

# **Förbättring av arbetsmetoder för uppföljning av cylinderfodrets och kolvens kondition**

Benjamin Söderblom

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Ingenjör (YH), Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2025

## EXAMENSARBETE

Författare: Benjamin Söderblom  
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa  
Inriktning: Drift- och processteknik  
Handledare: Tobias Ekfors, Isak Lindén

Titel: Förbättring av arbetsmetoder för uppföljning av cylinderfodrets och kolvens kondition

---

Datum: 9.5.2025

Sidantal: 28

---

### Abstrakt

För tillfället använder sig Wärtsilä av ett digitalt konditionsövervakningsverktyg som heter Expert Insight. Verktyget är utvecklat och menat för fartyg eller kraftverk som använder sig av Wärtsiläs motorer. Expert Insight granskar dagligen fartyg via verktyget, övervakaren av Expert Insight ser sedan till att motorerna fungerar till optimal effektivitet. Expert Insight bygger på två olika diagnostiska metoder, den ena är regelbaserad diagnostik och den andra använder sig av artificiell intelligens.

Examensarbetet syfte var att skapa en grundläggande kartläggning för tillvägagångssätt vid noterade avvikelser relaterat till cylindern. Kartläggningen skapas med hjälp av undersökningar från gamla fall i Expert Insight. Målet var att kunna skapa ett förtydligande tillvägagångssätt och utöka kunskapen inom problem som kan uppstå.

Examensarbetets resultat förklarar tillvägagångssätt vid olika händelser av noterade avvikelser. Dessa tillvägagångssätt är resultaten av flera fall som har undersökts med hjälp av Expert Insight. Fallen som undersökts har exempelvis gett indikationer på för höga temperaturer i cylinderfodret eller varit situationer där motorhaveri uppstått.

---

Språk: svenska

Nyckelord: konditionsövervakning, Expert Insight, övervakningssystem, cylinderfoder

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Benjamin Söderblom  
Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa  
Suuntautumisvaihtoehto: Käyttö- ja prosessitekniikka  
Ohjaajat: Tobias Ekfors, Isak Lindén

Nimike: Sylinteriputken ja männän kunnon seurannan työmenetelmien parantaminen

---

Päivämäärä: 9.5.2025

Sivumäärä: 28

---

### Tiivistelmä

Tällä hetkellä Wärtsilä käyttää digitaalista kunnonvalvontatyökalua nimeltä Expert Insight. Työkalu on kehitetty ja tarkoitettu käytettäväksi aluksissa tai voimalaitoksissa, jotka käyttävät Wärtsilän moottoreita. Expert Insight valvoo päivittäin aluksia, ja järjestelmän valvoja huolehtii siitä, että moottorit toimivat optimaalisella tehokkuudella. Expert Insight perustuu kahteen erilaiseen diagnostiikkamenetelmään: sääntöpohjaiseen diagnostiikkaan sekä tekoälyn hyödyntämiseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda perustason kartoitus menettelytavoista, kun sylinteriin liittyviä poikkeamia havaitaan. Kartoitus koostettiin aiempien Expert Insight -tapauksien tutkimusten perusteella. Tavoitteena oli selkeyttää menettelytapoja ja laajentaa tietämystä mahdollisista ongelmista.

Opinnäytetyön tulokset kuvaavat menettelytapoja erilaisissa havaituissa poikkeamatilanteissa. Nämä menettelytavat ovat useiden Expert Insightin avulla tutkittujen tapauksien tuloksia. Tutkituissa tapauksissa ilmeni muun muassa liian korkeita sylinteriputken lämpötiloja tai moottorivaurioita.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: kunnonvalvonta, Expert Insight, valvontajärjestelmät, sylinteriputki

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Benjamin Söderblom  
Degree Program: Mechanical and Production Engineering, Vasa  
Specialization: Operation and Process Technology  
Supervisor(s): Tobias Ekfors, Isak Lindén

Title: Improvement of Work Methods for Monitoring the Condition of the Cylinder Liner and Piston

---

Date: 9.5.2025

Number of pages: 28

---

### **Abstract**

At present, Wärtsilä employs a digital condition monitoring tool known as Expert Insight. This tool has been developed specifically for vessels and power plants operating with Wärtsilä engines. Expert Insight conducts daily monitoring of vessels, and the system's supervisors ensure that the engines are maintained at optimal performance levels. The platform utilizes two distinct diagnostic methodologies, rule-based diagnostics and artificial intelligence-driven diagnostics.

The objective of this thesis was to establish a foundational framework for the procedures to be followed in response to detected cylinder-related deviations. This framework was developed through the analysis of historical cases within Expert Insight. The aim was to create a clarified procedural approach and to enhance the overall understanding of issues that may arise.

The findings of the thesis outline recommended procedures for various events involving detected deviations. These procedures are derived from the examination of multiple cases analyzed via Expert Insight. The cases studied provided indications of elevated cylinder liner temperatures or incidents where engine failures had occurred.

---

Language: Swedish

Key words: condition monitoring, Expert Insight, monitoring system, cylinder liner

# Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och målsättning .....	2
1.3	Avgränsningar .....	2
1.4	Beskrivning av företaget.....	3
2	Expert Insight.....	4
2.1	Regelbaserad diagnostik .....	5
2.2	Diagnostik baserad på artificiell intelligens.....	5
2.3	Trends.....	6
2.4	Kommunikationsfunktion .....	6
2.5	Problemlösning vid en noterad avvikelse.....	7
3	Teori .....	8
3.1	Konditionsövervakning .....	8
3.2	Tribologi.....	10
3.3	Förbränningsmotorer.....	12
3.4	Fyrtaktscykel / dieselrykel .....	13
3.5	Wärtsiläs motorer .....	14
3.6	Dynamisk underhållsplanering.....	15
3.7	Wärtsiläs automationssystem .....	15
4	Tillvägagångssätt.....	16
5	Studerade fall där Expert Insight använts.....	16
5.1	Exempel på ett fall där Expert Insight har använts för att förhindra haveri .....	16
5.2	Exempel på ett fall där motorhaveri inte kunde förhindras.....	17
5.3	Exempel på där inga indikationer har noterats .....	18
5.4	Uppföljning av synliga märken i cylinderfodret.....	18
6	Resultat.....	19
6.1	Tillvägagångssätt vid noterad avvikelse .....	19
6.2	Tillvägagångssätt vid oundviklig händelse.....	22
6.3	Tillvägagångssätt vid sensorer som visar ett konstant värde .....	23
6.4	Ekonomiska fördelar .....	23
6.5	Resultatdiskussion .....	24
7	Diskussion .....	25
8	Citerade verk.....	27

## Figurförteckning

Figur 1. Expert Insight funktionsprincip. (Wärtsilä Product Management, 2024). .....	2
Figur 2. Diagnostik funktionen för Expert Insight. (Wärtsilä Product Management, 2024). 4	
Figur 3. Övervakarens vy för artificiell intelligens baserad diagnostik. (Wärtsilä Product Management, 2024). .....	5
Figur 4. Dataanalys graf. (Wärtsilä Product Management, 2024).....	6
Figur 5. Flödesschema för problemlösning vid noterad avvikelse .....	7
Figur 6. Tillvägagångssätt vid konditionsövervakning. (Zhang, o.a., 2022).....	9
Figur 7. Teoretiska värmecykeln för en dieselmotor. (Woodyard, 2004). .....	13
Figur 8. Skråmat cylinderfoder. (Wellfar, 2024).....	20
Figur 9. Boroskop undersökning. (RDA Ship Tech, 2012).....	21

## Ordförklaringar och översättningar

<b>Förkortning</b>	<b>Engelskt namn</b>	<b>Svenskt namn eller beskrivning</b>
LFO	Light Fuel Oil	Lätt eldningsolja eller dieselolja
HFO	High Fuel Oil	Tjock brännolja
LNG	Liquefied Natural Gas	Naturgas
HT	High Temperature	Hög temperatur
LT	Low Temperature	Låg temperatur
DMP	Dynamic Maintenance Planning	dynamisk underhållsplanering
TDC	Top Dead Center	Övre Dödläge

# 1 Inledning

Kan artificiell intelligens hitta fel inom konditionsövervakning som inte människan lägger märke till? För att kunna säkerställa en pålitlig och förlängd livstid på en maskin, används konditionsövervakning. Denna metod är väldigt viktig inom all industri som har med maskiner att göra. Genom att kontinuerligt övervaka motorns hälsa minimeras riskerna för potentiella problem i ett tidigt skede, vilket kan minimera driftstopp och kostsamma reparationer. Konditionsövervakning är insamlad data som analyseras, den data som dokumenteras är temperaturer, motorns prestanda, vibrationer och andra kritiska parametrar. Artificiell intelligens gör det möjligt att snabbt kunna identifiera problem, förutspå framtida problem, utföra noggrannare analys och kunna lära sig maskinerna på en djupare nivå. Med informationen som analyseras blir det möjligt att förebygga problem eller optimera underhållen som görs på motorn. (Zhang, o.a., 2022).

I detta arbete undersöks de olika teknikerna som används i verktyget Expert Insight för konditionsövervakning, deras för- och nackdelar och vilket behandlingssätt som används för att framföra de potentiella problemen till fartygen.

