



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **PAINELMAKOMPRESSORIEN VOITELUAINEET**

Matti Tavinen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2017  
Konetekniikka  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Koneautomaatio

MATTI TAVINEN:  
Paineilmakompressorien voiteluaineet

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Joulukuu 2017

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa yleinen kuva yleisimmin käytössä olevista paineilmakompressoreista, sekä niiden voiteluaineista ja ominaisuuksista. Kohteena työlle oli Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd, joka on Pirkkalassa toimiva voiteluaineita ja suodattimia maahantuova yritys.

Paineilmakompressoreiden voiteluaineista on saatavilla vähän tietoa. Työn tarkoituksena oli tehdä päivitetty ohjeistus yrityksen henkilökunnalle oikean voiteluaineen valintaan yleisimpiin käytössä oleviin paineilmakompressoreihin niiden tyyppin ja käyttöympäristön mukaan. Paineilmaa käytetään lähes jokaisessa tuotantoprosessissa ja tuotantolaitoksessa ja se on tuotannon kannalta yksi tärkeimmistä elementeistä. Paineilman tulon loppuminen merkitsee usein koko tehtaan pysähtymistä ja tästä syystä siihen pitäisi enemmän kiinnittää huomiota. Työssä käsiteltiin myös öljyn kunnonvalvonnan merkitystä voiteluaineen ja kompressorin käyttöikäen ja vertailtiin kahta eri valmistajan öljyä laboratoriossa öljyanalyysien avulla.

Öljyanalyysit ovat ainoa tapa mitata öljyn kuntoa luotettavasti. Öljyanalyysien avulla huomattiin, että voiteluöljy voi olla huomattavasti yli sallittujen raja-arvojen ennen kuin vaihtovälin käyttötunnit tulivat täyteen. Todettiin myös, että vaihtoehtoiset öljyt voivat suoriutua merkittävästi paremmin kuin koneen valmistajan suositellut tuotteet. Tämän takia on tärkeää määritellä oikea voiteluaine ja oikeat öljynvaihtovälit öljyanalyysien avulla kullekin kohteelle, koneelle ja öljylle yksilöllisesti.

---

Asiasanat: paineilma, paineilmakompressori, voiteluaine, kompressorioöljy

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Mechanical and Automation

MATTI TAVINEN:  
Air compressor lubrication

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 9 pages  
December 2017

---

This Bachelor's thesis is a study on air compressor lubricants. The purpose of this study is to assist employees of Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd in selecting correct lubricants for air compressor solutions and to improve on a general level the understanding of these products. Voitelukeskus Tonttila is a company located in Pirkkala, importing to Finland mainly different types of lubricants, industrial greases and filtration products.

As not much easily accessible information is available about compressor lubricants, target of the study was to build an up-to-date manual for the selecting process. According to this manual, employees of Voitelukeskus Tonttila can select correct lubricants to be used for the most common compressor models, depending on the type and operating environment. Due to the extensive use of compressed air in factories, including critical points in production, failure of a compressed air system might often result in a complete production stop. Therefore sufficient attention should be paid to all relevant aspects, including the air compressor lubricant, for allowing flawlessly functioning compressed air systems.

A key element of the study has been analyzing used air compressor oils; this being the only reliable way to measure the lubrication characteristics and thus effects on a compressor's lifetime after the oil has been taken into use. This thesis includes an analysis and comparison test of two different compressor oils, where the highlighted finding was the oil could reach end of service life, even before the oil change was due according to change intervals given by the manufacturer. Also aftermarket or replacement oil was proved to perform as well or even better than OEM oil. These results conclude the importance of determining exact draining intervals for every specific air compressor, air compressor oil and operating environment individually.

