

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotanto/Kunnossapito

Elias Holopainen

# **Öljyn online-kunnonvalvontalaitteiston hyödyt TU7:n öljykierrossa**

Opinnäytetyö 2018

## Tiivistelmä

Elias Holopainen

Öljyn online-kunnonvalvontalaitteiston hyödyt TU7:n öljykierrossa, 28 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotanto/Kunnossapito

Opinnäytetyö 2018

Ohjaajat: lehtori Heikki Liljenbäck, Saimaan ammattikorkeakoulu, luotettavuusinsinööri Ari Ihalainen, Efora Oy

Opinnäytetyössä tutkittiin öljyn online-kunnonvalvontalaitteistojen hyötyjä höyryturbiini 7:n kiertovoitelu- ja säätö-öljyssä. Työssä otettiin myös selvää tämänhetkisistä öljyjen online-antureista ja -laitteistoista. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Efora Oy, joka on Stora Enson omistuksessa oleva kunnossapitoyritys. Työ suoritettiin Stora Enson Imatran tehtailla.

Työn alussa otettiin selvää tämänhetkisistä öljyjen online-kunnonvalvontanturien tekniikoista ja mittaustarkkuuksista anturivalmistajilta saadun tiedon avulla. Erilaisten antureiden joukosta valittiin tarvittavat anturit laitteistoon, jonka tuli soveltua parhaiten juuri kyseiseen kohteeseen. Laitteiston muutkin komponentit tuli määritellä tarpeen mukaan. Tämän lisäksi otettiin selville, mitä laitteiston asentamiseen vaaditaan, ja tehtiin kustannuslaskentaa laitteiston odotetuista hyödyistä teorian pohjalta. Työssä käytettiin apuna paljon kirjallista tietoa, mutta myös Stora Enson ja Eforan henkilökunta antoi paljon tietoa haastattelujen kautta.

Laitteistosta ei havaittu olevan ainakaan rahallista hyötyä höyryturbiini 7:n öljykierrossa. Efora Oy sai kuitenkin uutta tietoa online-antureista, niiden mittaustarkkuuksista sekä hintatasosta. Sopivan kohteen löytyessä samantapainen tarkastelu voi olla hyödyllinen varsinkin, kun anturitekniikka kehittyy jatkuvasti.

Asiasanat: öljyn kunnonvalvonta, online-anturit, voitelu

## **Abstract**

Elias Holopainen

The advantages of oil online condition monitoring equipment at oil circulation of steam turbine 7, 28 Pages, 2 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Maintenance/Production

Bachelor's Thesis 2018

Instructors: Mr Heikki Liljenbäck, lecturer at Saimaa University of Applied Sciences and Mr Ari Ihalainen, maintenance engineer at Efora Ltd.

The purpose of the research was to examine what advantages would oil online condition monitoring equipment give when it is mounted to the oil circulation of a steam turbine. The commissioner also wanted to get information about oil online condition monitoring sensors that are currently used in the industry. The commissioner of the thesis was Efora Ltd. which is the maintenance company owned by Stora Enso. The research was executed at Imatra mills of Stora Enso.

Data for this study was collected by interviewing personnel of Stora Enso and Efora. Also written information was used especially when searching information about sensors. A big part of the project was also to determine components for the oil online condition monitoring equipment. Cost calculation and research related to mounting the equipment were also made.

The final result of this thesis was, that the equipment does not give much advantage to the commissioner, at least not financial. The commissioner none the less got some valuable information about sensor technology used in these days. If a better object for oil online condition monitoring equipment is found, it could be useful to make this kind of research again.

Keywords: oil condition monitoring, online sensors, lubrication

## Sisällys

1	Johdanto.....	5
1.1	Tavoitteet.....	5
1.2	Stora Enso.....	5
1.3	Stora Enson Imatran tehtaat ja Efora Oy.....	5
2	Voitelun perusteita.....	6
2.1	Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi.....	7
2.2	Voitelumekanismit.....	8
2.2.1	Raja-, seka- ja nestevoitelu.....	9
2.3	Hydrostaattinen-, hydrodynaaminen ja elastohydrodynaaminen voitelu 10	
3	Voiteluaineet.....	12
3.1	Voitelu öljyt.....	12
3.1.1	Mineraaliöljyt.....	12
3.1.2	Kasviöljyt.....	13
3.1.3	Synteettiset öljyt.....	13
3.2	Voitelurasvat.....	14
4	Öljyjen kunnonvalvonta.....	15
4.1	Vieraiden aineiden ja ikääntymisen vaikutukset öljyssä.....	15
4.2	Offline-kunnonvalvonta.....	16
4.3	Online-kunnonvalvonta.....	17
4.4	Öljyjen analysointiin käytettävät online-anturit.....	17
5	Online-kunnonvalvontalaitteiston suunnittelemisen höyryturbiini 7:lle.....	20
5.1	kohteen valinta.....	20
5.2	Laitteiston ja sen komponenttien valinta.....	22
5.3	Laitteiston asennuksessa huomioitavat asiat.....	23
5.4	Laitteiston hyödyt turbiinin kunnonvalvonnassa.....	23
6	Yhteenveto ja pohdinta.....	24
	Kuvat.....	26
	Kaavat.....	26
	Taulukot.....	26
	Lähteet.....	27

### Liitteet

Liite 1 Kustannuslaskentaa 1

Liite 2 Kustannuslaskentaa 2

# 1 Johdanto

## 1.1 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on ottaa selvää nykypäivänä markkinoilla olevista öljyn online-kunnonvalvontalaitteistoista ja niissä käytettävistä antureista sekä tutkia niiden hyötyjä höyryturbiinin voitelu- ja säätö-öljyssä. Työssä selvitettävät asiat antavat Efora Oy:lle paremman kuvan nykypäivän antureista ja niiden mittaustarkkuudesta.

Työ suoritetaan haastattelemalla Efora Oy:n ja Stora Enson henkilökuntaa ja online-laitteistojen sekä antureiden toimittajia. Lisäksi tietoa pyritään etsimään myös kirjallisuudesta. Tiedon täytyy kuitenkin olla mahdollisimman uutta, sillä anturitekniikka kehittyy jatkuvasti.

## 1.2 Stora Enso

Stora Enso on yritys, jonka tavoitteena on valmistaa puusta ja muista uusiutuvista materiaaleista paperia, pakkausmateriaaleja, puutuotteita sekä biomateriaaleja. Yhtiö pyrkii korvaamaan uusiutumattomat materiaalit tuottamalla uusia innovaatioita uusiutuvista luonnonvaroista. (Stora Enso Finland 2018.)

Yhtiö sai nimensä vuonna 1998, kun ruotsalainen Stora ja suomalainen Enso Oyj yhdistyivät. Storalla oli ennen yhdistymistä vuosisatojen saatteessa toimintaa monella eri liiketoiminnan alueella, kunnes se päätti 1970-luvulla keskittyä vain paperin ja sellun valmistukseen sekä metsän hoitoon.

Stora Enson palveluksessa toimii tällä hetkellä noin 25 000 henkilöä yli 35 maassa. Yhtiön liikevaihto vuonna 2016 oli 9,8 miljardia euroa ja operatiivinen liiketulos 884 miljoonaa euroa. Stora Enso on rekisteröity Helsingin sekä Tukholman pörsseihin. (Stora Enso Finland 2018.)

## 1.3 Stora Enson Imatran tehtaat ja Efora Oy

Stora Enson Imatran tehtaat on kahden tehdasyksikön, Kaukopään tehtaan ja Tainionkosken tehtaan, muodostama tehdaskokonaisuus, joka on maailman suurin nestepakkauskartongin valmistaja. Imatran tehtailla valmistuu kartonkia

ja paperia yhteensä yli miljoona tonnia vuodessa, ja siellä työskentelee noin tuhat ihmistä. (Stora Enso 2018.)

