes även en mätning där man placerade vibrationsgivaren direkt på likströmsmotorn. De första mätningarna gjordes först med enbart likströmsmotorn igång. Sedan utförde man samma mätningar men med hela industrimaskinen igång. Den första placeringen gjordes på grund av att man utifrån teoretiska fakta diskuterat och efter egna analyser kommit fram till att haveri på axeln och lagren sker mycket tidigare än att själva rotor/statorhuset havererar. Mätningarna kunde antingen visualiseras som en video i frekvensplanen där vibrationerna visualiserades i storlek i de olika frekvenserna som förekom, se exempelvis figur 5 eller genom ett vanligt diagram där man kan se ändringarna i så kallade mg av vibrationerna över

tiden och även se förflyttningarna i mm/s över tiden se figur 4. I dessa mätningar är mg en representation av milli g-krafter alltså så kallade accelerationskrafter och alltså inte gram. Accelerationskrafter är ett uttryck av de belastningar som ett föremål utsätts vid acceleration. Efter att mätningarna på motorn hade genomförts så flyttades givaren och placerades på servomotorn enbart för att se vilket resultat det gav och om den inte drunknade i bruset av den intermittenta rörelse som servomotorns drift skapade. Slutligen gjordes också ett test där man lät vibrationsgivaren hänga löst i maskinen för att se vilka vibrationer som skapades av hela maskinen. Men dessa mätningar valdes att ignorera då de inte gav något resultat. I det fall att man skulle vilja göra en sådan mätning krävs två olika givare där en av givarna mäter omgivningen och den andra givaren mäter direkt på likströmsmotorn. Då kan man subtrahera omgivningsvibrationerna.

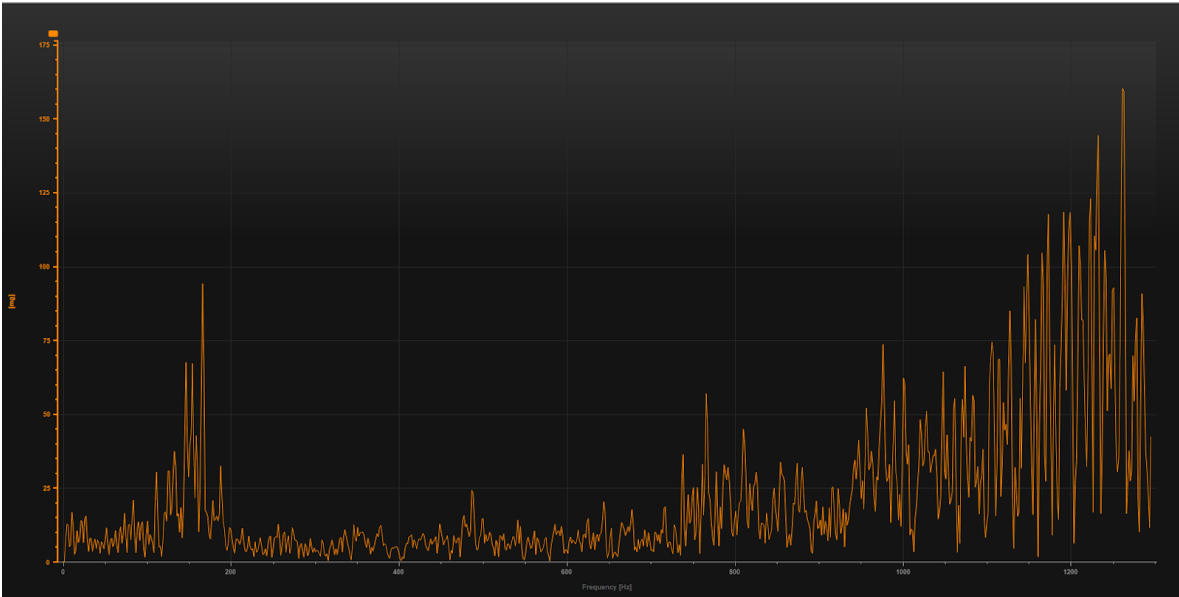
I figur 5, 6 och 7 visas resultatet av en del av mätningarna som gjordes på den nedre delen av likströmsmaskinen. Man valde endast att presentera dessa figurer. Trots att det användes olika filter på olika mätningar, sågs ingen skillnad mellan dessa mätningar. Hela mätningarna är en inspelning av vibrationerna över tiden och därför har delar där man ser tydliga kurvor över vibrationerna valts ut. Som man kan se i figur 7 så finns det en del frekvenser som är fokuserade kring värden runt 100 Hz till 200 Hz. Dessa vibrationer mättes mellan 25 till 90 mg kraft. Det fanns även vibrationer med frekvenser över ungefär 1000 Hz. Dessa vibrationer låg över 25 mg kraft till ungefär 150 mg kraft. De vibrationerna som ses på de lägre frekvenserna förväntades ligga kring 45 Hz då motorn arbetade med 2650 RPM. De vibrationer som ligger över 900-1000 Hz tros vara skapade av både lagret och axeln i motorn. Då man kunde observera att när mätningar på den övre delen av motorn gjorts som man kan se i figur 8 är de lägre vibrationerna kring 100-200 Hz starkare och man kan därför anta att det är dessa som tillhör motorn. De vibrationerna som ligger över 900-1000 Hz antas att tillhöra lagren och axeln till motorn. Detta eftersom man ser lika hög kraft av dessa vibrationer på båda mätningarna. Ur figur 4, som bara visar vibrationerna över tiden och inte vilka frekvenser de ligger på, kan inte några slutsatser dras. Figur 5 och 6 är resultatet av mätningarna som gjordes på underdelen av likströmsmotorn när hela maskinen kördes. Man kan under inspelningen enkelt se när brusets av andra delar av industrimaskinen skapar vibrationer i flera delar av frekvensspektrumet. Detta av att det närliggande till likströmsmotorn fanns delar som slog och att servomotorn även påverkade mätningen med sina rörelser och skapar vibrationer.