---

Key words: compressed air, compressor, lubricant, compressor oil

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PAINEILMAKOMPRESSORIT.....	7
3	PAINEILMAKOMPRESSORIEN TYYPIT TYÖN MUKAAN .....	8
3.1	Staattisesti puristavat .....	8
3.1.1	Ruuvikompressorit .....	8
3.1.2	Lamellikompressorit .....	9
3.1.3	Mäntäkompressorit.....	10
3.2	Kineettisesti puristavat.....	11
3.2.1	Aksiaalinen.....	11
3.2.2	Radiaalinen.....	12
3.3	Vastavirtauspuristusta käyttävät kompressorit .....	12
3.3.1	Kaksiroottoriset kiertomäntäpuhaltimet.....	12
4	VOITELUAINEET .....	13
4.1	Voiteluaineiden peruskäsitteitä.....	13
4.2	Kompressorien voiteluaineiden luokitukset.....	14
4.3	Voiteluaineen valinta eri kompressorityypeille .....	16
4.4	Ruuvikompressorit.....	17
4.4.1	Mineraaliöljyt ruuvikompressoreissa .....	18
4.4.2	Synteettiset öljyt ruuvikompressoreissa.....	19
4.5	Mäntäkompressorit .....	22
4.5.1	Mineraaliöljyt mäntäkompressoreissa.....	23
4.5.2	Synteettiset öljyt.....	24
4.6	Lamellikompressorit .....	24
4.7	Kineettisesti puristavat turbokompressorit .....	25
4.8	Kiertomäntäpuhaltimet .....	26
4.9	Voiteluaineen muutoksiin vaikuttavia tekijöitä .....	26
4.10	Kompressoriohjelyn kunnonvalvonta.....	27
5	TESTIT JA TULOKSET.....	33
5.1	Öljynäytteiden vertailu .....	34
6	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET .....	38
	LIITTEET .....	39
	Liite 1. Koneen 2. öljyanalyysiraportti.....	40
	Liite 2. Koneen 1. öljyanalyysiraportti.....	44

**LYHENTEET JA TERMIT**

PAO	Polyalfaolefiini
PAG	Polyalkyleeniglykoli
TAN	Kokonaishappoluku
TBN	Kokonaisemäsluku
ppm	(Parts Per Million) Yksituhannesosa
NSF	National Sanitation Foundation
cSt	Senttistoke

## 1 JOHDANTO

Paineilmaa tarvitaan lähes jokaisessa tuotantolaitoksessa tuotteen valmistamiseen ja prosessin ylläpitämiseen. Ne ovat monen tehdaslaitoksen tärkeimpiä koneita, joiden käyttökatkot voivat pysäyttää koko tehtaan.

Paineilmakompressoreiden voiteluaineista on suhteellisen vähän yleistä tietoa saatavilla. Tässä työssä tutustutaan yleisimpiin käytössä oleviin paineilmakompressoreiden tyyppeihin ja niiden voiteluaineisiin. Työ rajautuu vain ilmaa puristaviin ja yleisimmin käytössä oleviin kompressorityyppeihin ja työssä ei myöskään käsitellä kylmäkompressoreita. Tarkoituksena on antaa laitteiden kanssa toimiville ja niiden huoltotöihin osallistuville henkilöille tietoa koneissa käytettävistä voiteluaineista sekä helpottaa voiteluaineen valintaa ottaen huomioon koneen tyyppi ja käyttöympäristö. Yleisimpien kompressorityyppien, kuten ruuvi-, mäntä- ja lamellikompressorien öljyvalintaa tarkastellaan tarkemmin.

Työssä vertaillaan myös kahta eri valmistajan ruuvikompressorioöljyä testijakson lopuksi. Testin lopuksi otettujen öljyanalyyysien avulla arvioidaan öljyjen laatua ja arvioidaan niiden paremmuutta keskenään. Työssä käsitellään myös öljyn kunnonvalvonnan merkitystä voiteluaineen ja kompressorin elinikään.

## 2 PAINEILMAKOMPRESSORIT

Ilmanpaineen kohottamiseen tarkoitettuja laitteita kutsutaan kompressoreiksi yleensä silloin, kun saavutettu loppupaine on vähintään kasinkertainen imupaineeseen nähden. (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 25) Kompressoreiksi kutsutaan myös laitteita, jotka tuottavat huomattavan ylipaineen. Vähintään 1,5 bar:n painetta voidaan kutsua ylipaineeksi. Kompressori on mekaaninen laite, jolla höyryn ja kaasun painetta lisätään sen tilavuutta pienentämällä.

