

Smörjunderhållsutveckling och oljetillståndsovervakning

Henrik Åman

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Henrik Åman
Utbildning och ort: Maskin- och Produktionsteknik, Vasa
Inriktning: Maskinkonstruktion
Handledare: Tobias Ekfors, Yrkehögskolan Novia
Samuli Räsänen, UPM
Kim Forss, UPM

Titel: Smörjunderhållsutveckling och oljetillståndsövervakning

Datum: 15.3.2024 Sidantal: 34

Bilagor: 6

Abstrakt

Detta examensarbete gjordes på uppdrag av UPM:s cellulosafabrik i Jakobstad. Syftet med examensarbetet var att uppdatera och utveckla smörjunderhållet i fabriken, då de befintliga instruktionerna och metoderna var föråldrade. Detta gjordes genom att utveckla en ny metod för att välja maskiner till oljeanalysprogrammet, optimera intervallen för oljeanalyserna och genom att undersöka vilka möjligheter det finns att använda olika oljekonditionsgivare i fabriken.

I teoridelen av detta examensarbete presenteras bland annat smörjolja's egenskaper, hur oljeanalys utförs, oljetillståndsövervakning, kriterier för en maskin och hur kriterierna skall prioriteras. Från teorin skapades en teoretisk metod för hur man väljer maskiner till oljeanalysprogrammet. Därefter studerades UPM:s maskin kritiskhet och deras kriterier för att utvärdera en maskin. När detta var gjort utvecklades en ny version som var anpassad till UPM genom att kombinera de teoretiska principerna med UPM:s metoder.

Resultatet blev en nyutvecklad metod för att välja maskiner till oljeanalys och ett dokument som kort beskriver grunden om oljekonditionsgivarna. Resultatet består av ett skriftligt dokument, ett flödesschema och en beslutsmatris. Det skriftliga dokumentet beskriver tillvägagångssättet och hur utvärderingarna görs. Flödesschemat ger en visuell bild av processen och matrisen snabbar upp processen med att välja maskiner. Dokumentet med oljetillståndsövervakning beskriver kort vilka problem oljekonditionsgivarna kan upptäcka och i vilka miljöer de kan användas i.

Språk: svenska

Nyckelord: smörjolja, oljeanalys, oljetillståndsövervakning, oljekonditionsgivare

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Henrik Åman
Koulutus ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Koneen rakentaminen
Ohjaajat:	Tobias Ekfors, Yrkeshögskolan Novia Samuli Räsänen, UPM Kim Forss, UPM

Nimike: Voiteluhuollon kehitys ja öljyn kunnonvalvonta

Päivämäärä 15.3.2024 Sivumäärä 34

Liitteet 6

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tehtiin UPM:n Pietarsaaren selluloosatehtaan toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli päivittää ja kehittää voiteluhuoltoa tehtaalla, koska olemassa olevat ohjeet ja menetelmät olivat vanhentuneita. Tämä tehtiin kehittämällä uuden menetelmän koneiden öljyanalyysiohjelman valintaan, optimoimalla öljyanalyysien aikavälit sekä selvittämällä erilaisten öljyjen tila-antureiden käyttömahdollisuuksia tehtaalla.

Tämän opinnäytetyön teoriaosassa tutustuttiin muun muassa voiteluöljyn ominaisuuksiin, miten öljyanalyysi suoritetaan, öljyn laadun seurantaan, koneen kriteereihin ja niiden priorisointiin. Teoriasta luotiin teoreettinen menetelmä koneiden valitsemiseksi öljyanalyysiohjelmaan. Tämän jälkeen tutkittiin UPM:n konekriittisyyttä ja niiden kriteereitä koneen arvioinnissa. Sen jälkeen kehitettiin uusi versio, joka sovitettiin UPM:lle yhdistämällä teoreettiset periaatteet UPM:n menetelmiin.

Tuloksena syntyi uusiksi kehitetty menetelmä öljyanalyysikoneiden valintaan sekä dokumentti, joka kuvaa lyhyesti öljyn tilaa mittaavia antureita. Tulos koostuu kirjallisesta dokumentista, vuokaaviosta ja matriisista. Kirjallisessa asiakirjassa kuvataan lähestymistapaa ja miten arvioinnit tehdään. Vuokaavio antaa visuaalisen kuvan prosessista ja matriisi nopeuttaa koneiden valintaa. Öljyn kunnonvalvontadokumentissa kuvataan lyhyesti, mitä ongelmia öljyn kuntoanturit voivat havaita ja missä ympäristössä niitä voidaan käyttää.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: voiteluöljy, öljyanalyysi, öljyn kunnonvalvonta, öljyn laadun anturi

BACHELOR'S THESIS

Author: Henrik Åman
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa
Specialisation: Machine construction
Supervisor(s): Tobias Ekfors, Novia University of Applied Sciences
Samuli Räsänen, UPM
Kim Forss, UPM

Title: Lubrication Maintenance Development and Oil Condition Monitoring

Date 15.3.2024 Number of pages 34

Appendices 6

Abstract

This bachelor's thesis was done on behalf of UPM's cellulose factory in Pietarsaari. The purpose of this thesis was to update and develop the lubrication maintenance in the factory when the existing instructions and methods were outdated. This was done by developing a new method on how to select machines for the oil analysis program, optimizing the intervals between oil analysis and by studying the possibilities of using oil condition sensors in the factory.

In the theory part of this thesis, the properties of lubricant oil, how oil analysis is performed, oil condition monitoring, criteria for a machine and how the criteria should be prioritized are presented. A theoretical method on how to choose machines for the oil analysis program was created from the theory. Afterwards, UPM's machine criticality and criteria for evaluating a machine were studied. A new version was then developed that was adapted to UPM by combining the theoretical principles with UPM's method.

The result from this thesis was a newly developed method for selecting machines for oil analysis and a document that briefly describes the basics of oil condition sensors. The result consists of a written document, a flowchart and a matrix. The written document describes the process of the method and evaluations of the machines. The flowchart provides a visual picture of the process and the matrix speeds up the process of selecting machines. The oil condition monitoring document briefly describes which problems the oil condition sensors can detect and which environments they can be used in.

Language: Swedish

Key words: lubrication oil, oil analysis, oil condition monitoring, oil condition sensor

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och målsättning.....	1
1.3	Avgränsning.....	2
1.4	Företagsbeskrivning.....	2
1.5	Disposition.....	2
2	Oljan som smörjmedel.....	4
2.1	Oljans viskositet.....	4
2.1.1	Kinematisk viskositet.....	5
2.1.2	Dynamisk viskositet.....	5
2.2	Viskositetsindex.....	6
2.3	Additiver i oljor.....	6
2.3.1	Korrosionsskydd.....	7
2.3.2	Slitageskydd.....	7
2.3.3	Oxidationsskydd.....	7
2.3.4	Viskositetsskydd.....	8
2.4	Total Acid Number.....	8
2.5	Total Base Number.....	9
3	Oljeanalys och oljeövervakning.....	10
3.1	Oljeövervakningsmetoder.....	10
3.2	Oljeanalys provtagning.....	12
3.2.1	Oljeprovtagning ur returlinjen.....	13
3.2.2	Oljeprovtagning av kretslopp.....	14
3.2.3	Oljeprovtagning genom urtappning.....	15
3.3	On-line mätning.....	15
3.3.1	Mätning av viskositet.....	16
3.3.2	Mätning av relativ fuktighet.....	17
3.3.3	Permittivitet och elektrisk konduktivitet.....	17
3.3.4	Partikel övervakning.....	18
4	Val av maskiner till oljeanalys.....	20
4.1	Kriterier för oljeanalys.....	20
4.1.1	Maskinkritiskhet.....	21
4.1.2	Smörjoljans kritiskhet.....	23
4.2	Prioritering av kriterier till oljeanalys.....	23
4.3	Oljeanalysintervall.....	24
5	Metodik.....	25

5.1	Utförande	25
6	Resultat.....	27
6.1	Val av maskiner för oljeanalys	27
6.1.1	Utformningen av flödesschemat och tillvägagångsdokumentet	27
6.2	Oljetillståndsovervakning	29
6.3	Kritisk granskning av arbetet.....	30
6.4	Förslag till fortsatt forskning.....	31
7	Diskussion	32
	Källförteckning	33

Bilageförteckning

- Bilaga 1. Teoretisk flödesschema för val av maskiner till oljeanalys.
- Bilaga 2. Teoretisk tillvägagångssätt för val av maskiner till oljeanalys.
- Bilaga 3. Anpassat flödesschema för UPM.
- Bilaga 4. Tillvägagångsdocument för UPM.
- Bilaga 5. Beslutsmatris för val av maskiner till oljeanalys.
- Bilaga 6. Dokument för oljetillståndsovervakning.

1 Inledning

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av UPM i Jakobstad. Examensarbetet fokuserar på att uppdatera smörjunderhållet och se över vilka möjligheter det finns med oljetillståndsovervakning på UPM:s cellulosafabrik på Alhomen i Jakobstad. Examensarbetet behandlar bland annat oljans egenskaper som smörjmedel, tillvägagångssätt för oljeprovtagning, oljetillståndsovervakning och tillvägagångssätt för val av oljeanalys eller tidsbaserat oljebyte.

1.1 Bakgrund

Examensarbetet hade sitt ursprung i behovet av att uppdatera smörjunderhållsinstruktionerna för UPM:s cellulosafabrik i Jakobstad, då de befintliga instruktionerna var föråldrade och krävde revidering. De befintliga instruktionerna som bestämde ifall en maskin har tidsbaserat oljebyte eller oljebyte på bas av oljeanalys var gamla och instruktionerna var inte baserad på någon teori eller fakta. Förutom detta så var också intervallen för oljebyten och oljeanalyserna intressanta för UPM, till exempel ville de utreda ifall intervallen kunde förlängas. Fabriken i Jakobstad använder sig också av en del oljekonditionsgivare för att mäta oljans kvalitet och kondition, därför ville de också ha en bredare utredning om vilka givare som finns och var de kunde placeras.

1.2 Syfte och målsättning

Syfte med detta examensarbete var att utveckla smörjunderhållet vid UPM:s fabrik i Jakobstad och att undersöka möjligheterna med oljetillståndsovervakning. Detta betydde att ta reda på hur smörjunderhållet kunde utvecklas, ta reda på vad en oljekonditionsgivare kan mäta, var oljekonditionsgivarna kunde användas i den nuvarande fabriken och var de kunde användas ifall en ny fabrik byggdes. Ett annat syfte med examensarbetet var att ta reda på ifall oljeanalysens intervaller kunde optimeras genom att antingen förlängas eller förkortas. Huvudmålet med utvecklingen av smörjunderhållet var att skapa instruktioner och tillvägagångssätt som berättar om tillvägagångssättet för val av tidsbaserat oljebyte eller oljebyte på bas av oljeanalys för en maskin.

1.3 Avgränsning

Smörjunderhållets uppdatering avgränsas till att endast behandla smörjolja och inte fettsmörjning eller andra smörjningar i fabriken, dessutom beaktas inte vilken sorts olja som används utan uppdateringen blir allmän för hela fabriken. Undersökningen av oljekonditionsgivarna avgränsas till att endast undersöka vad de kan mäta och vad man kunde använda dem till. Till exempel kommer inte examensarbetet att ta upp vilka maskiner som givarna kunde monteras på.

1.4 Företagsbeskrivning

UPM är en föregångare inom skogsindustrin som arbetar med att producera förnybara produkter inom många olika områden. UPM består av sex olika affärsområden, dessa är UPM Fibres, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Papers, UPM Communication Papers och UPM Plywood. UPM hade en omsättning på cirka 11,7 miljarder 2022 och har cirka 17 200 anställda i världen. (UPM.fi, 2023).

UPM:s cellulosafabrik där examensarbetet har blivit gjort ligger på Alholmen i Jakobstad. Förutom cellulosafabriken finns bland annat också Alholmens såg, Billeruds pappersfabrik, Alhomens Kraft och Walki på området. På området produceras bland annat sågvara, cellulosa, papper och energi. Cellulosafabriken tillverkar cellulosa av massaved från skogen, både björk- och barrträd används för att tillverka cellulosa. Cellulosa från barrträd används för att tillverka till exempel kartong och cellulosa från björkträd används för att tillverka till exempel specialpapper. Fabriken har cirka 300 anställda och en kapacitet på cirka 800 000 ton cellulosa per år. (UPM jakobstad, 2023).

1.5 Disposition

Dispositionen beskriver kort om examensarbetets kapitel innehåll och ger läsaren en snabb inblick i vad som behandlas i examensarbete.

- Kapitel 1 inleder examensarbetet med att berätta om uppkomsten till arbetet, syftet med arbetet, avgränsningar och till sist en kort beskrivning av företaget.
- Kapitel 2 beskriver oljan som smörjmedel och smörjolja's viktigaste egenskaper och tillsatämnen.

- Kapitel 3 beskriver hur oljeanalyser och oljetillståndövervakning utförs. Detta kapitel tar också upp tillvägagångssättet för en lyckad oljeprovtagning.
- Kapitel 4 beskriver vilka kriterier som behöver beaktas när man bestämmer ifall oljeanalys skall utföras på en maskin eller inte.
- Kapitel 5 beskriver metoderna och tillvägagångssättet för arbetet som har utförts.
- Kapitel 6 presenterar resultatet från examensarbetet, ger förslag till fortsatt forskning kring ämnet och granskar arbetet som har blivit gjort.
- Kapitel 7 avslutar examensarbetet med en diskussion som behandlar bland annat arbetets gång, resultat och svårigheter.