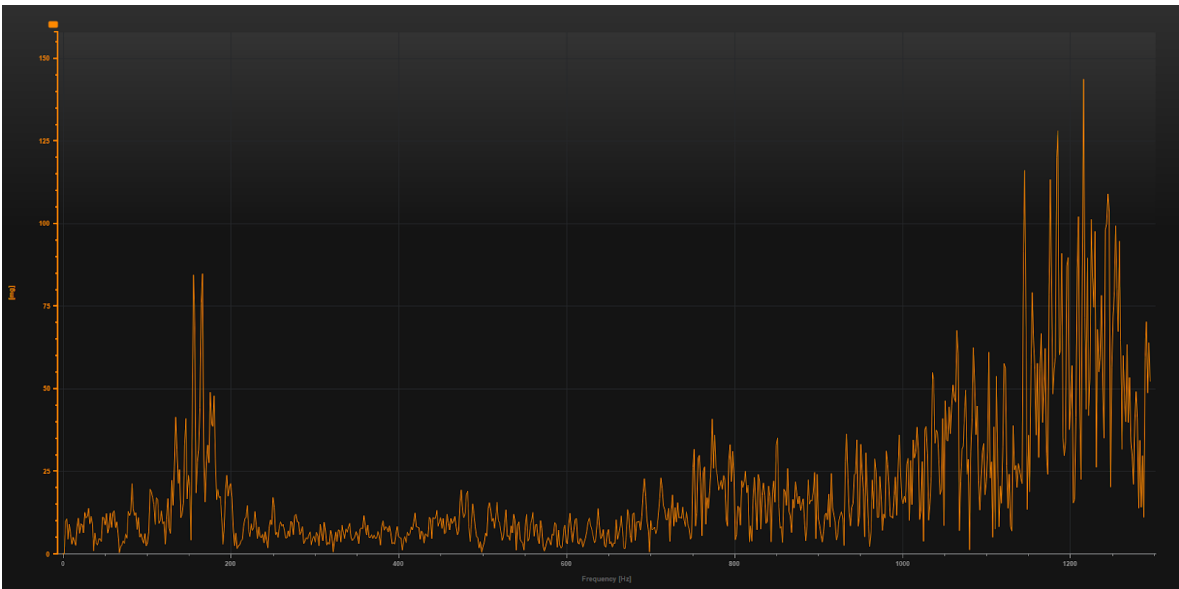
Figur 4. Vibrationen i tidsplanet, i diagrammet visas kraften i mg över tiden (orange), även förflyttning i rummet mm över tiden s (turkos).



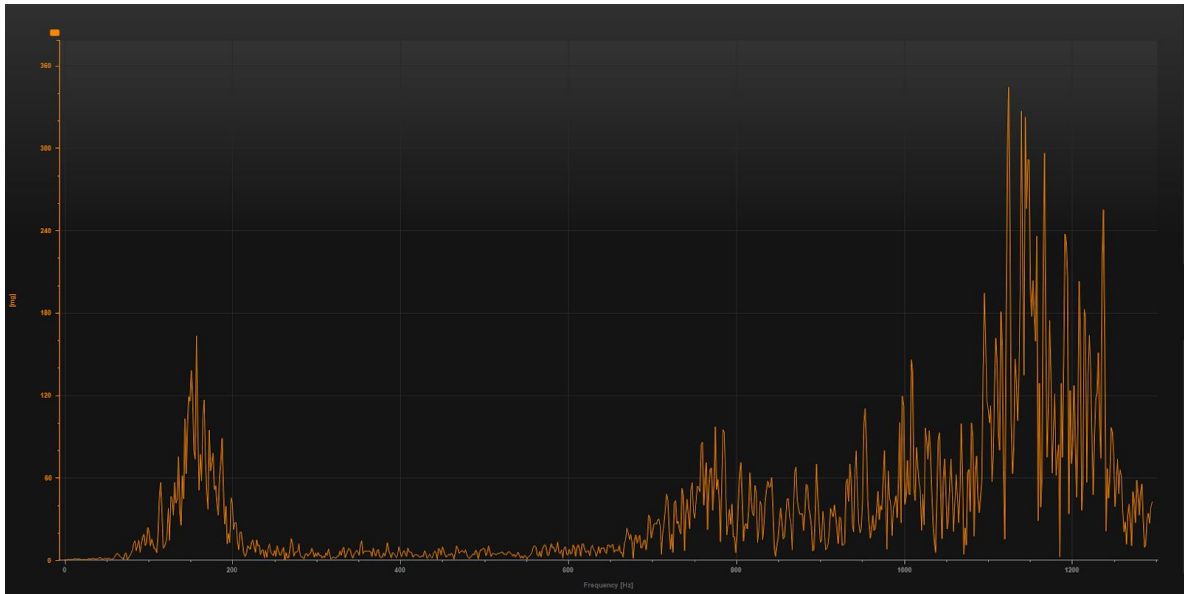
Figur 5. Likströmsmotorn nedre del innan slag, hela maskinen i drift. I diagrammet visas kraften i mg över frekvens Hz.