## 1.1 Bakgrund

Wärtsilä har utvecklat ett digitalt verktyg, Expert Insight, som används dagligen för konditionsövervakning inom underhållsavtal. Största målet med verktyget är att kunna ge en säkerhet åt kunden och att minimera risken för utrustningen att gå sönder. Verktyget använder sig av två automatiska detekteringsmetoder, var av en är artificiell intelligens och den andra är regelbaserad. Metoderna är kombinerade med originalmätningarna för maskinen i fråga. Personen som ansvarar för övervakning av motorn diagnostiserar de problem som lyfts fram av detektorsystemet och ger rekommendationer och praktiska råd till fartygen. Kommunikationen mellan övervakaren och fartyget kan göras enkelt via en chattfunktion som finns inbyggt i verktyget. Det digitala verktyget ska kunna upptäcka tidiga tecken på om utrustningen försämras eller på förhållanden som kan påverka motorns effektivitet, när dessa avvikelser identifieras kan de hänvisas och kommuniceras till fartyget och de vidtar åtgärder till detta. På detta sätt kan motorn behålla den optimala energi- och bränsleförbrukningen.

Detta arbete skall vara ett hjälpmedel riktat till användare av Expert Insight för att kunna förstå hur övervakaren skall gå till väga ifall det noteras en avvikelse i verktyget.



Figur 1. Expert Insight funktionsprincip. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 1.2 Syfte och målsättning

Syftet med denna studie var att kartlägga det nuvarande tillvägagångssättet för konditionsövervakning med hjälp av Expert Insight. Genom att undersöka teknologin och de metoder som används i Expert Insight, identifieras för- och nackdelar samt potentiella förbättringsmetoder i det nuvarande system. Målet var att tydligt beskriva det nuvarande arbetssättet för hur Expert Insight används. Denna kartläggning kan sedan användas som grund för framtida beslut, baserat på den dataanalys som verktyget generar.

## 1.3 Avgränsningar

I denna studie undersöks bara Wärtsiläs fyrtaktsmotorer. I Expert Insight finns det också tvåtaktsmotorer som undersöks men de hör inte till detta arbete. Wärtsilä tillverkar både fartygs- och kraftverksmotorer, men detta arbete fokuserar enbart på fartygsmotorer. Många av Wärtsiläs motorer under underhållsavtal är så kallade flerbränslemotorer, dessa

motorer kan drivas med olika bränsletyper. Därför tas bränslen som HFO, LFO och biobränsle i beaktande. Arbetet går ut på hur Expert Insight verktyget används, det kommer inte att användas några andra verktyg bortsett från Wärtsiläs manualer och rekommendationer.

#### 1.4 Beskrivning av företaget

Wärtsilä grundades 1834 i Tohmajärvi. Företaget var till en början verksam inom träindustrin. När Nils Ludvig Arppe fick en licens om att få bygga två masugnar så ändrade banan för företaget och det blev en järnfabrik. År 1935 köpte Wärtsilä upp största delen av ett företag som heter Kone- ja Siltarakennus Oy, detta gör att de får kontroll över ett varv i Helsingfors och därefter förflyttar sitt huvudkontor från Tohmajärvi till huvudstaden Helsingfors. Några år senare går hela Kone ja Silta företaget över till Wärtsilä. Wärtsilä blir då en av Finlands största företag. På 1950-talet blir dieselmotorerna alltmer populära efter att Wärtsilä har skapat ett kontrakt med Friedrich Krupp Germania Werft AG. Wärtsilä väljer att konstruera en egen design för en dieselmaskin i Vasa. Första maskinen som skapades döptes till Wärtsilä Vasa 14 och det var en tre cylindrig dieselmaskin. Den första maskinen som användes till ett fartyg var Wärtsilä Vasa 614, detta var en sexcylindrig dieselmaskin och såldes till Silja Line. (Wärtsilä Oyj Abp, 11.11.2024).

Wärtsilä har sedan dess växt väldigt mycket och är nu en av världens största företag inom energi och marinen. Wärtsilä har omkring 18 000 anställda i 79 olika länder. Nettoomsättningen Wärtsilä hade år 2023 var runt 6 miljarder euro. Wärtsilä arbetar för att utveckla motorer som är så hållbara som möjligt. Deras hållbarhetsstrategi bygger på att uppnå goda resultat inom de ekonomiska och miljömässiga områdena. Wärtsilä strävar också efter att kunna nå 100 % förnybar energi. (Wärtsilä Oyj Abp, 11.11.2024).

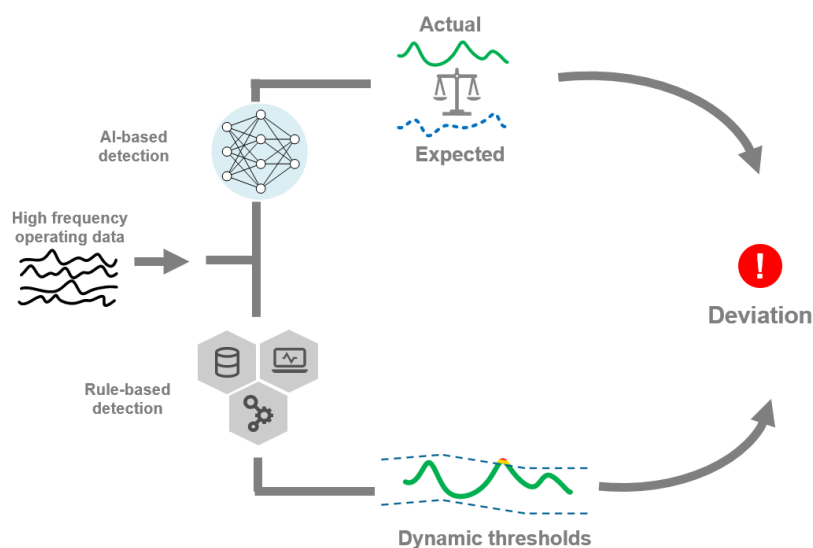
## 2 Expert Insight

I detta kapitel förklaras hur Expert Insight fungerar och vad som finns i verktyget.

Expert Insight är ett digitalt verktyg som används av Asset Diagnostics-gruppen. Verktyget innehåller flera funktioner som gör det möjligt att övervaka och säkerställa att Wärtsiläs motorer fungerar som de ska, genom att dagligen analysera den data som skickas in från fartygets motorer. Expert Insight är till för att kunna detektera tidiga tecken på ifall en motor håller på att få några problem. (Wärtsilä Product Management, 2024).

De regelbaserade detektionerna beräknar det optimala driftområdet för motorn, baserat på de officiella rekommendationerna, motorspecifikationerna och tillverkarens rekommendationer. Sedan tas det också i beaktande de olika driftförhållanden som finns runt om i motorrummet eller fartyget, såsom omgivningstemperaturen och hur mycket motorbelastning den kör på. (Wärtsilä Product Management, 2024).

De artificiella detektionerna är en maskinlärningsteknik, som har sedan utvecklats med hjälp av utrustningsexperter och analyser. Artificiella metoden använder sig inte av några regler eller andra trösklar som har satts för maskinen. Den har i stället en inlärningsprocess var den lär sig motorns varje sensor. Efter inlärningsperioden har den skapat ett förväntat värde på varje sensor i maskinen. På detta sätt kan den artificiella detektions metoden upptäcka minimala avvikelserna som kan förekomma i motorn. (Wärtsilä Product Management, 2024).



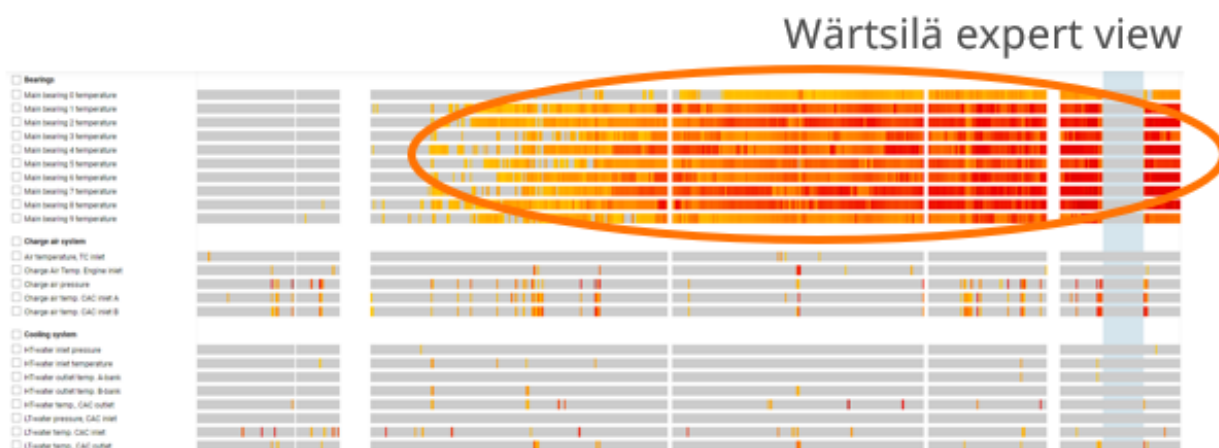
Figur 2. Diagnostik funktionen för Expert Insight. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 2.1 Regelbaserad diagnostik

I Expert Insight ingår också diagnostik baserad på regler, det vill säga gränser satta av experter. Gränserna tar i beaktande motorns last, omgivningens temperatur, typ av bränsle och andra liknande yttre parametrar som behövs för en analys av motorns prestanda. För att göra analysen enkel att tolka delas avvikelserna upp i gula och röda gränsvärden, beroende på hur kritiska de är för en fortsatt säker drift av motorn. Experten kan välja att antingen förmedla informationen till kunden i ett fall som blir synligt omedelbart, eller genom att kvittera informationen för möjliga åtgärder i framtiden. Reglerna baserar sig på Wärtsiläs kunskap om motorerna och dess främsta syfte är att varna kunden ifall motorn körs på ett skadligt sätt. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 2.2 Diagnostik baserad på artificiell intelligens

I Expert Insight ingår även diagnostik baserad på artificiell intelligens, som främst upptäcker förändringar och andra typer av onormalt beteende hos motorerna. Experterna använder en värmekarta för att se vad som markerats som onormalt. Modellen av motorn måste tränas under ett visst antal körtimmar i början, och sedan kontinuerligt för att för att förstå variationer i körförhållanden. Värmekartan visar nivån på avvikelserna med en färgskala, som helt beror på hur modellen tränats. Experten bedömer utifrån värmekartan om något har inträffat i motorn, men experten har inte insyn i beräkningarna bakom modellen eftersom de görs med artificiell intelligens. (Wärtsilä Product Management, 2024).

