Högskoleingenjörsutbildning elektroteknik

Grundnivå 15 poäng

# Condition based and predictive maintenance of electric field devices

**Studie om utveckling av underhåll inom ”smart maintenance”**

**AXEL LINDBERG**

STOCKHOLM, SVERIGE 2026

# Condition based and predictive maintance of electric field devices Tillståndsbaserat och prediktivt underhåll av elektriska fältenheter

En studie om utveckling av ”smart maintenance”

Axel Lindberg

Examensarbete inom elektroteknik
Grundnivå, 15 hp
Handledare på KTH: Olof Forsberg
Examinator: Elias Said
TRITA-CBH-GRU-2026:130

KTH
Skolan för kemi, bioteknologi och hälsa
141 52 Huddinge, Sverige

## Sammanfattning

Företagets underhållsstrategi i dag baserad främst på tidsbaserat och förebyggande underhåll, vilket inte i tillräcklig utsträckning tar hänsyn till maskinernas faktiska användning och tillstånd. Detta kan leda till ineffektiv resursanvändning och onödiga driftstopp.

Syftet med detta examensarbete var att undersöka möjligheterna att utveckla en mer datadriven underhållsstrategi genom att integrera volymbaserat, tillståndsbaserat och prediktivt underhåll. Arbetet omfattade en litteraturstudie av etablerade underhållsstrategier samt intervjuer, studiebesök och analys av befintliga datasystem inom företaget. En nulägesanalys genomfördes för att identifiera tillgängliga datakällor, systembegränsningar och utvecklingsmöjligheter.

Resultaten visar att det finns goda förutsättningar att vidareutveckla underhållsstrategier genom att dra nytta av data från sensorer och övervakningssystem, såsom Light Columns. Kombinationen av driftdata, elektriska parametrar, temperatur och vibrationer möjliggör en mer behovsanpassad och tillståndsbaserad strategi.

Studien drar slutsatsen att en integrerad underhållsmodell baserad på volym och tillstånd kan bidra till ökad maskintillgänglighet, minskat antal oplanerade driftstopp samt mer kostnadseffektiv underhållsplanering.



### Nyckelord

Smart Maintenance, Tillståndsbaserat underhåll, Volymbaserat underhåll, Prediktivt underhåll, CBM, PdM

## Abstract

The company's(due the anonymity of the company, the name can't be revealed in this thesis.) current maintenance strategy is primarily based on time-based preventive maintenance, which does not sufficiently account for the actual usage and condition of the equipment. This can lead to inefficient resource utilization and unnecessary downtime.

The aim of this thesis was to investigate the possibilities of developing a more data-driven maintenance strategy by integrating volume-based, condition-based, and predictive maintenance approaches.

The work included a literature review of established maintenance strategies, as well as interviews, onsite visits, and an analysis of existing data systems within the company. A current-state assessment was conducted to identify available data sources, system limitations, and development opportunities.

The results indicate that there are strong opportunities to improve the maintenance strategy by utilizing data from sensors and monitoring systems, such as Light Columns. The combination of operational data, electrical parameters, temperature, and vibration enables a more condition-based and demand-driven approach.

The study concludes that an integrated maintenance model based on usage and condition can contribute to improved machine availability, reduced unplanned downtime, and more cost-effective maintenance planning.

**Keywords**
Smart Maintenance, Condition-Based Maintenance, Volume-Based Maintenance, Predictive Maintenance, CBM, PdM

## Förord

Jag vill tacka min familj som har stöttat mig genom hela arbetet. Har även fina vänner som hjälp mig med rättning. Jag vill även tacka för vägledningen och enorma kunskapen som jag har tagit del av från personer som arbetar på företaget. Ni har gjort denna rapport möjlig. Tack!

# Innehållsförteckning


1 Inledning ..... 1
1.1 Problemformulering ..... 1
1.2 Målsättning ..... 1
1.3 Avgränsningar ..... 1
1.4 Författarnas bidrag till examensarbetet ..... 1
1.5 Etiskt förhållningssätt ..... 1
2 Teori och bakgrund ..... 3
2.1 Reaktivt och korrektivt serviceunderhåll ..... 3
2.2 Preventivt serviceunderhåll ..... 3
2.3 Tillståndsbaserat serviceunderhåll eller Prediktivt serviceunderhåll ..... 3
2.3.1 Tekniker för mätning för prediktivt underhåll ..... 4
2.4 Tidigare forskning ..... 5
3 Metoder ..... 7
3.1 Litteraturstudie ..... 7
3.2 Studiebesök ..... 7
3.3 Intervjuer ..... 7
3.4 Genomgång av mjukvara ..... 7
3.5 Mätningar och simulering ..... 7
3.5.1 Vibrations analys ..... 8
3.5.2 Termografi och Strömmätning ..... 8
3.6 Metodval och begränsningar ..... 8
4 Resultat ..... 9
4.1 Tillgång till system ..... 9
4.2 Begränsningar av system ..... 9
4.3 Datakällor ..... 10
4.3.1 Light-columns ..... 10
4.4 Mätningar ..... 11
4.4.1 Mätningar Av Ström MC1 ..... 12
4.4.2 Mätningar Av MC2 ..... 12
4.4.3 Termografi Av MC1 ..... 13
4.4.4 Informationen från mätningar ..... 13
4.5 Hydraulolja i produktion ..... 13
4.6 Nuvarande Underhållstrategi ..... 14
4.6.1 1 Light Columns byte av delar ..... 14

4.6.2 Tillståndsbaserat Vibrationstyrt underhåll ..... 15
4.6.3 Vibrationsmätningar ..... 15
4.7 Litteraturstudie ..... 15
4.8 Förslag på datamodell ..... 15
4.8.1 Volymbaserat Och Light Columns ..... 16
5 Analys och diskussion ..... 17
5.1 Utmaning större företag ..... 17
5.2 Analys av Ljuspelaren ..... 17
5.3 Överordnade Mjukvaran ..... 17
5.4 Vidareutveckling med hjälp av mekaniker ..... 17
5.5 Mätningar som har skett ute på plats ..... 18
5.6 Möjlig utveckling av framtida underhållssystem ..... 18
5.7 Kostnadsbesparing, hållbarhet och arbetsmiljö ..... 18
5.8 Slutresultat av analysen ..... 19
6 Slutsatser ..... 21
Källförteckning ..... 23
Bilagor ..... 25
Bilaga A – Vibrationspektrum trasig spindel A ..... 25
Bilaga B – Vibrationsmätning spek ..... 26

# 1 Inledning

## 1.1 Problemformulering

Företagets produktionsmiljö är uppbyggd av en produktionslina vars tillverkning till större del utgörs av maskiner samt operatörer. Nuvarande underhållsstrategi baseras till stor utsträckning på förebyggande underhåll med fasta intervaller så som årligen. Detta är oberoende av hur mycket maskinerna faktiskt har körts. Utöver detta tillämpas även reaktivt underhåll, där åtgärder vidtas först efter att fel har uppstått.

Kombinationen av dessa underhållsstrategier kan leda till ineffektiv resursanvändning. Onödiga komponentbyten och/eller oplanerade driftstopp. Detta kan medföra kostnader då produktionen ligger nere. Därmed finns ett behov av mer datadrivna underhållsstrategier som i större utsträckning tar hänsyn till faktisk användning samt maskinernas tillstånd. På så sätt kan oväntade driftstopp undvikas, underhåll planeras och reservdelar finnas på plats.