Figur 6. Likströmsmotorns nedre del efter slag, hela maskinen i drift. I diagrammet visas kraften i mg över frekvens Hz.



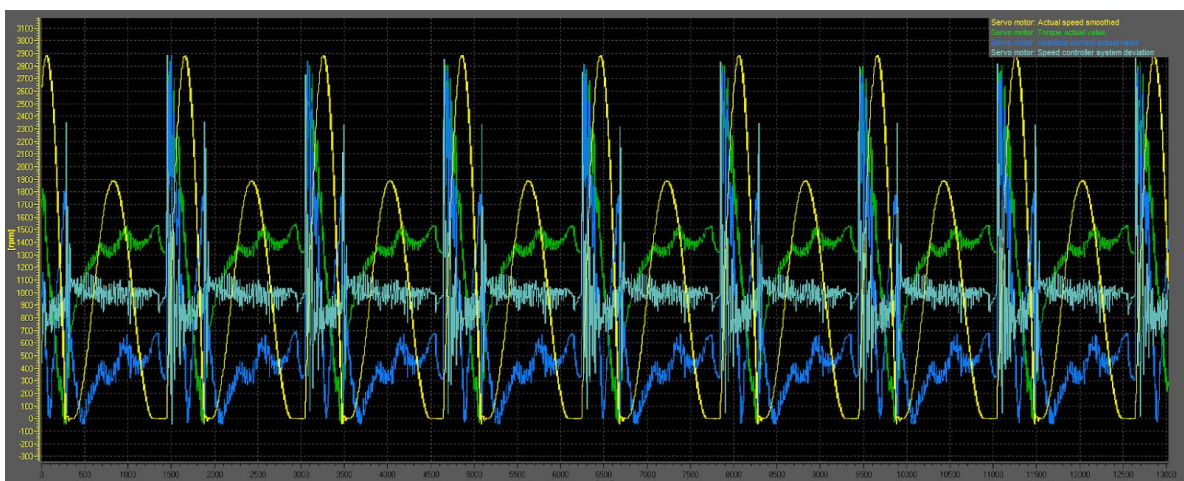
Figur 7. Givaren placerat på underdelen av likströmsmotorn, endast likströmsmotorn i drift. I diagrammet visas kraften i mg över frekvens Hz.



Figur 8. Givaren placerat på överdelen av likströmsmotorn, endast likströmsmotorn i drift. I diagrammet visas kraften i mg över frekvens Hz.