2 Oljan som smörjmedel

Alla maskiner och utrustning som används inom industrin för tillverkning av produkter har ytor som kommer i kontakt med varandra. När dessa ytor kommer i kontakt med varandra så uppstår friktion mellan ytorna. För skydda komponenterna och undvika stor friktion i maskinerna används smörjmedel eller smörjoljor. Att välja rätt smörjmedel eller smörjolja kan vara skillnaden mellan en långvarig drift av en maskin eller ett snabbt haveri. (Bloch, 2009). Vilken smörjolja som skall används beror på vad som ska smörjas. Smörjoljan fungerar genom att skapa ett skyddande skikt mellan ytorna så att friktionen minskar och slitaget på komponenterna blir minimala. Smörjoljans huvudfunktioner är följande:

- Minimera slitaget på en komponent genom att minska på kontakt mellan ytorna.
- Minska på friktionen.
- Transportera bort värmen som bildas vid friktionen.
- Öka jämnheten i rörelserna.

Förutom dessa huvudfunktioner har oljan också andra funktioner den uppfyller, oljan kan hjälpa till med att skydda komponenter mot korrosion, rengöra ytor, transportera bort partiklar med mera. Beroende på vad oljan används till så kan dess egenskaper ändras till ett specifikt ändamål. (Abdel-Raouf & El-Keshawy, 2022).

2.1 Oljans viskositet

En av de allra viktigaste egenskaperna hos en smörjolja är dess viskositet. Viskositeten hos oljor anger oljans tjocklek och dess inre motstånd, alltså hur lättflytande eller trögflytande oljan är. Oljans viskositet beror på hur den tillverkas och vad den tillverkas av. Mineralolja och syntetolja hör till gruppen newtonska vätskor och deras viskositet är beroende av temperaturen och trycket. Beroende på vilka additiver som tillsätts i oljan så kan dess struktur förändras och oljans viskositet kan bli beroende av temperaturen, trycket och skjuvhastigheten. Ifall oljans viskositet är beroende på skjuvhastigheten så kallas den en icke-newtonsk vätska. (Jacobson & Hogmark, 1996).

Tjockleken på oljefilmen mellan olika komponenter är ofta proportionell mot oljans viskositet. Detta betyder dock inte att oljor med högre viskositet är bättre, eftersom oljor

med högre viskositet kräver högre kraft för att skjuvning skall uppstå. När det behövs mera kraft för skjuvning så blir friktionen större och därmed blir också energiförlusterna större. Dessa energiförluster blir till värme som överförs till närliggande ytor och kan bidra till haveri av komponenter. Att känna till ett systems arbetstemperatur är alltså grundläggande för att kunna välja rätt olja till systemet eller maskinen, eftersom temperaturen har en stor inverkan på oljans viskositet. Hur mycket oljans viskositet ändras beror även på vilken olja som används, till exempel har oljans viskositetsindex en stor inverkan här. Förutom temperaturen har också komponenternas hastighet inne i maskinen en påverkan vid val av oljan, på grund av att det sker skjuvning. (Stachowiak & Batchelor, 2005).

2.1.1 Kinematisk viskositet

Den kinematiska viskositeten anger hur snabbt en vätska eller olja sprider sig i förhållande till sin massa när den appliceras på en yta. Kinematiska viskositeten anger alltså hur snabbt oljan sprider ut sig när den placeras på en yta. Enheten för kinematisk viskositet är mm^2/s eller centiStoke som har förkortningen cSt. Oftast sker mätningen vid 40°C och 100°C för att täcka de flesta användningsområden. (Torbacke;Rudolphi;& Kassfeldt, 2014).

Kinematiska viskositeten för en olja mäts med hjälp av en viskometer. Detta görs genom att låta en olja rinna igenom ett rör med en bestämd diameter. Tiden för att en viss mängd olja har runnit igenom mäts och med det kan oljans kinematiska viskositet bestämmas. Denna metod kallas kapillärmätning. (Torbacke;Rudolphi;& Kassfeldt, 2014).

2.1.2 Dynamisk viskositet

Dynamisk viskositet är ett mått som beskriver den kraft som behövs av en olja eller en vätska för att övervinna den egna friktionen och börjar flöda. Enheten för dynamiska viskositeten är pascal-sekund ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), vilket kan förenklas till $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ eller $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$. Dynamisk viskositeten och kinematiska viskositeten är beroende av varandra, vilket kan ses i följande formel:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{1}$$

Kinematiska viskositeten är ν , dynamiska viskositeten är μ och fluidens densitet är ρ . (Torbacke, Rudolphi, & Kassfeldt, 2014).

2.2 Viskositetsindex

Som tidigare nämnts i kapitlet 2.1 är oljans viskositet beroende av temperaturen. Vid en temperaturförändring förändras oljornas viskositet olika mycket. Det vill säga att en viss sorts oljas viskositet kan sjunka mycket medan en annan oljas viskositet sjunker mindre vid samma temperaturförändring. För att få ett värde på takten av viskositetsförändringen används ett viskositetsindex. En olja med ett högt viskositetsindex ger en liten förändring av viskositeten vid en temperaturförändring. Viskositetsindex kan beräknas utgående från två kända temperaturer. Oftast ges viskositeten vid temperaturerna 40°C och 100°C. För en olja utan additiver så kan viskositetsindexet röra sig mellan 0 och 100, medan en olja med viskositetsindexförbättrande additiver kan indexet vara långt över 100. Ifall oljans temperatur är konstant under användningen så behöver man inte ta viskositetsindexet i beaktande för val av olja, men ifall det uppstår stora temperaturförändringar så kan viskositetsindexet ha stor påverkan på oljans kvalité under oljans livstid. (Wills, 1980).

2.3 Additiver i oljor

För att förbättra en oljas funktion och egenskaper kan additiver användas. Vid tillsättning av additiver i oljor kan man förbättra många olika egenskaper som oljan redan har, skapa nya egenskaper som inte funnits tidigare eller minska på oönskade egenskaper som uppstår under oljans livslängd. Beroende på vilken olja som används kan de innehålla allt från en till 30 olika additiver som ämnar för att förbättra oljans egenskaper. Dock finns det risker med att addera flera additiver till oljan, eftersom det finns en risk att de påverkar varandra negativt. (Vähäoja, 2006) (Bruce, 2012).

Additiverna kan delas in i grupper beroende på vilka skyddsfunktioner de har. Några av dessa grupper är bland annat:

- Korrosionsskydd
- Slitagesskydd
- Oxidationsskydd

- Viskositetsskydd

2.3.1 Korrosionsskydd

Det finns olika typer av korrosion som kan uppstå i ett system där smörjoljan ingår. De två vanligaste typerna av korrosion bildas antingen genom syror som har utvecklats i oljan eller föroreningar som oljan har tagit upp i och med användning. För att förhindra detta så kan additiver läggas till i oljan. Additiver som läggs till i oljan för att skydda mot korrosion bildar en skyddsfilm på komponentens yta som skyddar materialet från syrorna. Additiver som oftast används för korrosionsskydd är till exempel zinkditiolfosfat. (Wills, 1980).

2.3.2 Slitageskydd

Additiver för slitageskydd används för många olika slags oljor. Additiverna har som uppgift att minska på friktionen och slitaget som uppstår vid gränsskiktsmörjning. Gränsskiktsmörjning är då ytorna inte är separerade av en oljefilm utan ytorna har kontakt med varandra. När oljefilmen blir mindre på grund av högre temperaturer eller större krafter börjar ytornas ojämnheter få kontakt, som leder till ökad friktion. Detta kan leda till att små punktsvetsningar förekommer mellan två olika ytor som sedan bryts loss och leder till att metallspån och metallpartiklar börjar cirkulera med i oljan. Beroende på hur mycket friktion och nötning som förekommer i maskinen kan olika additiver för oljan användas. (Wills, 1980).

2.3.3 Oxidationsskydd

Risk för oxidation förekommer när oljans temperatur ökar i närvaro av luft. Kort förklarat så reagerar oljan med syret i luften och då bildas bland annat peroxidradikaler, hydroperoxider och andra organiska syror. Hur snabbt oxidationen i ett system sker beror på ett antal faktorer, dessa är bland annat:

- Oljans temperatur.
- Andelen syre i luften och omblandningen av oljan och luften.
- Vilka ämnen som finns i oljan, eftersom olika metaller kan fungera som katalysatorer eller främja oxidationen.

Oxidationen i oljan leder till högre viskositet, syrligheter i oljan, föreningar och formar lackeringar på olika komponenters yta, vilket sänker oljans kvalitet och livslängd. För att förhindra att oxidering sker så används tillsatsämnen som reagerar med peroxidradikaler och hydroperoxid som bildar inaktiva föreningar. Detta gäller för temperaturer under 100 grader. Ifall temperaturen är över 100 grader Celsius så måste tillsatsämnen som reagerar med de metalliska katalysatorerna användas. Oxidationsskydd i oljor förhindrar inte att oxidation sker, utan det bromsar oxidationen. (Wills, 1980).

2.3.4 Viskositetsskydd

Som tidigare nämnts i kapitlet om oljans viskositet så beror viskositeten på oljans temperatur, men även oljans viskositetsindex kommer att ha en inverkan på viskositeten. Ifall en olja kommer att utsättas för både låga och höga temperaturer kan man tillsätta viskositetsindexförbättrare. Dessa additiver sätts till i oljan för att minska på oljans viskositetsförändring. En olja med tillsatt additiver för viskositetsförbättring har nästan samma viskositet vid höga och låga temperaturer. Additiver för viskositetsindexförbättrare är olika sorts polymerer. Dessa fungerar genom att polymerernas molekyler påverkas av oljans temperatur. Vid låga temperaturer drar molekyllkedjan ihop sig och vid höga temperaturer så sträcker molekyllkedjan ut sig. Detta betyder alltså att molekyllkedjan inte påverkar oljans viskositet vid låga temperaturer, men vid höga temperaturer när molekyllkedjan sträcks ut så ökar viskositeten. (Afton Chemical, ei pvm).

När oljans temperatur ökar så sjunker oljans viskositet, men på grund av polymererna som sträcker ut sig och expanderar så minskar viskositetsförändringen. Detta säkerställer i sin tur en mera stabil och jämnare olja. Kortfattat så minskar oljans viskositet med högre temperaturen, men på grund av polymererna som utvidgas och höjer oljans viskositet så blir förändringen i viskositeten mindre än hos en olja utan viskositetsindexförbättrare. (Wright, 2008).

2.4 Total Acid Number

Total Acid Number (TAN) är ett mått på oljans kondition och ger ett värde på hur mycket syra en olja innehåller. Nya oljor innehåller en viss mängd syror, men detta värde ökar i och med att oljan används. Detta betyder att desto högre TAN värde desto sämre är oljans kondition. Genom att mäta TAN kan en oljas kvarstående livslängd bestämmas och byte av

oljan kan ske före korrosion uppstår i systemet. TAN kan bestämmas genom att utföra en titrerings mätning, vilket ger resultatet som mg KOH/g. (Torbacke, Rudolphi, & Kassfeldt, 2014)

2.5 Total Base Number

Total Base Number (TBN) är ett annat sätt att mäta en oljas kondition. Värdet anger andelen additiver som ännu finns kvar i oljan. TBN är alltså ett mått på oljans förmåga att neutralisera syror som bildas vid smörjningen. Det betyder att till skillnad från TAN så är indikerar ett högt TBN värde att oljans kondition är bra och oljan ännu kan neutralisera syror som uppkommer vid användningen. När oljan används kommer TBN att sjunka och detta värde kan vara en bra indikator när oljans livslängd börjar ta slut och oljan skall bytas. (Torbacke, Rudolphi, & Kassfeldt, 2014).

3 Oljeanalys och oljeövervakning

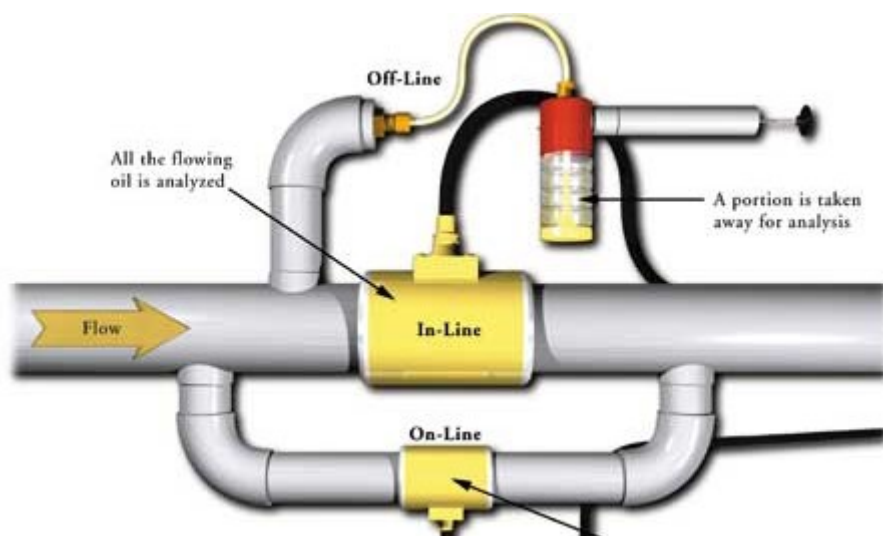
Undersökningar har visat att över hälften av alla haverier som förekommer i någon maskin eller utrustning kan spåras tillbaka till smörj relaterade problem. Början till ett maskinfel kan oftast upptäckas med ett oljeanalys, detta genom att oljeanalysen kan upptäcka en förhöjning av antingen partiklar eller vatten i olja. Detta betyder att största delen av maskinfelen kan upptäckas med oljeanalyser. Förutom att oljeanalysen indikerar ifall en olja är bra eller dålig så kan också oljeanalyser användas för att lokalisera var i systemet felet förekommer. Det är förmågan att förutse kommande fel så som oljenedbrytning, kontaminering eller slitage som gör att oljeanalys till ett viktigt verktyg. Det är viktigt att oljeanalyser görs med jämna intervaller för att hitta förändringarna i oljorna. Rekommendationerna är att oljeanalys görs varje månad, men på grund av kostnaderna för oljeanalyserna så väljer de flesta att göra en till två oljeanalyser för ett system per år. Oljeanalys är ett mycket bra verktyg för att ta reda på oljans kondition samt även oljans föroreningsnivå, men nackdelen är att oljeanalysens effektivitet är direkt beroende på intervallen mellan oljeprovtagningarna. (Des-Case, 2021).