Syftet med detta är att möjliggöra effektivare användning av tillgänglig data, vilket i förlängningen kan bidra till ökad maskintillgänglighet och minskad risk för oplanerade driftstopp.

## 1.2 Målsättning

Målet med examensarbetet är att utveckla ett förslag till underhållsstrategi som integrerar volymbaserat, prediktivt och tillståndsbaserat underhåll.

Som del av arbetet ingår att ta fram ett konceptförslag på ett så kallat middleware-system. Middleware-system är något som kan hantera olika typer av kommunikationsprotokoll och överföringsmetoder från produktionssystem.

## 1.3 Avgränsningar

Examensarbetet fokuserar på att analysera och utnyttja data som redan samlas in från företagets sensorer och system. Utifrån dessa data har ett förslag tagits fram för hur volymbaserat och prediktivt underhåll kan implementeras på en konceptuell nivå.

Arbetet omfattar inte utveckling eller implementering av egna mjukvaru- eller hårdvarulösningar. Fokus ligger istället på analys, modellering och strategiarbete.

## 1.4 Författarnas bidrag till examensarbetet

Examensarbetet har utförts självständigt av författaren av arbetet. Författaren har utfört studien, planering, dataanalys samt skrivning av rapporten. Hjälp har funnits att tillgå från både handledare på KTH som handledare på företaget.

## 1.5 Etiskt förhållningssätt

Rapportens författare intygar härmed att rapporten är framtagen utan hjälp av generativ AI än för andra ändamål än språkkontroll.

# 2 Teori och bakgrund

Företaget, som är verksamt inom tillverkning av lastbilar, är starkt beroende av tillförlitlig och kontinuerligt fungerande produktionsutrustning för att upprätthålla konkurrenskraft och kostnadseffektivitet. Oplanerade driftstopp till följd av maskinfel kan leda till både produktionsförluster och ökade underhållskostnader.

I dagsläget används främst tidsbaserat underhåll, dagliga operatörs kontroller samt manuella bedömningar som ligger till grund för underhållsbeslut. Dessa metoder är dock begränsade då de inte möjliggör en systematisk bedömning av maskinernas faktiska tillstånd över tid.

## 2.1 Reaktivt och korrektivt serviceunderhåll

Den traditionella formen av underhåll som historiskt sett har dominerat inom industrin är reaktivt, även kallat korrektivt, underhåll.

I praktiken innebär detta att underhållsåtgärder vidtas först när en maskin uppvisar fel eller slutar fungera. Strategin kan medföra betydande risker, beroende på vilken komponent som påverkas och hur kritisk den är för produktionen. [1]

I vissa fall ignoreras mindre defekter och utrustningen tillåts fortsätta i drift fram tills ett fullständigt haveri inträffar. Detta kan leda till att komponenternas livslängd utnyttjas maximalt, men medför samtidigt ökade kostnader, säkerhetsrisker samt längre driftstopp när fel väl uppstår. [2]

## 2.2 Preventivt serviceunderhåll

Ett alternativ till reaktivt och korrektivt underhåll är att man utför preventivt underhåll som baseras på förutbestämda cykliska intervall, antingen tidsbaserade eller användningsbaserade (volymbaserade).

Syftet med preventivt underhåll är att upprätthålla maskinens funktion och minska risken för fel genom regelbundna underhållsåtgärder. Underhållet utförs oberoende av maskinens faktiska tillstånd, vilket innebär att åtgärder planeras även då inga tydliga fel har identifierats i förväg.

Serviceintervall fastställs vanligtvis av tillverkaren och baseras på antaganden om genomsnittligt slitage. Kortare serviceintervall minskar sannolikheten för oväntade haverier, medan längre intervall kan vara mer kostnadseffektiv om tillräcklig kunskap om utrustningens beteende finns. [1]

En begränsning med denna strategi är att den inte tar hänsyn till den faktiska degraderingen av komponenter, vilket kan leda till att fullt fungerande delar ofta byts ut i onödan. Samtidigt bidrar strategin till att minska risken för driftstopp. Detta kan därmed förbättra tillgängligheten i produktionen och minska kostnaderna. [2]

## 2.3 Tillståndsbaserat serviceunderhåll eller Prediktivt serviceunderhåll

Tillståndsbaserat underhåll bygger på att maskinens faktiska tillstånd övervakas kontinuerligt genom diagnostik och mätningar.

Genom att analysera parametrar såsom vibrationer, temperatur, tryck och andra mätvärden kan förändringar i komponenternas tillstånd identifierats och övervakas. När en komponent visar tecken på degradering kan underhållsåtgärder planeras innan fel uppstår. [3]

Tillståndsövervakning möjliggör därmed att underhåll utförs baserat på faktisk kondition snarare än fasta intervaller. Detta innebär att komponenter endast byts ut när det finns indikationer på att deras livslängd börjar nå sitt slut.

Övervakningen genomförs med hjälp av olika typer av sensorer, exempelvis för mätning av vibration, temperatur, tryck och ultraljud. Genom att jämföra insamlad data med referensvärden från normalt fungerande utrustning kan maskinens aktuella tillstånd uppskattas.

Denna metod möjliggör även uppskattning av kvarvarande livslängd hos komponenter, vilket bidrar till att minska oplanerade driftstopp och undvika onödiga underhållsåtgärder.[3]

### 2.3.1 Tekniker för mätning för prediktivt underhåll

Det finns flera olika tekniker inom prediktivt underhåll för att identifiera tidiga tecken på fel och degradering i olika delar av systemet.

Ett exempel är vibrationsanalys, som främst används för att upptäcka fel i mekaniska komponenter. Såsom lager och roterande komponenter. En annan metod är infraröd termografi, för övervakning av elektriska komponenter genom att identifiera temperaturförändringar.

Oljeanalys kan övervaka försämring av smörjmedel, där oljebaserad smörjning används, exempelvis i motorer. [4]

#### *2.3.1.1 Vibration*

Mätning av vibrationer är en central metod inom tillståndsövervakning. En ökning av vibrationer kan bero på slitage i komponenter, obalans i roterande delar eller att infästningar är instabila.

I system med motor- och pumpenheter visar sig fel ofta först genom ökade vibrationer [4]

#### *2.3.1.2 Infraröd Termografi*

Temperaturmätning är en viktig metod inom tillståndsbaserat och prediktivt underhåll, då förändringar i temperatur ofta kan indikera fel eller degradering i ett system. Metoden möjliggör en övergripande analys av systemets funktion utan att påverka eller skada utrustningen.

Övervakningen utförs vanligtvis genom mätning av temperaturer hos kritiska komponenter. Ett vanligt verktyg är infraröd termografi, där en termisk kamera används för att generera en temperaturbild av maskinen. Detta gör det möjligt att identifiera avvikelser i temperaturfördelningen, exempelvis i elektriska komponenter eller kablage.

Genom att jämföra aktuella termiska bilder med tidigare registrerade referensbilder kan förändringar identifieras. För detta krävs att en initial referensnivå etableras, varefter mätningarna utförs regelbundet som en del av underhållsrutinerna.