Efora on Stora Enson tytäryhtiö ja se perustettiin vuonna 2009. Efora on erikoistunut teollisuuden kunnossapitopalveluihin, joiden tavoitteena on toteuttaa älykäästä kunnossapitoa järjestelmistä saatavien tietojen ja kehittyneen osaamisen avulla. Efora toimii Suomessa yhdeksällä paikkakunnalla ja työllistää noin 930 henkilöä. Kuvassa 1 nähdään osa Imatran tehtaiden tuotantolinjoista. (Efora 2018.)



Kuva 1. Imatran tehtaat (Stora Enso 2018).

## 2 Voitelun perusteita

Voiteluaineiden käyttö on tehokas tapa vähentää kitkaa kosketuspintojen välillä. Voiteluaine muodostaa pintojen välille voitelukalvon, joka erottaa pinnat toisistaan. Voiteluaineena voidaan käyttää esimerkiksi kaasuja, nesteitä tai kiinteitä materiaaleja. (Antila ym. 2006, 12.)

## **Voitelun hyötyjä**

Voitelu pidentää laitteiden ja niiden osien käyttöikää sekä sen avulla saadaan energian kulutus alhaisemmaksi ja laitteiden hyötysuhdetta paremmaksi. Sen tehtävänä on vähentää kitkan aiheuttamaa häviötehoa erottamalla pinnat toisistaan. Voitelu myös vähentää kulumista ja kulumisen seurauksena tulevien epäpuhtauspartikkelien määrää voiteluaineessa. Voitelun muita tehtäviä ovat muun muassa: vaimentaa värähtelyä, jäähdytys, korroosiolta suojaaminen sekä epäpuhtauksien pois kuljettaminen. (Antila ym. 2006, 12.)

### **2.1 Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi**

Viskositeetti on voiteluaineen ominaisuus, joka tarkoittaa voiteluaineen sisäistä kitkaa. Aineet, joilla on suurempi viskositeetti, virtaavat hitaammin kuin pienen viskositeetin omaavat aineet. Esimerkiksi vedellä on pienempi viskositeetti kuin öljyllä ja se on siitä syystä juoksevampaa kuin öljy. Voiteluteoreettisissa laskennoissa käytetään yleensä dynaamista viskositeettiä, jonka yksikkö on pascal-sekuntin ( $=\text{Ns}/\text{m}^2$ ) tuhannesosa senttipoisi (cP). Teollisuusöljyjen viskositeettia ilmoitettaessa käytetään kuitenkin yleensä kinemaattista viskositeettiä, joka saadaan jakamalla dynaaminen viskositeetti aineen tiheydellä. Kinemaattisen viskositeetin yksikkö on senttistoki (cSt). Viskositeetti nousee paineen noustessa ja laskee, kun lämpötila nousee. Taulukossa 1 on nähtävillä ISO 3448 standardin mukaiset viskositeettiluokat. (PSK standardit. PSK 7201–2p.)

ISO-viskositeettiluokka	Nimelliskviskositeetti-arvo 40 °C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Viskositeettiraja-arvo 40 °C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	
		min	max
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9	11
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 3000	3000	2700	3300

Raja-arvo min on -10% ja max +10% nimelliskviskositeetista.

Taulukko 1. ISO 3448 standardin viskositeettiluokat (PSK standardit. PSK 7201–2p).

Viskositeettiin vaikuttaa vahvasti myös lämpötila. Lämpötilan vaikutusta viskositeetin muutokseen kuvataan viskositeetti-indeksillä. Lämpötilan vaikutus voiteluaineen viskositeettiin on sitä pienempi mitä isompi viskositeetti-indeksi on. Viskositeetti-indeksin vertailu luvut ovat 0 ja 100, sillä ennen oletettiin lämpötilan vaikutuksen viskositeettiin olevan suurin Gulf Coast -öljyillä (V-I 0) ja pienin Pennsylvania -öljyillä (V-I 100). Öljyjen ominaisuudet ovat kehittyneet niin, että nykyään viskositeetti-indeksi voi olla yli 100 tai jopa negatiivinen. (Sundqvist 1986, 234; Antila ym. 2006, 12.)

## 2.2 Voitelumekanismit

Voitelussa tärkeää on erottaa vastakkain liikkuvien kosketuspintojen kitka sekä kuluminen. Tässä yhteydessä on otettava huomioon voitelun toimivuutta arvioi-  
dessa voitelukalvon ominaispaksuus  $\lambda$ . Voitelukalvon ominaispaksuus voidaan laskea kaavasta 1.



$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (1)$$

,missä  $h_{min}$  = voitelukalvon minimi paksuus  
 $\sigma_1$  = vastinpinnan 1 pinnankarheusarvo  
 $\sigma_2$  = vastinpinnan 2 pinnankarheusarvo.

Huomioitavaa kaavassa on, että pinnankarheusarvot  $\sigma_1$  ja  $\sigma_2$  on ilmoitettava rms-arvolla, ei  $R_a$ -arvolla (rms-arvo on noin  $1,3 \cdot R_a$ -arvo). Koneenosia suunniteltaessa ja valmistettaessa käytetään usein  $R_a$ -arvoa, joka kertoo pinnan aritmeettisen keskipoikkeaman. Tässä tapauksessa käytettävä rms-arvo kertoo pintaprofiilin neliöllisen keskipoikkeaman. (Pulkinen 2008.)

### 2.2.1 Raja-, seka- ja nestevoitelu

Rajavoitelu on tilanne, jossa vastinpintojen pinnankarheushuiput koskettavat selvästi toisiaan eli varsinaista voitelukalvoa ei ole. Voitelun toimivuus riippuu tässä tapauksessa paljolti pintakarvojen tarttuvuudesta, stabiilisuudesta sekä muodostumisnopeudesta kosketuskohdassa. Tilanteita, jotka johtavat rajavoiteluun ovat muun muassa

- voiteluaineen liian alhainen viskositeetti vallitsevassa käyttölämpötilassa
- liukupintojen välinen alhainen liikenopeus
- liian korkea kuormitus
- voiteluaineen riittämätön määrä
- huonot lämmönsiirto-ominaisuudet.

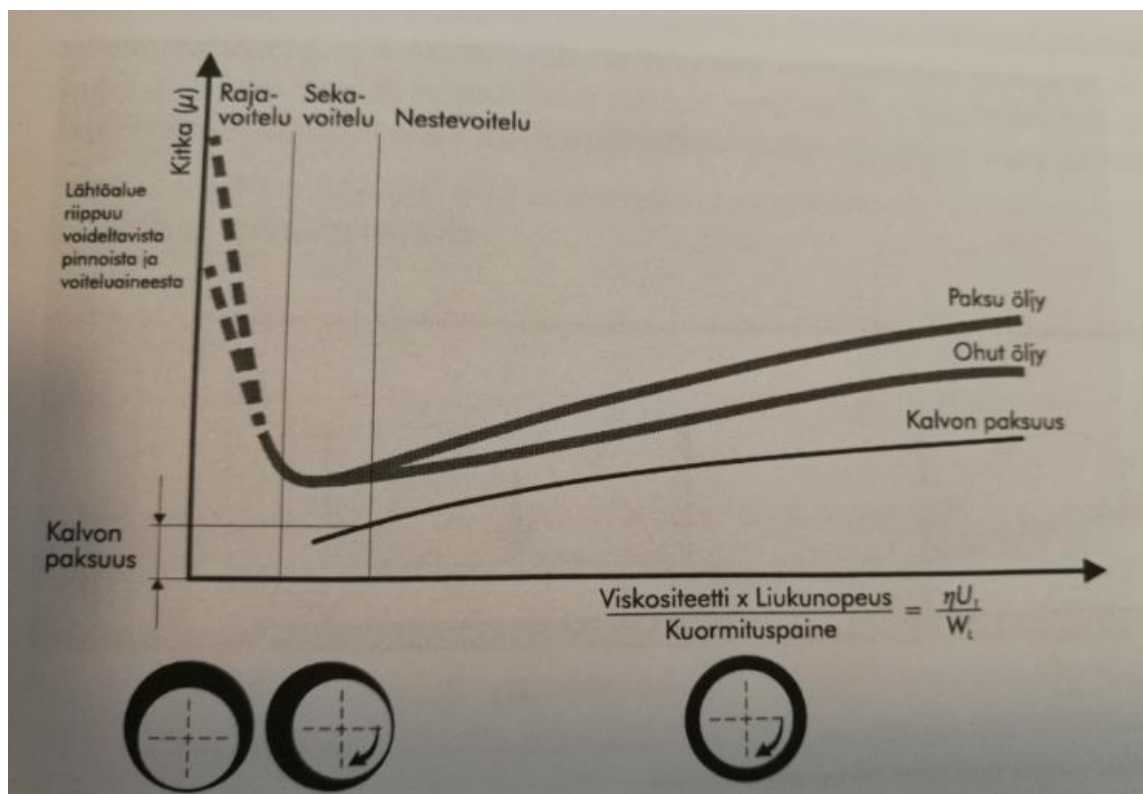
Hallitussa rajavoitelussa kitkakerroin on noin 0,1 ja voitelukalvon ominaispaksuus  $\lambda$  alle 1. Rajavoitelussa vastinpintojen pinnankarheushuiput ovat selvästi korkeammat kuin voiteluaineen kalvonpaksuus. (Antila ym. 2006, 21 – 22.)