3.1 Oljeövervakningsmetoder

Övervakning av olja kan ske på flera olika sätt. Olja kan analyseras både inne i ett system eller så kan ett oljeprov tas och analyseras utanför systemet. Beroende på hur oljan övervakas kan den delas in i grupper, dessa grupper är:

- Off-line metoden är att ett oljeprov tas och analyseras utanför systemet.
- On-line metoden är att oljan styrs bort från huvudflöde och analyseras med hjälp av sensorer och sedan förs tillbaka till huvudflödet.
- In-line metoden är lika som On-line metoden, men här analyseras oljan direkt vid huvudflödet.

Off-line metoden styr bort oljan från huvudledningen och ett oljeprov kan samlas in för oljeanalys. On-line och in-line metoderna är i princip samma sak, men mätningarna sker på olika ställen i systemet. I figur 1 ser man de olika metoderna för hur övervakning av oljekvaliteten kan ske. (Byington & Schalcosky, 2000).



Figur 1. Olika metoder för övervakning av oljekvaliteten. (Byington & Schalcosky, 2000).

Off-line fungerar genom att ett oljeprov utförs och oljan analyseras utanför systemet, denna metod är en mycket vanlig och effektiv metod för att mäta oljans kondition. Analyserna ger en mängd information om oljekvaliteten och oljans livslängd, men på grund av att oljan skall analyseras vid ett oljeanalys laboratorium så fördröjer resultaten för oljan en viss del. Det betyder att det finns en viss fördröjning mellan resultaten från oljeanalyserna och oljans kvalitet i systemet. Ifall oljans kvalitet snabbt skulle sjunka så skulle detta vara katastrofalt, men oftast är förändringarna ganska långsamma. Nackdelen med denna metod är att resultatet är direkt påverkad av intervallet mellan provtagningarna, vilket betyder att val av intervall perioden är mycket viktigt för ett effektivt system för oljeanalyseringen. En annan nackdel med off-line metoden är att provet kan påverkas av en mängd olika saker under provtagningen, transporten och testningen av oljan. Men i övrigt är off-line metoden och oljeanalyserna en mycket bra metod som ger en stor mängd information. (Des-Case, 2021).

Med On-line och In-line utförs kontinuerlig övervakning av oljan med hjälp av sensorer inne i oljesystemet. Med kontinuerlig övervakning av oljan kan plötsliga fel eller förändringar i oljan upptäckas i tid och haveri eller allvarliga skador kan förhindras. Skillnaden mellan metoderna är var i systemet oljan mäts. Fördelar med on-line metoden är att den har minimal inverkan på systemflödet, på grund av att mätningen sker i en omdirigerande flödesgren. Dock måste man se till att mängden olja som mäts med on-line metoden är tillräckligt stor så att oljan är representativ med oljan i huvudflödet. Fördelar med in-line

metoden är att mätningen sker direkt i huvudledningen, vilket betyder att all olja som passerar blir analyserad och påverkan utifrån är minimal. Dock kan mätning i huvudledningen vara svår att implementera och kan påverka systemets flöde. (Byington & Schalcosky, 2000).

3.2 Oljeanalys provtagning

Provtagning av oljan är ett mycket kritiskt steg i oljeanalysen. För att oljeanalysen skall kunna användas effektivt så måste oljeprovet representera oljan som förekommer i systemet, ifall det inte gör det så blir oljeanalysen fel och inga slutsatser om oljans kvalitet kan bestämmas. Det finns två primära mål vid provtagning av ett oljeprov. Första målet är att maximera datadensiteten och andra målet är att minska på datastörningar. (Fitch, The basic of used oil sampling, 2004).

Att maximera datadensiteten betyder att man utför oljeprovet på ett sätt som garanterar att det finns så mycket information om olja som möjligt. Informationen man vill få ut av oljan är bland annat oljans renlighet, mängden additiver som finns kvar och mängden slitpartiklar. Kvaliteten på oljan kan också skilja sig från varandra beroende på var i systemet oljeprovet tas ifrån. (Fitch, The basic of used oil sampling, 2004).

Att minimera datastörningarna betyder att oljeprovet bör extraheras så att man förhindrar risken för utomstående kontaminering. Det är alltså viktigt att säkerställa att provet inte blir förorenad under provtagningsprocessen och att oljeprovet är representativ för oljan i systemet. Ifall oljeprovet blir förorenat under provtagningsprocessen blir det omöjligt i oljeanalysen att skilja på vilka föroreningar som finns i oljan och vilka föroreningar som tillkommit från omgivningen i oljeprovet. Om föroreningarna från omgivningen tillkommer i provtagningen blir oljeanalysen felaktig och kan inte användas. (Fitch, The basic of used oil sampling, 2004).

För att garantera att ett bra oljeprov tas, bör följande punkter beaktas:

- Provtagningspunkt, en provtagningspunkt kan finnas i motströms eller medströms datagenererande punkter. En datagenererande punkt kan vara till exempel ett lager eller liknande. Detta resulterar i att mängden data som förekommer i ett oljeprov kan vara stor beroende på var i system oljeprovet utförs. Vissa maskiner kan också

kräva också flera provtagningspunkter för att kartlägga var i maskinen det specifika problem finns.

- Tillvägagångssätt, vid oljeprovtagningen är tillvägagångssättet ett kritiskt steg för ett lyckat oljeprov. Tillvägagångssättet bör dokumenteras och alla som utför en oljeprovtagning bör följa de angivna anvisningar. Detta medför att alla oljeprovtagningar görs på samma sätt och oljeproven blir därtill tillförlitliga och statistik kan byggas upp. Dokumentationen hjälper också nyanställda att göra en korrekt oljeprovtagning.
- Provtagningsverktyg, verktyget som används för att extrahera oljan från systemet skall inte påverka oljeprovets kvalitet. verktyget skall hjälpa användaren med att få ett så bra oljeprov som möjligt. Detta betyder också att verktyget skall vara lätt att använda, rengöra, hållbar och kostnadseffektiv.
- Oljeprovtagningsbehållaren, vid oljeprovtagning bör oljebehållaren som används vara av rätt storlek och typ. Dessutom behöver behållaren också vara ren för att säkerställa att ett representativt oljeprov skall kunna utföras.

Alla dessa punkter är till för att säkerställa att provtagningen blir representativt för oljan i systemet och att provtagningen sker på samma sätt varje gång, vilket ger konsekventa oljeanalyser. (Fitch & Troyer, Oil analysis basics second edition, 2010).

3.2.1 Oljeprovtagning ur returlinjen

Det finns flera riktlinjer för hur provtagning av olja skall ske för provtagning från en returlinje. Vissa gånger så kan inte alla riktlinjer följas på grund av maskinens design, funktion, omgivning eller andra omständigheter. För att få en så bra oljeanalys som möjligt så bör vissa riktlinjer följas så bra det går. Dessa riktlinjer är bland annat:

- Turbulens, de bästa provtagningspunkterna är där oljans flöde är turbulent. Detta på grund av att turbulensen hjälper till med att hålla metallpartiklarna och andra föroreningar i rörelse med oljan. Provtagningspunkten skall helst placeras vid en krök eller liknande där oljan byter riktning, detta för att det medför turbulens i oljan. Ifall provtagningspunkten är placerad på ett rakt rör så kan metallpartiklarna åka

förbi utan att de tas upp i oljeprov, vilket leder till att mängden metallpartiklar i oljeprov inte stämmer överens med resterande olja i systemet.

- Inträngningspunkt, ifall det finns möjlighet skall provtagningspunkten ligga efter de komponenter som slits eller komponenter som är utsatta för föroreningar. Detta görs bäst genom att ha provtagningspunkten på returlinjen eller dräneringslinjen som för tillbaka oljan till tanken, eftersom de oftast ger de mest representativa föroreningsnivåerna. När oljan når tanken minskar koncentrationen av föroreningen på grund av att den späds ut eller genom att partiklarna samlas på botten av tanken.
- Filtrering, provtagningspunkterna bör ligga före både filtreringen och separatorerna, detta på grund av att de avlägsnar olika föroreningar som förekommer i oljan och minskar på den data som man vill extrahera ur oljan. Det betyder för att få så bra oljeprov som möjligt bör filtreringen lokaliseras på enheten och utifrån den bör provtagningspunkten väljas.
- Dräneringsledningar, på dräneringsledningar där oljan blandas med luft så skall provtagningsventilerna installeras på ställen där oljan rinner. Till exempel på ett horisontellt rör som är halvfullt så skall ventilen installeras på rörets undersida, på grund av att det är där oljan rinner.

Vid val av provtagningspunkter på ett cirkulerande oljesystem så skall returlinjer och dräneringslinjer prioriteras för provtagning. Dessa prioriteras för att då kan oljeprovtagningen ske före oljan har hunnit tillbaka till tanken. Ifall oljan släpps tillbaka till tanken före provtagning har skett så blir koncentrationen av föroreningen utspädd och resultatet blir felaktigt. Helst skall också provtagningen ske före filtret. (Fitch & Troyer, Oil analysis basics second edition, 2010).

3.2.2 Oljeprovtagning av kretslopp

Oljeprovtagning av cirkulerande system följer i stor sätt samma riktlinjer som provtagning ur en returlinje. Provtagningen bör ske där olja är turbulent och bra omrörd. Ifall möjligt skall provet alltid tas efter att oljan har passerat de smorda komponenterna och före oljan går genom oljefiltret. Oljeprovtagningen ska utföras under en maskins normala

arbetsförhållande, alltså maskinen ska vara igång vid provtagningen och inga oljebyten eller filterbyten bör ha skett före. (Fitch & Troyer, Oil analysis basics second edition, 2010).

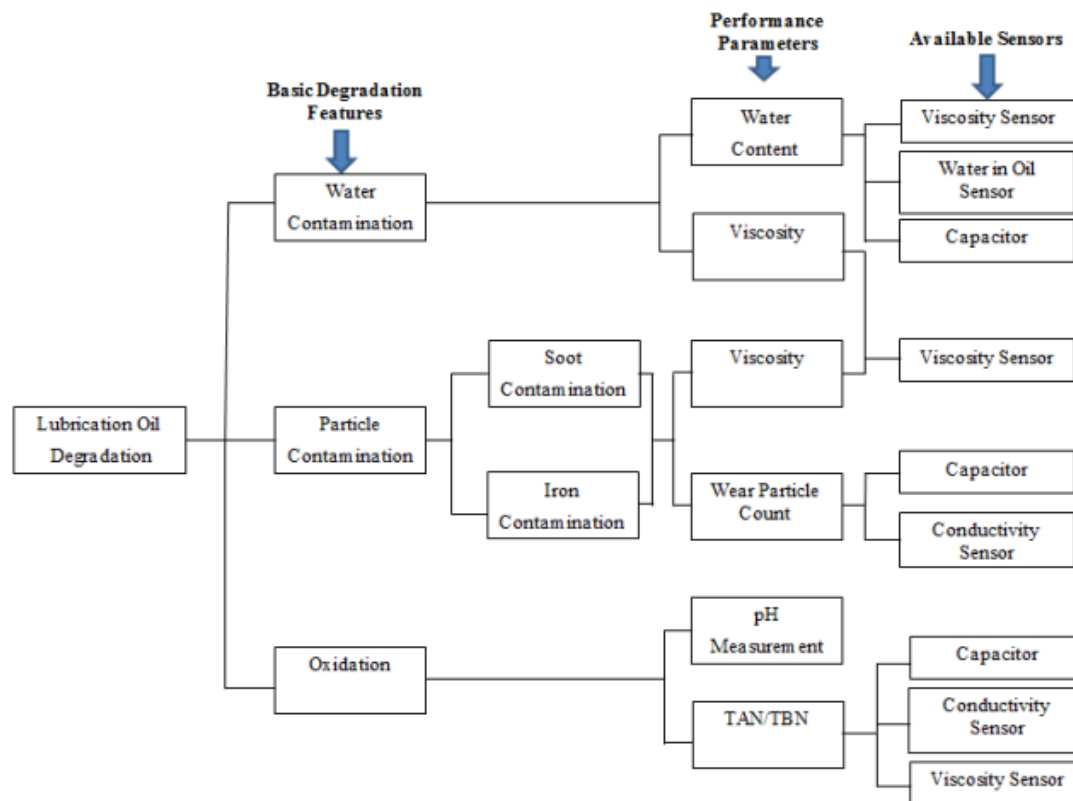
3.2.3 Oljeprovtagning genom urtappning

Det finns också system där det inte finns någon cirkulering av oljan. Ifall ett oljeprov måste tas från ett icke cirkulerande system kan det ske via dräneringspluggen. Oljeprovtagningen via dräneringspluggen är ingen metod att föredra, eftersom provet kommer att innehålla föroreningar och partiklar som har lagt sig på botten av tanken, vilket leder till att oljeprovet inte är representativt för oljan i systemet. För att få ett mera representativt oljeprov kan ett rör installeras rakt inåt från dräneringspluggen. Detta rör har som uppgift att se till så att oljeprovet tas från mitten av tanken där oljan är i rörelse. Oljeprovtagning från dräneringspluggen är den metoden som kan användas ifall någon av de föregående metoderna inte kan användas. (Fitch & Troyer, Oil analysis basics second edition, 2010).