Kompressoreilta vaaditaan hyvin vaihtelevia loppupaineita käyttötarkoituksen mukaan. Tavanomaisessa pneumaattisessa siirrossa käytetään 0,5 – 3 bar:n työpaineita. Tavanomainen teollisuuspneumatiikka toimii 6 – 10 bar:n paineella ja jonkin verran käytetään myös 15 – 20 bar:n paineita korkeapaineverkoissa. Hengitysilmaa puristettaessa käytettävä paine vaihtelee 150 – 300 bar:n välillä. Laboratorio-olosuhteissa voidaan tarvita jopa yli 1000 bar:n paineita joidenkin kokeiden suorittamiseen. (Airila 1983, 25.)

Seuraavissa luvuissa käsitellään yleisimpiä käytössä olevia paineilmakompressorityyppejä, syventymättä tarkemmin niiden toimintaan.

### 3 PAINEILMAKOMPRESSORIEN TYYPIT TYÖN MUKAAN

Paineilmakompressorit ovat mekaanisia laitteita, joilla kaasujen tai höyryjen painetta lisätään sen tilavuutta pienentämällä. Puristusprosessi vaatii työn tekemistä ja tapahtumassa kaasu lämpenee. Puristusprosessin ja rakenteen mukaan paineilmakompressorit voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään, joita ovat staattisesti puristavat, kineettisesti puristavat ja vastavirtausta käyttävät kompressorit.

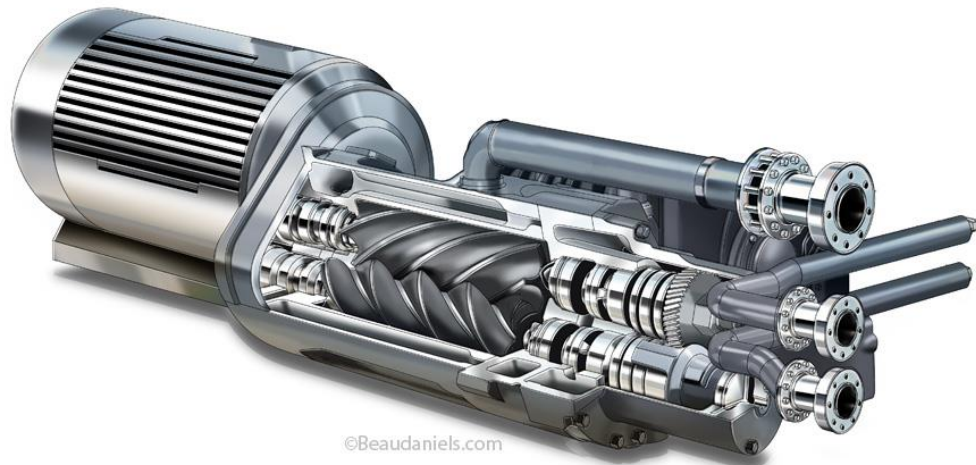
#### 3.1 Staattisesti puristavat

Staattisesti puristavat kompressorit jaotellaan pyörivätyyppisiin ja mäntätyyppisiin kompressoreihin. Staattisesti puristavat kompressorit muodostavat ylivoimaisesti suurimman käytössä olevan kompressoriryhmän.

##### 3.1.1 Ruuvikompressorit

Ruuvikompressorit ovat pyörivätyyppisiä kompressorit. Ruuvikompressorissa kaasun puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävissä urissa, joiden pääty- ja ulkopinnat ovat kotelolla tiivistetty. (Airila 1983, 30)

Roottorit imevät ilmaa imuventtiilin kautta ja ilma kulkee roottorien urissa kohti painelaippaa. Roottoreiden muodon ja pyörivän liikkeen vuoksi roottorit pakottavat ilmaa puristumaan kasaan, kunnes se viimein vapautuu roottorien toisessa päässä olevasta ulospuhallusaukosta ja jatkaa matkaa eteenpäin järjestelmässä. Kuvassa 1 on esitelty ruuvikompressorin rakennekuva.