Sekavoitelu on yhdistelmä raja- ja nestevoitelua. Voiteluainekalvo sekä pinnankarheushuiput jakavat kuormituksen. Se miten kuormitus jakautuu, riippuu voitelukalvon paksuudesta. Suuremmalla voitelukalvolla kokonaiskitkakerroin on pienempi. Sekavoitelu on herkkä olosuhdemuunnoksille. Esimerkiksi lämpötilan

nousu voi muuttaa sekavoitelun rajavoiteluksi, kun voitelukalvo ohenee voiteluaineen viskositeetin alentumisen johdosta. (Antila ym. 2006, 21 – 22.)

Nestevoitelussa voitelukalvo kantaa koko kuormituksen. Tämän johdosta kitka on alhainen, materiaalin kulumista tai väsymistä ei oikeastaan tapahdu ja lämpötila kohteessa pysyy alhaisena. Nestevoitelussa voitelukalvon ominaispaksuus  $\lambda$  on yli 4. Nestevoitelu on hydrodynaamista, elastohydrodynaamista tai hydrostaattista. (Antila ym. 2006, 21 – 22.)

Stribeck-käyrästä voidaan tarkastella raja-, seka- ja nestevoitelun välistä yhteyttä kitkakertoimeen hydrodynaamisen voitelun tapauksessa. Stribeck-käyrän voi nähdä kuvasta 2.



Kuva 2. Stribeck-käyrä (Antila ym. 2006, 21).

### 2.3 Hydrostaattinen, hydrodynaaminen ja elastohydrodynaaminen voitelu

Hydrodynaamisessa voitelussa tärkeää on kiilamaisen, suppenevan voitelukalvon saavuttaminen. Voitelukalvoon muodostuu tällöin ylipaine, joka kantaa laakeriin kohdistuvan kuormituksen. Ylipaineen johdosta voiteluainekiilaan virtaa

sisään ja ulos saman verran voiteluainetta. Voitelukalvon kantama kuormitus on kuitenkin esimerkiksi elastohydrodynaamiseen voiteluun verrattuna sen verran pieni, että voiteluaineen viskositeetti voidaan olettaa muuttumattomaksi paineesta riippumatta. Myöskään vierintälaakereissa tapahtuvaa elastista muodonmuutosta ja siitä johtuvaa väsymistä ei tapahdu hydrodynaamisessa voitelussa. (Antila ym. 2006, 22 – 23.)

Elastohydrodynaaminen voitelu sopii kohteisiin, joissa pienet kosketuspinta-alat välittävät suuria kuormituksia kuten esimerkiksi hammasrattaissa tai vierintälaakereissa. Suuret paineet aiheuttavat rakenteisiin elastista muodonmuutosta sekä voiteluaineen viskositeetin kasvua. Elastisten muodonmuutosten vaikutuksesta voitelukalvon kantopinta-ala kuitenkin suurenee, mikä auttaa pitämään kalvon ehjänä. Myös viskositeetin kasvu johtaa siihen, että voiteluaine ei kerkeä virtaamaan vierintäelinten välistä pois, joten kalvo pysyy ehjänä. Voitelukalvon minimipaksuus elastohydrodynaamisessa voitelussa on noin 0,1-2 $\mu$ m. Elastohydrodynaaminen voitelu on erittäin herkkä öljyn epäpuhtauksille, sillä voitelukalvon paksuus on niin pieni. Se vaatii myös sileitä kosketuspintoja, jotka eivät ole niin alttiita väsymiselle kuin karkeat pinnat. (Antila ym. 2006, 25 – 28.)

Hydrodynaaminen ja elastohydrodynaaminen voitelu perustuu siihen, että vastinpintojen liikkuaessa toisiinsa nähden eri suuntiin voiteluaine tunkeutuu niiden väliin muodostaen voitelukalvon. Hydrostaattisessa voitelussa taas ulkoinen voimalähde tuottaa paineen, joka pitää vastinpinnat erillään toisistaan. Hydrostaattisen voitelun tapauksessa voitelukalvo ei siis häviä, vaikka pinnat olisivat staattisessa tilassa. (Antila ym. 2006, 25 – 28.)

Hydrostaattisessa voitelussa kitkateho on pieni, vaikka pumpun tuottama teho otetaan huomioon. Suuren pyörimisnopeuden omaavissa laitteissa (esimerkiksi työstökoneet) on syytä käyttää pienen viskositeetin omaavia voiteluaineita, kuten kaasuja, pienen kitkan takia. Luonnollisesti voitelu ei ole tällöin enää hydrostaattista vaan aerostaattista, kun käytetään kaasuja nesteiden sijaan. (Antila ym. 2006, 29.)

### **3 Voiteluaineet**

Voiteluaineen tärkein tehtävä on pitää liukupinnat erillään toisistaan. Voiteluaineena voidaan käyttää nesteitä, kaasuja tai kiinteitä materiaaleja. Tässä luvussa tarkastellaan vain yleisimmin käytettyjä aineita, öljyjä ja rasvoja. Voitelun hyötyjä on käsitelty jo aikaisemmin luvussa 2.

Öljyjä ja rasvoja on monia eri ominaisuuksilla varustettuja. Voiteluaineille pyritään löytämään oikea koostumus ja ominaisuudet tiettyä käyttökohdetta varten. Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi ovat tärkeimpiä ominaisuuksia ja vaikuttavat voitelun toimivuuteen erittäin paljon. Leimahduspiste on se lämpötila, jossa voiteluaineessa tapahtuu leimahdus höyrystyvien kaasujen ja lämpötilan vaikutuksesta. Samepiste kertoo lämpötilan, jossa kiteytyvät parafiiniset hiilivedyt näkyvät sameutena, ja jähmepiste lämpötilan, jonka alapuolella voiteluaine ei enää liiku viiteen sekuntiin kallistettaessa koeputkea. Jähmepisteellä on yhteys pumppavuuteen, joka kertoo alhaisimman lämpötilan, jossa voiteluaine virtaa riittävästi. Edellä mainituilla ominaisuuksilla on yhteys viskositeettiin ja viskositeetti-indeksiin. Voiteluaineiden muita ominaisuuksia ovat muun muassa tunkeuma, tippumispiste ja neutraloitumisluku. (Antila ym. 2006, 53 – 55.)

#### **3.1 Voiteluöljyt**

Suurin osa voiteluaineista on nestemäisiä ja öljypohjaisia. Perusöljyinä voiteluaineissa käytetään mineraali-, synteettisiä- ja kasvisöljyjä. Seuraavissa luvuissa käsitellään hieman näiden perusöljyjen ominaisuuksia. (Antila ym. 2006, 55.)