3.3 On-line mätning

Som tidigare nämnts kommer största fördelen med on-linemätning från att mätningarna sker kontinuerligt och detektering av plötsliga och oväntade förändringar i oljan kan göras i ett tidigt skede. Med kontinuerlig analysering av oljan fås också en trendlinje för hur oljans kvalitet förändras med tiden. En nackdel med att använda sensorer för att mäta oljans kondition är att det finns begränsade antal sensorer och värden som kan mätas. Till exempel en oljeanalys ger mycket mera information om oljan än vad on-linemätning gör. Parametrarna som används av sensorerna skiljer sig också vanligtvis från parametrarna som används i oljeanalyserna, vilket gör att en direkt jämförelse mellan dem är svår eller till och med omöjlig att göra. En annan utmaning med att mäta oljans kvalitet med sensorer är att sensorerna behöver kalibreras enligt en viss fluid, alltså sensorerna behöver kalibreras enligt oljan som finns i systemet som skall mätas. Detta eftersom oljetillståndet inte endast beror på en parameter utan på flera olika parametrar, vilket gör att tillståndsövervakningen blir mycket mera komplex. Oljetillståndet i systemet förändras av bland annat belastningen, oljetypen och andra gränsvärden. De vanligaste värden som mäts med sensorerna är bland annat temperatur, viskositet, permittivitet, elektrisk konduktivitet, relativ fuktighet och oljans renlighet. (Lovrec & Tic, 2017). I figur 2 ses ett

flödesschema med vanliga problem med oljans kondition och vilka givare som kan upptäcka problemet.



Figur 2. Sammanfattning av orsaker till oljans nedbrytning och möjliga givare. (Zhu;He;& Bechhoefer, 2013).

3.3.1 Mätning av viskositet

Som tidigare nämnts i kapitel 2.1 är oljans viskositet den viktigaste egenskapen hos oljan. Förutom de tidigare nämnda faktorerna som påverkar viskositeten så kommer också olika föroreningar att påverka oljans viskositet. Till exempel kommer vatten, bränsle och lösningsmedel att sänka på oljans viskositet medan till exempel partiklar, sot och andra tjockare föroreningar kommer att höja på viskositeten. Oljans viskositet går att mäta på flera olika sätt, till exempel kan viskositeten mätas elektroniskt eller mekaniskt. Oftast har sensorerna också en inbyggd givare som mäter temperaturen och på så sätt beaktas också temperaturen vid viskositetsmätningen. Beroende på hur viskositeten mäts så kan till exempel flödes hastigheten och flödesmängden begränsa vilka givare som kan användas. (SenGenuity, 2012).

3.3.2 Mätning av relativ fuktighet

Begreppet relativ fuktighet beskriver mängden vatten i oljan utan att vattnet har blivit fristående från oljan, alltså att vattnet är ihopblandad med oljan. Relativ fuktighet är förhållandet mellan den aktuella mängden vatten i olja och den maximala mängden vatten som en olja kan ta emot vid en viss temperatur och tryck, relativ fuktighet ges som en procent. När smörjoljan sedan är mättad kommer fria vattenpartiklar att dyka upp på ytan. Vatten kan förekomma i tre olika tillstånd i smörjoljan. Dessa tillstånd är:

- Upplöst, vattnet är upplöst i smörjoljan och kan endast upptäckas som relativ fuktighet.
- Emulgerad, det finns finfördelade vattendroppar i oljan.
- Frånskilt, vattnet ses som en tydlig separerad fas.

Relativ fuktighet eller vatten i oljan är en av de största farorna för smörjoljan. Vattnet minskar på bärförmågan hos smörjfilmen, bryter ned oljan och förkortar livslängden hos oljan. Genom att skydda eller minska på andelen vatten eller relativ fuktighet i smörjoljan kommer smörjoljans livslängd att förlängas. Vattenhalten eller relativ fuktighet kan mätas med sensorer genom oljekapacitans. Kapacitiva givare detekterar relativa fuktighetsförändringar i den närliggande miljön och därefter ger ut en procenthalt av relativ fuktighet i smörjoljan. Sensorerna som används för mäta relativa fuktigheten måste kalibreras enligt oljan som används i systemet, detta på grund av att olika oljor kan ta upp olika mängder vatten utan att fria vattendroppar bildas. (Lovrec & Tic, 2017).

3.3.3 Permittivitet och elektrisk konduktivitet

När oljan föråldras och nedbrytning sker så förändras också oljans kemiska molekylstruktur. På grund av att molekylstrukturen förändras så förändras också oljans elektriska egenskaper, såsom förmågan att polariseras. På grund av detta så kan permittivitet och elektrisk konduktivitet användas för att upptäcka förändringar i oljans tillstånd. Alla oljor har en egen specifika permittivitet och på grund av att den elektriska konduktiviteten för nya oljor är låga, så kan dessa värden mätas och en förändring av dessa parametrar kan betyda följande:

- Föroreningar i oljan. Föroreningar som ofta uppkommer i oljor har en högre permittivitet och elektrisk konduktivitet än oljan i systemet. Vilket betyder att vid uppkomst av föroreningar kommer den elektriska egenskapen hos oljan att förändras, vilket kan upptäckas med en givare.
- Oljekvaliteten har sjunkit. När oljan föråldras så minskar additiverna i oljan och oxidation förekommer. Detta leder till att syror och sura föroreningar uppstår i oljan och dessa gör att oljans elektriska förmågor förändras.
- Oljeläckage. I speciella fall kan också oljeläckage mellan två olika oljor upptäckas. Detta på grund av att alla oljor har sin egen permittivitet och elektrisk konduktivitet så ifall två olika oljor blandas kommer de elektriska egenskaperna att förändras. (Lovrec & Tic, 2017).

I tabell 1 ses permittiviteten för smörjoljor och andra vanliga material. Från tabellen ser man att permittiviteten är relativt låg för de flesta oljorna medan till exempel för vatten är den hög. (Emerson Process Management, 2001).

Tabell 1. Permittivitets värden för olika material och smörjolja.

Ämne	Permittivitet
Vakuum	1,00
Gaser	1,00
Vatten	87,9
Hexan	1,87
Cyklohexan	2,02
Oljor	2,1–2,4

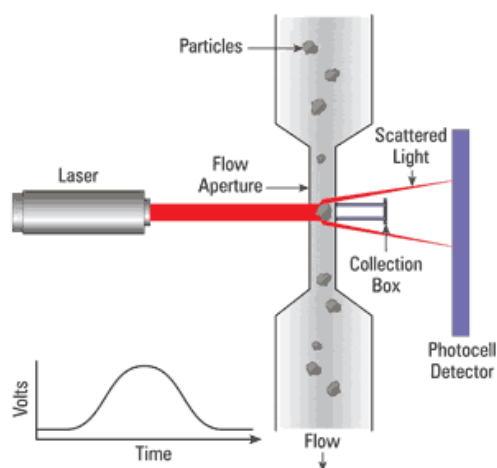
(Emerson Process Management, 2001).

3.3.4 Partikel övervakning

En av de viktigaste värden som kan mätas från en oljas kondition är partikelmängden i oljan. Som tidigare nämnts så bidrar partiklar till slitage av komponenter och blockering av ventiler, vilket gör att de måste hållas på en låg nivå. Det finns flera olika givare och tillvägagångssätt för att mäta partiklar i oljan, men det vanligaste sättet är att använda en ljusblockerande partikelräknare. Den fungerar genom att en ljuskälla eller en laser projiceras genom oljan och när en partikel åker förbi uppstår en störning. Ljusstrålen

blockeras helt eller delvis och beroende på hur mycket ljus som når fotodetektorn förändras spänningen. Beroende på spänningen kan också storleken på partikeln bestämmas, eftersom spänningen är proportionell mot partikelns yta. Nackdelar med denna metod är att till exempel luftbubblor och vatten kan orsaka mätfel.

Ett annat sätt att mäta partiklar grundar sig på hur laserljuset sprider sig när det träffar en partikel. Metoden är nästan samma som den tidigare, men när laserstrålen träffar en partikel så sker en spridningseffekt. I en ljusblockerande partikelräknare sjunker energin när en partikel träffas, men i denna metod ökar energin när en partikel träffas och med samma princip går det att räkna ut storleken på partikeln. En bild som förklarar principen ses i figur 3. (Noria Corporation, 2002).



Figur 3. Partikelräknarens funktion. (Noria Corporation, 2002).

4 Val av maskiner till oljeanalys

För maskiner som är kritiska för verksamheten är kostnaderna för att utföra oljebyte små i jämförelse med värdet man får av att undvika katastrofala maskinhaverier. Det vill säga om oljeanalysen endast skulle berätta oljans återstående livslängd så skulle endast en bråkdel av alla oljeanalyser som görs vara ekonomisk hållbara. I vissa maskiner kan oljans mängd vara så liten att en stor del av maskinens oljemängd är tömd när ett godkänt oljeprov har tagits. Som tidigare nämnts i kapitel tre är oljeanalysen inte endast till för att bestämma när oljan skall bytas, utan i de flesta fallen kan oljeanalysen också berätta vilken kondition maskinen har, vilket är av större betydelse. Det är detta som gör oljan och oljeanalysen till en mycket bra informationskälla för en maskins kondition och lämpliga åtgärder kan tas före eventuella dyra haverier. (Fitch, How to select machines for oil analysis, 2015).

4.1 Kriterier för oljeanalys

Det finns inte något universellt tillvägagångssätt för hur man väljer ifall en maskin skall ha oljeanalys eller inte. Utan beslutet på ifall oljeanalys utförs på maskinen baseras på ett antal faktorer enligt det aktuella företagets policy. Men det finns riktlinjer och formler som kan hjälpa till att välja rätt maskiner till oljeanalysen. Första steget är att fundera på vilken typ av information man vill få ut av oljeanalysen. Till exempel vill man ha reda på föroreningsnivåerna, oljebytesintervall, onormala driftförhållanden eller upptäcka tidiga fel. Det är viktigt att komma ihåg att oljeanalys är avsedd för maskiner som är viktiga för produktionen och det beror inte på hur stor eller liten maskinen är. Ifall en maskin är viktig och kommande haverier kan upptäckas i tid med oljeanalys, så är en oljeanalys relevant för maskinen. Oljeanalysplanen kan förändras och förbättras hela tiden och beroende på resultaten från oljeanalyserna kan flera maskiner adderas eller tas bort från oljeanalysplanen. (Noria Corporation, u.d.).

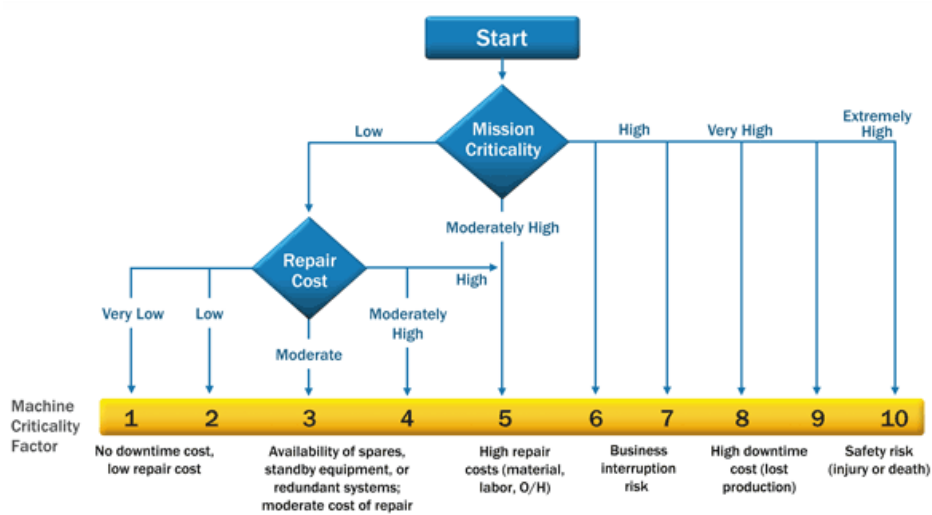
Andra faktorer som man behöver ta i beaktande är bland annat maskinens kritiskhet, driftegenskaperna, reparationshistorik, sannolikheten för att fel uppstår och konsekvenser av oväntade stopp. Med driftegenskaper menas ifall en maskin har högre risk av att utsättas för yttre föroreningar, till exempel att maskinen utsätts för vatten, höga temperaturer eller andra föroreningar. Driftegenskaper handlar alltså om miljöförhållandet vid maskinen och allt som kan öka risken för att maskinens olja blir dålig. Med reparationshistorik kollar man

ifall maskinen nyligen eller ofta har driftsproblem. Ifall maskinen ofta har problem så kan oljeanalys av maskinen hjälpa till att minska på återkommande haverier. En annan sak som också påverkar beslut om oljeanalys är sannolikheten för att oljan blir förorenad. Till exempel för en motor som utsätts för höga temperaturer, sot och bränsle kan oljan lätt bli förorenad. Ifall sannolikheten för att en maskins olja blir kontaminerad är hög så kan också on-linemätning vara ett alternativ. Därför är det viktigt att ta med sannolikhet för fel i en maskins utvärdering. (Tandelta, 2019).

4.1.1 Maskinkritiskhet

Med kritiskhet för en maskin menar man hur kritisk maskinen är för produktionen. Det vill säga vilka skulle konsekvenserna bli ifall maskinen fick ett haveri. Följderna kan bli dyra reparationer, förlorad produktion eller skadefall. Desto viktigare maskinen är för företaget och dess produktion, desto större blir kritiskheten för maskinen. Maskinens kritiskheten är också viktig när man bestämmer vilka åtgärder som skall göras för att förbättra en produktionslinjes tillförlitlighet. Alla maskiner i en produktionslinje har olika stor kritiskhet och därför är det viktigt att indentifiera dessa och ta dem i beaktande. Till exempel kan en maskins haveri påverka en hel produktionslinje och en annan maskins haveri har minimal påverkan på produktionen. Det bästa sättet att öka tillförlitligheten och underhållet för en maskin är genom en riskbaserad analys. Riskbaserad analys är alltså att man får en ekonomisk vinst genom att öka tillförlitligheten och underhållet för maskinen, än att behöva åtgärda eventuella haverier som kan uppstå.