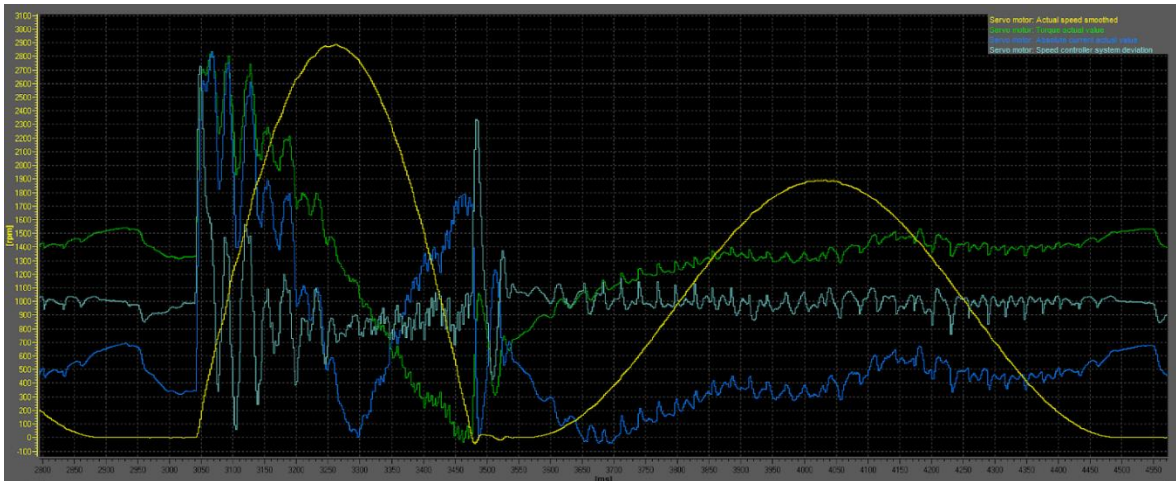
## 5.2 Servosystemet

En inbyggd funktion i Siemens Simotion SCOUT gör det möjligt att göra mätningar mot en servomotor i realtid. Detta möjliggör alternativet att mäta genom PLC:n, för att sedan spara undan all data och göra en analys på de aktuella värdena. Den data man sparade var från mätningar med de parametrar som nämns i kapitel 3.1.1, både mätt med fyra respektive åtta parametrar. I figur 9, 10, 11 och 12 presenteras två mätningar där man först visar hela mätningen och sedan visas en inzoomad bild för att ge en bättre bild över hur parametrarna förhåller sig till varandra under en maskincykel.



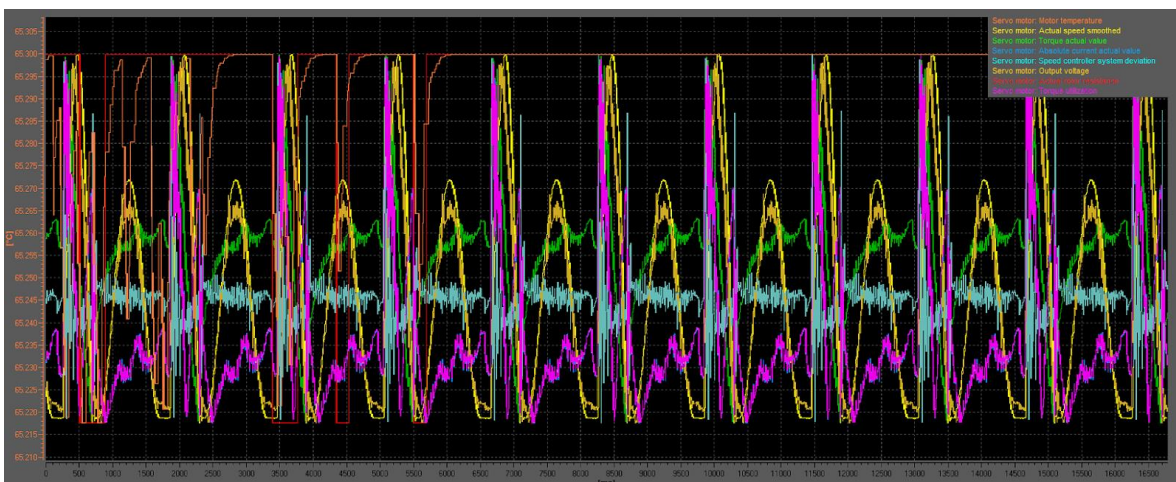
Figur 9. Mätning 1: Hel mätning med fyra parametrar. I diagrammet visas absolut utjämnad fart RPM(gul), moment aktuellt värde(grön), absolut ström i aktuellt värde(blå) och reglerfelet av farten i procent(turkos).



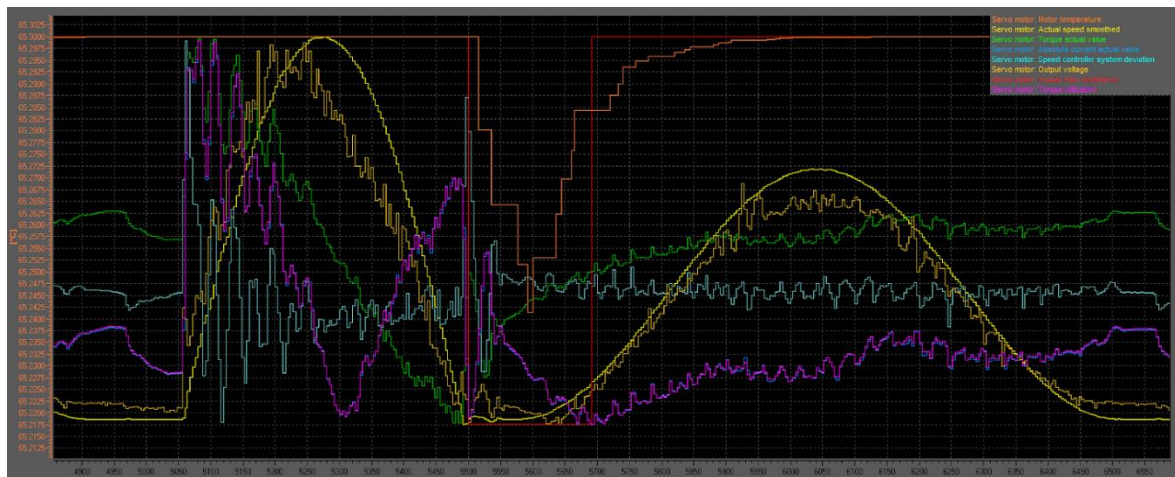


Figur 10. Mätning 1: En maskincykel med fyra parametrar. I diagrammet visas absolut utjämnad fart i RPM(gul), moment aktuellt värde(grön), absolut ström i aktuellt värde(blå) och reglerfelet av farten i procent(turkos).