##### **3.1.1 Mineraaliöljyt**

Mineraaliöljyjen valmistuksessa käytetään raakaöljyä. Raakaöljy tislataan ja puhdistetaan, näin saadaan jalostettua mineraaliöljyä. Teollisuuden voiteluaineista suurin osa pohjautuu vielä tänäkin päivänä mineraaliöljyihin. Raakaöljyiltä, joista jalostetaan perusöljyjä, vaaditaan kemiallista kestävyyttä hapettumista vastaan, pientä aromaattipitoisuutta sekä pientä rikkipitoisuutta. (Teboil 2013.)

Mineraaliöljyistä jalostetut voiteluöljyt käyvät usein läpi erilaisia jalostusprosesseja kuten jakotislauksen, tyhjiötislauksen, liuotinjalostuksen, parafiinin poiston,

asfaltin poiston ja vetykäsittelyn. Jalostusmenetelmät ja niiden järjestys valitaan sen perusteella, mitä ominaisuuksia voiteluaineelle halutaan. Jalostusmenetelmillä voidaan vaikuttaa muun muassa viskositeettiin, jähmepisteeseen ja hapettumisen vastustamiseen. Myös voiteluaineisiin lisättävät lisäaineet vaikuttavat luonnollisesti niiden ominaisuuksiin. (PSK standardit. PSK 7202-2p.)

Mineraaliöljyille tyypillistä on hyvä lisäaineiden liuotuskyky sekä se on ystävällinen tiivisteille. Mineraaliöljyjen viskositeetti-indeksi ei usein ole kovin hyvä, joten kohteissa, jossa lämpötila vaihtelee suuresti, on hankaluuksia. Tasaisessa lämpötilassa mineraaliöljyillä voitelu on toimivaa, jos viskositeetti on valittu oikein. (Teboil 2013.)

### **3.1.2 Kasviöljyt**

Kasviöljyt valmistetaan nimensä mukaisesti kasveista ja niitä käytetään raaka-aineina esimerkiksi biohajoavissa voiteluaineissa. Pohjoismaissa kasviöljyt valmistetaan suurilta osin rapsista ja rypistä. Öljyjen valmistuksessa käytetään usein nimenomaan kasvien siemeniä, joita puristamalla, uuttamalla tai kuumentamalla saadaan öljy erotettua. Kasviöljyillä on seuraavanlaisia ominaisuuksia

- huono hapettumisen kesto → lyhyt käyttöikä
- huonot ominaisuudet kylmissä olosuhteissa
- korkea leimahduspiste
- ympäristöystävällinen (biohajoava)
- hyvät kitkaominaisuudet.

(Antila ym. 2006, 60; PSK standardit. PSK 7202-2p.)

### **3.1.3 Synteettiset öljyt**

Synteettiset öljyt ovat mineraaliöljyjä pidemmälle jalostettuja öljyjä, jotka ovat joiltain ominaisuuksiltaan ylivoimaisia. Synteettisillä öljyillä saavutetaan muun muassa hyvät kuuma- ja kylmäominaisuudet. Myös esimerkiksi hapettumisen kesto (→ pidempi käyttöikä) ja viskositeetti-indeksi ovat hyviä synteettisillä öljyillä. Synteettisten voiteluaineiden valmistuksessa käytetään hiiltä ja vetyä sisältäviä raaka-aineita, kuten teollisuusbenssiiniä ja kivihiiltä. Synteettiset öljyt eivät kui-

tenkaan sovellu kaikkiin kohteisiin, sillä ne saattavat reagoida vahvasti maalien ja tiivisteiden kanssa. (Teboil 2013; PSK standardit. PSK 7202-2p.)

### 3.2 Voitelurasvat

Voitelurasvat koostuvat pääosin perusöljystä (n. 80–95 %). Perusöljy voi olla mineraaliöljyä tai synteettistä öljyä. Perusöljyn lisäksi voitelurasvat koostuvat saentimesta ja lisäaineista. Saentimen ja perusöljyn ominaisuudet ja niiden määrä määrittävät yhdessä voiteluaineen viskosimetriset- ja pumpattavuusominaisuudet. Pumpattavuusominaisuudet ovat erityisen tärkeää etenkin kiertovoitelujärjestelmissä, joissa rasvan on päästävä putkiston kautta voitelukohteelle. Jos voitelurasva on muilta ominaisuuksiltaan soveltuvaa käyttökohteeseen, voi pumpattavuusominaisuuksiin vaikuttaa esimerkiksi paineistusajan pidentämisellä, putkistokoon suurentamisella tai voiteluainetyynyryn lämmittämisellä. Saenin tekee voiteluaineesta kiinteää tai puolijuoksevaa. Saentimina voidaan käyttää esimerkiksi

- metallisaippuonia
- metallikompleksisaippuonia
- epäorgaanisia yhdisteitä
- synteettisiä saentimia
- sekaperusteisia saippuonia.

Lisäaineita lisätään rasvoihin samalla periaatteella kuin voiteluöljyihin eli haluttujen ominaisuuksien parantamiseksi. Taulukosta 2 nähdään rasvojen NLGI-luokka eli kovuusluokitus. Taulukossa 2 on nähtävillä myös kovuusluokkien tunkeumat. Tunkeuma määritellään kokeessa, jossa rasvaa vatkataan ensin. Tämän jälkeen rasvaan laitetaan vajoamaan tietyn muotoinen ja painoinen kartio. Kartion uppouma ilmoitetaan 1/10mm:nä. (PSK standardit. PSK 7202-2p.)

NLGI-luokka (DIN 51818)	Tunkeuma 1/10mm (DIN 51804/1)
000	445-475
00	400-430
0	355-385
1	310-340
2	265-295
3	220-250
4	175-205
5	130-160
6	85-115
NLGI = National Lubricating Grease Institute	

Taulukko 2. NLGI-luokat (PSK standardit. PSK 7202-2p).

## 4 Öljyjen kunnonvalvonta

Sanotaan, että teollisuus pyörii ohuen voiteluainekalvon varassa. Voiteluaine on tästä syystä tärkeää pitää puhtaana, sillä pienetkin epäpuhtaudet vaikuttavat voitelun toimivuuteen. Öljyjen epäpuhtaudet aiheuttavatkin noin 80 % hydraulikkakoneistoissa tapahtuvista häiriöistä (PSK standardit. PSK 6707). Öljyn kuntoa on syytä valvoa jatkuvasti ja pitää kirjata kunnonvalvonnan tuloksista, jotta nähdään sen kehityssuunta.

### 4.1 Vieraiden aineiden ja ikääntymisen vaikutukset öljyssä

Vesi on voiteluöljyssä pahimpia vieraita aineita, sillä se aiheuttaa öljyn hapettumista. Vettä esiintyy öljyn seassa kolmessa eri muodossa: liuenneena vetenä, emulgoituneena vetenä sekä vapaana vetenä. Liuennutta vettä ei helposti öljyn seassa paljaalla silmällä huomaa toisin kuin vapaata vettä, eikä se olekaan yhtä haitallista. Jos vettä esiintyy öljyssä vapaana, se kielii veden suuresta määrästä öljyssä ja tällöin vesipitoisuusanturin mittaus näyttää suhteelliseksi vesipitoisuudeksi 100 %. Emulgoitunut vesi esiintyy öljyn seassa vesitippoina siellä täällä. (Hydac 2005.)

Ikääntyminen muuttaa öljyn viskositeettia ja se alkaa myös hapettua. Viskositeetin muutos aiheuttaa voitelukalvon paksuuden muutoksia ja näin voitelun

toimivuus huononee. Ikääntymisen johdosta öljyyn saattaa muodostua sisäisiä epäpuhtauksia kuten sakkaa, hartseja ja lakkoja. Näiden aineiden muodostuminen aiheuttaa puhtausluokan huonontumista ja voivat johtaa suodattimien tukkeutumiseen ja laitteiston kulumiseen. (Hydac 2005.)