För att lättare förstå maskinkritiskheten kan man använda en metod för att värdera ut en faktor. För att göra det enkelt kan skalan för maskinkritiskhetsfaktorn var mellan 1-10, där 10 är den högsta kritiskheten. Maskinkritiskhetsfaktorn beror på bland annat på hur viktig maskinen är för produktionen och kostnaderna för reparationer. Figur 4 illustrerar hur maskinkritiskhetsfaktorn kan utvärderas och hur skalan är definerad.



Figur 4. Utvärdering av maskinkritiskhetsfaktor. (Fitch, A new look at criticality analysis for machinery lubrication, 2013).

Från detta går det ännu att räkna ut ett övergripande maskinkritiskhet, som på engelska heter overall machine criticality (OMC). Övergripande maskinkritiskhet är en riskprofilsbedömning som kan räknas ut som en produkt från maskinkritiskhetsfaktorn och en felförekomstfaktor. Felförekomstfaktorn kan bestämmas utifrån maskinens felhistorik eller jämföras med liknande maskiner som har samma miljöförhållanden. Faktorn skall värderas mellan 1–10, där 10 är att maskinen aldrig har haft haveri medan 1 är att maskinen har haveri nästan varje år. Övergripande maskinkritiskheten kan sedan bäst visas som en matris, där x-axeln presenterar maskinkritiskhetsfaktorn och y-axeln visar felförekomstfaktorn. Beroende på värdet som fås från produkten av de två faktorerna kan en övergripande maskinkritiskhet fås för maskinen, OMC får ett värde mellan 0–100. Denna kritiskhet kan sedan användas i bedömningen av ifall en maskin skall ha oljeanalys. I figur 5 ses ett exempel på en matris av övergripande maskinkritiskheten. (Fitch, A new look at criticality analysis for machinery lubrication, 2013).

		MACHINE CRITICALITY FACTOR									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FAILURE OCCURRENCE FACTOR	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Figur 5. Matris av övergripande maskinkritiskhet. (Fitch, A new look at criticality analysis for machinery lubrication, 2013).

4.1.2 Smörjoljans kritiskhet

Det går också att fortsätta utvärdera maskiner med något som kallas övergripande smörjmedel kritiskhet eller på engelska overall lubricant criticality (OLC). För att räkna ut värdet för OLC kan följande formel användas:

$$OLC = OMC + (LCF \cdot DOF) \quad (2)$$

Där OMC står för overall machine criticality, LCF står för lubricant criticality factor och DOF står för degradation occurrence factor. LCF eller smörjmedlets kritiska faktor beaktar kostnaderna för smörjoljan, kostnaderna vid stillestånd för oljebyten och andra kostnader som uppkommer för stoppet. Till exempel ifall maskinen har en stor volym olja kommer faktorn att bli hög. DOF eller nedbrytningsfaktorn ser på sannolikheten på att ett tidigt smörjmedelsfel. Denna faktor beaktar bland annat typ av olja, temperaturen, föroreningar och smörjoljans temperatur. Både LCF och DOF har ett värde mellan 0–10. Den övergripande kritiskheten för smörjoljan beräknas ut från produkten av smörjmedlets kritiska faktor och nedbrytningsfaktorn för oljan, sedan adderas den övergripande maskinkritiskheten till. (Fitch, How to select machines for oil analysis, 2015).

4.2 Prioritering av kriterier till oljeanalys

Som tidigare nämnts i kapitel 4.1 så finns det många olika faktorer som påverkar valet av vilka maskiner som skall ha oljeanalys. Beroende på vad företaget prioriterar och vill få fram med oljeanalyser kan olika faktorer vara av större betydelse, men den faktorn som alltid

kommer att ha den största betydelsen är maskin kritiskheten. Därför är det bra att se på faktorerna som OMC och OLC. De måste inte alltid följas, men de ger en bra startpunkt att utgå ifrån. Maskiner som har höga värden på OMC och OLC lämpar sig ofta till oljeanalysprogrammet. Till exempel kan värdet 50 vara tillräckligt stort för att oljeanalys skall löna sig. Dessutom kan dessa värden också indikera oljeanalysens intervaller. Ifall maskiner har höga värden skall oljeanalysen ske oftare och ifall värden är på låga skall oljeanalysens intervall vara längre. (Fitch, How to select machines for oil analysis, 2015).

4.3 Oljeanalysintervall

Vid val av oljeanalysens intervall är tillvägagångssättet samma som för val av oljeanalys till maskiner. Det finns ingen universell formel för att bestämma intervallens längd, dock finns det rekommendationer att intervallen skall vara mellan två veckor upp till tre månader. För att bestämma tidsperioden måste man först ta reda på vad syftet med oljeanalyserna är. Till exempel om målet är att bestämma när oljan skall bytas så kan oljeanalysens intervall bestämmas enligt oljans förväntade livslängd. Men ifall oljeanalysen utförs för att bestämma en maskins kondition och oljans tillstånd måste intervallen vara kortare. Oftast används oljeanalysen för det senare alternativet. När man bestämmer intervallens längd så kan man beakta samma faktorer som beaktas vid val oljeanalys till maskiner, men förutom det så måste man även beakta tidsperioden mellan att kontaminering av oljan upptäcks och en maskins haveri. Intervallens längd måste vara kortare än denna period. Dessutom kan intervallens längd förkortas ytterligare vid slutet av oljans förväntade livslängd. Men oljeanalysens intervall är något som kan ha stor variation mellan olika företag och beror stort på vad som prioriteras inom företaget. (Eurofins, 2017).

5 Metodik

I detta kapitel redogörs tillvägagångssättet för hur examensarbetet har utförts och vilka metoder som har använts för detta arbete. Under examensarbetets gång så ordnades månadsmöten med uppdragsgivaren varje månad för att lösa olika problem som uppstod i arbetet, svara på frågor om arbetet och att sammanfatta så att arbetet blev gjord enligt UPM:s och skolans önskemål. Andra metoder som har använts är bland annat diskussioner med UPM:s anställda. Förutom detta så användes också UPM:s interna information om bland annat hur en maskins kritiskhet utvärderas och annan information som har betydelse för arbetet.

5.1 Utförande

Examensarbetet börjades med ett möte där uppgiften presenterades. Företaget ville uppdatera och utveckla instruktionerna för smörjunderhållet och ta reda på möjligheterna med oljetillståndövervakning vid UPM:s cellulosaafabrik i Jakobstad. De ville att instruktionerna för hur maskiner väljs till oljeanalys skulle baseras på teori. Förutom detta så ville de också ta reda på vilka givare som kunde användas i fabriken och om det kunde löna sig att använda sensorer.

Detta examensarbete är till största delen baserad på teori och därför påbörjades arbetet med att studera ämnets teori. Teorin som studerades och togs med i examensarbetet var bland annat oljans egenskaper, olika sätt att mäta oljans kvalitet, oljeövervaknings metoder, hur oljeanalys utförs, vad on-linemätning är och vilka kriterier som är viktiga när man väljer maskiner till oljeanalys programmet.

Efter att teorin för examensarbetet hade studerats så påbörjades det praktiska arbetet med att utveckla och göra instruktioner för val av maskiner till oljeanalys och presentation av möjliga givare som kan användas i fabriken. Först gjordes olika testversioner för hur arbetet kunde presenteras för att se vilket som ansågs vara mest användbar för fabriken. För val av maskiner till oljeanalys skapades tre olika förslag och dessa var: ett tillvägagångsdocument, ett flödesschema och en beslutsmatris. Från månadsmöten och diskussioner med anställda så bestämdes det att arbetet med val av maskiner till oljeanalysen skulle presenteras som ett flödesschema och ett instruktions dokument. Flödesschema skulle fungera som ett konkret hjälpmedel till det mera teoribaserade instruktionsdokumentet.

Undersökningen av oljekonditionsgivarna börjades med en rundtur i fabriken för att se vilka oljekonditionsgivare som redan finns i företaget, detta för att få en bild av det nuvarande läget i fabriken. Efter detta så studerades teori om hur olika givare fungerar och vad de mäter i oljan. När detta var gjort så sammanställdes ett dokument där det sammanfattades några vanliga givare som kan användas för att övervaka oljan och i vilka miljöer de kan placeras.

6 Resultat

Detta kapitel sammanfattar det arbetet som har blivit utfört i examensarbetet och resultatet presenteras. Först presenteras resultatet av arbetet med att utveckla tillvägagångssättet för att välja maskiner för oljeanalys och sedan presenteras den andra delen av arbetet som handlar om resultatet från undersökningen om oljekonditionsövervakningen. Detta kapitel beskriver också vilka beslut som har fattats i examensarbetet och motiveringarna för dessa beslut. Efter att resultaten har presenterats så kommer förslag till fortsatt forskning kring ämnet och en kritisk granskning av det utförda examensarbetet.

6.1 Val av maskiner för oljeanalys

I början av examensarbetet bestämdes det att resultatet från examensarbetet skulle bli ett tillvägagångsdocument för UPM. Syftet med tillvägagångsdocumentet är att det skulle detaljerat beskriva metoden som ska användas vid val av maskiner för oljeanalys. Efter att teorin hade studerats och möten hade haft med både handledare i UPM och i skolan så ändrades resultaten så att det också skulle innehålla ett flödesschema. Flödesschemats uppgift var att fungera som ett mera konkret verktyg för anställda att följa vid val av maskiner för oljeanalysen. Tillvägagångsdocumentet och flödesschemat utvecklades så att de kompletterade varandra, men de kunde också fungera enskilt. Flödesschemat fungerar som en mera visuell beskrivning av hur tillvägagångssättet för val av maskiner utförs medan tillvägagångsdocumentet mera teoretiskt förklarar vilka steg som finns och vad de innehåller. Idén med dessa två dokument var att ifall inte flödesschemat gav tillräckligt med information kunde tillvägagångsdocumentet användas för att få mera information om olika steg och dess innehåll.

6.1.1 Utformningen av flödesschemat och tillvägagångsdocumentet

Som tidigare nämnts i teorikapitlet om kriterier för oljeanalys så finns det inget officiellt tillvägagångsätt för val av maskiner för oljeanalys, utan detta görs enligt vissa kriterier och enligt företagets egen policy. På grund av detta så bestämdes det att det blir två versioner av flödesschemat och tillvägagångsdocumentet. Första versionen utvecklades så att den enbart innehöll teori. Flödesschemat och dokumentet utformades enligt de teoretiska kriterierna. Därefter utvecklades en annan version som anpassades specifikt till UPM:s

cellulosafabrik i Jakobstad. Denna version utgick från den första teoretiska utvecklade versionen och kompletterades sedan med extra kriterier så att den skulle passa till fabriken behov. Extra kriterier som lades till var bland annat vilken oljemängd en maskin måste ha för att den skall kunna väljas till oljeanalys. Detta är något som går emot teorin, men som infördes enligt UPM:s önskemål av ekonomiska orsaker, eftersom oljeanalyser är dyra.

Utvecklingen av det teoretiska flödesschemat börjades med att rangordna kriterierna i ordningen med de viktigaste först. Rangordningens ordningsföljd gjordes enligt teorin och blev följande:

1. Maskinens kritiskhet.
2. Smörjoljans kritiskhet.
3. Maskinens driftegenskaper.
4. Maskinens felintervall och sannolikheten för fel.
5. Kostnaderna för oljebyte.

Efter att kriterierna blivit rangordnade skapades ett flödesschema enligt dess rangordning. För att flödesschemat skulle vara enkel att användas gjordes det så att användaren endast skall svara jakande eller nekande för att gå vidare till nästa steg. Specifika gränser för kriterierna angavs i dokumentet för att göra frågorna i flödesschemat enklare att svara på och för att undvika tolkningsfrågor. Dessa gränser angavs både i dokumentet och i flödesschemat. Det teoretiskt utformade flödesschemat kan ses i bilaga 1. Ifall användaren inte förstår ett steg i flödesschemat eller behöver mera information kan tillvägagångsdokumentet användas.

Tillvägagångsdokumentet skapades med varje kriterium som en separat rubrik, där ytterligare information om vad som skall undersökas och utvärderas specificeras. Förutom att dokumentet förklarar djupare hur utvärdering av kriterierna utförs så anger dokumentet även de gränser som gäller för samtliga kriterier. Tillvägagångsdokument kan ses i bilaga 2.

Efter att de teoretiska dokumenten hade skapats så gjordes ett annat dokument anpassat specifikt till UPM. Det anpassade flödesschemat kan ses i bilaga 3 och det anpassade tillvägagångs dokumentet kan ses i bilaga 4. I det anpassade dokumentet så ändrades bland annat maskinkritiskhets gränsen och ett extra kriterium med oljemängd lades med. Dessa ändringar måste genomföras på grund av att UPM och teorin har olika definitioner och kriterier för en maskins kritiskhet. UPM har en kritiskhetsanalys av maskinerna i fabriken, dock följer denna metod inte teorins sätt att mäta en maskins kritiskhet, utan UPM:s modell för en maskins kritiskhet liknar mera teorins OMC, med några tilläggs-kriterier. En annan orsak till att gränsen för kritiskheten ändras är på grund av att UPM har en annan skalningsfaktor än den som beskrivs i teorin. Förutom detta så hade UPM också som önskemål att oljemängden också skulle vara ett kriterium för oljeanalys, detta på grund av ekonomiska skäl. En preliminär oljemängd räknas ut från de totala kostnaderna som uppstår för oljeanalysen under ett år minus de kostnader som uppkommer vid oljebytet. Denna oljemängd användes endast som en riktgivande gräns för när oljeanalys skall utföras. Beräkningarna för oljemängden ses i UPM:s tillvägagångs-dokument, bilaga 4.