Den insamlade informationen kan användas som stöd för att följa komponenters degradering och för att identifiera när underhåll eller utbyte av komponenter är nödvändigt. [4]

#### *2.3.1.3 Olje-test*

Analys av smörjmedel kan genomföras på flera olika sätt. Man kan undersöka förekomsten av slitagepartiklar, vatteninnehåll och förändringar i viskositet.

Metoden används ofta inom industrin för att övervaka komponenter som exempelvis kompressorer. Inom transportsektorn är oljeanalys särskilt relevant för dieselmotorer, där det utgör en av de mest tillgängliga metoderna för att bedöma motorns tillstånd. [4]

Val av analysmetod beror ofta på vilken typ av maskin som övervakas samt vilka typer av degraderingsprocesser som kan förekomma, såsom korrosion eller kontaminering med vatten. Detta avgör vilka tester som bör genomföras samt hur ofta analyserna behöver utföras.

Vidare påverkas analysresultatens tillförlitlighet av faktorer såsom typ av smörjmedel, maskinens driftförhållanden samt om oljan filtreras före analys. När oljeanalys genomförs regelbundet och med anpassade intervall kan metoden bidra till att öka komponenternas livslängd och minska risken för oplanerade driftstopp.

## 2.4 Tidigare forskning

Zonta et al. [5] genomförde en systematisk litteraturöversikt om prediktivt underhåll inom Industri 4.0(en term som används för att beskriva nuvarande digitalisering inom industrin). Studien sammanställer tidigare forskning om hur digitalteknik och dataanalys kan användas för att övervaka maskiners tillstånd och identifiera underhållsbehov. Genom att analysera information om maskinernas drift och tillstånd kan avvikelser upptäckas och underhållsåtgärder planeras utifrån maskinernas faktiska behov. Studien visar därmed hur digitalteknik och analys av data kan bidra till utvecklingen av prediktivt underhåll inom industrin.

# 3 Metoder

I denna rapport presenteras metoder och resultat i separata kapitel. Detta val har gjorts för att tydligt skilja mellan de metoder som använts i studien och de resultat som erhållits. Denna uppdelning underlättar läsbarheten och gör det enklare att följa hur resultaten kopplar till de använda metoderna.redovisas.

## 3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes i syfte att identifiera tidigare arbeten inom området samt kartlägga vilka underhållsstrategier som används inom dagens industri. Litteraturstudien bidrog till att skapa en ökad förståelse för problemområdet och fungerade som underlag för den fortsatta utvecklingen av examensarbetet.

## 3.2 Studiebesök

Studiebesök genomfördes inom tillverkningsmiljö i syfte att skapa en förståelse för hur maskiner används i den praktiska produktionen samt för att erhålla en översikt av olika maskintyper. Fokus låg på drift och användningsmönster, medan någon djupare genomgång av maskinernas interna tekniska uppbyggnad, såsom PLC-system, inte ingick.

## 3.3 Intervjuer

Intervjuer genomfördes med en semistrukturerad metod med personer i olika roller inom organisationen, främst chefer inom service och underhåll samt ingenjörer verksamma inom underhåll.

Syftet med intervjuerna var att skapa en bredare förståelse för vilka typer av data och mjukvarusystem som används i produktionen, samt hur tillgången till dessa är organiserad.

Intervjuerna användes även för att kartlägga relevanta datakällor och tillgängliga mjukvarusystem inom verksamheten. Genom denna process identifierades även vilka personer som ansvarade för utveckling och förvaltning av dessa system.

## 3.4 Genomgång av mjukvara

En översiktlig genomgång av tillgänglig mjukvara genomfördes i syfte att skapa en förståelse för vilka typer av data som förekommer när maskiner i produktionen kommunicerar med överordnade övervakningssystem.

Genomgången syftar till att ge en övergripande bild av datatyper och informationsflöden och omfattade inte någon djupare analys av datainnehållet.

## 3.5 Mätningar och simulering

I ett senare skede av arbetet genomfördes mätningar och simuleringar i form av vibrationsmätning, strömmätning och termografi. För att skapa en ökad förståelse för hur utvecklingen av underhållsstrategin kan utformas. Dessa mätningar användes för att identifiera och utvärdera att metoderna i teorin fungerande i praktiken i den aktuella miljön.

### 3.5.1 Vibrations analys

Utifrån den teori som studerats lyftes vibrationsanalys fram som en metod för att upptäcka skador på rörliga komponenter, såsom lager. Under studiebesöket framkom det att de maskiner som används på företaget i stor utsträckning består av rörliga delar. Därför bedömdes vibrationsanalys som en relevant metod att undersöka vidare i praktiken, i syfte att avgöra om den är tillämpbar i den aktuella verksamheten.

Vibrationsanalysen genomfördes på en maskin med tre borrar som stod i horisontellt läge. Detta utfördes genom att en accelerometer monterades på varje spindel(i detta fall ett roterande fäste som sitter fast i maskinen), en i taget. Mätningar utfördes i tre riktningar: x-, y- och z-led. Under mätningen kördes ett serviceprogram på maskinen, vilket möjliggjorde insamling av vibrationsdata. Resultaten registrerades och analyserades via en handdator.

### 3.5.2 Termografi och Strömmätning

I teoridelen identifierades termografi och strömmätning som relevanta metoder för att analysera belastning i motorer och elektriska komponenter. Dessa metoder kan användas för att upptäcka avvikelser och potentiella skador genom övervakning av elektriska och termiska parametrar. Mätningar genomfördes därför för att undersöka om dessa metoder var praktiskt tillämpbara i företagets produktion.

Undersökningen utfördes på en maskin som används för svarvning av metall. Mätningen genomfördes i två steg. Inledningsvis utfördes en termografisk analys, där en värmekamera riktades mot en kontaktor för att registrera dess temperaturfördelning. Syftet var att identifiera eventuella avvikelser i form av förhöjda temperaturer, vilka kan indikera överbelastning eller bristande funktion.

Därefter genomfördes en strömmätning med hjälp av en strömtång, som placerades runt var och en av ledarna kopplade till maskinens motor. Samtliga faser mättes individuellt för att erhålla en fullständig och jämförbar bild av strömfördelningen mellan faserna.

## 3.6 Metodval och begränsningar

Valet av metoderna i denna studie baseras på behovet att uppnå en helhetsbild. För teoretiska och praktiska aspekter av underhållsstrategier. Litteraturstudien användes för att skapa en teoretisk grund, medan intervjuer och studiebesök möjliggjorde en djupare förståelse för hur den praktiska tillämpningen inom verksamheten fungerade.

De metoder som valdes bort var enkätundersökningar då fokus var på att få en grundläggande förståelse om ämnet och inte dra generella slutsatser.

Valda metoder medförde till viss grad begränsningar.

Intervjuer innebär tolkningar, som kan vara subjektiva och studiebesök ger endast en översiktsbild.

Litteraturstudien är beroende på tidigare forskning och källornas kvalitet. Metoderna bedöms trots detta som tillräckligt tillförlitliga för att ge en grund för analys och slutsatser.

# 4 Resultat

Detta kapitel presenterar de resultat som erhållits från studiebesök, intervjuer, genomgång av mjukvara samt analys av företagets struktur. Resultaten inkluderar även observationer från genomförda simuleringar och mätningar av hårdvara.