Figur 10 visar tydligare hur strömmen och momentet påverkas av varvtalet. Om man följer den gula kurvan så ser man att vid början av maskincykeln så ökar man strömmen för att förse servomotorn med tillräckligt mycket kraft för att rotera axeln på servomotorn. I samband med att man försöker rotera axeln från stillastående tillstånd så upplever man därmed ett högre moment vid samma tillfälle som man tillför ström, se den gröna kurvan. Denna rörelse är hastig och man vill accelerera så snabbt som möjligt. Halvvägs upp för den gula toppen är strömförbrukningen nere på noll, vilket innebär att man inte längre accelererar, utan accelerationen och strömmen avtar istället. Vidare i andra halvan av toppen så ser vi att strömmen ökar, men momentet fortsätter minska. Detta beror på att man inte längre tillför ström för att accelerera, utan man vill bromsa rörelsen, och därför upplever man inget moment i bromsningen. När man gjort denna förflyttning plockar man upp produkten och har en jämn hastighet på tillbakavägen, vilket syns i den jämna ström- och momentkurvan.



Figur 11. Mätning 2: Hel mätning med åtta parametrar. I diagrammet visas motor temperatur i Celsius(orange), absolut utjämnad fart i RPM(gul), moment aktuellt värde(grön), absolut ström i aktuellt värde(blå), reglerfelet av farten i procent(turkos), utspänning i volt(mörkgul), aktuell rotor resistans i ohm(röd) och användningen av momentet i procent(lila).

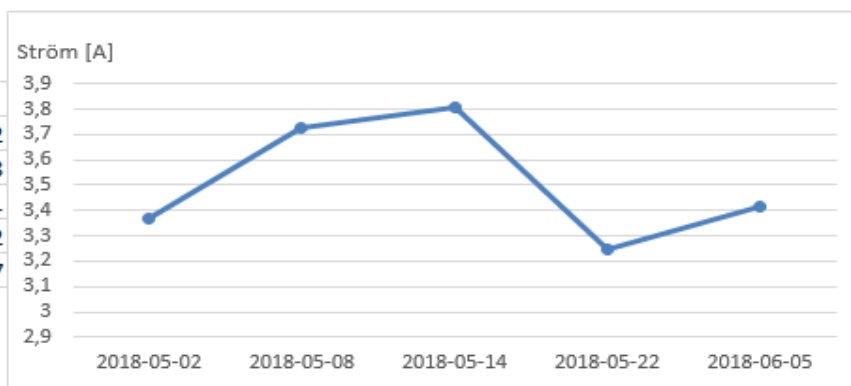


Figur 12. Mätning 2: En maskincykel med åtta parametrar. I diagrammet visas motor temperatur i Celsius (orange), absolut utjämnad fart i RPM (gul), moment aktuellt värde (grön), absolut ström i aktuellt värde (blå), reglerfelet av farten i procent (turkos), utspänning i volt (mörkgul), aktuell rotor resistans i ohm (röd) och användningen av momentet i procent (lila).

Figur 12 illustrerar en likadan mätning som figur 9, fast med åtta parametrar samtidigt. Detta innebär som tidigare nämnt en samplingstid på 4ms istället för 2ms. Denna mätning utfördes i hopp om att hitta något samband mellan de fyra tillagda parametrarna och de som användes tidigare. Tyvärr så kunde inga slutsatser dras kring denna mätdata.

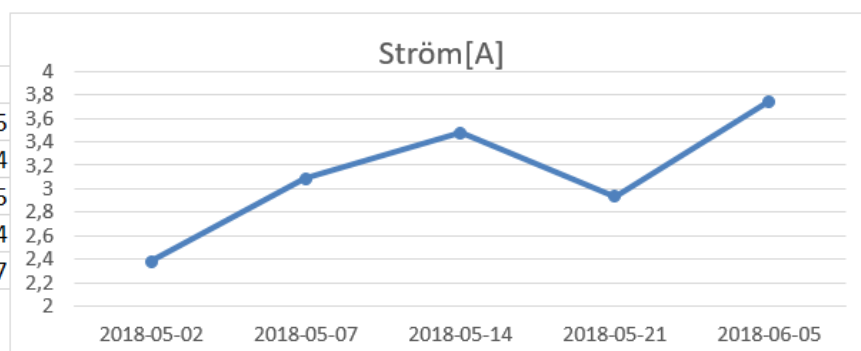
För att se någon förändring i maskinens skick räknade man ut medelvärdet på en mätning och jämförde med andra mätningar på samma maskin. I figur 13, sammanställningen av alla mätningar för maskin 1, kan man se en ökning av strömmen. Vid det fjärde mättillfället ser man att strömmen minskat till under värdet på första mätningen, för att sedan öka ännu en gång mätningen därpå. Detta tros vara på grund utav en service eller något underhåll som förbättrat maskinens skick. Man utförde likadana mätningar på fler maskiner, och i figur 14 presenteras resultatet av de mätningar man gjort på maskin 2. Man kan se att kurvan i figur 14 har likadan struktur som kurvan i figur 13. Detta resultat styrker teorin om att ett underhåll eller dylikt har utförts på maskinerna under tidsperioden 2018-05-14 till 2018-05-22. Denna teori har dock inte verifierats, på grund av tidsbrist.