För att underlätta arbetet med att välja maskiner för oljeanalysen så gjordes också en matris. Matrisen är utformad enligt flödesschemat och instruktionsdokumentet och följer exakt samma steg, så resultatet blir samma oavsett vilket dokument som används. Matrisen gjordes på grund av att det finns hundratals maskiner och växellådor som har liknande kriterier, vilket gör att det är tidsdrivande att följa flödesschemat för varje ny maskin, men matrisen snabbar upp denna process. Matrisen kan ses i bilaga 5.

6.2 Oljetillståndsövervakning

Syftet med undersökningen om oljetillståndsövervakning var att UPM skulle få en bredare uppfattning om vilka givare som finns tillgänglig och vilka som eventuellt kan användas i fabriken i Jakobstad. I månadsmöten med UPM bestämdes det att undersökningen skulle bli ett dokument som sammanfattar vilka vanliga givare som kan användas för att mäta oljans kvalité samt även i vilka miljöer de kan placeras i, till exempel i vilka miljöer det skulle vara lämpligt att placera relativ fuktighetsgivare och partikelgivare. Tanken med dokumentet var att ge en bredare uppfattning om vad oljekonditionsgivare är och vad de kan användas till, detta eftersom leverantörer har börjat erbjuda givare till nya maskiner

som installeras. Dokumentet säger inte vilka maskiner som skall ha givare, utan ger information om i vilka miljöer som givarna passar i.

Informationsdokumentet om oljekonditionsgivarna gjordes från teorin och information från rundvandringen i fabriken. Teorin gav information om hur givarna fungerar, vad de kan mäta och vilka begränsningar de har. Rundvandringen i fabriken gav information om vilka givare som redan används, vilka miljöer som förekommer och en allmän överblick över vad som finns. Detta kombinerades sedan för att göra ett informationsdokument åt UPM.

Dokumentet byggdes upp på följande sätt, först skrevs allmänt om oljekonditionsgivare, till exempel att oljekonditionsgivare endast mäter oljans kvalitet och de kan inte ge information om orsaken till att problemet uppstod. För att ta reda på orsaken måste oljeanalys utföras. Efter inledningen kommer en beskrivning av olika givare, som till exempel viskositetsgivare, relativ fuktighetsgivare, permittivitet och elektrisk konduktivitetsgivare och partikelgivare. Beskrivningen av oljekonditionsgivare tar upp information om vad givarna mäter, hur givarna känner av förändringen i oljan, vilka miljöer givarna kan placeras i och vilka var de inte kan placeras, till exempel partikelgivaren kan inte placeras i oljesystem där det finns risk för vatten, eftersom vattenbubblor ger upphov till störningssignal. Dokumentet avslutas med att beskriva hur val av oljeanalys eller online mätning görs. Där förklaras vilka fördelar och nackdelar det finns med båda metoderna och vilka faktorer som behövs beakta när man väljer metod för oljeövervakning. De faktorer som togs med var bland annat tidperioden mellan problem och haveri, kostnader och frekvens av övervakningen, ifall specifika parametrar behöver övervakas, förutsäga problem och risker med kontamineringen av oljan. Detta var de viktigaste faktorer som påverkar valet mellan oljeanalys och online mätning. Oljetillståndsovervaknings dokumentet kan ses i bilaga 6.

6.3 Kritisk granskning av arbetet

Syftet med arbetet var att utveckla smörjunderhållet vid UPM:s cellulosafabrik i Jakobstad. Detta gjordes genom att utveckla en metod för val av maskiner för oljeanalys och genom att undersöka vilka möjligheter det finns med oljekonditionsgivare i fabriken. Syftet med examensarbetet uppnåddes. En ny metod och tillvägagångssätt för denna metod skapades

och ett dokument där oljekonditionsgivarens funktion och syfte presenterades. Oljeanalysen intervall undersöktes också och den inkluderades i flödesschemat.

Utvecklingen av metoden för val av maskiner för oljeanalysen gjordes till största delen från teorin. Teorin ger endast skriftliga anvisningar om hur valet går till och det fanns inte något flödesschema eller annat konkret för att lättare förstå tillvägagångssättet. Detta betyder att risken för detta arbete ligger framför allt i utformningen av flödesschemat och rangordningen av kriterierna. För att minska på risken för att detta skulle bli fel så har många källor granskats och UPM:s handledarna har också varit med och granskat flödesschemat. Förutom detta så gjordes också en så kallad reservplan för arbetet. Detta gjordes genom att dela upp metoden för val av maskiner i en teoridel och en del som är anpassad till UPM, genom att göra detta så kan man alltid granska teoridelen för att se ifall man upptäcker något fel eller brister i den anpassade versionen. Undersökningen av oljekonditionsgivarna utfördes helt enligt teorin och arbetet presenterar oljekonditionsgivarna endast ytligt.

6.4 Förslag till fortsatt forskning

För fortsatt forskning kunde man undersöka vilka förändringar som uppkommit med den nya metoden av att välja maskiner för oljeanalys och dess intervall. Ta reda på ifall mängden oljeanalys ökar eller minskar och i så fall vilken förändring som har skett. Denna fortsättning kunde också undersök hur den nya metoden har påverkat antal oväntade haverier och ifall något kriterium måste ändras eller rangordnas om. Det vill säga en uppföljning av detta arbete kunde göras.

För oljetillståndsovervakning kunde fortsatt forskning handla om att fortsätta utveckla metod för hur man väljer mellan oljeanalys och online mätning, liknande som gjordes i detta arbete för val av maskiner till oljeanalys. En annan frågevinkel man kan ta med är ifall det fortfarande är lönsamt att utföra oljeanalys eller om det är bättre att endast ha online mätning och utföra oljeanalys vid att man upptäckt fel i oljan.

Ett tredje alternativ till fortsatt arbete kunde vara att undersöka vilka maskiner eller oljesystem som är i behov av oljekonditionsgivare i fabriken. Detta arbete kunde innehålla att ta reda på tiden mellan upptäcksperioden och haveriet för maskinerna och väljer vilka maskiner som behöver online mätning enligt det.

7 Diskussion

Examensarbetets ämne smörjunderhålls utveckling och oljetillståndsövervakning var obekanta för mig, vilket gjorde att en betydande del av tiden med examensarbetet spenderades på att studera teori och metoder med oljeanalys. Det ledde till att uppgiften i examensarbete var både svår och utmanande, men på samma gång mycket lärorik och intressant.

Största utmaningen i examensarbetet med att uppdatera och utveckla smörjunderhållet, var delen med att utveckla en ny metod för att välja maskiner till oljeanalys programmet. Teorin som jag studerade gav mig en bra grund och en ganska tydlig bild av vad man skall tänka på, men att sedan använda det för att skapa ett enkelt och användbart system som var anpassad till UPM och UPM:s metoder var mycket svårare. Detta på grund av teorin endast gav riktlinjer hur utvärdering skall göras och på grund av att UPM har ett eget system som de använder. Detta ledde till att kompromisser och avvikelser mellan teorin och UPM:s system behövdes göra vid utvecklingen av metoden för val av maskiner.

Resultatet och arbetet med den nya metoden för att välja maskiner blev enligt mig ganska bra, men för att verkligen utvärdera arbetet och dess värde borde en undersökning göras om vilka förändringar som har skett med denna metod, en uppföljning till detta arbete. Resultatet med oljetillståndsövervakningen blev ganska så kort och ytligt, detta berodde på att största fokuset låg på arbetet med att välja maskiner till oljeanalys programmet. Ifall oljetillståndsövervakningen även skulle ha innehållit specifikt vilka maskiner som behöver oljekonditionsgivare skulle arbetet ha blivit för stort.

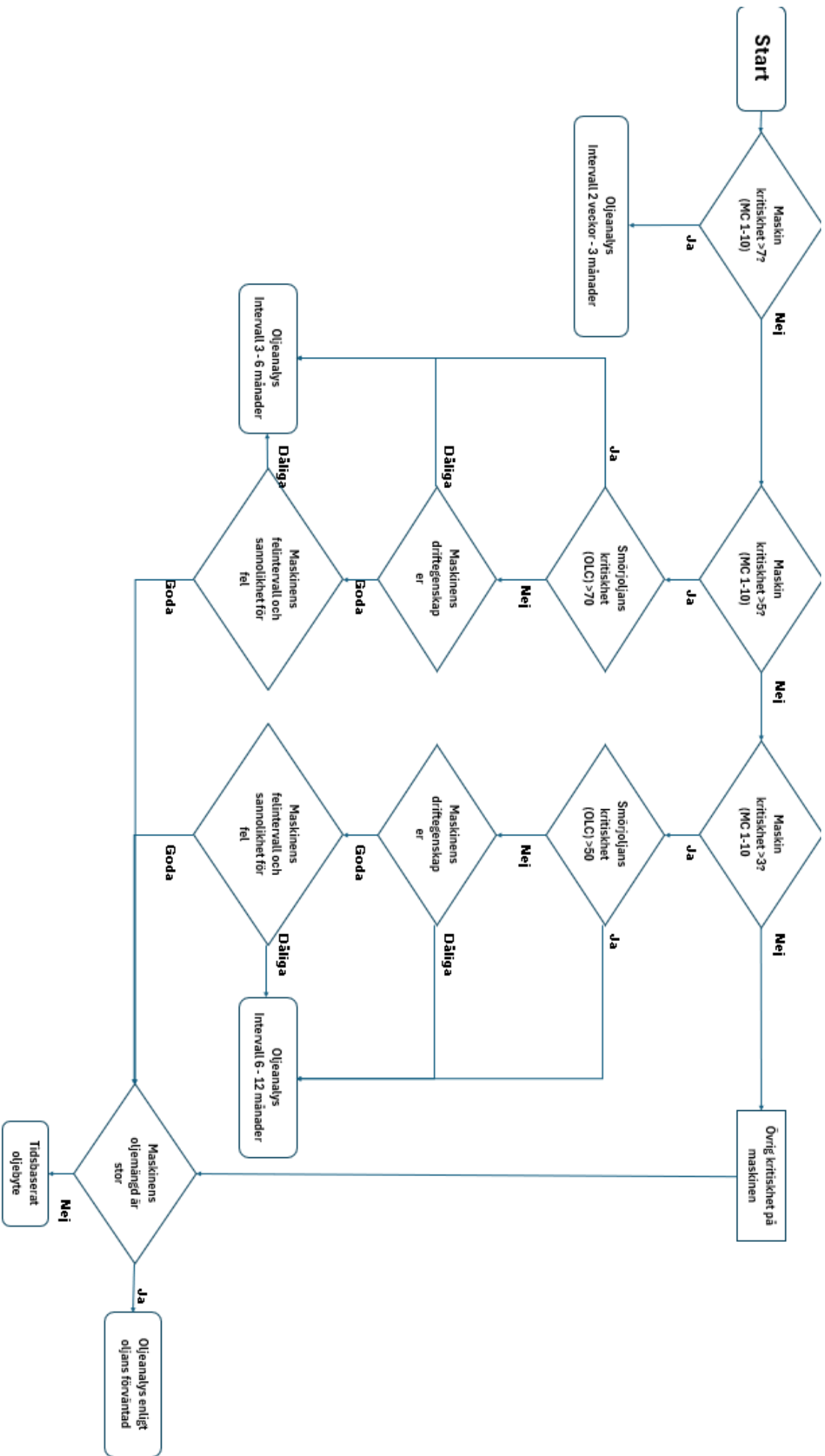
En stor del av detta arbete var teoribaserat, vilket har lett till att jag har lärt mig väldigt mycket om hur man omvandlar teori till något praktiskt och hur man göra olika kompromisser mellan teori och det praktiska. Förutom detta så har jag också lärt mig en hel del om oljor och hur man utvärderar vilka maskiner som är kritiska i ett företag. Detta är viktigt när man både ser på de ekonomiska aspekterna och produktionens tillförlitlighet.

Slutligen vill jag tacka UPM för att ha gett mig detta examensarbete och jag vill även tacka handledarna både vid UPM och i skolan för all hjälp som jag har fått.

Källförteckning

- Abdel-Raouf, M. E., & El-Keshawy, M. H. (2022). *Cruide oil new technologies and recent approaches*. London, United Kingdom: IntechOpen.
- Afton Chemical. (u.d.). *Viscosity index improvers*. Hämtat från Chempoint: <https://www.chempoint.com/insights/afton-viscosity-index-improvers> den 28 11 2023
- Bloch, H. P. (2009). *Practical lubrication for industrial facilities 2nd edition*. Atlanta: The fairmont Press, Inc.
- Bruce, R. W. (2012). *Tribology, Handbook of Lubrication and Tribology Volume 2 Theory and Design second edition*. Taylor & Francis group.
- Byington, C. S., & Schalcosky, D. C. (2000). *Advances in real time oil analysis*. Hämtat från Machinery lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/138/real-time-oil-analysis> den 28 11 2023
- Des-Case. (2021). *Time-Based Oil Analysis vs. Real-Time Oil Monitoring*. Hämtat från <https://www.descase.com/wp-content/uploads/2021/01/WP2101-Oil-Condition-Monitoring-Whitepaper.pdf>
- Emerson Process Management. (2001). *Dielectric constant and oil analysis*. Hämtat från Machinery Lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/226/dielectric-constant-oil-analysis>
- Eurofins. (den 24 5 2017). *Oil analysis test frequency guidelines*. Hämtat från TestOil: <https://testoil.com/program-management/oil-analysis-test-frequency-guidelines/>
- Fitch, J. (2004). *The basic of used oil sampling*. Hämtat från Machinery lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/650/used-oil-sampling> den 28 11 2023
- Fitch, J. (2013). *A new look at criticality analysis for machinery lubrication*. Hämtat från Machinery lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29346/machinery-criticality-analysis>
- Fitch, J. (2015). *How to select machines for oil analysis*. Hämtat från Machinery lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30204/select-machines-analysis> den 28 11 2023
- Fitch, J., & Troyer, D. (2010). *Oil analysis basics second edition*. Tulsa, Oklahoma USA: Noria Corporation.
- Jacobson, S., & Hogmark, S. (1996). *Tribologi: friktion, smörjning och nötning*. Stockholm: Liber Utbildning.
- Lovrec, D., & Tic, V. (2017). *On-line condition monitoring and evaluation of remaining useful lifetimes for mineral hydraulic and turbine oils*. Maribor: University of Maribor press.