## 4.1 Tillgång till system

Genom intervjuer och kontakt med rätt personer på företaget gavs åtkomst till systemet som används som mjukvara mot industrin.

Jag har intervjuat 4 personer (benämnda som A, B, C samt D) som jobbar inom företaget för att få en god förståelse för hur processen fungerar.

A. Digital Utvecklare

Via person A fick jag tillgång till begränsningarna som mjukvaran har. Fick även kunskap om oljeanalysmetoder och vad det kan spara företaget om man får det att fungera. Samt även en trendanalys är viktig att kunna lagra och få historik om hur maskinernas kondition. Samt information om hur underhåll strategin ser ut idag och att de har specifika intervall på delarna från tillverkarna.

B Underhålls expert

Här fick jag kunskapen om att hålla nere antal datakällor som ska användas till en liten del för han visade att ju desto fler datakällor som behövs så ökar det exponentiellt med antal maskiner som ska underhållas. Det är därför ett middleware system behövs.

Information om hur den nuvarande underhållstrategin utförs.

C Underhålls Specialist

Med hjälp av C fick jag praktisk hjälp med elmätningar och termografi samt så gav han mig information om hur den nuvarande underhållstrategin utförs.

D Mätningsexpert

Även här fick jag ta del av praktisk kunskap och tekniker för att utföra vibrationsmätningar. D instruerade mig om vilka mätningar som ska brukas för att på effektivast sätt få reda på vilka fel som kan uppstå.

## 4.2 Begränsningar av system

Systemet befinner sig i ett tidigt utvecklingsskede och presenterar i nuläget data i grundläggande format, där signaler anges i generella datatyper såsom boolean och integer, utan ytterligare specifikation.

Systemet möjliggör visualisering av data genom plottning, där exempelvis mätvärden kan presenteras på Y-axeln och tid på X-axeln.

Resultatet från intervjuerna indikerar att systemet fortfarande är under uppbyggnad och att flera funktioner planeras innan det kan användas fullt ut i en produktionsmiljö.

En identifierad begränsning är att det i nuläget saknas tydlig information om vad de enskilda signalvärdena representerar, vilket försvårar tolkning av datan.

## 4.3 Datakällor

Genom tillgång till systemet identifierades att data samlas in via uppkopplade sensorer, installerade på maskinerna. Datainsamlingen omfattar flera typer av mätvärden relaterade till drift och funktion.

De mätvärden som bedömts vara relevanta från intervjuer och teori för detta arbete inkluderar:

| |
|---|
| Motor hastighet |
| Strömm till motorer |
| Position av motorer |
| Temperaturer i delar |
| Oljetemperatur |
| Oljetryck |

*Table 1 Mätvärden*

### 4.3.1 Light-columns

Ett av systemen som används i produktionen är så kallade Light Columns, vilka är kopplade till det överordnade mjukvarusystemet. Light Columns används för att visuellt indikera maskinens status med hjälp av färgsignaler, liknande ett trafikljus.

Systemet ger operatörer en snabb överblick av maskinens aktuella tillstånd direkt i produktionsmiljön. Denna information överförs vidare till det överordnade systemet, där den representeras som numeriska värden, i intervallet 0–7 se tabell 1.

Light Columns är en standardfunktion som ofta inkluderas vid inköp av maskiner från tillverkare och utgör en viktig del av den befintliga infrastrukturen för tillståndsövervakning.

| Red | Yellow | Green | White | Meaning |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | Machine is stopped (regardless mode of operation) |
| 0 | 0 | 0 | 1 | Machine is running in automatic mode without any disturbance. |
| 0 | 0 | 1 | 0 | Undefined state |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Machine is running in automatic mode waiting. |
| 0 | 1 | 0 | 0 | Undefined state |
| 0 | 1 | 0 | 1 | Machine is running in automatic mode with anticipated stop |
| 0 | 1 | 1 | 0 | Undefined state |
| 0 | 1 | 1 | 1 | Machine is running in automatic mode with anticipated stop, waiting. |
| 1 | 0 | 0 | 0 | Machine is in automatic mode with alarm causing production stop. |
| 1 | 0 | 0 | 1 | Undefined state |
| 1 | 0 | 1 | 0 | Undefined state |
| 1 | 0 | 1 | 1 | Undefined state |
| 1 | 1 | 0 | 0 | Undefined state |
| 1 | 1 | 0 | 1 | Undefined state |
| 1 | 1 | 1 | 0 | Undefined state |
| 1 | 1 | 1 | 1 | Undefined state |

*Table 2 Utformning Light Columns i form av olika ”states”*

## 4.4 Mätningar

Mätningar genomfördes på två motorer, benämnda MC1 och MC2.

Den registrerade drifttiden för motorerna uppgick till:

MC1: 6651 driftstimmar

MC2: 6789 driftstimmar

Det bör noteras att registreringen av driftstid påbörjades cirka ett år före genomförandet av mätningarna, vilket innebär att värdena representerar en begränsad tidsperiod snarare än motorernas totala livslängd.

Mätningarna utfördes vid kontaktorn till respektive motor, vilket möjliggjorde insamling av elektriska parametrar relaterade till drift.

De tekniska specifikationerna för motorerna var:

| | |
|---|---|
| | 0.92 kW |
| | 1.7 A |

*Table 3 Specifikationer Motorer*

### 4.4.1 Mätningar Av Ström MC1

Strömmätningar utfördes med hjälp av en strömtång.

För motor MC1 uppmättes följande värden på faserna L1, L2, L3. Med följande Amperevärden(A). Se respektive figurer under:

| |
|---|
| L1 0.81 A |
| L2 0.84 A |
| L3 0.82 A |

*Table 4 Mätvärden MC1*

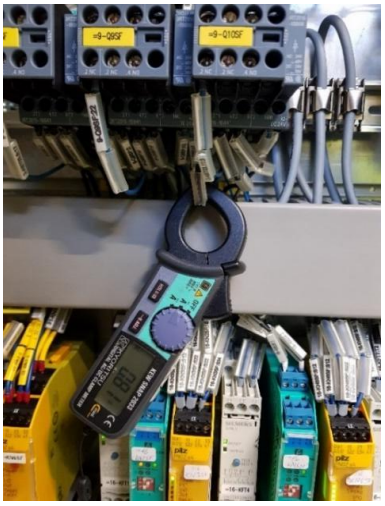


*Figure 3 Strömmätning Mätning Fas 1 0.81A*

*Figure 2 Strömmätning Mätning Fas 2 0.84A*

*Figure 1 Strömmätning Mätning Fas 3 0.82A*

### 4.4.2 Mätningar Av MC2

Vid mätningar på MC2 som har gått lika många timmar som MC1 uppmättes följande värden på faserna L1, L2, L3. Med följande Amperevärden(A). Se respektive figurer under:

| |
|---|
| L1 0.77 A |
| L2 0.81 A |
| L3 0.80 A |

*Table 5 Värden MC2*

De uppmätta värdena är likartade mellan motorerna, vilket är förväntat då de har haft en liknande drifttid sedan registreringen påbörjades. Enligt teknisk personal bör motorer med liknande driftförhållanden uppvisa jämförbara strömnivåer.