Datum	Ström [A]
2018-05-02	3,370504732
2018-05-08	3,726032858
2018-05-14	3,804984891
2018-05-22	3,245807322
2018-06-05	3,418577547



Figur 13. Genomsnittliga strömförbrukningen under mätningarna på maskin 1

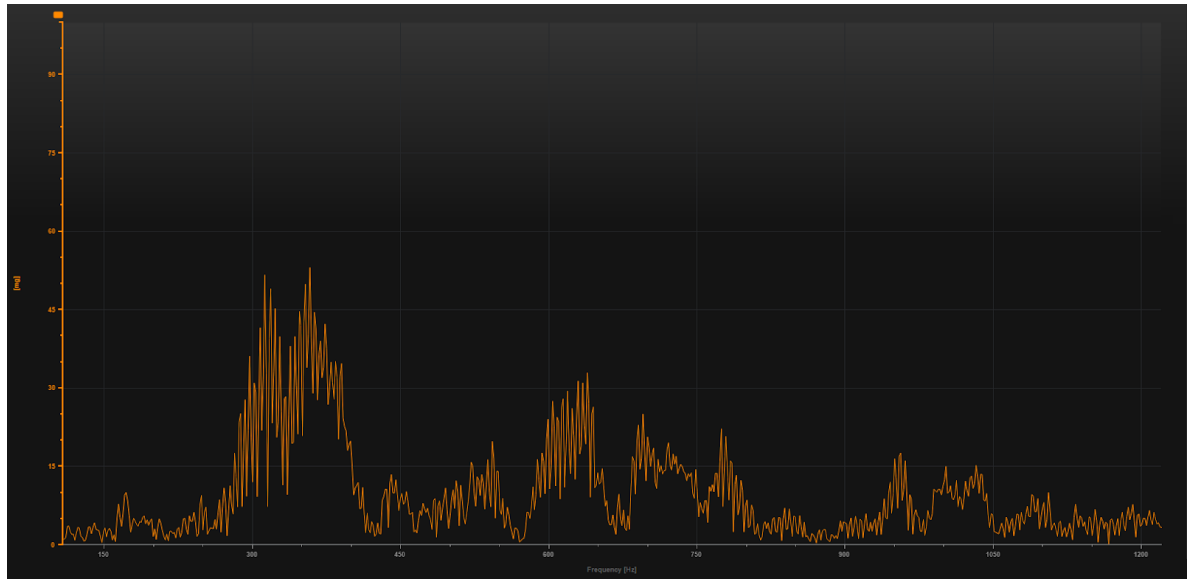
Datum	Ström[A]
2018-05-02	2,382585
2018-05-07	3,08700544
2018-05-14	3,47716695
2018-05-21	2,93175024
2018-06-05	3,74550687



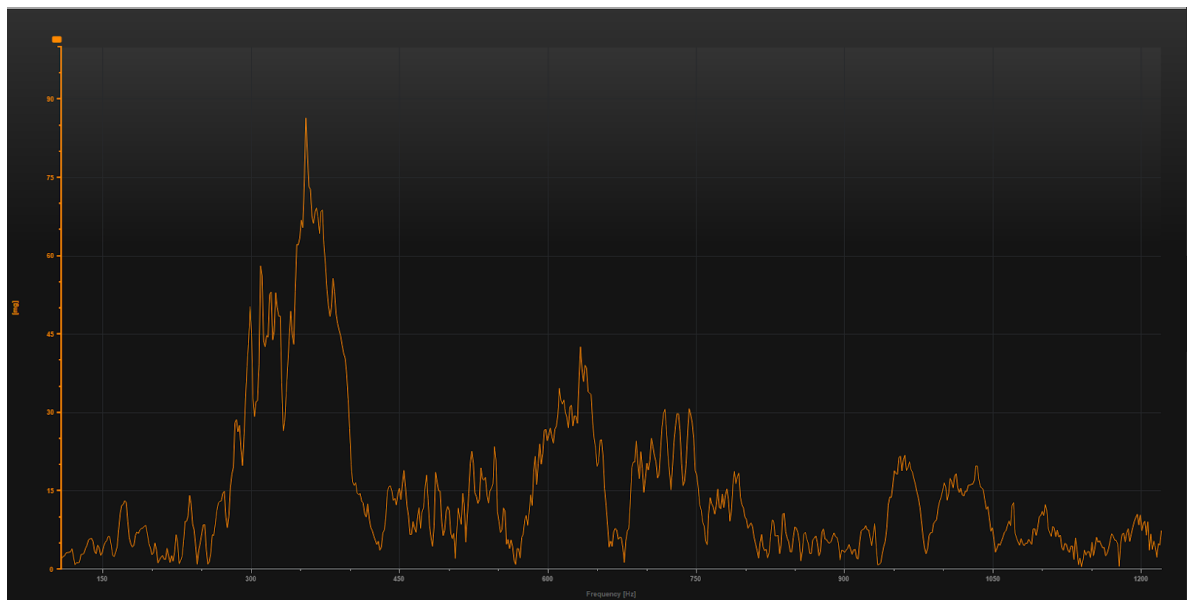
Figur 14. Genomsnittliga strömförbrukningen under mätningarna på maskin 2