Likapartikkeleita voi joutua öljyn sekaan muutenkin kuin öljyn vanhenemisprosessissa. Laitteiston kuluminen lisää haitallisten metallihiukkasten määrää öljyssä. Nämä hiukkaset kuluttavat laitetta entisestään sekä tukkivat suodattimia. Likapartikkeleita voi joutua öljyyn myös laitteiston ulkopuolelta huoltoluukkuja avatessa, öljynäytteitä ottaessa tai linjan vuodosta. Useimmiten järjestelmän ulkopuolelta tulevat partikkelit ovat hiekkaa tai teollisuuspölyä. Myös akselitiivisteiden kuluminen voi lisätä partikkeleita öljyssä.

## **4.2 Offline-kunnonvalvonta**

Öljyjen kuntoa valvotaan ottamalla öljystä näytteitä, joita analysoidaan laboratoriossa. Perinteinen tapa ottaa näyte on pullonäytteen ottaminen. Puhdistettuun näytepulloon otetaan järjestelmästä öljyä joko näytteenottoventtiilin kautta tai suoraan öljysäiliöstä alipainepumpun avulla. Pullonäytteen ottamisen yhteydessä on oltava tarkkana, ettei epäpuhtauksia pääse näytteeseen mukaan järjestelmän ulkopuolelta. Käytännössä niitä varmasti jonkin verran kuitenkin pääsee näytteeseen, joten pullonäytteen ei voida olettaa olevan absoluuttisen tarkka. Tämän takia nykyään online- ja inline-kunnonvalvonta on lisääntynyt. Monilla komponenttivalmistajilla sekä öljytoimittajilla on öljyn pullonäytteen ottamiselle ohjeet, jotka ovat internetissä yleisesti tarjolla.

Pullonäytteille voidaan tehdä laboratoriossa useita eri analyysyjä, joita ovat muun muassa

- hiukkasanalyysi
- viskositeettianalyysi
- hiukkasmateriaalien analyysi
- vesipitoisuusanalyysi
- dielektrisyyssanalyysi (öljyn vanhentuminen/hapettuminen).



Analyysien perusteella voidaan todeta, mikä valvottavassa laitteessa on vialla. Esimerkiksi, jos hiukkanalyysistä tulleet tulokset yrittävät sallitun puhtausluokan ja hiukkasmateriaalien analyysissä huomataan hiukkasten olevan lyijyä, voidaan olettaa valkometallista valmistetun laakerin vikaantuneen.

### **4.3 Online-kunnonvalvonta**

Online-kunnonvalvonta tarkoittaa sitä, että järjestelmään on tehty öljylle sivukierto, jossa öljy kulkee mittalaitteen läpi. Inline-kunnonvalvonta taas tarkoittaa sitä, että mittalaite on liitetty suoraan järjestelmän päävirtaukseen (PSK standardit. PSK 7201–2p). Online- ja inline-anturit viestittävät analyysinsä sähköisesti esimerkiksi tietokoneelle, josta voidaan seurata öljyn puhtautta. Näissä näytteenotto tavoissa ei ole riskiä, että näytteeseen tulisi ulkopuolisia likapartikkeleita, vaan ne vastaavat erittäin hyvin öljykierron todellista puhtautta. Online-kunnonvalvonnalla saadaan reaaliaikaista tietoa valvottavan laitteiston kunnosta ja näin ollen voidaan ehkäistä katastrofaalisien vikojen tapahtumista. Vikaantumisen toteaminen sen alkuvaiheessa antaa myös lisää aikaa korjaustyön suunnitteluun ja varaosien tilaamiseen (SKF). Lisäksi öljyjen online-kunnonvalvonnalla voidaan todeta vika ennen kuin se näkyy laakerien värähtelymittauksissa antaen käyttäjälle jopa kuukausien mittaisen maksimi ennakoitajan ennen laitteiston täyttä hajoamista. (Promaintlehti 2014.)

### **4.4 Öljyjen analysointiin käytettävät online-anturit**

Laitteistoissa yleisimpiä käytettäviä antureita ovat vesipitoisuusanturi, kunnonvalvonta-anturi, induktiivinen anturi sekä optinen anturi. Vesipitoisuusanturilla ja kunnonvalvonta-anturilla voidaan havaita muutoksia öljyn kemiallisissa ominaisuuksissa ja voiteluominaisuuksissa. Kahdella viimeisellä tutkitaan likapartikkelien määrää öljyssä.

#### **Vesipitoisuusanturi**

Vesipitoisuusanturit mittaavat usein veden suhteellista kosteutta (0-100 %). Kapasitiivisessa anturissa on kerros, joka imee kosteutta itseensä. Veden määrän lisääntyessä kerros imee itseensä enemmän vettä ja veden määrän vähentyessä

sä se luovuttaa vettä pois. Liunneen veden määrän muutoksia on hyvä tarkkailla öljyn kunnonvalvonnassa. (Hydac 2005.)

Anturi antaa siis tiedon, kun vapaata vettä alkaa muodostua öljyn sekaan. Vapaata vettä alkaa muodostua, kun vesipitoisuus öljyssä on 100 %. Vapaa vesi on haitallisempaa öljyn seassa kuin siihen liuennut vesi, sillä se lisää kulumista ja korroosiota voitelukohteessa. Öljyn kykyyn sitoa vettä vaikuttaa öljyn tyyppi, lisäaineet, ikä ja lämpötila. Vesipitoisuusanturit mittaavat samalla siis öljyn lämpötilaa. (Promaintlehti 2014.)

### **Kunnonvalvonta-anturi**

Kunnonvalvonta-anturilla mitataan öljyn kuntoa hieman laajemmin kuin vesipitoisuusanturilla. Kunnonvalvonta-antureita on erilaisia ja ne mittaavat öljyn eri ominaisuuksien muutosta. Seurattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi viskositeetti, tiheys, lämpötila, vesipitoisuus ja dielektrisyys (eristysvakio). Tärkein anturin mittaama arvo on dielektrisyys, jonka muutos kertoo öljyn kemiallisten ominaisuuksien muutoksesta tai vieraiden aineiden sekoittumisesta siihen. Öljyn kemiallisten ominaisuuksien muutos voi johtua esimerkiksi hapettumisesta. Hapettumista nopeuttaa veden ja metallipartikkelien liialliset pitoisuudet öljyssä. (Promaintlehti 2014.)

Kunnonvalvonta-anturi ei välttämättä kerro, mikä öljyssä on vikana, vaan se ilmoittaa tarpeen öljyn tarkempaan tutkimukseen laboratorioanalyysillä. Öljyn kemiallisten ominaisuuksien muutokset johtavat voitelun heikkenemiseen, mikä lisää kohteessa kulumista. Kemialliset muutokset öljyssä eivät tapahdu kuitenkaan kovinkaan nopeasti.