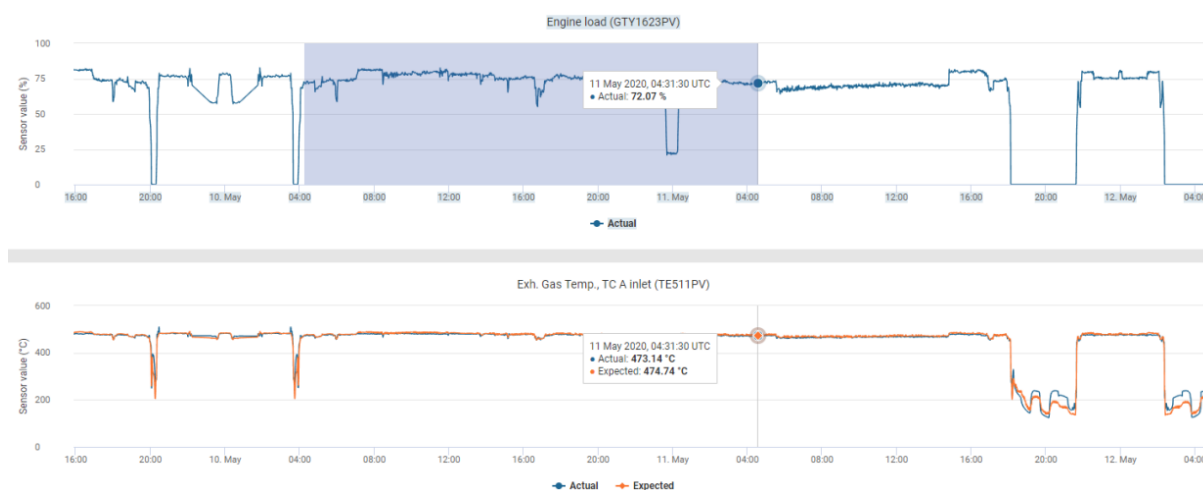


Figur 3. Övervakarens vy för artificiell intelligens baserad diagnostik. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 2.3 Trends

Expert Insight innehåller ett verktyg för trendgrafer där övervakaren kan granska sensorerna antingen enskilt eller ihopsatta. Ifall övervakaren vill granska alla avgastemperaturer på samma gång så kan det vara bra att kombinera dem för att kunna se ifall någon sensor avviker mot de andra. Övervakaren kan också se fartygets händelselogg ifall någon sensor har gett utslag på någonting som inte syns annars. I händelseloggen kan övervakaren till exempel se när fartyget har startat motorn och stängt av den. (Wärtsilä Product Management, 2024).

Den blåa linjen visar det riktiga värde som motorn har medan den orangea linjen visar vad det förväntade värdet ska vara.



Figur 4. Dataanalys graf. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 2.4 Kommunikationsfunktion

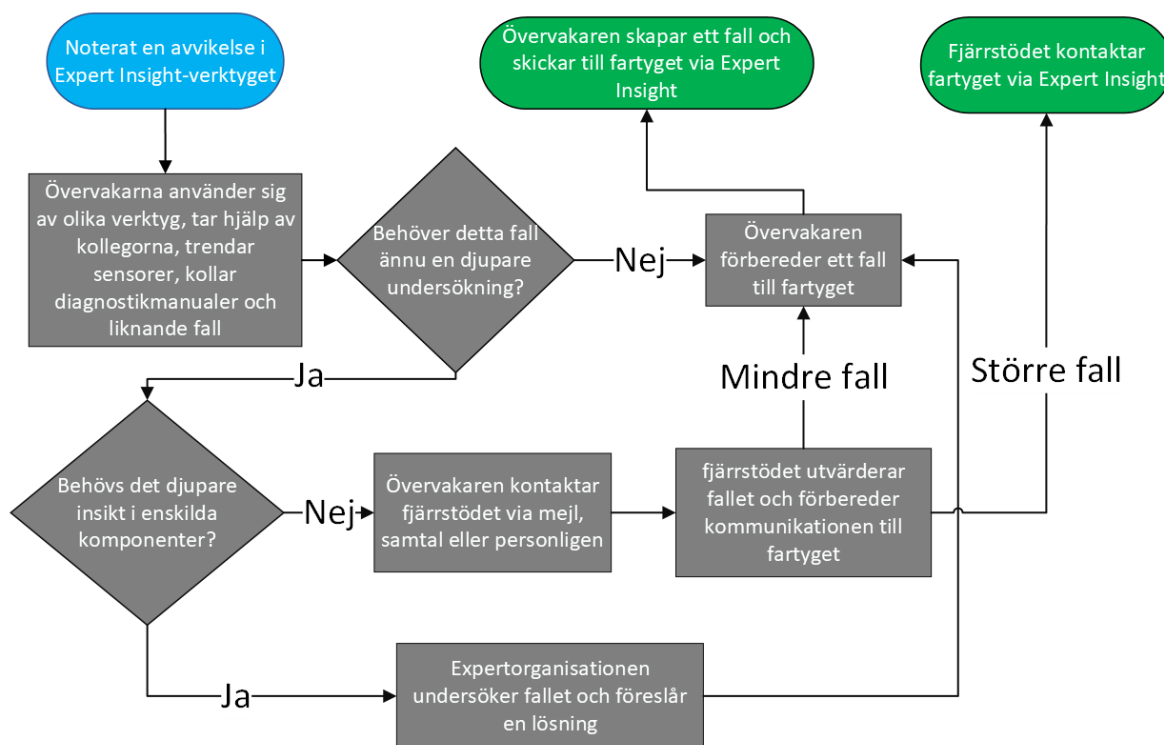
I Expert Insight verktyget finns det en chattfunktion. I chattfunktionen kan övervakaren kommunicera med fartyget. När övervakaren skapar ett fall för en motor öppnas det en chatt var fartyget också kan skriva för att svara på eller ställa frågor angående det aktuella fallet. I chatten finns det också möjlighet för att bifoga bilder, filer eller de grafer som övervakaren har sett från till exempel regel-baserad diagnostiken, för att förtydliga vad som har noterats. (Wärtsilä Product Management, 2024).

## 2.5 Problemlösning vid en noterad avvikelse

Om övervakaren har upptäckt en avvikelse i Expert Insight, är det viktigt att vara säker på vad som håller på att hända. I detta skede finns det flera tillvägagångssätt att överväga innan det skapas ett fall och kontakt med fartyget görs. Nedan presenteras olika metoder som kan användas om det exakta problemet ännu inte är klart:

1. Övervakaren använder insikt från verktyget, diskuterar med kollegor, granskar sensorer, läser diagnostikmanualer och gamla fall med likadana avvikelser.
2. Kontakta en motorexpert via e-post eller samtal.
3. Övervakaren kan diskutera med fjärrstödet.

Om den nödvändiga informationen hittas för att vara säker på vad som har hänt eller kommer att hända, kan det skapas ett fall och informationen kan kommuniceras till fartyget.



Figur 5. Flödesschema för problemlösning vid noterad avvikelse.

## 3 Teori

Teorin som undersökts i detta arbete fungerar som en grund för att förstå och tolka ämnet. Genom att undersöka forskningar, tekniska principer och relevanta arbetsmetoder kan det skapas en förståelse som hjälper till att sammanställa resultatet. Teorin fungerar också som stöd för att motivera val av metoder och analyser.