Kuva 1. Ruuvikompressori

(<http://www.beaudaniels-illustration.com/Industrial-2015/Rotary-screw-compressor.html>)

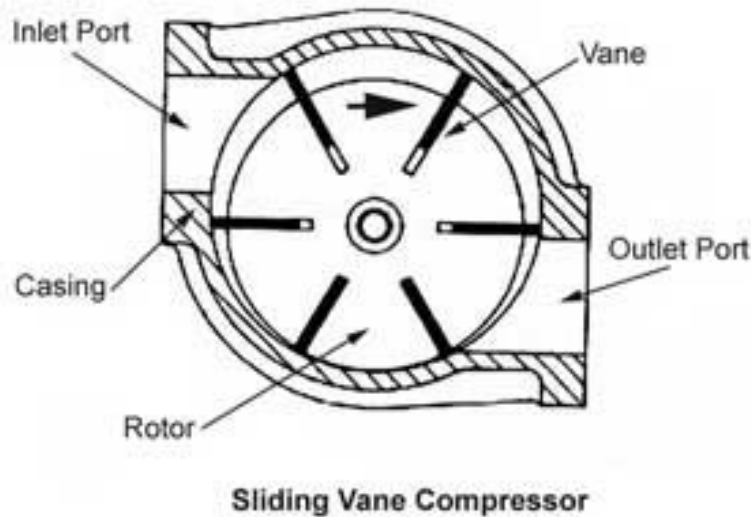
Ruuvikompressori on yleisimmin käytetty kompressorimalli suurille ilmamäärille suhteellisen korkeille paineille.

Ruuvikompressorit ovat yleisimmin öljyvoideltuja ja jäähdytettyjä. Öljyn tehtävänä on voitelun lisäksi myös tiivistää roottorien ja roottorikotelon välit. Öljyvoideltuihin ruuvikompressoreihin joudutaan täten rakentamaan öljynerotus- ja jäähdytysjärjestelmä. Käytössä on myös öljyttömiä ruuvikompressoreita täysin öljytöntä ilmaa vaativiin kohteisiin.

### 3.1.2 Lamellikompressorit

Lamellikompressorissa on sylinterinmuotoinen pesä, johon on epäkeskisesti laakeroitu roottori. Roottorissa on urat, joissa on ohuet aksiaalisessa suunnassa liikkuvat siivet. Roottorin pyöriessä keskipakovoima pakottaa siivet liikkumaan vasten pesän seiniä. Siipien väliin jää tiloja joiden tilavuus muuttuu roottorien pyöriessä ja näin ilma puristuu. (Airila 1983, 35) Lamellikompressori on ruuvikompressorin tapaan pyörivätyyppinen kompressori.

Pienemmille paineille rakennetaan myös öljyttömiä lamellikompressoreja. Normaalilla 8 bar:n paineilla toimivissa lamellikompressoreissa on öljyruiskutus ruuvikompressorin tapaan. Täten öljyvoideltuihin kompressoreihin joudutaan rakentamaan öljynerotus- ja jäähdytysjärjestelmät kuin ruuvikompressorissa. (Airila 1983, 35) Kuvassa 2 lamellikompressorin rakenne.



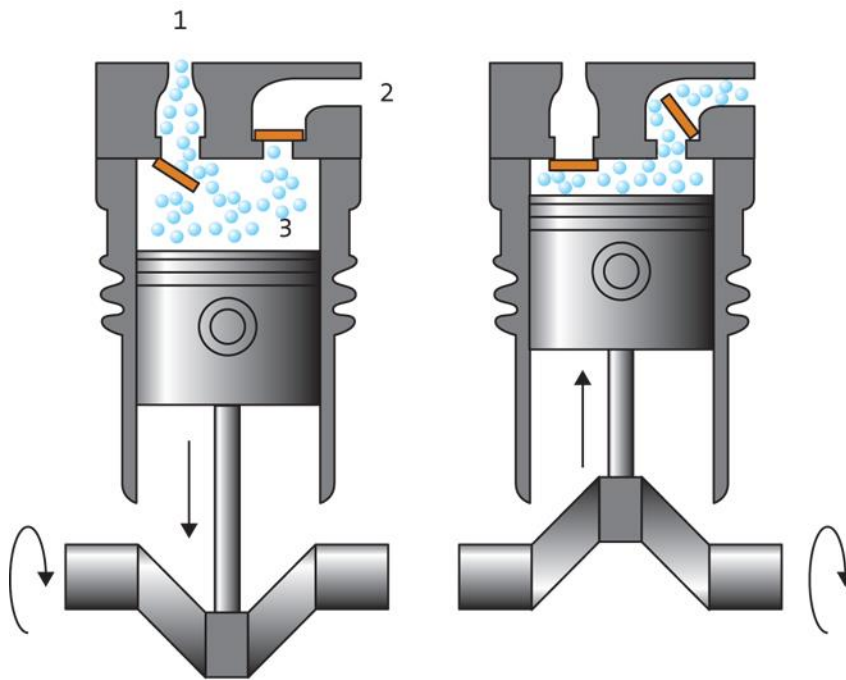
Kuva 2. Lamellikompressori (inlet port = sisääntuloaukko, vane = lamelli, casing = kotelo, rotor = roottori, outlet port = ulostuloaukko)