En tanke som uppstod under tiden då mätningarna gjordes var ifall man kunde mäta vibrationerna på servomotorn med hjälp av samma vibrationsgivare som tidigare. Servomotorn var inte lika lättåtkomlig som likströmsmotorn, men efter man fäste den gick det att mäta på samma sätt som för likströmsmotorn. Tyvärr visade denna mätning ingenting användbart, utan mätningen drunknade i alla störningar och rörelser från maskinens intermittenta beteende, se figur 15 och figur 16.





*Figur 15. Servomotorn innan slag, hela maskinen i drift. I diagrammet visas kraften i mW över frekvens Hz.*



*Figur 16. Servomotorn vid slag, hela maskinen i drift. I diagrammet visas kraften i mW över frekvens Hz.*



## 6 Slutsats och diskussion

Målet med examensarbetet var att lägga en grund för att skapa ett condition monitoring system på industriella maskiner på företaget som examensarbetet utfördes på. För att dela upp denna uppgift lades i början av arbetet flera frågeställningar som man försökte besvara på under arbetets gång.

Detta var frågeställningarna som ställdes i början av examensarbetet:

- På vilka sätt kan man tillämpa condition monitoring?
- Vilka fördelar samt nackdelar finns det med condition monitoring?
- Vilka mätmetoder finns det och vilka är lämpliga att använda?
- På vilket sätt ska mätdatan analyseras?

Att tillämpa ett condition monitoring system handlar i grunden om att försöka identifiera parametrar som man direkt kan härleda till delens hälsa. Detta för att man sedan enkelt skall kunna planera att genomföra underhåll när det verkligen är nödvändigt istället för att utföra underhåll vid förutbestämda tidpunkter som är onödiga. Detta kan då spara företaget pengar både när det gäller själva underhållet då man inte behöver göra lika frekventa underhåll men även om det skulle visa sig att delar håller på att haverera innan ett underhåll är planerat. Det är speciellt dessa fall som är viktigast att fånga upp. Eftersom ett oväntat haveri kan orsaka att närliggande delar också går sönder vilket kan göra att ett underhåll kan bli mycket större än att man från början bara hade bytt en av delarna. För att kunna identifiera dessa parametrar krävs att en lång datainsamling görs där man följer en maskins livstid och man kan därmed se hur den beter sig i sitt friska tillstånd och man kan framförallt fånga maskinens beteende precis innan ett haveri uppstår. Det är framförallt beteendet innan haveriet som kommer hjälpa att hitta de lämpligaste parametrarna som beskriver maskinens hälsa. All denna data kan sedan användas för att lära upp en självlärande algoritm eller för att sätta gränserna för larm på ett lämpligt sätt. För att genomföra dessa mätningar behöver man antingen välja att använda Simotion Scouts egna tracing system som skall starta mätningar varje gång maskinen startas och spara ner all mätdata till en databas. Eller så kan man välja att lägga vibrationsgivare på lämpliga ställen. Enligt denna undersökning har man dock inte lyckats att hitta ett bra sätt att göra dessa vibrationsmätningar på. Detta eftersom när hela maskinen är i drift finns vissa delar som smäller och därför påverkar mätningarna. Man måste då skapa avancerade algoritmer som inte larmar vid varje smäll utan på något sätt kanske slutar mäta under dessa perioder där en smäll inträffar eller som drar ett medelvärde med dessa peakar inräknade och om medelvärdet ökar så larmar man.

Fördelarna med att implementera ett condition monitoring system är tydliga. Man kan med detta system maximera drifttid och minimera underhållstider. Vilket gör att mycket pengar kan sparas för kunderna och även för företaget ifråga. Nackdelen med systemet är att en lång förundersökning och insamling av data kommer att krävas för att skapa ett väl fungerande system. Det är inte heller säkert att efter dessa resurser har lagts att det kommer vara värt mödan och fungera så mycket bättre än det ursprungliga systemet. Detta på grund av att det kommer vara svårt att skapa ett system som inte innehåller en del falska larm och det kommer vara ett kontinuerligt arbete att förbättra systemet. Man kan också anta att en hel del arbete kommer att krävas på varje ny maskin som skall installeras och grundvärde behöver justeras. Då värdena kan antas att variera från maskin till maskin.