- Noria Corporation. (2002). *Automatic particle counters for fluid contamination control*. Hämtat från Machinery lubrication:
<https://www.machinerylubrication.com/Read/351/particle-counters>
- Noria Corporation. (u.d.). *Choosing equipment for oil analysis*. Hämtat från Machinery lubrication:
<https://www.machinerylubrication.com/Read/30965/equipment-oil-analysis>
den 14 12 2023
- SenGenuity. (2012). *Oil and fuel monitoring using the ViSmart viscosity sensor*. Hämtat från Machinery Lubrication:
<https://www.machinerylubrication.com/Read/2071/oil-fuel-viscosity-sensor>
- Stachowiak, G., & Batchelor, A. W. (2005). *Engineering Tribology*. Elsevier Science & Technology.
- Tandelta. (den 8 8 2019). *Oil analysis: Selecting critical equipment to maximise profits*. Hämtat från Tandelta oil condition monitoring:
<https://www.tandeltasystems.com/oil-analysis-selecting-critical-equipment-to-maximise-profits/>
- Torbacke, M., Rudolphi, Å. K., & Kassfeldt, E. (2014). *Lubricants : Introduction to Properties and Performance*. John Wiley & Sons.
- UPM jakobstad. (2023). *UPM Jakobstad*. Hämtat från
<https://www.upmpulp.com/sv/upm-jakobstad/> den 12 14 2023
- UPM.fi. (2023). *UPM.fi*. Hämtat från <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/> den 14 12 2023
- Vähöja, P. (2006). *Oil Analysis In Machine Diagnostics*. Oulu: University of Oulu.
- Wills, J. G. (1980). *Lubrication fundamentals*. New York: Marcel Dekker.
- Wright, J. (2008). *A simple explanation of viscosity index improvers*. Hämtat från Machinery lubrication:
<https://www.machinerylubrication.com/Read/1327/viscosity-index-improvers>
- Zhu, J., He, D., & Bechhofer, E. (2013). *Survey of lubrication oil condition monitoring, diagnostics, prognostics techniques and systems*. Chicago USA: Journal of Chemical Science and technology. Hämtat den 12 12 2023



Tillvägagångssätt för val av maskiner till oljeanalys (Teori och rekommendation)

Hur man väljer oljeanalys till maskiner

Detta dokument förklarar tillvägagångssättet för val av maskiner till oljeanalys. Prioriteringarna är gjorda i ordningsföljd, med de viktigaste först. Som hjälpmedel kan flödesschemat i Excell användas för att bestämma ifall oljeanalys är aktuellt, flödesschemat fungerar som ett hjälpmedel till detta dokument.

Maskinens kritiskhet (Machine Criticality, MC)

Den första och viktigaste faktorn som skall beaktas är maskinens kritiskhet. Maskinens kritiskhet ska utvärderas som en faktor mellan 0–10, där 10 är den högsta kritiskheten. Maskinens kritiskhet ska beakta bland annat reparationskostnaderna, förlorade produktionskostnader vid haverier, hur viktigt maskinen är för produktionen och skadefall. Vid högsta kritiskheten är kostnaderna för reparationen och stopptiden höga och risken för skadefall är också hög. Ifall denna faktor är 5 eller högre rekommenderas oljeanalys till maskinen.

Smörjoljans kritiskhet (Overall Lubricant Criticality, OLC)

Smörjoljans kritiskhet OLC anger hur kritisk oljan är för maskinen. Detta påverkas av maskinens kritiskhet, felintervall, kostnader för stopp, kostnaderna för oljebyte och nedbrytningshastigheten av oljan. Detta kan räknas ut enligt följande:

$$OLC = OMC + (LCF \cdot DOF)$$

Där OMC står för Overall Machine Criticality, LCF står för Lubricant Criticality Factor och DOF står för Degradation Occurrence Factor.

- OMC är exakt samma sak som MC men här inkluderas även maskinens felintervall i utvärderingen. Maskinens felintervall utvärderas mellan 0–10. Efter detta kan OMC räknas ut genom att multiplicera MC med maskinens felintervall. Detta ger en OMC en faktor mellan 0–100.
- LCF beaktar alla kostnaderna som uppkommer vid stoppet. Detta inkluderar kostnaderna för arbetet, smörjoljan, stopp i produktionen och andra kostnader som förekommer. LCF utvärderas till en faktor mellan 0–10.
- DOF beaktar maskinens arbetsmiljö och driftegenskaper. Här beaktas bland annat maskinens temperatur och risk för föroreningar.

Driftegenskaperna (Degradation Occurrence Factor, DOF)

Driftegenskaperna beaktar maskinens- och oljans risk för att utsättas för yttre och inre föroreningar, till exempel här beaktas ifall maskinen utsätts för vatten, syror eller andra ämnen. Miljön runt maskinen bör också beaktas, till exempel höga temperaturer, som leder till oxidation och nedbrytning av oljan. Driftegenskaperna kan utvärderas med en skala 1–10, 10 är den sämsta faktorn, där temperaturen är hög och det är stor risk för föroreningar.

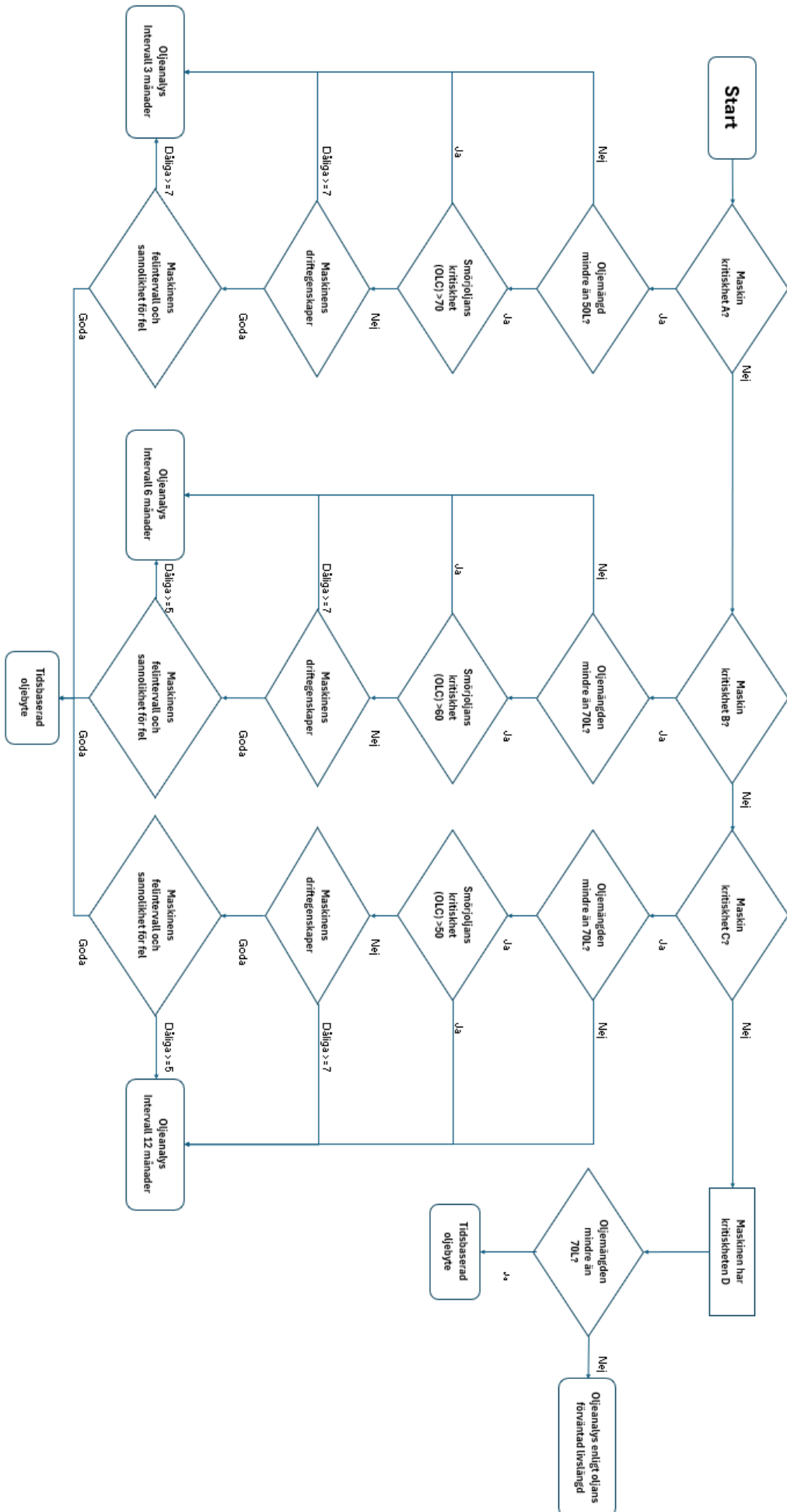
Felintervall och sannolikheten för fel

Felintervall och sannolikheten fel, betyder att man utvärderar hur ofta maskinen har problem och hur sannolikt det är att fel uppstår. Oftast kan dessa fel upptäckes med oljeanalyser, vilket betyder att ifall en maskin ofta får haverier eller fel så kan dessa maskiner ingå i oljeanalysprogrammet, för att minska på oväntade produktionsstopp. För att utvärdera en faktor för maskinens felintervall kan tabellen nedanför användas.

Felintervall	Faktor
Aldrig haft fel	1
+ 15 år	2
+ 10 år	3
+ 5 år	4
3–8 år	5
3–5 år	6
2–5 år	7
1–3 år	8
0,5–2 år	9
<1 år	10

Kostnaderna för oljebyte

Som sista punkt kan man också beakta mängden olja i maskinen. Ifall oljemängden i en maskin är stor kan oljeanalys utföras en gång per år eller enligt det tidsbestämda oljebytet. Detta kan göras på grund av de stora kostnaderna som uppstår vid oljebyte och stopp i produktionen, därför har kritiskheten eller andra kriterier ingen skillnad här.



Tillvägagångssätt för val av maskiner till oljeanalys UPM

Hur man väljer oljeanalys till maskiner

Detta dokument förklarar tillvägagångssättet för val av maskiner till oljeanalys. Prioriteringarna är gjorda i ordningsföljd, med de viktigaste först. Som hjälpmedel kan flödesschemat i Excell användas för att bestämma ifall oljeanalys för en maskin är aktuellt, flödesschemat fungerar som ett hjälpmedel till detta dokument.

Maskinens kritiskhet (Overall Machine Criticality, OMC)

Maskinens kritiskhet är den viktigaste faktorn som beaktas vid val av maskiner till oljeanalysprogrammet. Desto högre kritiskhet en maskin har desto viktigare är det att ha med maskinen i oljeanalysprogrammet, till exempel är det viktigare att ha oljeanalys på en maskin med kritiskhet A än en maskin med kritiskhet C. Det finns också andra faktorer som påverkar val av maskinerna till oljeanalys och de nämns i detta dokument. Ta reda på vilken kritiskhet maskinen har via UPM:s kriittisyysluokittelu eller SAP. UPM:s maskins kritiskhet beaktar produktionsbortfall, kvalitetskostnader, reparationskostnader, felintervall, säkerhetsrisk och miljörisk. Maskinens kritiskhet påverkar bland annat oljeanalysens intervall, detta kan ses i flödesschemat.

Oljemängd

På grund av kostnaderna med oljeanalyserna så kan man inte utföra oljeanalys på alla maskiner. Därför beräknas en preliminär oljemängd som utgångspunkt. Denna gräns anger vid vilken oljemängd det lönar sig att utföra oljeanalys. I tabellen nedanför jämförs kostnaderna för oljeanalys per år med kostnaderna för oljebyte och en oljemängd räknas ut.

	3 månader	6 månader	9 månader	12 månader
Oljemängdgräns när oljeanalys utförs	81,4	32,9	16,6	8,6
$(\text{Intervall} * \text{Oljeanalyskostnader}) = ((\text{Arbetstid} * \text{Arbetskostnader}) + (\text{Medelpris olja} * \text{Oljemängd}))$				
$\text{Oljemängd} = ((\text{Intervall} * \text{Oljeanalyskostnader}) - (\text{Arbetstid} * \text{Arbetskostnader})) / \text{Medelpris olja}$				

Denna oljemängd är endast riktgivande när oljeanalysen kan utföras. Ett förslag när oljeanalyser utförs ses i tabellen på nästa sida. Ifall oljemängden är större än den angivna gränsen för dess kritiskhet i tabellen utförs alltid oljeanalys och ifall oljemängden är mindre än den angivna gränsen så utvärderas behovet av oljeanalys enligt de kriterier som angivs i flödesschemat.

Kritiskhet	Oljemängd
A	50 l
B	70 l
C	70 l
D	70 l

Smörjoljans kritiskhet (Overall Lubricant Criticality, OLC)

Smörjoljans kritiskhet OLC anger hur kritisk oljan är för maskinen. Detta påverkas av bland annat maskinens kritiskhet, felintervall, arbetskostnader, kostnaderna för stopp, nedbrytningshastigheten av oljan och drifttegenskaperna. Detta kan räknas ut enligt följande teoretiska formel:

$$OLC = OMC + (LCF \cdot DOF)$$

OLC = Overall Lubricant Criticality, OMC = Overall Machine Criticality, LCF = Lubricant Criticality Factor, DOF = Degradation Occurrence Factor.