(<http://www.austinsevenfriends.com/Bruce/Supercharger%20Information%20and%20Formulae.htm>)

### 3.1.3 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressori on tyypiltään vanhin kompressorimalli. Mäntäkompressorin tuottoalue alkaa alle 1 l/s tuotosta jatkuen aina kymmeneen kuutiometriin sekunnissa. Saavutettava loppupaine vaihtelee myös suuresti 1 bar:sta aina 1000 bar:n saakka. Nimensä mukaisesti mäntäkompressorissa ilma puristetaan männän avulla pieneen tilaan, jossa paine nousee. Mäntäkompressoreiksi luetaan myös kalvomäntäkompressorit, joissa kalvo erottaa ilmatilan ja kampikammion toisistaan. Kalvokompressoreja käytetään silloin kun halutaan täysin puhdasta ilmaa, esimerkiksi laboratorioissa tai lääketeollisuudessa. (Airila 1983, 26)

Mäntäkompressorit ovat pääasiassa yksitoimisia, mutta niitä on myös neljätoimisia joilla saavutetaan todella suuria paineita. Mäntäkompressorien tuottamat ylipaineet vaihtelevat 1 bar:n ja 1000 bar:n välillä. Kuvassa 3 on esiteltyinä mäntäkompressorin rakennekuva.



Kuva 3. Mäntäkompressor

<http://michaelsenergy.com/briefs/whats-type-compressor-type/>

## 3.2 Kineettisesti puristavat

Kineettisten kompressorien päätyypit ovat aksiaalinen ja radiaalinen malli. Kineettisiä kompressoreja kutsutaan myös turbokompressoreiksi. Kineettisten kompressorien puristus tapahtuu monessa vaiheessa. Radiaalityyppiset koneet tuottavat yhdessä vaiheessa 3-5 bar:n ylipaineen ja aksiaaliset vain 1 bar:n.

### 3.2.1 Aksiaalinen

Aksiaalisessa turbokompressorissa ilman virtaus on akselin suuntainen. Paineen tuotto on pieni, joten isoja paineita tarvittaessa tarvitaan useita vaiheita peräkkäin.