### 3.1 Konditionsövervakning

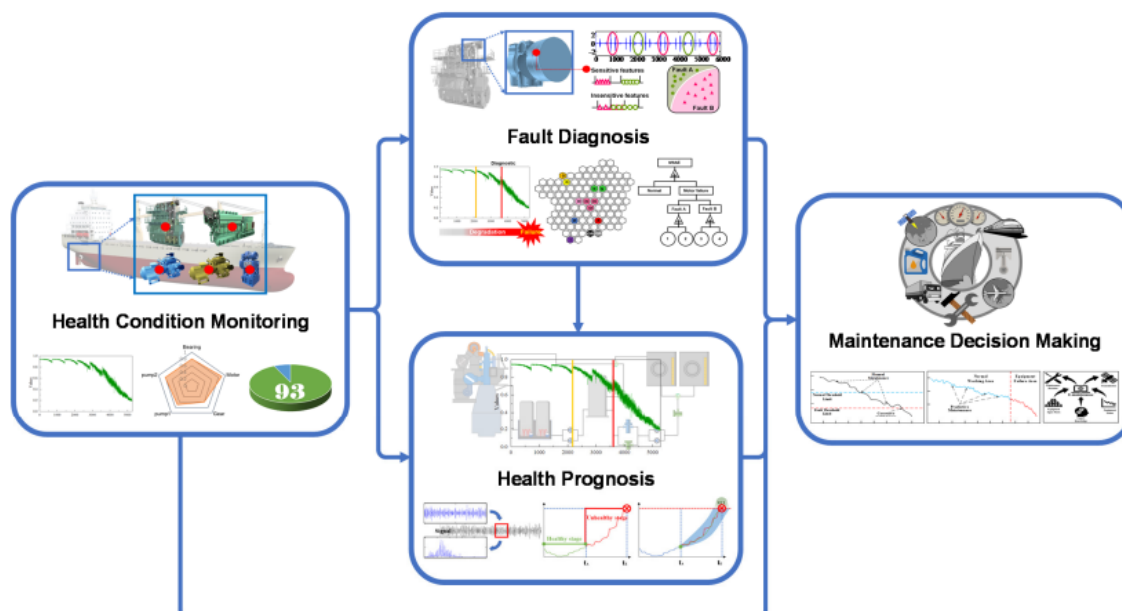
Konditionsövervakning används för att kunna granska olika parametrar från en motor. Det som mäts kan vara temperaturer, olika tryck, hastigheter, vibrationer, vätskemängder och andra nödvändiga parametrar. Insamlade dataanalyser lagras och granskas antingen av en person eller artificiell intelligens. Denna dataanalys ger en viktig information om motorns prestanda och kondition. (Zhang, o.a., 2022).

En viktig del av dataanalysen av en motor är placeringen av sensorerna. Placeringen av sensorerna kan spela en stor roll inom mätningarna som tas. En annan viktig del av dataanalysen är vad som analyseras inom motorn. Till näst presenteras vad de olika sensorerna kan ge för analys, (Marinelli, 27.1.2025; Jagers, 25.1.2025):

- **Termografi:** Eftersom en motor ständigt är i rörelse och bränsle förbränns under drift, uppstår värme på flera olika ställen i en motor. Genom att övervaka både varma och kalla områden minimeras risken att maskinen överbelastas. Termografi används för att upptäcka värmen från objekt, gaser eller vätskor.
- **Oljeanalys:** Olja eller annat smörjmedel som används i maskiner kan samla på sig partiklar som i längden kan orsaka slitage på maskinkomponenter. Genom att undersöka oljan i en motor går det att identifiera bakomliggande problem i ett tidigt skede, innan de leder till allvarliga fel.
- **Vibrationsanalys:** När maskindelar roterar uppstår naturliga vibrationer, men deras intensitet och mönster kan förändras. Genom att använda vibrationsanalys som en del av ett prediktivt underhåll, tillsammans med maskininlärning, gör det möjligt att upptäcka avvikelser i god tid.

- **Akustisk emission:** Alla maskiner med roterande delar ger ifrån sig ljud, förändringar i detta ljud kan ge indikationer på fel. Maskinkomponenter som använder sig av rullager, har bristande smörjning eller dåliga tätningar kan dra stor nytta av denna metod.
- **Tryckanalys:** Variationer i trycksystemet kan vara en indikation på problem i systemet. Genom att kontinuerligt övervaka tryck inom motorkomponenter kan läckor, blockeringar, ventilfeel eller överbelastningar upptäckas.

Datainsamlingen kommer för det mesta via sensorer som är kopplade till motorn, men ibland kan det också vara genom tester som har gjorts från motorn. När dataanalysen kommer in till övervakaren görs en grundlig granskning av motorns tillstånd. Om en avvikelse upptäcks av övervakaren, exempelvis en temperaturökning vid en specifik punkt av motorn, genomförs en analys för att fastställa orsaken. Vidare utreds om detta kan påverka andra systemkomponenter eller om det är en följd av yttre faktorer. Utifrån dessa granskningar kan det planeras ett strategiskt underhåll av motorn, som minskar på kostnaderna och arbetstiden för underhållet. (Zhang, o.a., 2022).



Figur 6. Tillvägagångssätt vid konditionsövervakning. (Zhang, o.a., 2022).

Genom att kombinera två olika sensorer går det att generera ett mer tillförlitligt resultat än om endast en sensor granskas. Denna metod kan ge ett mer noggrant svar. För att effektivt extrahera information från en signal krävs det ofta signalförbehandling och/eller -bearbetning, exempelvis genom filtrering, brusreducering eller demodulering, vilket gör analysen både snabbare och mer pålitlig. Tack vare denna kombination av sensorer och avancerad signalbehandling kan tiden som krävs för analysering reduceras avsevärt. (Tiboni, Remino, Bussola, & Amici, 2022, ss. 11-14).

Genom att använda artificiell intelligens inom konditionsövervakning går det att få snabbare och noggrannare resultat. Med hjälp av artificiell intelligent övervakning kan riskerna för haveri minimeras eftersom den kan identifiera tidiga tecken på problem som kan eller kommer att uppstå. Med hjälp av artificiell intelligens kan underhållen planeras in vid rätt tidpunkt, baserat på egentliga behov snarare än schemalagd rutin, vilket i sin tur kan minimera onödiga driftstopp. Tekniken har även förmågan att lagra och analysera den insamlade dataanalysen, vilket gör det möjligt att identifiera avvikelser som annars kan gå obemärkt av en mänsklig övervakare. (Maron, 2022, ss. 1-8).

### 3.2 Tribologi

Tribologi används varje dag oavsett om vi pratar om maskiner eller bara rör på kroppen. Tribologi handlar om nötning, smörjning och friktion. I en motor är valet av smörjmedel mycket viktigt, beroende på smörjningens viskositet, glidhastighet och den geometriska utformningen på ytorna kan påverka friktionen. Friktionen har sedan inverkan på nötningen för materialen som är i kontakt med varandra. Inom tribologi använder man sig av Friktionslagen som beräknas av förhållandet mellan friktionskraften  $F_T$  (tangentialkraften) och normalkraften  $F_N$  (lasten på objektet). (Jacobson & Hogmark, 1996, s. 5).

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (1)$$

Med denna beräkning fås det ut  $\mu$ , detta är ett grekiskt m som uttalas my och kallas för friktionskoefficienten. (Jacobson & Hogmark, 1996, s. 6).

Om en motor som inte använder sig av något smörjmedel vid ytor som glider mot varandra ligger friktionskoefficienten oftast över  $0,5\mu$ . Ett värde över  $0,5\mu$  är allt för högt och detta

kan leda till att de rörliga delarna i fråga kan gå sönder. Därför måste smörjmedel användas. (Jacobson & Hogmark, 1996, s. 47).

Smörjningen i en motor sker vanligtvis med hjälp av olika typer av oljor eller fett och har en stor betydelse för att minska slitaget på de rörliga delarna. Genom att minska på friktionen mellan ytorna bidrar smörjmedlet till att minska både temperaturen och de mekaniska nötningarna som kan uppstå, vilket i sin tur förlänger komponenternas livslängd. Utöver att minska friktionen ger också smörjmedlen ett skydd mot korrosion. När motorns delar glider lättare mot varandra krävs dessutom mindre energi för att hålla dem i rörelse, vilket innebär att motorn arbetar mer effektivt. (Jacobson & Hogmark, 1996, ss. 47-48).

Motorer som arbetar med höga tryck, höga temperaturer och långa slaglängder kan det vara en utmaning att upprätthålla en stabil och effektiv oljefilm i cylindern. I sådana förhållanden är det särskilt viktigt att använda smörjoljor av hög kvalitet. Smörjoljor består av basoljor som har kombinerats med olika tillsatser, när dessa oljor skapas behövs de noggrant anpassas efter de specifika driftsförhållandena de ska användas i. De viktigaste egenskaperna att fokusera på är att minimera slitage, sänka temperaturer samt minimera avlagring på kolven och cylinderfodret. (Woodyard, 2004, s. 138).

Nötningkoefficienten varierar mycket beroende på vilken typ av material som används. Nötningen och friktionen mellan en glidande yta är väldigt liten, på grund av detta är det ovanligt att det bildas nötningpartiklar mellan de två glidande ytorna. Ifall det skapas eller kommer några partiklar emellan dessa ytor kan det påverka friktionen. (Jacobson & Hogmark, 1996, ss. 96-97).

Eftersom kolven rör på sig nästan konstant i en cykliskt upprepande rörelse och utsätts för varierande belastningar, kan ytorna ta skada både av den mekaniska påfrestningen och av de termomekaniska effekterna. Den termomekaniska påverkan kan exempelvis få kolven att expandera, vilket ökar friktionen och belastningen mot cylinderfodret. Detta kan i sin tur leda till sprickbildning i materialet och dessa sprickor kan orsaka att fragment lossnar och sprids i systemet. (Jacobson & Hogmark, 1996, s. 109).