*Figure 4 0.77A Strömmätning Mätning Fas 1 0.77A*

*Figure 5 0.81A Strömmätning Mätning Fas 2*

*Figure 6 0.80A Strömmätning Mätning Fas 3*

### 4.4.3 Termografi Av MC1

I samband med strömmätningarna genomfördes även temperaturmätningar med hjälp av termografi.

De uppmätta temperaturvärdena vid kontaktorn för motor MC1 synes vid figur 7 uppgick till 37,9 °C, vilket ligger inom ett intervall som kan betraktas som normalt för denna typ av utrustning under drift enligt tekniker på plats.

*Figure 7 Termografi foto vid kontaktor för MC1*

### 4.4.4 Informationen från mätningar

Med information från de utförda mätningarna får man en sammantagen bild att de är praktiskt genomförbara.

## 4.5 Hydraulolja i produktion

Resultaten från undersökningen av hydraulolja visar att felsökning i nuläget i stor utsträckning endast sker i samband med larm. Samtidigt är tillgången till historisk data begränsad, vilket medför att mindre avvikelser, såsom mindre läckage, riskerar att inte upptäckas i tid.

Information som framkommit från intervjuer indikerar att det finns ett behov av kontinuerlig övervakning av kritiska parametrar.

| |
|---|
| Kontinuerlig nivåövervakning |
| Larm vid mindre avvikelser |
| Tidig rotorsaksanalys(RCA). |

*Table 6 Kritiska parametrar*

Det i kombination med historisk data och möjligheter till trendanalyser. Vidare efterfrågades förbättrade larmfunktioner som kan identifiera mindre avvikelser i ett tidigt skede.

Enligt uppgifter från intervjuer kan ett sådant system bidra till betydande kostnadsbesparingar, uppskattningsvis omkring 16 400 SEK per förebyggt underhålls tillfälle relaterat till oljebyte eller inspektion.

## 4.6 Nuvarande Underhållstrategi

Genomförda intervjuer visar att den nuvarande underhållsstrategin huvudsakligen baseras på förebyggande underhåll. I form av regelbundna kontroller före eller mellan skift, detta kan variera beroende på maskintyp och användningsgrad.

För majoriteten av utrustningen kontrolleras ungefär en gång per vecka. Vissa typer av kontroller, såsom vibrationsmätningar, genomförs mer sällan, exempelvis var tredje månad eller vid behov.

Underhållsstrategier följer i stor utsträckning tillverkarens rekommendationer och baseras därmed på tidsbestämda intervall. Resultaten visar att detta leder till en kombination av olika underhållsmetoder, där både tidsbaserade och manuella bedömningar används.

Det framkommer även att arbetssätten varierar beroende på utrustning samt organisatoriska faktorer.

### 4.6.1 1 Light Columns byte av delar

Genom användning av Light Columns kan maskinens driftstatus registreras över tid. Denna information möjliggör skapandet av en räknare som representerar hur länge en maskin faktiskt är i drift.

Genom att kombinera denna driftinformation med tillverkarens rekommendationer för komponenters livslängd kan ett mått tas fram för återstående livslängd hos olika delar. På så sätt kan tidpunkten för komponentbyte baseras på faktisk användning snarare än enbart tidsintervall.

Detta utgör en grund för ett volymbaserat underhåll där service planeras utifrån maskinens verkliga belastning.

Resultaten visar att tillståndsbaserat underhåll kan baseras på övervakning av elektriska parametrar, såsom strömförbrukning.

För att möjliggöra detta krävs kontinuerlig övervakning eller återkommande mätningar över tid. Mätning av ström ger en indikation på belastningen hos motorn och därmed hur hårt systemet arbetar.

Temperaturmätningar genom termografi kan komplettera denna information genom att visa hur komponenter som kontaktorer belastas under drift.

För att erhålla jämförbara resultat är det viktigt att mätningar utförs under liknande driftförhållanden och vid samma typ av arbetsuppgift enligt intervjuer.

Den mjukvara som idag används är en prototyp. Den har idag en del begränsningar när det kommer till termografi men den har en fullt fungerande strömövervakning.

### 4.6.2 Tillståndsbaserat Vibrationstyrt underhåll

Resultat från intervjuer och observationer visar att vibrationsanalys är en etablerad metod för att identifiera mekaniska fel, särskilt relaterade till lager och andra slitagedelar.

Genom analys av vibrationsdata, exempelvis via ett frekvensspektrum, kan avvikelser identifieras som indikerar degradering eller skador i komponenter.

Metoden används även för att övervaka verktyg i produktionen, såsom borrverktyg, där förändringar i vibrationsmönster kan indikera slitage.

I nuläget genomförs denna typ av analys i stor utsträckning manuellt, och resultaten dokumenteras samt följs upp över tid genom visualisering i diagram och grafer.

### 4.6.3 Vibrationsmätningar

Vibrationsmätningarna uppmättes i syfte att identifiera skillnader mellan ett fungerande samt ett defekt tillstånd.

Mätningarna utfördes på två olika spindlar i samma maskin. Bilaga A visar frekvensspektrum från en spindel med misstänkt fel, vilket indikeras av tydliga och kraftiga frekvenstoppar. Bilaga B visar motsvarande mätning från en fullt fungerande spindel, där amplituderna är betydligt lägre och spektrumet är mer jämnt fördelat. Vid jämförelsen bör även skillnader i skala mellan figurerna tas i beaktning.

Jämförelsen mellan dessa mätningar möjliggör identifiering av avvikelser i vibrationsmönster som kan härledas till mekaniska fel i spindeln.

## 4.7 Litteraturstudie

Under projektets gång så utfördes en litteraturstudie. Där det framkom att det fanns tre stycken underhållsmetoder som används främst. Reaktivt underhåll, prediktivt underhåll samt preventivt-/tillståndsbaserat underhåll. I litteraturstudien framkom även att följande metoder användes för kontroll av hälsan på maskinen, Vibrationsanalys, Termografi och Strömmätning. Under mina praktiska tester så kan man konkludera att resultatet av litteraturstudien samt dom praktiska mätningarna var möjliga att utföra.

## 4.8 Förslag på datamodell

Resultat från intervjuer och studiebesök visar att mängden tillgänglig data är omfattande och varierar mellan olika typer av utrustning. Detta innebär att hantering och strukturering av data utgör en central utmaning.

Ett identifierat behov är därför ett mellanliggande system (middleware) som kan hantera olika datatyper och kommunikationsprotokoll från produktionsutrustning.

Denna typ av middleware skulle främja tidsbaserat underhåll och kan byggas upp kring så kallade Lightcolumns. Ett sådant system finns redan på alla maskiner och kan användas för att visualisera hur länge maskinen faktiskt varit i drift.

För prediktivt samt tillståndsbaserat underhåll är flera metoder relevanta. Oljebaserat underhåll, vibrationsanalys, termografi och strömanalys är alla möjliga att genomföra ute i produktionen. Dessutom är detta  etablerade system som kan bedöma maskinens tillstånd. Dessa metoder utgör därför lämpliga kandidater att integrera i ett middleware-system. Detta i samband med nuvarande mjukvaruprototyp. Detta kan användas tillsammans med de maskiner som innehåller rörliga komponenter, olja, motorer och elektriska komponenter.

### 4.8.1 Volymbaserat Och Light Columns

Genom studiebesök och intervjuer identifierades Light Columns som en relevant datakälla för att beskriva maskinernas driftstatus.