## **6.1 Reflektion över etiska aspekter**

### **6.1.1 Sekretess**

Företaget som examensarbetet utfördes på har haft en önskan om att vara anonyma kring företagsnamn, och därför har det utelämnats helt. Kostnaden var en motivering till vilka komponenter man undersökt, men det är inga siffror som författarna har tagit del av och därför inte nämns i rapporten. Man har även valt att utelägna tillverkaren av vibrationgivaren.

### **6.1.2 Hederskodex**

Ingenjörens hederskodex är en samling punkter som skall spegla det personliga ansvar en ingenjör har, det vill säga att alltid ta hänsyn till människans och samhällets bästa i sitt arbete. detta examensarbete följer ingenjörens samtliga punkter men beror framförallt de två första punkterna [8]:

- *Ingenjören bör i sin yrkesutövning känna ett personligt ansvar för att tekniken används på ett sätt som gagnar människa, miljö och samhälle.*
- *Ingenjören bör sträva efter att förbättra tekniken och det tekniska kunnandet i riktning mot ett effektivare resursutnyttjande utan skadeverkningar.*

### **6.1.3 Samhällsnytta**

Genom att införa condition monitoring kan servicetider och underhåll minska, vilket resulterar i kortare avbrott och mer produktion. Detta innebär att företaget kan lägga mer tid åt utveckling och effektivisering. Utveckling och effektivisering påverkar inte bara företaget, utan även samhället. Ett effektivare underhåll resulterar i mindre slöseri av komponenter som möjligen är friska, och sparar därmed på miljön. Man får även en högre produktion med bättre översikt på maskinens hälsa, vilket resulterar i fler sålda produkter,

högre löner och bättre välmående hos de anställda i form av bättre ekonomi och mindre stress.

## **6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter**

Som tidigare nämnt i arbetet så var tanken med examensarbetet att man skulle presentera en förstudie som företaget kan arbeta vidare på i framtiden. Det långsiktiga målet är att man vidareutvecklar ett system utifrån den förstudie som läggs i denna rapport. Det som i huvudsak behöver granskas mer noggrant är de sätt som vibrationsmätningarna har utförts på eftersom mycket bygger på antagande. Det har också framkommit under examensarbetets gång är att man skulle gjort vibrationsmätningar på de högre frekvenserna också. Eftersom man vet att det finns befintliga condition monitoring system som bygger på vibrationsmätning tillsammans med mätning av oljan i axlarna och lagerhusen, så är det möjligt att denna även detta är en lösning även om det inte har framkommit i denna undersökning om hur detta skulle genomföras.

## 7 Terminologi

**RUL** - Remaining useful life

**CBM** - Condition-based maintenance

**PdM** - Predictive maintenance

**ICT** - Informations- och kommunikationsteknik

**TIA portal** - Totally integrated automation, är ett datorverktyg skapat av siemens

**CM** - Condition monitoring

**Börvärde** - Det förbestämda värdet man vill ha

**Ärvärde** - Det aktuella värdet

**FFT** - Fast fourier transform. Fouriertransformen är en transform som används vid transformering av en funktion i tidsplanet till frekvensplanet. Fast fourier transform är en snabbare variant där en effektivare algoritm används.

## 8 Källförteckning

1. Sendler, U 2018, *The Internet Of Things. [Elektronisk Resurs] : Industrie 4.0 Unleashed*, n.p.: Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer Vieweg, 2018., Library catalogue (Lovisa), EBSCOhost, viewed 18 May 2018
2. Lee, J, Ni, J, Djurdjanovic, D, Qiu, H, & Liao, H 2006, 'Intelligent prognostics tools and e-maintenance', *Computers In Industry*, 57, E-maintenance Special Issue, pp. 476-489, ScienceDirect, EBSCOhost, viewed 16 May 2018.
3. Duffuaa, S, & Raouf, A 2015, *Planning And Control Of Maintenance Systems. [Elektronisk Resurs] : Modelling And Analysis*, n.p.: Cham : Springer International Publishing : Imprint: Springer, 2015., Library catalogue (Lovisa), EBSCOhost, viewed 7 May 2018.
4. Christer, A. & Waller, W. J Oper Res Soc (1984) 35: 401.  
<https://doi.org/10.1057/jors.1984.80>
5. *Totally Integrated Automation Portal*  
<https://w3.siemens.se/home/se/sv/industry/produkter-och-losningar/tia-portal/pages/default.aspx> [2018-05-18]
6. *SIMOTION – the high-end motion control system*  
<https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/motion-control.html> [2018-05-18]
7. Tong, We 2014, *Mechanical Design Of Electric Motors*, n.p.: Boca Raton : Taylor & Francis, [2014], Library catalogue (Lovisa), EBSCOhost, viewed 18 May 2018.
8. *Sveriges ingenjörer - Hederskodex*  
<https://www.sverigesingenjorer.se/Om-forbundet/Sa-tycker-vi/hederskodex/> [2018-05-18]