När en maskin skapas eller reoveras måste motorn "köras in". Inkörningen sker på låga last och varv. Detta görs på grund av att fast än maskinen är ny, finns det fortfarande yttoppar i materialet som gör att ytan blir ojämn. Med en sakta, kontrollerad och bra

smörjd inkörning tas de flesta yttoppar bort från det nya materialet. Med inkörningen minimeras chansen för ett motorhaveri. En yta som belastas på detta sätt kommer att successivt hårdna på grund av den påtvingande belastningen som sker när yttopparna glider mot varandra. (Jacobson & Hogmark, 1996, ss. 119-120)

Metaller oxiderar i kontakt med syre. På grund av detta täcks deras yta med ett homogent oxidskikt, vilket får en stor betydelse åt materialets nötnings- och friktionsegenskaper. Oxidskiktet sänker för det mesta friktionen och kan minska på den metalliska kontakten mellan ytorna. (Jacobson & Hogmark, 1996, ss. 119-120).

### 3.3 Förbränningsmotorer

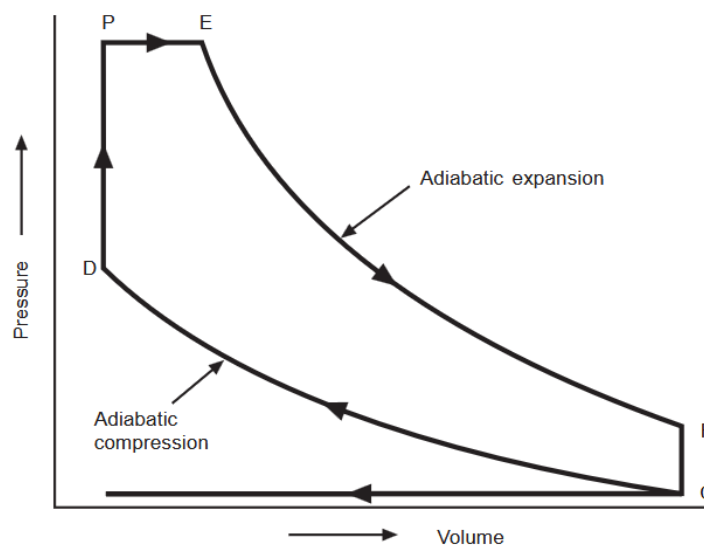
Förbränningsprocessen i en dieselmotor skiljer sig från den i en ottomotor. I en ottomotor antänds bränslet med hjälp av en gnista, medan dieselmotorn förlitar sig på högt tryck och värme för att antända bränslet. Detta innebär att i en dieselmotor körs det på en annan typ av bränsle än i ottomotorn. Bränslet som används i dieselmotorn är tjockare och tyngre än det som används i ottomotorn, det kan därför lätt förekomma sotbildningar i dieselmotorn. När en dieselmotor får något slag av motstånd i sin drift krävs det mera bränsle. Eftersom det är svårare att uppnå en optimal förbränning i en dieselmotor, behöver avgaserna renas noggrant. Detta sker vanligtvis med hjälp av en katalysator som minskar mängden skadliga utsläpp. (Johansson, 2006, ss. 313-349).

i en förbränningsmotor kan det uppstå många problem inom förbränningen, problemen kan variera mellan modeller och motorer. Största problemet som kan orsaka problem med förbränningen är att det kan förekomma beläggningar på bränsleinsprutningen, avgasportarna och turbons avgasport. Eftersom HFO är en tjock bränsleolja kan det vara svårt att få en fullständig förbränning av bränslet. Ifall det samlas mycket beläggning i avgasportarna kan det försämra avgasflödet och det ökar sedan belastningen på motorns komponenter. Den ökade belastningen kan snabbt öka värmen i cylindern och detta ökar slitage på cylinderfodret och kolringarna. (Woodyard, 2004, ss. 64-87).

### 3.4 Fyrtaktscykel / dieselcykel

Dieselcykeln är den teoretiska termodynamiska cykeln som beskriver hur en dieselmotor fungerar. Dieselcykeln är utvecklad av Rudolf Diesel. Rudolf studerade termodynamiken inom denna cykel och insåg att motorerna kan få en högre verkningsgrad ifall de använde kompressionständning i stället för en gnista. För att få detta att fungera måste det adderas värme vid konstanttryck, detta innebär då att det bildas mera värme i dieselmotorns cylinder än i ottomotors cylinder. (Woodyard, 2004, s. 1).

Den teoretiska värmecykeln för en dieselmotor visas i Figur 7. Figur 7 är dock inte en idealisk dieselcykel. På X ledet visas volymen för cylindern, på Y ledet visas trycket för cylindern. Cykeln börjar från punkt C och åker vidare till punkt D, under denna period komprimeras luften adiabatiskt. Vid punkt D påbörjas bränsleinsprutningen. Övergången mellan D och P punkterna tillförs värme vid konstant volym, samma händer mellan P och E punkterna men värmen tillförs i stället vid konstant tryck. Adiabatiska expansionen sker mellan E och F punkterna. Tryckutjämning för avgaserna sker och avgasventilen öppnas mellan F och C punkterna. Insugnings- och avgastakten händer vi den horisontella linjen mellan F och C punkterna. Detta har ingen inverkan på dieselcykeln (Woodyard, 2004, s. 2). Figur 7 hänvisar till en fyrtakts cykel. Detta betyder att kolven har två olika cykler före den börjar om. Förbränningen sker under första cykeln, mellan punkterna C, D, P, E och F. Utsläpp av avgaser och insugning av luft-bränsleblandningen sker under den andra cykeln (den horisontella linjen). (Johansson, 2006, s. 159).



Figur 7. Teoretiska värmecykeln för en dieselmotor. (Woodyard, 2004).

Fast det har räknats ut den teoretiska värmecykeln för en dieselmotor går det inte att förlita sig på den i verkligheten. Ritas det en verklig värmecykel för dieselmotorn måste det tas i beaktande andra parametrar, till exempel bränsleinsprutningen, värmeförlusten i cylinderfodret, värmeförlusten, avgas- och insugstakten kan bilda tryckskillnader som påverkar vevaxelns arbete. (Woodyard, 2004, ss. 1-4).

### 3.5 Wärtsiläs motorer

Wärtsiläs flerbränslemotor är motorer som kan köra på flera olika bränslen, de bränslen som används i dessa motorer är dieselolja, tjockare bränsleolja än LFO och Naturgas. När Wärtsilä flerbränslemotorerna kör på gas finns det en säkerhetsmekanism som slår över till dieselbränsle ifall någonting händer med gas-insprutningen, övergången sker under 1 sekund så det har en väldigt liten effekt på motorns prestanda. Ifall motorn kör på HFO krävs det en annan typ av smörjmedel i maskinens cylinder än ifall det körs på LFO eller gas. (Woodyard, 2004, ss. 48-60)

Vid transport av bränsle till fartygen kan det förekomma vatten i själva bränslet, eller så kan fukt i tankarna kondenseras och bilda en viss mängd vatten som blandas med bränslet. Om vatten blandas med bränslet kan det påverka bränslematningen till motorn negativt eller försämra förbränningen i cylindern, vilket i sin tur kan orsaka onödigt slitage på cylinderfodret eller i värsta fall leda till ett motorhaveri. Skulle bränslet dessutom förorenas med havsvatten kan det snabbt orsaka korrosion i både cylindern och bränslesystemet. (Woodyard, 2004, ss. 48-60).

Wärtsilä har delat upp kylningen i deras motorer för effektivitet och säkerhet. Kanalerna är uppdelade i hög temperatur (HT) och låg temperatur (LT). HT kanalen koler cylinderfodret och topplocket medan LT koler smörjoljeskylaren i motorn. Både HT och LT systemet är kopplade till laddluftkylaren. (Woodyard, 2004, ss. 681-690).

### 3.6 Dynamisk underhållsplanering

Dynamisk underhållsplanering är ett utvecklat system skapat av Wärtsilä. Systemet ska kunna minimera driftstopp och underhållskostnader. Genom att dagligen övervakar motorerna vid ett fartyg i drift, planeras underhållen då de faktiskt behövs i stället för att ha planerade underhåll efter ett visst antal driftstimmar. (Klockars, Eykerman, & Mayr, 2011).

Fördelar med DMP. (Klockars, Eykerman, & Mayr, 2011):

- **Förlängda underhållsintervall:** Motorer kan nå upp till 24 000 driftstimmar mellan de obligatoriska underhållen.
- **Kostnadsbesparingar:** Genom att endast utföra underhåll vid behov minimeras underhållskostnaderna.
- **Minskad oplanerad stilleståndstid:** Med hjälp av DMP kan oplanerade underhållsåtgärder minimeras med 95 %.
- **Effektiv resursanvändning:** Med hjälp av DMP planeras det bättre och väntetiderna av reservdelar och verktyg minimeras.

### 3.7 Wärtsiläs automationssystem

Alla Wärtsilä motorer är utrustade med ett automationssystem som styr och övervakar hela motorns funktion. Systemet hanterar start och stopp, reglerar termostaten, kontrollerar turbons avlastningsventil samt styr motorvarvtal och last. Automationssystemet innehåller även ett säkerhetssystem som automatiskt stänger av motorn ifall om avvikelser upptäcks, till exempel vid för lågt oljetryck stannas motorn för att förhindra skador åt maskinens komponenter. Genom detta minimeras risken för motorhaveri och säkerheten ombord ökar. Systemet möjliggör dessutom kontinuerlig övervakning av motorns drift, vilket säkerställer att motorn alltid arbetar med optimal prestanda. (Wärtsilä, 16.4.2025).