Light Columns används för att indikera maskinens tillstånd med hjälp av olika signalnivåer, vilka kan tolkas som olika driftsstatus, exempelvis aktiv produktion eller stillastående.

Resultaten visar att denna information kan förenklas till två huvudkategorier:

| |
|---|
| Maskinen är i drift (producerar) |
| Maskinen är i stillestånd (producerar inte) |

*Table 7 Förenklade statusar*

Denna uppdelning möjliggör en förenklad modell där slitagenivå kopplas till faktisk användning. Under perioder då maskinen är i drift sker kontinuerligt slitage, medan slitaget är begränsat under stillestånd se figur 9.

Detta skapar en grund för att utveckla en volymbaserad underhållsstrategi där serviceintervall baseras på faktisk användning snarare än enbart tidsintervall.

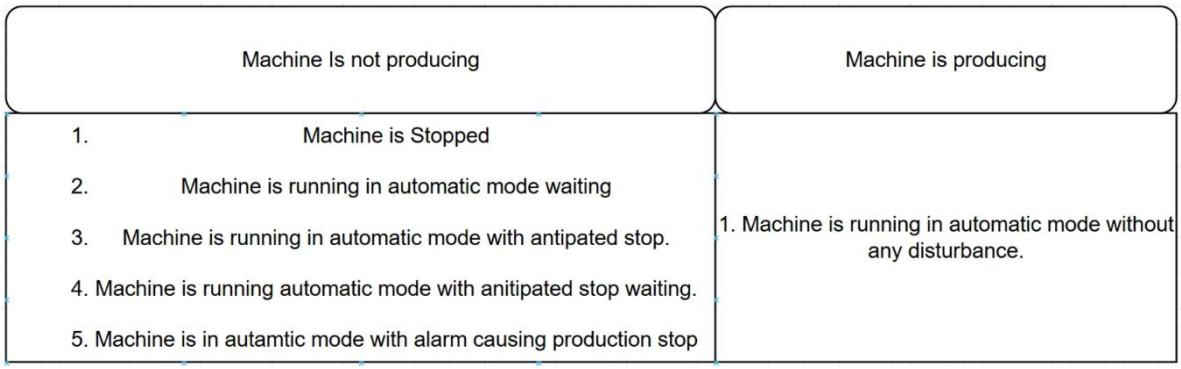



*Figure 8 Light Columns förenklad mall*

# 5 Analys och diskussion

## 5.1 Utmaning större företag

En utmaning under arbetets gång var att hitta rätt kontaktpersoner för nödvändig information. Processen innebar ofta att flera olika funktioner behövde kontaktas, vilket i vissa fall ledde till att informationssökningen inte gav önskat resultat.

Samtidigt framkom att detta är vanligt inom större organisationer, där kunskap och ansvar är fördelade över flera roller och avdelningar. Trots detta var personalen generellt hjälpsam och bidrog till att möjliggöra datainsamlingen.

## 5.2 Analys av Ljuspelaren

Den föreslagna användningen av Light Columns som grund för volymbaserat underhåll är inte den mest exakta metoden för att mäta faktisk belastning. En mer precis lösning hade varit att använda registrerade drifttimmar via dedikerade mätare.

I nuläget saknas dock sådan funktionalitet på flera av maskinerna i produktionen, och implementation av drifttidsmätare är fortfarande under utveckling. För att kunna uppnå detta krävs sannolikt manuell installation eller uppgradering av befintlig utrustning.

Mot bakgrund av dessa begränsningar framstår Light Columns-baserad övervakning som en praktiskt genomförbar lösning i det nuvarande systemet. Metoden möjliggör en förenklad uppskattning av maskinernas drifttid genom att skilja mellan aktiv produktion och stillestånd, vilket kan användas som grund för ett volymbaserat underhåll.

Även om metoden innebär en lägre noggrannhet jämfört med direkt mätning av drifttimmar, erbjuder den en fungerande lösning baserat på de system och data som i dagsläget är tillgängliga i produktionen.

## 5.3 Överordnade Mjukvaran

Kommunikationen mellan det överordnade mjukvarusystemet och den underliggande hårdvaran befinner sig fortfarande i ett utvecklingsskede, vilket har påverkat tillgången till data under arbetet.

En central begränsning i analysen var osäkerheten kring datans omfattning. Det var i flera fall oklart huruvida den tillgängliga datan representerade den fullständiga informationsmängden för den aktuella maskinen, eller om ytterligare data ännu inte hade implementerats i systemet.

Denna osäkerhet försvårade tolkningen av resultat och visar på vikten av tydligt definierade datakällor samt en mer mogen systemarkitektur för att möjliggöra tillförlitlig dataanalys.

## 5.4 Vidareutveckling med hjälp av mekaniker

Resultat från intervjuer visar att det redan idag finns personal i verksamheten med hög kompetens inom vibrationsanalys, och som manuellt kan tolka mätdata för att identifiera avvikelser och slitage.

Under arbetets gång framkom även att denna kompetens är väl etablerad av folk som arbetar mot produktionen, där erfaren personal aktivt bidrar till felsökning och bedömning av utrustningens

tillstånd. Denna praktiska kunskap utgör en viktig resurs i utvecklingen av mer avancerade, automatiserade system för tillståndsbaserat underhåll.

Den kunskap som idag används manuellt kan därmed formaliseras och integreras i digitala lösningar för kontinuerlig övervakning. Samtidigt framkom att manuella mätningar i dagsläget uppfattas som mer exakta än automatiserade lösningar.

Detta innebär att en övergång till automatiserad övervakning bör ske stegvis, där befintlig expertkunskap används som referens för att säkerställa kvalitet och tillförlitlighet i de nya systemen.

## 5.5 Mätningar som har skett ute på plats

Det bästa hade varit att strukturera någon form av test som sker fortgående och lagra informationen som tas ut över en längre tid. För att sedan få ut maskinens kondition efter ett tidsintervall. Detta kunde dessvärre ej genomföras då tiden inte fanns att följa med en anställd varje vecka under en längre tid. Det var även under sista veckorna som möjlighet gavs att göra dessa tester.

## 5.6 Möjlig utveckling av framtida underhållssystem

En viktig insikt från examensarbetet är att flera mätparametrar kan användas som grund för ett automatiserat tillståndsbaserat underhållssystem. Dessa inkluderar analys av strömförbrukning, termografi, vibrationsmätningar samt oljeanalys.

Genom att samla in och analysera dessa parametrar över tid finns potential att utveckla modeller som beskriver maskinernas tillstånd och prestanda. En sådan datadriven strategi kan bidra till betydande kostnadsbesparingar genom att möjliggöra mer träffsäkert och behovsanpassat underhåll.

För att säkerställa jämförbara och tillförlitliga mätningar bör datainsamlingen ske genom ett standardiserat testförfarande som genomförs vid återkommande tillfällen. Ett möjligt angreppssätt är att köra ett definierat testprogram en till två gånger per dag, exempelvis under produktionsuppehåll, för att undvika att störa den ordinarie driften.

Ett sådant testupplägg skulle möjliggöra att mätningar utförs under liknande förhållanden varje gång, samtidigt som maskinerna hålls i ett stabilt driftläge. Detta kan även minska risken för temperatursvängningar och negativa effekter vid uppstart, då utrustningen inte hinner kylas ner i samma utsträckning mellan mätningarna.