- OMC faktorn fås från maskinens kritiskhet som beskrivs i början av dokumentet och kan värderas om till ett värde genom tabellen som syns längre ner.
- LCF beaktar alla kostnaderna som uppkommer vid stoppet. Detta inkluderar kostnaderna för arbetet, smörjoljan, stopp i produktionen och andra kostnader som uppkommer.
- DOF beaktar maskinens arbetsmiljö och drifttegenskaper. Här beaktas bland annat oljans temperatur i maskinen och risk för att oljan blir förorenad. Utvärdering av detta ses i kapitlet med drifttegenskaper.

Den teoretiska angivna formeln kan inte användas på grund av att teorins och UPM:s maskinkritiskhet har olika definitioner. Teorins maskinkritiskhet beaktar endast hur kritisk maskinen är för produktion, reparationskostnader och felintervallen. Medan UPM:s kritiskhet beaktar produktionsbortfall, kvalitetskostnader, reparationskostnader, felintervall, säkerhetsrisk och miljörisk. Det betyder bland annat att LCF redan ingår i UPM:s kritiskhets bedömning, vilket gör att formeln måste kompenseras. Kompenseringen av formel görs genom att LCF tas bort och ersätts med en faktor på 1,5. Faktorn 1,5 läggs till för att drifttegenskaperna (DOF) skall få större betydelse när LCF tas bort. Ifall detta inte görs så blir drifttegenskaperna obetydliga i formeln för smörjoljans kritiskhet.

Smörjoljans formel kompenseras till:

$$OLC = OMC + (1,5 \cdot DOF)$$

För att kunna använda formeln så måste OMC ha ett värde, i teorin ges detta som ett värde mellan 0–100. På grund av att UPM har en annan kritiskhets skala så måste denna omvärderas till ett värde mellan 0–100 som fungerar för formeln. Denna omvärdering görs i tabellen nedanför.

Kritiskhet (A-E)	Faktor
A	60
B	50
C	40
D	30

Smörjkritiskheten räknas ut automatiskt i matrisen till flödesschemat och behöver ej räknas ut manuellt.

Driftegenskaperna (Degradation Occurrence Factor, DOF)

Driftegenskaperna beaktar maskinens- och oljans risk för att utsättas för yttre och inre föroreningar, till exempel här beaktas ifall maskinen utsätts för vatten, syror eller andra ämnen. Miljön runt maskinen bör också beaktas, till exempel höga temperaturer, som leder till oxidation och nedbrytning av oljan. Driftegenskaperna kan utvärderas med en skala 1–10, där 10 är den sämsta faktorn. Använd följande tabell för att utvärdera maskinens driftegenskaper. Driftegenskaperna räknas som dåliga ifall de utvärderas till 7 eller högre.

Driftegenskaper	Faktor (1–10)
Optimala driftförhållande, oljans temperatur cirka 70°C eller lägre, ingen risk för föroreningar.	1
Goda driftförhållande, oljans temperatur cirka 75°C eller liten chans för föroreningar.	4
Medelmåttiga driftförhållanden, oljans temperatur cirka 80°C grader eller ganska hög chans för föroreningar förekommer.	7
Extrema driftförhållanden, temperaturen cirka 90°C eller ofta över 90°C, föroreningar förekommer ofta i oljan.	10

Felintervall och sannolikheten för fel

Felintervall och sannolikheten fel, betyder att man utvärderar hur ofta maskinen har problem och hur sannolikt det är att fel uppstår. Oftast kan dessa fel upptäckes med oljeanalyser, vilket betyder att ifall en maskin ofta får haverier eller fel så kan dessa maskiner ingå i oljeanalysprogrammet för att minska på oväntade produktionsstopp. Ta reda på maskinens felintervall och utvärdera en faktor enligt tabellen på nästa sida. Ifall maskinen har en felintervall på 4–6 år eller högre så räknas detta som dåligt.

(Tabellen till vänster är en anpassad version till UPM och tabellen till höger är från teorin)

Felintervall	Faktor
Aldrig haft fel	1
>10 år	2
8–10 år	3
6–8 år	4
4–6 år	5
3–4 år	6
2–3 år	7
1–2 år	8
<1 år	9
<0,5 år	10

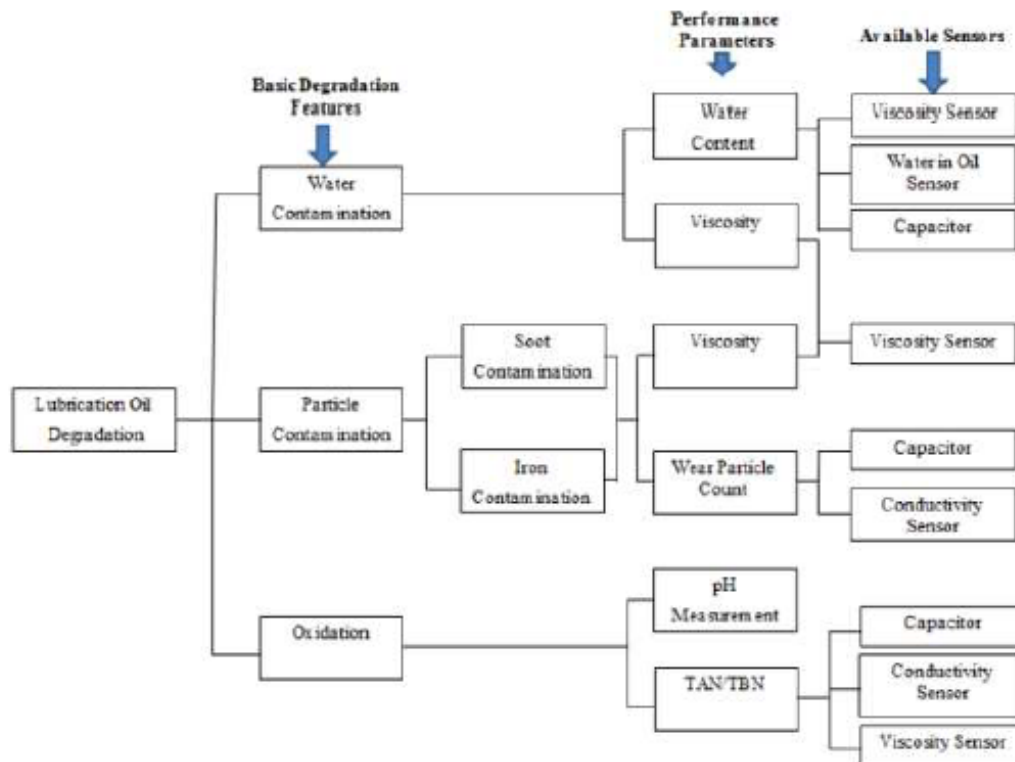
Felintervall	Faktor
Aldrig haft fel	1
+ 15 år	2
+ 10 år	3
+ 5 år	4
3–8 år	5
3–5 år	6
2–5 år	7
1–3 år	8
0,5–2 år	9
<1 år	10

Tjänstgöringsplats	INPUT			OUTPUT	OUTPUT	
	Maskin kritiskhet	Oljemängd	Driftgenskaper	Felintervall och sannolikhet för fel		
Exempel maskin 1	B	50	4. Goda driftförhållanden, oljans temperatur cirka 75 eller tven chans för förening.	5, (4-6 år)	56	Oljeanalys 6 månader
Exempel maskin 2	C	100	10. Extrema driftförhållanden, oljans temperatur cirka 90 eller över, föreningar förekommer ofta i oljan.	7, (2-3 år)	55	Oljeanalys 12 månader
Exempel maskin 3	A	50	4. Goda driftförhållanden, oljans temperatur cirka 75 eller tven chans för förening.	5, (4-6 år)	66	Oljeanalys 3 månader

Oljekonditions givare

Allmänt om oljekonditionsgivare

Det finns många olika givare som kan mäta oljans kondition och upptäcka olika föroreningar. Figuren nedanför illustrerar de vanligaste typerna av föroreningar och nedbrytningsprocesser som kan uppstå i oljan, samt hur dessa kan upptäckas av olika oljekonditionsgivare. Oljekonditionsgivare kan i de flesta fallen endast indikera ifall oljan har blivit förorenad eller om den håller på att brytas ner, det vill säga givarna anger inte orsaken till föroreningen eller nedbrytningen. För att veta orsaken till föroreningen måste en oljeanalys utföras. Beroende på vilken givare som används så kan vissa föroreningar uteslutas.



FIGUR 1 SAMMANFATTNING AV ORSAKER TILL OLIJANS NEDBRYTNING OCH MÖJLIGA GIVARE FÖR ATT UPPTÄCKA PROBLEMEN

Viskositetsgivare

Viskositetsgivaren är en mycket användbar oljekonditionsgivare. Givaren kan användas för att upptäcka de mest vanliga föroreningar i oljan såsom vatten, partiklar och oxidation. Föroreningar som till exempel vatten, bränsle, syror, lösningsmedel och andra vätskor kommer att sänka oljans viskositet, medan tjockare föroreningar som till exempel partiklar och sot kommer att höja oljans viskositet. De flesta viskositets givare beaktar även temperaturen och ger viskositetens också enligt vilken temperatur som förekommer i systemet. Vid val av viskositets givare måste man även ta reda på vilka begränsningar givaren har, till exempel kan givarna vara begränsade enligt flödes hastighet eller flödesmängden.

Viskositetsgivare kan användas i:

- Oljesystem som utsätts för vatten, fukt, höga temperaturer, oxidation och andra maskiner som utsätts för slitage. Viskositetsgivaren är en mångsidig givare som kan användas i alla maskiner.

Relativ fuktighetsgivare

Relativ fuktighetsgivare mäter mängden upplöst vatten i oljan, vattnet upplöst i oljan och kan endast upptäckas som en relativ fuktighet. Relativ fuktighet är förhållandet mellan mängden vatten i oljan och den maximala mängd vatten som oljan kan ta emot vid en specifik temperatur och tryck uttryckt i procent. Det betyder att ifall temperaturen eller trycket ändras så kommer också procenten för relativa fuktigheten att ändras. Relativ fuktighet och vatten är en mycket stor fara för oljan, eftersom vattnet minskar på bärformågan hos oljan och försnabbar nedbrytningen av oljan.

Relativ fuktighetsgivare kan användas i:

- Oljesystem som utsätts för vatten eller fukt.

Permittivitet och elektrisk konduktivitetens givare

Med Permittivitet och elektrisk konduktivitetens givare mäter man oljans elektriska egenskaper. När oljan föråldras och nedbrytning sker så förändras oljans elektriska egenskaper, utifrån detta kan man dra slutsatser om oljans kondition. Nya oljor har låga elektriska egenskaper och leder inte ström, men när oljan föråldras och nedbrytning sker så ökar elektriska ledningsförmågan. Permittivitetens och konduktivitetens givare mäter oljans kvalitet och indikerar ifall oljans kvalitet sjunker på grund av föroreningar, partiklar och vatten.

Permittivitet och konduktivitetens givare kan användas i:

- Alla oljesystem.

Partikelgivare

Partikelmätning är ett mycket viktigt värde som kan mätas från oljan. Partikelgivaren mäter fasta partiklar i oljan, dessa kan vara metallpartiklar eller andra föroreningars partiklar. Med partikelmätning kan man ta reda på ifall en maskin har ovanligt mycket slitage eller ifall en maskin har början till ett maskinfel. Partiklar i oljan leder till

större slitage och eventuellt till haverier. Partikelgivare fungerar vanligtvis genom att de har ljus som lyser genom oljan och fasta partiklar blockerar ljuset och en partikel upptäcks. Detta kan dock leda till problem ifall oljan innehåller vatten eller luftbubblor, vatten eller luftbubblorna kan registreras som partikel och mätningen blir fel.

Partikelgivare kan användas i:

- Alla oljesystem. OBS! Partikelgivaren kan inte användas i system där det förekommer vatten eller luftbubblor.

Val av oljeanalys eller online mätning

Oljeanalys är oftast den metoden som används för att övervaka oljans kondition i olika maskiner. Oljeanalys ger en stor mängd information om oljekvaliteten i maskinen från ett enda prov, men med den nackdelen att intervaller mellan oljeanalyserna är ganska långa. Dessutom kan oljeprovets kvalitet variera beroende på hur noggrant oljeprovtagningen utförs och ifall ett representativt oljeprov för oljan kan tas. Dessa begränsningar har lett till en ökad användning av oljekonditionsgivare för att mäta oljans kondition. Oljekonditionsgivare övervakar kontinuerligt oljans kondition och är ofta i längden billigare än oljeanalyser, dessutom kan givarna också ge viktig information om smörjningstillståndet. För att besluta ifall oljeanalys eller online mätning skall användas för att övervaka en olja kan man se på följande faktorer:

- Tidskänslighet. Om maskiner har kort tid mellan potentiella problem och haveri, kan online mätning vara mera lämpad än oljeanalys, eftersom oljekonditionsgivare möjliggör kontinuerlig övervakning. Med online mätning fås också trendlinjer för hur oljan förändras.
- Kostnader och frekvens av övervakning. Kostnaderna för att installera och underhålla online övervakningssystem är oftast dyrare än kostnader för oljeanalyser. Dock ifall intervaller för oljeanalyserna är korta så kan det löna sig med online mätning.
- Specifika övervakningsbehov. I oljesystem där specifika parametrar till exempel vatten eller partiklar behöver övervakas, kan online mätning vara det mera lämpliga, men om övervakningen innebär att mäta många olika värden så kan oljeanalys vara det mer passande valet.
- Förebyggande underhåll. Ifall målet med oljetillståndet är att förutsäga problem innan de uppstår och förebygga problemet, så är oljekonditionsgivare mer lämpliga för detta ändamål.
- Risker med kontaminering. För oljeanalyser finns det också risker med kontaminering av oljan vid oljeprovtagningen, vilket leder till felaktiga oljeanalyser och värden. Denna risk elimineras helt och hållet med online mätningar.