## 4 Tillvägagångssätt

Tillvägagångssättet som användes i detta examensarbete kan delas upp i flera olika steg. Inledningsvis krävdes en grundläggande förståelse av Expert Insight, vilket möjliggjordes genom introduktion och utbildning från Asset Diagnostics guppen. För att ytterligare öka förståelsen för motorer och tillhörande teknik utökades kunskapen genom att gå interna kurser om bland annat kylning, smörjning och andra system. Ytterligare undersökning gjordes av förbränningsmotorer för att förstå sig bättre av de grundläggande systemen.

För att förstå vad som bör göras vid olika typer av incidenter, har även tidigare fall och incidenter undersökts. Dessa fall och incidenter har gett värdefulla insikter i hur kommunikation och åtgärder bör utformas.

Tillvägagångssätten vid noterade avvikelser inom cylindern kommer sedan att presenteras i resultatkapitlet. Sammanställning av resultaten görs i form av en handbok som kommer att presentera vad som ska tas i beaktande och åtgärder som kan rekommenderas till fartygen.

## 5 Studerade fall där Expert Insight använts

I detta kapitel presenteras ett urval av de fall som har undersökts med hjälp av Expert Insight. Resultatdelen omfattar flera granskade fall än de som redovisas i detta kapitel. Fallen i detta kapitel inkluderas för att illustrera att vissa situationer kan vara framgångsrika, oundvikliga eller att det i vissa fall inte registreras något alls i verktyget.

### 5.1 Exempel på ett fall där Expert Insight har använts för att förhindra haveri

I detta kapitel presenteras det hur övervakaren kunde förhindra större skador till motorn än de som hade skett med hjälp av Expert Insight. Övervakaren hade fått in en notis om att det var för lite tryck i bränslesystemet till cylindern, avgas- och cylinderfodertemperaturen kunde ha höga värme toppar över den normala nivån. Eftersom denna motor driver en vattenjet i stället för en propeller, uppvisar den generellt instabila värden, kunde övervakaren tydligt urskilja att temperaturen hade stigit över den normala. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2023).

Fartyget informerades om denna avvikelse i cylindern och rekommenderades att kolla tillståndet av cylinderfodret under kolven, medan kolven är i övre dödläge. När mekanikerna ombord på fartyget öppnade upp motorn för att kolla tillståndet såg de klart och tydligt att det fanns stora slitage märken i cylinderfodret, övervakaren blev informerad om detta via chattfunktionen i Expert Insight var fartyget bifogade bilder på tillståndet av cylinderfodret. Rekommendationer skickades till fartyget om att byta kolringarna, cylinderfodret, kolvappen och den övre delen av vevstaken. De delar som blev bytta skickades sedan till Wärtsilä för en noggrannare undersökning. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2023).

## 5.2 Exempel på ett fall där motorhaveri inte kunde förhindras

En kolv skar fast på en av motorns cylindrar, händelsen inträffade cirka 15 minuter efter övergång till gasbränsle. Insprutnings ventilen var också fasttagen på den skurna cylindern. Insprutnings ventilen blev utbytt 40 driftstimmar innan kolvskärningen inträffade. Cylindern i fråga har också gett alarm på avgastemperaturen ett par dagar före kolvskärningen. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2024a).

Vid genomgång av data i Expert Insight fanns det inga tydliga indikationer som kunde ha hjälpt övervakaren att identifiera problemet i förväg och kontaktat fartyget. Ett par dagar innan kolvskärningen noterades det ett alarm på Expert Insight om att avgastemperaturen från ena cylindern hade en avvikande temperatur jämfört med de andra cylindrarna. Som störst var avvikelsen ner till -79 grader Celsius jämfört med de andra cylindrarna. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2024a).

Undersökningen för kolvskärningen i Expert Insight visar ingen direkt orsak varför detta har hänt. Samtliga larm, indikationer, värmekartor, värden och händelseloggar för den aktuella cylindern har granskats över en längre tidsperiod. Det har även noterats att motorn varit avstängd vid vissa tillfällen och att en del data inte registrerats i Expert Insight, det finns inga tydliga förklaringar till varför. Avgasvärdena som visades i Expert Insight anses inte vara en orsak till händelsen, men fartyget kunde ändå bli informerat om det onormala beteende i cylindern. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2024a).

### 5.3 Exempel på där inga indikationer har noterats

I detta kapitel presenteras ett fall var inga indikationer har noterats i Expert Insight. På denna motor hade det uppstått en kolvskärning på ena cylindern, ett alarm hade registrerats om för hög temperatur i cylinderfodret och i vevhuset var det mycket oljedimma.

Det fanns inga tidiga indikationer på att detta skulle hända via Expert Insight. När övervakaren granskade alarmen och datatrenderna noggrannare så hänvisas det att händelsen har hänt under en kort tidsperiod, för att vara mera noggrann på 45 sekunder har motorhaveriet utvecklats. I händelseloggen hade sensorn som detekterar oljedimma aktiverats och gett ett alarm, direkt efter detta hade cylinderfodret gett alarm på för hög temperatur. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2024b).

Efter en vidare undersökning kunde det konstateras att kolvskärningen berodde på en defekt kolv tapp. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2024b).

### 5.4 Uppföljning av synliga märken i cylinderfodret

Efter fartyget hade gjort en DMP på en av sina motorer, upptäckte mekanikern repor i cylinderfodret på flera cylindrar. Händelsen rapporterades omgående till övervakningsansvariga och tekniska experter, vilket ledde till att en undersökning inleddes. Vid inspektionen identifierades både vertikala och horisontella repor i cylinderfodren. Genom vidare analys och kommunikation mellan de involverade kunde det uteslutas vissa potentiella orsaker till skadorna. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2025).

De vertikala reporna bedömdes att inte vara kritiska i nuläget, men rekommenderades att följas upp kontinuerligt för att övervaka eventuell utveckling av situationen. Det finns en sannolikhet att dessa repor uppkommit vid tidigare slipning av cylinderfodret, möjligen orsakat av verktyg som använts under processen. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2025).

De horisontella reporna bedömdes att en viss del kan ha uppstått på grund av korrosion mellan kolvringarna och cylinderfodren, vilket i sin tur kan ha orsakats av kondensbildning eller ett mindre vattenläckage. Andra horisontella repor återfanns nära området där den nedre kolvringen vänder sin rörelse. Detta kan indikera slitage eller skada på kolvringen,

och en närmare inspektion av dessa komponenter rekommenderas för att säkerställa deras funktion och integritet. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2025).

Övervakaren använde Expert Insight för att undersöka om det fanns tidiga tecken på detta, eller om situationen hade förblivit oförändrad under tidsperioden från det senaste underhållet. (Wärtsilä Asset Diagnostics Expert, 2025).

## 6 Resultat

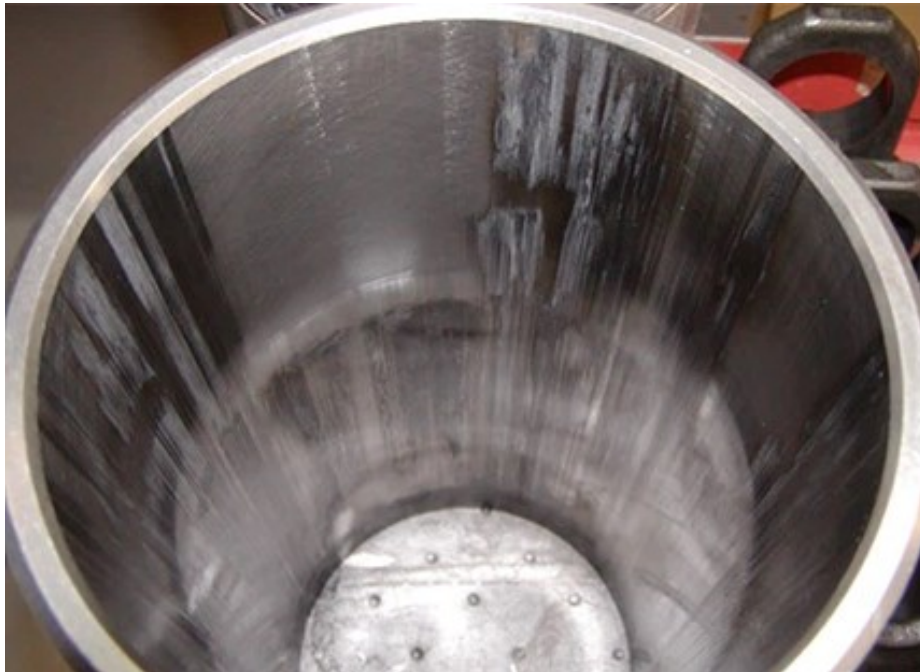
Resultatdelen sammanfattar de tillvägagångssätten som har använts vid de undersökta fallen. Genom att kombinera praktiska analyser med teoretiska kunskaper har det blivit tydligare hur informationen till fartygen bör förmedlas, även i de fallen var verktyget inte har kunnat ge en direkt varning. Utifrån examenarbetets undersökningar har det skapats en bra grund för tillvägagångssätt för undersökning och kommunikation med fartygen.