### **Induktiivinen anturi**

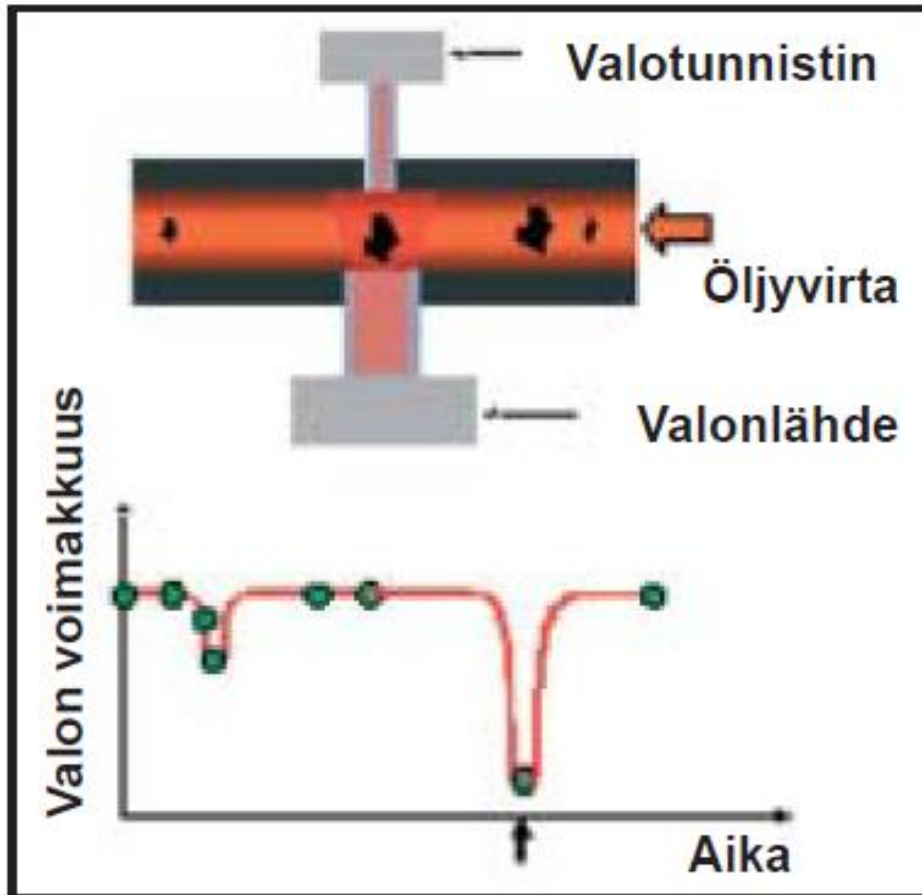
Induktiivinen anturi mittaa kulumametallihiukkasten määrää öljyssä. Kulumametallit ovat haitallisia öljyssä, sillä yhdessä veden kanssa ne toimivat katalyyttinä öljyn hapettumiselle. Kulumametalleja esiintyy hyvässä kunnossa olevassa öljyssä pieniä määriä ja hiukkaset ovat kooltaan pieniä. Kulumetallien hiukkaskoon ja määrän kasvu on kuitenkin haitallista ja se kielii alkavasta laitevauriosta. (Promaintlehti 2014.)

Induktiiviset anturit havaitsevat suuria metallihiukkasia, joita esiintyy laitevaurion yhteydessä. Yleisesti laitevalmistajien käyttämät anturit havaitsevat >70 µm ferromagneettiset hiukkaset ja >200 µm ei ferromagneettiset hiukkaset. Kuitenkin ainakin ulkomaisten markkinoilla on tarkempia antureita, jotka havaitsevat hiukkaset tarkkuudella >40 µm ja >135 µm.

### **Optinen anturi**

Optinen anturi eli hiukkaslaskuri ilmoittaa kaikkien öljyssä olevien ylimääräisten partikkelien määrän ISO4406:1999 (>4 µm, > 6µm ja >14 µm puhtausluokat) mukaan. Moniin antureihin on lisätty tarkasteltavaksi suurempienkin (esimerkiksi >21 µm ja >40µm) hiukkasten määrää (Hydac 2005). Anturi ottaa siis huomioon kulumametallien lisäksi laakereista tai tiivisteistä irtoavat ei metalliset hiukkaset, järjestelmän ulkopuolelta tulleet epäpuhtaudet (hiekkä, prosessipöly) sekä öljyn sisäisesti muodostamat hiukkaset vanhettumisen johdosta.

Optinen anturi vaatii paineistetun öljyn, joka lisää laitteiston hintaa roimasti. Ilmakuplat sotkevat optista mittausta, jos öljy ei ole paineistettu anturia varten. Puhtausluokkien muuttuminen huonompaan suuntaa kertoo yleensä alkavasta laitevauriosta. Kuvassa 3 esitetään optisen anturin toimintaperiaate.



Kuva 3. Optisen anturin toimintaperiaate (Hydac 2005).

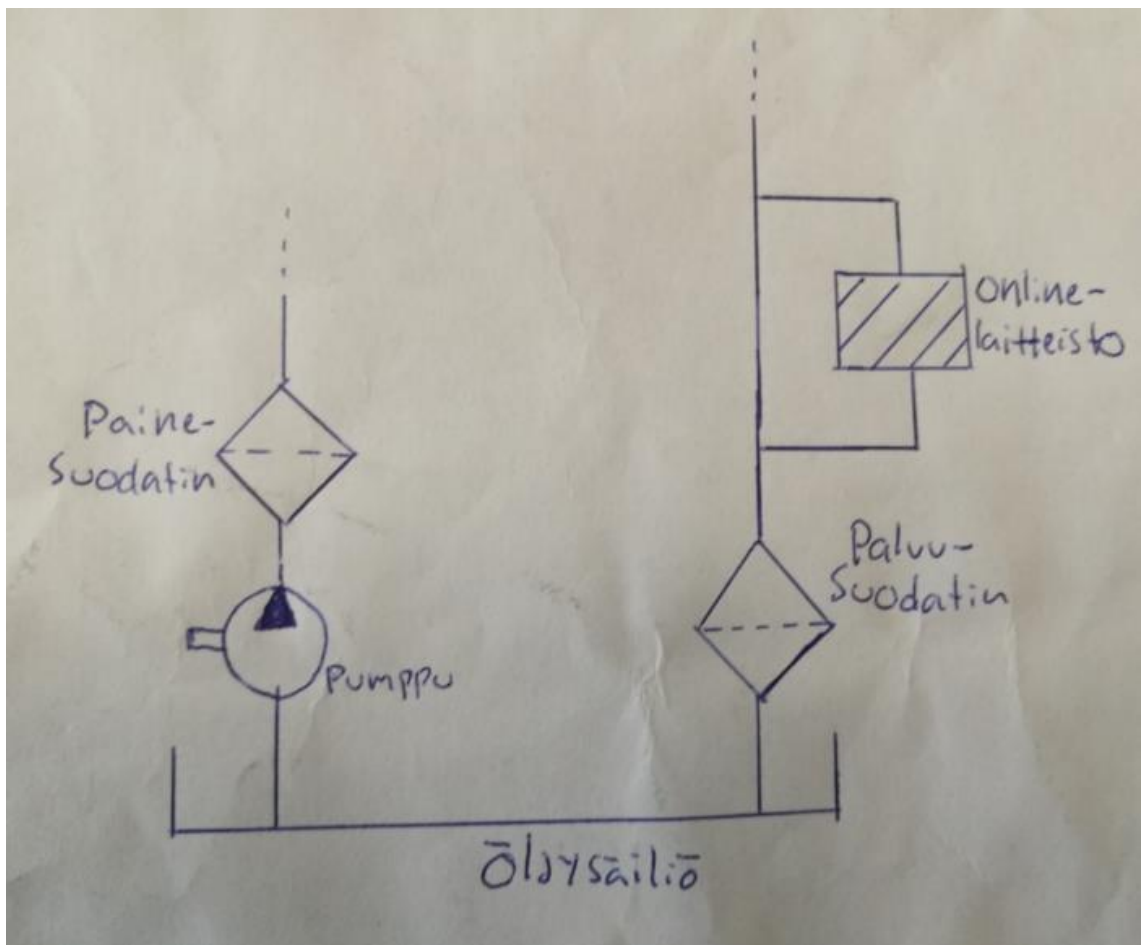
## 5 Online-kunnonvalvontalaitteiston suunnittelu höyryturbiini 7:lle

Kohdetta laitteistolle oli vaikea etsiä sillä kohteita, joille olisi kohdistunut paljon öljyn epäpuhtauksiin liittyviä kunnossapitotöitä, ei tehtaalta löytynyt. Kohde valikoitui sen kriittisyyden takia sekä siksi, että siellä oli havaittu pieniä ongelmia öljyn kuntoon liittyen.