Resultaten från vibrationsmätningarna visade att metoden kan identifiera specifika degraderingar i komponenter. Såsom lager eller andra rörliga delar som är på väg att försämras. I nuläget genomförs dessa mätningar med relativt långa intervall, exempelvis var tredje månad.

En ökad mätfrekvens, baserad på automatiserad datainsamling, skulle därmed kunna ge en mer detaljerad bild av hur maskinernas tillstånd förändras över tid. Genom att kombinera sådan historisk data med analysmetoder och datadrivna modeller, exempelvis baserade på maskininlärning, kan det bli möjligt att uppskatta kvarvarande livslängd för komponenter och därigenom förbättra planeringen av underhållsåtgärder.

## 5.7 Kostnadsbesparing, hållbarhet och arbetsmiljö

Implementeringen av en mer datadriven underhållsstrategi kan medföra betydande kostnadsbesparingar. Genom att basera underhållsåtgärder på maskinernas faktiska tillstånd kan

komponenter användas närmare sin maximala livslängd, vilket minskar behovet av förtidiga komponentbyten.

Samtidigt kan oplanerade driftstopp medföra höga kostnader, exempelvis i form av produktionsbortfall och stillestånd där personal inte kan utföra sitt arbete.

Genom att bättre kunna förutsäga när en komponent närmar sig slutet av sin livslängd skapas möjligheten att planera underhåll mellan skift eller under planerade stopp. Detta bidrar till en mer effektiv resursanvändning och minskade produktionskostnader.

Ur ett hållbarhetsperspektiv kan en mer exakt bedömning av komponenters tillstånd leda till minskad resursförbrukning. Genom att undvika onödiga komponentbyten minskar behovet av tillverkning av reservdelar, vilket i sin tur reducerar den totala miljöpåverkan.

Arbetsmiljön påverkas både positivt och negativt. Ökad digitalisering och övervakning kan leda till att färre manuella inspektioner behöver utföras, vilket minskar den fysiska belastningen och risken för arbete i utsatta miljöer. Samtidigt innebär utvecklingen att mer arbete förflyttas till övervakning via system, vilket kan förändra arbetsroller och minska behovet av närvaro i produktionen. Detta ställer krav på nya kompetenser och anpassning av arbetsorganisationen.

## 5.8 Slutresultat av analysen

En möjlig framtida lösning för volymbaserat underhåll är att etablera en strukturerad datainsamling av maskinernas drifttimmar. Genom att registrera och lagra denna information kan den jämföras med tillverkarens rekommendationer för komponenters livslängd, vilket möjliggör en mer systematisk planering av underhållsåtgärder.

För att uppnå en högre noggrannhet kan denna metod kompletteras med analyser av komponenters faktiska tillstånd, vilket ger en mer detaljerad bild av slitaget och den återstående livslängden.

Samtidigt innebär en sådan lösning ökad komplexitet, vilket gör att en mer effektiv strategi kan vara att vidareutveckla tillståndsbaserat underhåll. Genom att övervaka centrala parametrar såsom vibration, temperatur (termografi) och strömförbrukning kan maskinens tillstånd bedömas i realtid och underhållsåtgärder anpassas efter behov.

En ytterligare utvecklingsmöjlighet är att i ett tidigt skede samarbeta med maskintillverkare, för att integrera sensorer och övervakningssystem direkt i utrustningen. Detta skulle möjliggöra kontinuerlig övervakning av komponenters tillstånd och automatiska larm vid avvikelser, vilket i sin tur kan bidra till att minska risken för oplanerade driftstopp.

Sammantaget visar analysen att en kombination av strukturerad datainsamling, tillståndsövervakning och integrerade systemlösningar utgör en robust grund för framtida underhållsstrategier.

# 6 Slutsatser

En central slutsats från examensarbetet är att mycket av den kunskap och de resurser som krävs för att utveckla datadrivna underhållsstrategier redan finns inom organisationen. Resultaten visar att det finns både teknisk data och hög kompetens hos personal som arbetar nära inom produktionen, samt hos de som utvecklar mjukvarusystem.

Under arbetets gång framkom dock att denna kunskap ofta är spridd mellan olika personer och funktioner, vilket i flera fall gjorde det svårt att identifiera rätt kontaktpersoner. Detta innebar att relevant information inte alltid nådde fram, trots att den fanns tillgänglig inom organisationen.

Detta indikerar att utmaningen inte främst ligger i brist på data eller kompetens, utan snarare i hur information delas och kommuniceras mellan olika delar av verksamheten. Samtidigt framgår att den expertis som finns, både inom produktionen och inom mjukvaruutveckling, utgör en viktig grund för vidare utveckling.

Examensarbetet visar därmed att utvecklingen av avancerade underhållsstrategier inte enbart är en teknisk utmaning, utan också en organisatorisk fråga där samordning, dataintegration och kunskapsöverföring mellan olika roller spelar en avgörande roll.

Målen som formulerades i kapitel 1 har delvis uppnåtts. Arbetet har resulterat i en översikt av möjliga underhållsstrategier samt identifierat relevanta metoder för att utveckla en mer datadriven underhållsmodell. Resultaten visar dock att en fullständig implementation kräver en mer omfattande undersökning samt ett mer moget och utvecklat system för datainsamling och analys. Detta innebär att de föreslagna lösningarna i nuläget bör ses som konceptuella, men med god potential för vidare utveckling.

Sammanfattningsvis visar arbetet att potentialen för datadrivet underhåll är stor, men att organisatoriska och tekniska förutsättningar behöver utvecklas för att möjliggöra en fullständig implementation.

## Källförteckning

[1] Stenström C, Norrbin P, Parida A, Kumar U. Preventive and corrective maintenance - cost comparison and cost-benefit analysis. Structure and infrastructure engineering. 2016;12:603–17.

[2] Azizi A, Azizi. Smart Diagnostics and Predictive Maintenance. 1st ed. 2026. Singapore: Springer Nature Singapore; 2026.