### 6.1 Tillvägagångssätt vid noterad avvikelse

Cylinderfodertemperaturer, vevaxel tryck, tändningstrycket i cylindern, flerports bränsleinsprutningen, oljetryck, temperaturer, avgastemperaturer, HT kylvattentemperaturen är olika parametrar som är bra att granska vid undersökningar inom cylindern. Ifall det inte syns någonting specifikt på dem kan det vara bra att kontrollera om motorn gett några alarm via händelseloggen eller undersöka att senaste underhållet har gått rätt till.

När en avvikelse med för lågt tryck i olje- eller bränslesystemet registrerats, är det viktigt att ta hänsyn till motorns olika parametrar, exempelvis temperaturer runt cylindern. Om tillförseln av bränsle eller smörjmedel till cylinder är otillräcklig kan temperaturerna runt cylindern snabbt öka, en otillräcklig smörjning i cylinder gör så att kolven snabbt ökar temperaturen med friktionen till cylinderfodret. Detta kan leda till att kolven expanderar och ökad risk av motorhaveri ifall det inte noteras i tid, ett exempel på detta visas i (Figur 8). För att kunna fastställa orsaken till problemet rekommenderas att motorn öppnas upp för att kontrollera cylinderfodrets och kolvens skick. Det är ett bättre beslut att först granska cylinderfodret underifrån eftersom det går att göras utan att ta bort kolven. Ifall

cylinderfodret granskas underifrån bör kolven befinna sig i TDC för att kunna ge bästa möjliga sikt. Vidare beslut görs ifall djupa märken syns i cylinderfodret eller på något annat ställe.



**Figur 8. Skråmat cylinderfoder. (Wellfar, 4.3.2024).**

Det går också att använda sig av ett boroskop, vilket innebär att motorn inte behöver öppnas lika mycket. Dock kan det vara svårare att upptäcka tydliga skador med denna metod, det kan spegla av lampan som är fast på verktyget. Ett exempel på detta visas också på (Figur 9). Vid noterade märken vid en boroskopundersökning var det inte kommer fram exakt hur djupa eller stora dessa repor kan vara är det väldigt viktigt att följa med situationen, kolla med jämna mellanrum tillståndet av reporna. Då är det också bra att kolla olika parametrar med hjälp av Expert Insight, ifall detta kunde ha undvikits eller om det kan bero på något annat.



Figur 9. Boroskop undersökning. (RDA Ship Tech, 2.10.2012).

Olika parametrar kan indikera på olika problem i motorn. Ifall vibrationerna i vevaxeln ökar, avgastemperaturen och cylinderfodrets temperatur sänks, kan det bero på att motorn misständer, fel vid insprutningen av bränsle eller ventilerna har fel tidscykel. När detta sker rekommenderas fartyget att göra ett tändtryckstest för alla cylindrar för att identifiera några avvikelser, ifall det är bara en cylinder går det också att undersöka att bränsleinsprutaren fungerar som den ska vid den specifika cylindern.

Ett cylindertäthetstest, även kallat kompressionstest, kan och bör göras med jämna mellanrum. Att testa cylindertätheten på en motor är viktigt av flera anledningar, eftersom det ger en bra bild av motorns skick och funktion. Olika indikationer eller orsaker som kan hänvisa till att ett cylindertäthetstest borde göras är följande:

- **Misstänkta motorproblem eller blå rök ur avgasröret:** exempelvis ifall motorn inte fungerar optimalt, svårt att starta motorn eller att motorn tappas sin effekt. Den blåa röken kan indikera på att olja läcker in till förbränningskammaren.
- **Motorn blir varm eller kylarvätskeförlust:** en trasig topplockspackning kan göra så att det blir läckage mellan cylindern och kylkanalerna, förhöjda avgastemperaturer kan tyda på att en eller flera ventiler kan vara bränd.

- **Efter ett granskningsunderhåll av cylindern och kolven:** om trycket sjunker snabbt efter detta underhåll bör det tas i beaktande att kolringarna inte är inkörda och kan hänvisa till läckage. Ifall detta är fallet så är det viktigt att göra ett nytt test efter några driftstimmar.
- **Åldern på motorn:** på samma tillfälle som ett mindre underhåll görs på motorn går det också att ta ett cylindertäthetstest för att försäkra sig om att motorn håller tätt i alla cylindrar.

När ett cylindertäthetstest görs, vrids motorn så att kolven positioneras vid TDC. Ifall en ventil inte rör på sig under tiden kamaxeln vrids är det ett tecken på att ventilen har skärt fast. Ifall ett cylindertäthetstest görs och trycket sjunker direkt till 0 bar, kan det indikera på att topplockspackningen är defekt eller att ventilerna inte ligger tätt mot ventilsetet. För att undvika extra arbete går det bra att köra motorn en stund till för att försäkra sig om att det inte finns kolpartiklar eller andra partiklar mellan ventilen och ventilsetet.

För det mesta kan läckaget identifieras genom att lyssna när cylindertäthetstestet utförs och luftventilen är öppen. Ifall det misstänks att luften smiter mellan kolven och cylinderfodret så bör det göras ett täthetstest på alla cylindrar för att få en jämförelse.

## 6.2 Tillvägagångssätt vid oundviklig händelse

Det förekommer situationer där ett motorhaveri inträffar så snabbt att varken tydliga varningssignaler hinner upptäckas eller motorns automationssystem hinner ingripa, vilket gör haveriet oundvikligt. Om haveriet sker inom loppet av några sekunder kommer automationssystemet att stänga av motorn så snabbt som möjligt för att minimera risken för följdskador. I sådana fall är det extra viktigt att noggrant analysera Expert Insight för att säkerställa att inget har missats. Börja genom att undersöka alla relevanta sensorer som är direkt kopplade till händelsen. Om dessa inte visar några avvikelser bör även andra sensorer kontrolleras, särskilt de som indirekt kan påverka eller vilseleda tolkningen av de primära sensorerna. När olika sensorer hör ihop och deras värden kan påverka varandra, är det viktigt att ta det i beaktande när händelsen undersöks. Granska även händelseloggen för att se om något larm har registrerats som tidigare inte uppmärksammats, eller som kan ha koppling till haveriet. Det är inte ovanligt att kortvarigt larm inte syns tydligt i graferna, trots att det faktiskt loggats och kan vara en viktig pusselbit till händelsen.

I vissa fall går det inte att hitta en tydlig orsak via Expert Insight. Då kan förklaringen ligga utanför systemets räckvidd, exempelvis i form av slitna motorkomponenter, materialutmattning eller dolda tillverkningsfel. I detta fall är det väldigt viktigt att komponent experter får granska dessa delar och göra en uteslutning av orsaken.

### 6.3 Tillvägagångssätt vid sensorer som visar ett konstant värde

Vid noterad händelse att en sensor visar konstant värde fastän motorn ändrar sin driftslast eller att sensorn visar -3276,5 grader Celsius, beroende på gränsvärdet av sensorn, kan det bra hända att sensorn har gått sönder eller att datavärdet har fryst fast i automationssystemet. Ifall sensor värdet visar 0 grader Celsius så kan det indikera på att den antingen är urkopplad eller att sensorkabeln har gått sönder. Vid detta tillfälle är det viktigt att få sensorn att börja fungera som vanligt, ifall parametern vid den sensorn börjar ändra kan det snabbt leda till motorhaveri utan att det lagts märke till.

En möjlig lösning är att starta om motorns automationssystem. En omstart av elektroniken och en fränkoppling samt återanslutning av kabeln kan snabbt åtgärda problemet. Om sensorn därefter fortfarande inte visar normala värden bör kabeln kontrolleras. Om kabeln är hel och inga fel upptäcks rekommenderas det att sensorn byts ut.

### 6.4 Ekonomiska fördelar

Genom att övervaka motorns kondition kan risken för motorhaveri kraftigt reduceras, vilket i sin tur leder till betydande kostnadsbesparingar för fartyget. Nedan följer några exempel på problem som kan förebyggas genom kontinuerlig övervakning av motorns tillstånd:

- **Minskat driftstopp:** Ett oväntat motorhaveri kan orsaka ett oplanerat driftstopp, vilket i sin tur kan tvinga fartyget att gå på reducerad effekt eller i värsta fall avbryta resan helt. Genom att tidigt upptäcka slitage på kolven eller cylinderfodret går det att planera in underhållen när det är passligt för fartyget.
- **Förlängda livslängder och färre följdskador:** Genom att planera underhåll i rätt tid minskar risken för att motorn överbelastas eller utsätts för onödigt slitage. Om en komponent i cylindern skulle haverera kan detta orsaka följdskador på andra delar

av motorn. Det kan resultera i att flera komponenter behöver bytas än vad som annars hade varit nödvändigt, vilket ökar kostnaderna och stillaståndstiden.