### 5.1 Kohteen valinta

Työn aluksi päätettiin kohde, johon laitteiston hyötyjä alettaisiin tarkastella. Kohdeksi valikoitui höyryturbiini 7, sillä turbiinin öljyissä oli ollut hieman ongelmia viime aikoina. Turbiinin öljyssä oli muun muassa havaittu vaahtoamista sekä metallipartikkeleita viimeisissä öljynäytteissä.

Turbiini 7:n öljy toimii samalla kiertovoiteluöljynä sekä säätö-öljynä. Öljylle on siis yhteinen säiliö, josta öljy lähtee kahteen eri kiertoon, säätöpuolelle ja kiertovoitelupuolelle. Säätö-öljyllä säädetään turbiinin toimintoja ohjaavia venttiileitä. Kiertovoiteluöljy taas voitelee turbiinin ja generaattorin liukulaakereita. Laitteisto haluttiin sijoitettavaksi kiertovoitelun paluupuolelle omaan sivukiertoon ennen paluusuodatinta, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä kuva voideltavien laakereiden kunnosta. Kuvassa 4 on yksinkertaistettu hydraulikkakaavio, josta voidaan nähdä laitteiston suunniteltu paikka kierrossa.



Kuva 4. Online-laitteiston sijoituspaikka öljykierrossa.

## 5.2 Laitteiston ja sen komponenttien valinta

Aluksi laitteistolle asetettiin tiettyjä vaatimuksia. Sen tuli olla valmiiksi kokoonpantua hydraulinen laitteistokokonaisuus, joka liitettäisiin kohteeseen omaan sivukiertoon. Laitteisto haluttiin valmiiksi paketuksi siksi, että sitä voitaisiin tarpeen mukaan siirtää kohteesta toiseen ja se olisi myös helposti kopioitavissa toiseen kohteeseen. Lisäksi laitteiston asennus vaatisi vähemmän työtä ja aikaa, kun jokaista komponenttia ei tarvitsisi asentaa erillisesti öljyn pääkiertoon. Myös muutostyöt laitteistoon on helpompi toteuttaa, kun laitteisto on omassa sivukierrossa. Esimerkiksi laitteistoon voidaan lisätä antureita, suodattimia tai muita komponentteja jälkikäteen, jos haluttaisiin.

Laitteistojen komponentit määräytyvät asiakkaan tarpeen mukaan ja useimmat laitteistotoimittajat tarjoavatkin kustomoituja laitteistoja. Laitteistoon halusimme antureiksi induktiivisen anturin sekä vesipitoisuusmittarin. Valinnat tehtiin sen perusteella, että kiertovoitelun paluupuolelta tulevasta öljystä voitaisiin tarkastella liukulaakereiden kuntoa, sekä vesipitoisuutta öljyssä. Vapaa vesi öljyssä on erittäin haitallista voitelulle. On mahdollista, että esimerkiksi turbiinin kaulalla oleva tiiviste hajoaa tai alkaa vuotaa, jonka johdosta vettä pääsee öljykiertoon. Öljyssä olevan veden vaikutuksia ei tällöin huomata ilman vesipitoisuus- tai kunnonvalvonta-anturia ennen kuin laakerit tai muut öljyn kierrossa olevat komponentit alkavat vikaantua pahemmin.

Muita laitteistoon haluttavia komponentteja olivat pumppu, sähkömoottori sekä dataloggeri / hälytyslogiikka. Pumppu ja sähkömoottori haluttiin laitteistoon siksi, koska anturit vaativat tietyn öljyvirtauksen, että ne toimisivat. Kiertovoitelun paluuvirtaus on niin vähäistä itsessään, että omalla pumpulla saataisiin se tarpeeksi kovaksi. Lisäksi, jos laitteisto haluttaisiin sijoittaa voitelujärjestelmän tai säätö-öljyjärjestelmän painepuolelle, pumpun avulla vältettäisiin päävirtaukseen aiheutuvat painehäviöt. Antureiden mittausten ylittäessä niille asetetut hälytysrajat, dataloggerin / hälytyslogiikan avulla tiedon saa vietyä sähköisesti Stora Enson käyttämään Metso DNA- käyttöjärjestelmään, jonka myötä työntekijät saavat tiedon voitelujärjestelmässä olevasta ongelmasta.

### **5.3 Laitteiston asennuksessa huomioitavat asiat**

Laitteiston asennus vaatisi seisokin, sillä öljykierron putkistoon olisi tehtävä sivukiertoputkitus laitteiston tulo- ja lähtöliitännöille. Laitteiston valmistajalta tulee kysyä tarvittavat liitännät. Erään laitteistotoimittajan arvion mukaan seisokin pituus tulisi olla kohteesta riippuen noin yhden viikon mittainen eli syys- tai kevätselokki. Kohteen läheisyydestä pitäisi olla saatavilla sähköä, sillä luonnollisesti sähkömoottori, anturit ja dataloggeri / hälytyslogiikka tarvitsevat sitä. Jos dataloggerin / hälytyslogiikan tiedot pystytään viemään Metso DNA:han (riippuu toimittajasta), tarvitaan myös dataliitännät.

Tutkittavasta kohteesta tulisi ottaa öljyn lähtöarvot selville, jotta antureille saadaan asetettua oikeanlaiset hälytysrajat. Lähtöarvot tulisi ottaa selville kaikista mitattavista suureista. Lisäksi käytettävä öljy tulisi ilmoittaa laitevalmistajalle, koska esimerkiksi viskositeetti asettaa rajoituksia antureille. Myös öljyn lämpötila saattaa asettaa rajoitteita antureiden käyttöön, joten se on ilmoitettava laitteistovalmistajalle. Laitteisto tulisi tärkeissä kohteissa kalibroida 2-3 vuoden välein.

### **5.4 Laitteiston hyödyt turbiinin kunnonvalvonnassa**

Turbiinin kuntoa valvotaan jo siirtymäantureilla ja nopeusantureilla. Näillä menetelmillä saadaan jo hyvin tietoa alkavista laakerivaurioista turbiinissa. Öljyn online-kunnonvalvonta laitteiston avulla huomattaisiin laakerivaurio suurin piirtein samoihin aikoihin kuin jo olemassa olevilla mittauksilla. Laitteiston hyödyt koskisivat enemmän muiden öljykierrossa olevien komponenttien hajoamisen välttämistä. Esimerkiksi säätöpuolen venttiilit, säätö-öljypumppu tai voiteluöljypumppu saattaisi vaurioitua metallihiukkasten kasvun myötä.

Vesipitoisuuden kasvu taas voisi johtaa alkaviin vaurioihin missä tahansa öljykierron komponentissa sekä vähentäisi öljyn käyttöikä. Turbiinin akselin tiivisteet voisivat alkaa vuotaa, jolloin vettä pääsisi öljykiertoon. Tällöin laitteiston vesipitoisuusanturista olisi hyötyä vahinkojen estämisessä, kun voitaisiin tehdä toimenpiteitä ennen suurempia vaurioita.

Laitteiston rahallisia hyötyjä on kuitenkin vaikea arvioida, sillä turbiinin öljyistä otetaan kolmen kuukauden välein pullonäytteet, joiden analyysien perusteella todennäköisesti huomattaisiin vahingot ennen suurempia komponenttivaurioita. Laitteistolla tuskin voitaisiin siis välttää suuren luokan katastrofeja, joiden kustannukset nousisivat useisiin miljooniin euroihin. Saamieni tarjousten perusteella kyseessä olevien laitteistojen hinnat liikkuvat 5000 euron ja 1000 euron välillä. Käyttökustannuksia tulisi lähinnä vain valmistajien tarjoamien hälytysportaalien ylläpidosta. Nämä ylläpitokustannukset vaihtelivat suuresti muutamista satasta tuhansiin euroihin vuodessa.