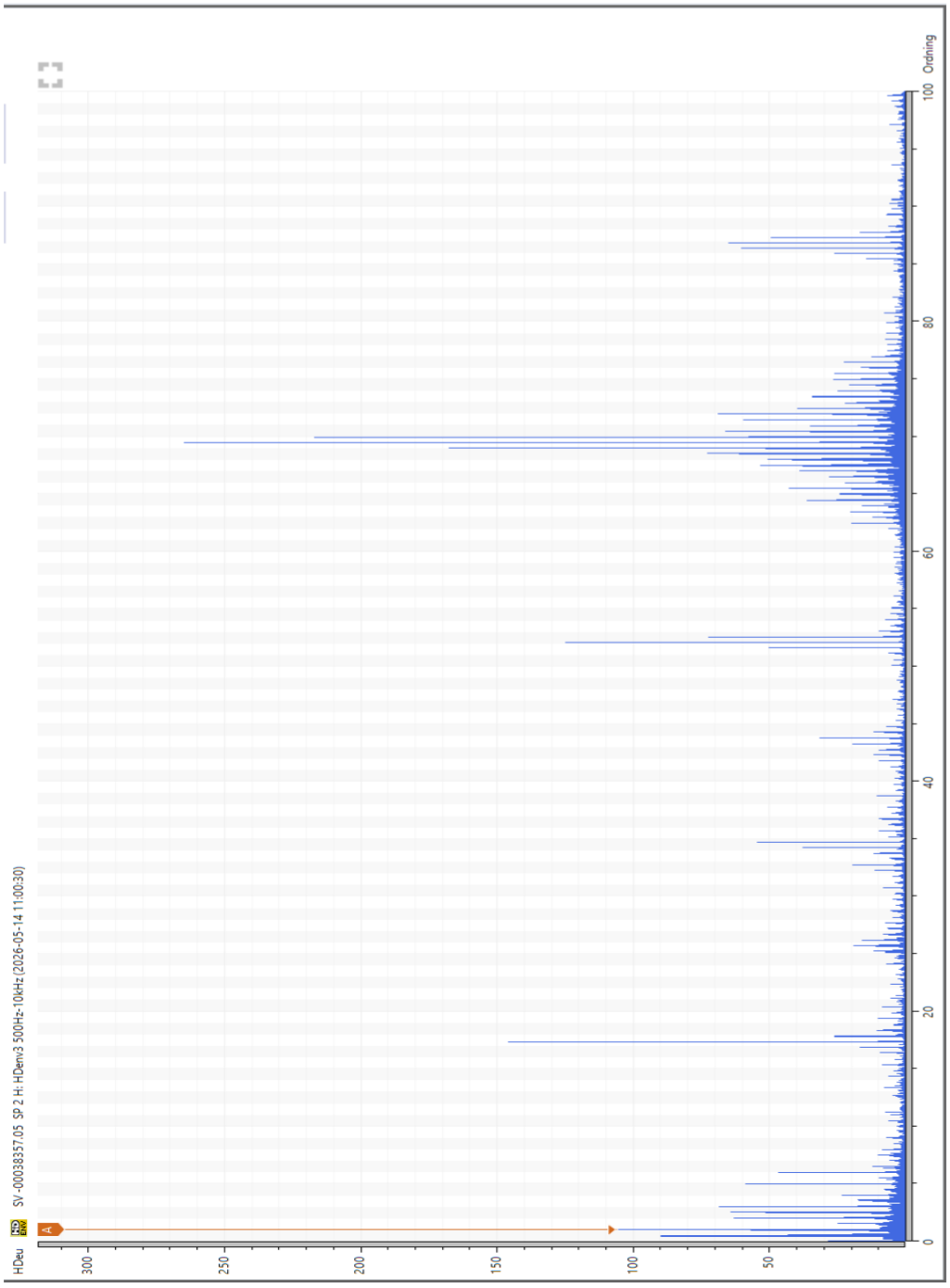
[3] Alaswed MAM, Sinha JK. The development of a condition-based maintenance (CBM) framework for freight locomotives – AC traction motors case study. Journal of quality in maintenance engineering. 2025;31:305–24.

[4] Bakrī ʿAdnān, Mohd Szali Januddi MAF. Systematic Industrial Maintenance to Boost the Quality Management Programs. 1st ed. 2020. Cham: Springer International Publishing; 2020. s.13-18

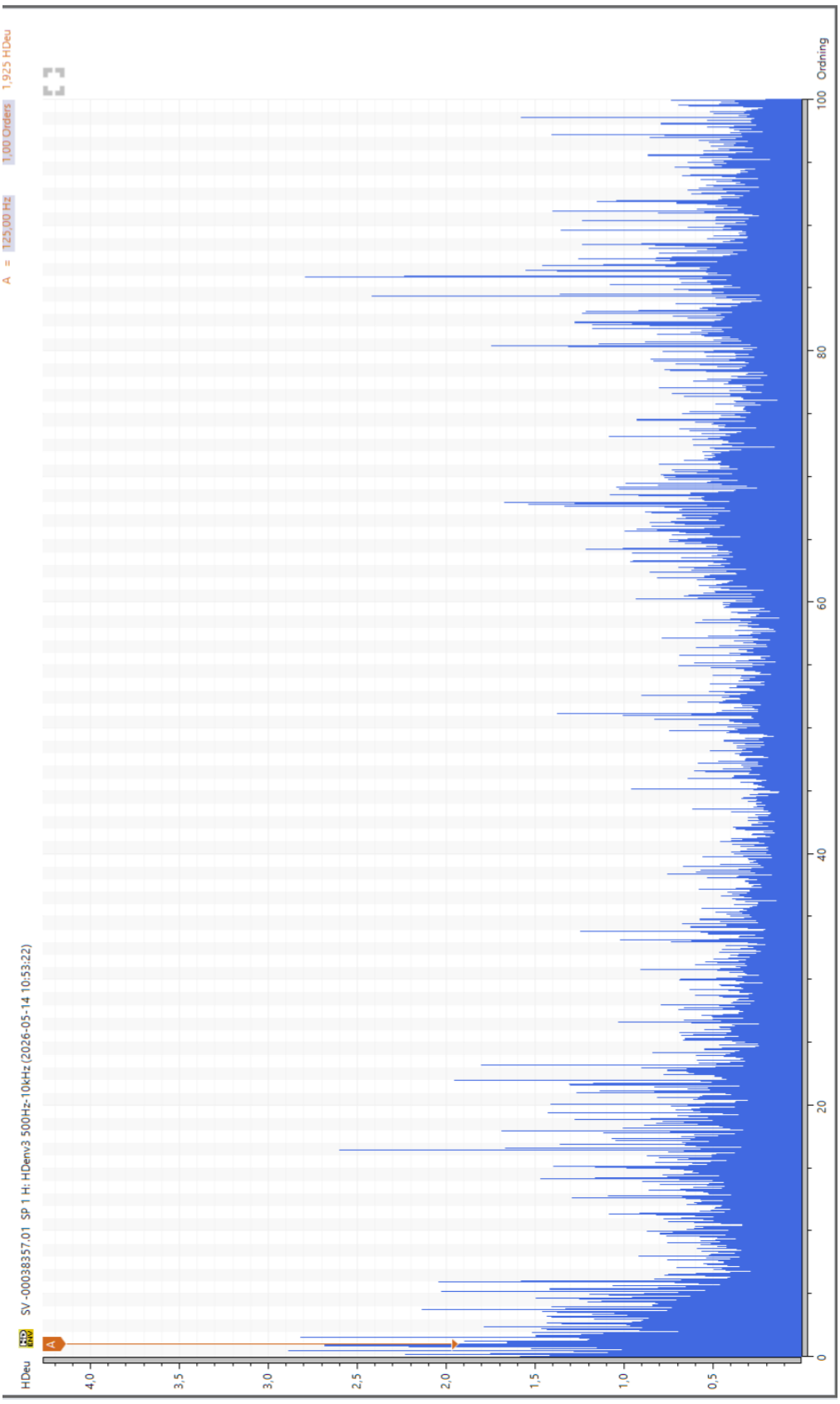
[5] Zonta T, da Costa CA, da Rosa Righi R, de Lima MJ, da Trindade ES, Li GP. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering. 2020 Dec;150:106889. doi:10.1016/j.cie.2020.106889

# Bilagor

## Bilaga A – Vibrationspektrum trasig spindel A



# Bilaga B – Vibrationsmätning spek



TRITA – CBH-GRU 2026:130

www.kth.se