- **Minskad energiförbrukning:** Slitna komponenter i cylindern kan påverka motorns prestanda negativt. Exempelvis kan en trasig kolring försämra kompressionen, vilket i sin tur leder till minskad verkningsgrad och ökad bränsleförbrukning. Genom att hålla motorn i gott skick och säkerställa att den drivs med optimal bränsleeffektivitet, kan betydande bränslekostnader sparas in. Detta har en stor betydelse för motorer i denna storleksklass.
- **Dokumentation och garanti:** Genom kontinuerlig konditionsövervakning i kombination med ett garantiavtal kan insamlad data bevisa att underhållet har utförts korrekt. Detta är särskilt viktigt eftersom felaktigt eller bristfälligt underhåll kan påverka både servicekostnader och försäkringsvillkor negativt.

## 6.5 Resultatdiskussion

Konditionsövervakning har visat sig vara ett effektivt verktyg för att optimera drift och underhåll av fartygsmotorer samt andra typer av motorer. Den viktigaste och största fördelen med konditionsövervakning är att i ett tidigt skede identifiera slitage eller avvikelser i motorns komponenter eller prestanda. Med hjälp av ett övervakningsverktyg kan underhåll planeras mer effektivt, exempelvis bara i nödvändiga fall eller när fartyget har passligt. När det gäller att minska kostnaderna för ett större fartyg har både underhålls- och bränslekostnader stor betydelse. Genom att använda konditionsövervakning, exempelvis via dagliga analyser eller månadsrapporter kan det effektivt bidra till besparingar, särskilt när det gäller motorn. Genom att säkerställa att motorn arbetar på sin optimala nivå minskar bränsleförbrukningen, samtidigt som risken för oväntade motorhaverier reduceras. Enligt detta kan det uteslutas att konditionsövervakning bidrar till en mer tillförlitlig, kostnadseffektiv och miljövänlig fartygsdrift.

Vid daglig konditionsövervakning samlas stora mängder data in, vilket kan vara till stor hjälp vid felsökning när problem uppstår. Om ett fel inte upptäcks omedelbart i en aktuell analys, finns möjligheten att gå tillbaka i tiden för att identifiera när förändringar i motorns prestanda först inträffade. Detta kan ge viktiga ledtrådar om orsaken till problemet. Dessutom kan insikter från ett sådant fall användas för att förutse och förebygga liknande

fel i andra motorer, vilket minskar risken för upprepade haverier och förbättrar den övergripande driftsäkerheten. Sparad data kan alltid användas så länge den inte raderas.

Trots dessa fördelar finns det även potentiella nackdelar med att ha ett övervaknings verktyg för en motor. Implementering av ett konditionsövervakningssystem kan innebära höga kostnader, både för systemet och utbildningen av personal. Verktuget eller systemet behöver också regelbunden kalibrering, uppdateringar och underhåll för att fungera optimalt. Vid strömavbrott eller tekniska fel kan det uppstå problem i motorn som sedan inte syns för övervakaren, vilket kan leda till oundvikliga problem. Personal behövs alltså alltid ifall en motor övervakas på något sätt.

Trots nackdelarna som kan uppstå för övervakningssystemet löns det ändå i slutändan att övervaka motorns prestanda för att tidigt upptäcka potentiella problem. Sammanfattningsvis är konditionsövervakning en mycket värdefull metod för att förbättra både driftsäkerheten och minska kostnaderna för motorunderhåll. För att uppnå bästa möjliga resultat krävs dock att övervakningen utförs av kunnig personal, noggranna planeringar samt ett tydligt syfte med övervakningen.

## 7 Diskussion

Målet med detta arbete var att ta fram en grundläggande instruktionsbok som vägleder övervakare i hur de bör agera vid identifierade problem relaterade till cylindern på en Wärtsilä motor. Instruktionsboken är avsedd att användas av Asset Diagnostics gruppen som ett stöd när de stöter på utmaningar i sitt arbete. Om ett specifikt problem inte finns i dokumentet i boken, är förhoppningen att det ändå ska kunna lösas och därefter inkluderas i materialet för framtida referenser och användning. I nuläget finns det inget specifikt dokument var det står exakt vad som ska rekommenderas till fartygen, det finns dock dokument på potentiella orsaker till de flesta sensorer.

Vid genomförandet av undersökningen framkom det att vissa problem som missats av Expert Insight.

Ibland var det ett samband med bränslebyten, exempelvis från HFO till gas. Detta är en aspekt som bör beaktas vid framtida uppdateringar eller vidareutveckling av verktuget.

artificiell intelligens systemet i Expert Insight presterar generellt mycket väl och har förmågan att identifiera problem som kan vara svåra att upptäcka med regelbaserad detektion. Samtidigt finns det situationer där den regelbaserade detektionen kan identifiera avvikelser, särskilt i samband med bränslebyten, som artificiell intelligens modellen i vissa fall kan missa. För att säkerställa den högsta nivån av övervakning rekommenderas det att installera båda detektionsmetoderna i fartygen.

Vissa fall kunde fartyget köra över Atlanten eller Stilla havet, vid dessa tillfällen tappar fartyget sändning till verktyget. Detta gör då i sin tur att dataanalysen inte kommer in för granskning. Som tur sparas all data ombord på fartyget och sedan när de fått tillbaka sändningen skickas den analys som gjort till verktyget. Det är dock långa sträckor som görs och många dagar utan sändning, under denna tid kan det hända vad som helst med tanke på att tidigare problem har hänt under en halvtimme.

Detta arbete har gett en bättre vy över hur olika problem kan och ska hanteras. Alla problem är inte lik den andra fastän de kan ha samma indikationer. Det gäller att ha en bra kommunikation med de personer som är på plats vid fartyget, eftersom det som läggs märke till i praktiken kanske inte syns i verktyget.

Jag vill ännu rikta ett stort tack till alla som på olika sätt har bidragit till att detta arbete blev möjligt. Ett särskilt tack till Tobias Ekfors för handledning av arbetet via Novia, tack till Isak Lindén för handledning av arbetet via Wärtsilä, tack till Asset Diagnostics gruppen för stöd och värdefulla synpunkter under processen. Vill också rikta ett tack till alla som har delat med sig av sin tid och erfarenheter. Ert stöd har varit till stor hjälp under arbetets gång.

## 8 Citerade verk

- Jacobson, S., & Hogmark, S. (1996). *Tribologi: Friktion, smörjning och nötning*. Stockholm: Liber Utbildning.
- Jagers, S. (25.1.2025). *What is Condition Monitoring?* Hämtat från Samotics: <https://samotics.com/blog/what-is-condition-monitoring>
- Johansson, B. (2006). *Förbränningsmotorer*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Klockars, T., Eykerman, A., & Mayr, I. (2011). MAKING THE MOST OF PERFECT MAINTENANCE TIMING. *Wärtsilä*, 2. Hämtat från <https://www.wartsila.com/docs/default-source/articles-files/wartsila-sp-a-tw-automation-dmp.pdf>
- Lindén, I. (2021). *Vaasa Centre Asset Diagnostics troubleshooting process with other departments*. Vasa: Wärtsilä.
- Marinelli, I. (27.1.2025). *What is Condition Monitoring?* Hämtat från Tractian: <https://tractian.com/en/blog/whats-condition-monitoring>
- Maron, J. (2022). Artificial intelligence-based condition monitoring and predictive maintenance framework for wind turbines. *IOP Science, Journal of Physics: Conference Series*, 9.
- RDA Ship Tech. (2.10.2012). *Engine Inspection*. Hämtat från RDA Ship Tech: <https://www.shiptech.nl/en/monitoring/endoscopische-motorinspectie/>
- Tiboni, M., Remino, C., Bussola, R., & Amici, C. (2022). A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotatin Machinery. *MDPI*, 44. Hämtat från <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/972#>
- Wellfar. (4.3.2024). *Liner Scuffing And Possible Causes*. Hämtat från Wellfar: <https://www.welfareengineparts.com/info/liner-scuffing-and-possible-causes-93083603.html>
- Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engines*. Oxford: Elsevier Butterworth-Hienemann.
- Wärtsilä. (16.4.2025). *Wärtsilä UNIC engine control system upgrade*. Hämtat från Wärtsilä Service Catalouge: <https://www.wartsila.com/services-catalogue/engine-services-4-stroke/wartsila-unic-engine-control-system-for-energy>
- Wärtsilä Asset Diagnostics Expert. (2023). *Low rail pressure and increased linear temperature*. Vasa: Wärtsilä.
- Wärtsilä Asset Diagnostics Expert. (2024a). *Missed Case Report piston seizure*. Åbo: Wärtsilä.
- Wärtsilä Asset Diagnostics Expert. (2024b). *Missed case SB engine Cylinder No 3. piston seizure*. Vasa: Wärtsilä.
- Wärtsilä Asset Diagnostics Expert. (2025). *Endoscopic Inspection*. Vasa: Wärtsilä.

Wärtsilä Oyj Abp. (11.11.2024). *Wärtsilä, 2024a, History*. Hämtat från Wärtsilä, 2024a, History: <https://www.wartsila.com/about/history>

Wärtsilä Oyj Abp. (11.11.2024). *Wärtsilä, 2024b, About*. Hämtat från Wärtsilä, 2024b, About: <https://www.wartsila.com/about>

Wärtsilä Product Management. (2024). *Expert Insight App, User Manual*. Vasa: Wärtsilä.

Zhang, P., Gao, Z., Cao, L., Dong, F., Zou, Y., Wang, K., . . . Sun, P. (2022). Marine Systems and Equipment Prognostics and Health Management. *MDPI*, 53.