Liitteissä 1 ja 2 nähdään kustannuslaskentaa voiteluöljypumpun ja turbiinin liukulaakerin hajoamisen välttämiseen liittyen. Voiteluöljypumpun kunnan seuraamista varten laite tulisi kuitenkin sijoittaa pumpun painepuolelle ennen painesuodatinta.

## **6 Yhteenveto ja pohdinta**

Loppujen lopuksi työn anti toimeksiantajalle jäi todella vähäiseksi, koska turbiinin öljykiertoon laitteisto ei näillä näkymin sovellu kovinkaan hyvin. Toimeksiantaja sai kuitenkin uutta tietoa nykyisestä, kehittyneestä anturitekniikasta ja laitteistoista. Myös palveluiden ja laitteistojen tämän hetkisen hintatason selvittämisestä Efora hyötyy jatkossa. Lisäksi se sai tietoonsa kyseisiä laitteistoja toimittavia yrityksiä ja informaatiota niiden palveluista. Monet toimittajat ovatkin kehittäneet itse laitteiston kylkeen älykkäitä sovelluksia kunnonvalvonnan avuksi. Nämä sovellukset tulevat varmasti olemaan läsnä kunnossapidon toiminnoissa. Tulevaisuudessa Efora voisi tarkemmin miettiä kohteita, joita varten laitteiston hyötyjä voitaisiin tarkastella. Online-anturit ja –laitteistot kehittyvät kuitenkin koko ajan ja ne ovat kunnossapidon apuvälineinä tulevaisuudessa enemmän. Laitteistovalmistajat olivat suurena apuna työn etenemisessä, ja niiltä sain paljon tietoa laitteiston komponenteista ja öljyn kunnonvalvonnasta.

Työn toteuma ei ollut sitä mitä alkuun ajattelin. Saamani aihe oli alun perin erittäin ympäröivä eikä sitä ollut helppo tarkentaa mihinkään suuntaan, sillä tehtaalla ei ollut isoja ongelma- tai kehityskohtia öljyjen kunnonvalvonnassa, vaikka niitä kartoitettiin. Päädyimme lopulliseen aiheeseen vasta alle kuukausi ennen



työn päättymisen aikarajaa. Tämän vuoksi suunnitelmallisuus jäi puutteelliseksi, ja tavoitteena oli vain saada mahdollisimman paljon tietoa online-laitteistoista, hinnoista ja niiden valintaan liittyvistä asioista. Työtä tehdessä ensimmäiset viikot kuluivat voitelun perusteisiin ja öljyjen ominaisuuksiin perehtyen.

Jo ennen työn alkua minulla oli käsitys suunnitelmallisuuden ja työn vaiheistamisen tärkeydestä. Vaikka epäonnekkaiden sattumien takia nämä asiat jäivät puuttumaan työstä, käsitykseni asiasta vain vahvistui.

## **Kuvat**

Kuva 1. Imatran tehtaat, s. 6

Kuva 2. Stribeck-käyrä, s. 11

Kuva 3. Optisen anturin toimintaperiaate, s. 21

Kuva 4. Online-laitteiston sijoituspaikka öljykierrossa, s. 23

## **Kaavat**

Kaava 1. Voitelukalvon ominaispaksuus, s. 9

## **Taulukot**

Taulukko 1. ISO 3448 standardin viskositeetti-  
luokat, s. 8

Taulukko 2. NLGI-luokat, s. 16

## Lähdeluettelo

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Viher-salo, J., Virtanen, I., Vuolle, P.I. 2006. Kunnossapitoyhdistys ry. Teollisuusvoite-lu. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.

Efora 2018. Tietoja meistä. <http://www.efora.fi/>. Luettu 2.1.2018

Hydac 2005. Hydrauliiikka- ja voitelujärjestelmien kunnonvalvonta. [http://www.hydac.fi/pdf/uutiset/Hydrauliiikka\\_ja\\_voitelujarjestelmien\\_kunnonvalvonta\\_OP.pdf](http://www.hydac.fi/pdf/uutiset/Hydrauliiikka_ja_voitelujarjestelmien_kunnonvalvonta_OP.pdf). Luettu 2.4.2018.

Promaintlehti 2014. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Mita-oljyssa-tulee-seurata>. Luettu 28.2.2018.

PSK standardit. PSK 7201–2p.

PSK standardit. PSK 7202-2p.

PSK standardit. PSK 6707.

Pulkkinen, P. 2008. Puunjalostuskonsernin voiteluhuollon analysoiminen ja kehittäminen. LUT. Diplomityö.

SKF. Kunnonvalvonta. <http://www.skf.com/fi/products/condition-monitoring/index.html>. Luettu 28.2.2018.

Stora Enso Finland 2018. Tietoja Stora Ensosta. <http://www.storaenso.com/lang/finland>. Luettu 2.1.2018.

Stora Enso 2018. Imatran tehtaas. <http://renewablepackaging.storaenso.com/about-us/mills/imatra-mill/finnish>. Luettu 2.1.2018

Sundqvist, H. 1986. Tribologian perusteet 838. Helsinki: Otakustantamo.

Teboil 2013. Perusöljytyypit. <http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/yleista-voiteluaineista/perusoljytyypit/> luettu: 2.2.2018

## Liite 1. Kustannuslaskenta 1.

### Tapaus 1: Turbiinin liukulaakerin hajoaminen

Laitteisto : induktiivinen anturi, pumppu+moottori, vesipitoisuus anturi, dataloggeri		
Kustannukset		
	Online-laitteiston hinta €	4810
ARVIO!	Online-laitteiston asennuskustannukset €	1120
ARVIO!	Online-laitteiston kunnossapitokustannukset (€ / v)	1000
Tuotot		
ARVIO!	Pumpun hajoamisen välttäminen €	30000
	Turhien seisokkien välttäminen (h / vuosi)	42
	Keskimääräinen seisokkiaika per odottamaton seisokki (h / seisokki)*	840
	odottamattoman seisokin kust. (TU7) (€ / h)*	3000

Asennuskustannukset: 2 asentajaa, 2 vrk, 8h/vrk, 35€/h

\*Kustannukset perustuvat Stora Enson arvioon menetetyn sähköntuotannon hinnasta. Seisokkiaika taas Stora Enson arvioon seisokkiajasta laakerin hajoamistapauksessa.

Muut hyödyt
Työturvallisuuden parantuminen Siistimpi työympäristö Antaa enemmän aikaa työsuunnittelulle ja varaosien tilaamiselle

yhden odottamaton seisokin välttäminen joka X:s vuosi	5
	10
	15
	20
	25

kaava (säästöt e / vuosi):	501814
	250407
	166605
	124704
	99563

## Liite 2. Kustannuslaskenta 2.

### Tapaus 2: Pelkkä pumpun hajoaminen

Laitteisto: induktiivinen anturi, pumppu+moottori, vesipitoisuus anturi, dataloggeri		
<b>Kustannukset</b>		
	Online-laitteiston hinta €	4810
ARVIO	Online-laitteiston asennuskustannukset €	1320
ARVIO	Online-laitteiston käyttökustannukset (€ / v)	1000
<b>Tuotot</b>		
	Pumpun hajoamisen välttäminen €	30000

ARVIO **Asennuskustannukset: 2 asentajaa, 2 vrk, 8h/vrk, 35€/h +  
materiaalit 200€**

ARVIO **käyttökustannukset (kp + muut kulut): KP (300€/v) +  
häl.järjestelmän ylläpito (400€/v)**

#### Muut hyödyt

Turbiinin osien käyttöiän pidentyminen  
seisokkien korjaustöiden väheneminen  
Antaa enemmän aikaa työsuunnittelulle ja varaosien  
tilaamiselle

Kun joka X:s vuosi vältetään pumpun hajoaminen

X (vuotta)

5  
10  
15  
20  
25

Säästöt

(e / vuosi):

3774  
1387  
591  
194  
-45

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Pumpun hajoamisen välttäminen laitteiston avulla tapahtuu arvion mukaan niin harvoin, että suuria säästöjä ei laitteiston hankinnasta syntyisi.