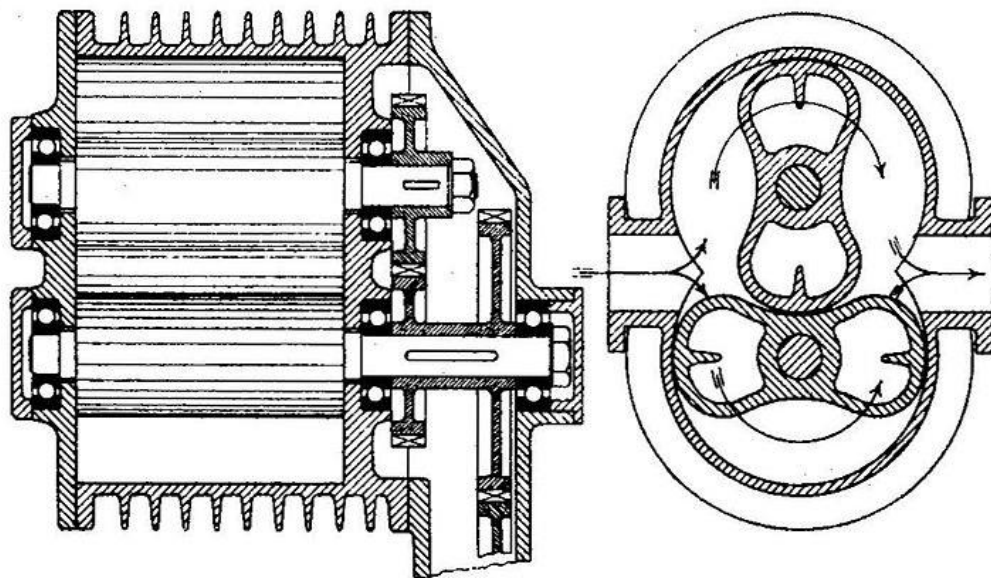
### 3.2.2 Radiaalinen

Radiaalisessa turbokompressorissa ilma virtaa säteen suuntaisesti. Myös paineen tuotto on hieman parempi kuin aksiaalisessa turbokompressorissa. Isompia paineita tarvittaessa tarvitaan useita vaiheita peräkkäin.

### 3.3 Vastavirtauspuristusta käyttävät kompressorit

#### 3.3.1 Kaksiroottoriset kiertomäntäpuhaltimet

Kaksiroottoristen kiertomäntäpuhaltimien tunnetuin tyyppi on Rootin puhallin. Siinä on kaksi toistensa lomassa pyörivää roottoria. Roottorien liikkeet tasataan hammaspyörien avulla. Kiertomäntäpuhallinta käytetään kohteissa, joissa tarvitaan paljon matalapaineista ja öljytöntä ilmaa. Kiertomäntäpuhaltimen käytännöllinen paineen yläraja on alle 1 bar:n ylipaineissa. Kuvassa 4 on esiteltynä kiertomäntäpuhaltimen rakenne.



Kuva 4. Kaksiroottorinen kiertomäntäpuhallin

([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roots\\_blower\\_\(Autocar\\_Handbook,\\_13th\\_ed.,\\_1935\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roots_blower_(Autocar_Handbook,_13th_ed.,_1935).jpg))

## 4 VOITELUAINHEET

Paineilmakompressoreilla on teollisuudessa ja tuotantotoimissa todella keskeinen asema, joten kompressorien toimintavarmuus on itsestäänselvä vaatimus. Oikein valittu voiteluaine vaikuttaa huomattavasti toimintavarmuuteen. Oikein suoritettavat huoltotoimet yhdessä oikein valitun voiteluaineen kanssa varmistavat kompressorin häiriöttömän toiminnan. Häiriöttömästi toimiva kompressori estää tuotannon menetyksiä, joita rikkoutuva kompressori voi aiheuttaa.

Voitelun keskeisimmät tehtävät kompressoreissa ovat:

- kitkan pienentäminen, kulumisen ja energiantarve
- toiminnasta aiheutuvan lämmön kuljettaminen kompressorista
- kompressorien välyksien tiivistäminen ja siten hyötysuhteen parantaminen
- osien suojaaminen korroosiolta
- lian ja kulumistuotteiden huuhtominen ja poiskuljetus järjestelmästä

Nykyaikaiset voiteluaineet ovat erittäin hienostuneita ja tarkoin lisääaineistettuja kokonaisuksia. Voiteluaineita on erilaisia, erilaisten kompressorien tyyppien, käyttöolosuhteiden ja puristettavien kaasujen vuoksi.

### 4.1 Voiteluaineiden peruskäsitteitä

#### **Viskositeetti**

Viskositeetti on voiteluaineen tärkeimpiä ominaisuuksia. Viskositeetti kuvaa nesteen juoksevuutta eli sen sisäisen kitkan suuruutta. Yksikkönä  $\text{mm}^2/\text{s}$  joka on sama kuin cSt (senttistoke).

#### **Viskositeetti-indeksi**

Viskositeetti-indeksi osoittaa lämpötilan muutoksen vaikutuksen viskositeettiin. Viskositeetti-indeksi on lukuarvoltaan suuri, jos öljyn viskositeetti muuttuu vähän lämpötilan muuttuessa ja vastaavasti pieni jos viskositeetti muuttuu paljon.

**Tiheys**

Tiheys on aineen massan ja tilavuuden suhde  $\text{kg/m}^3$ . Voiteluaineiden tiheydet vaihtelevat välillä 700 - 950  $\text{kg/m}^3$ , riippuen perusöljyn laadusta, viskositeetista ja lisäaineista.

**Leimahduspiste**

Leimahduspiste on lämpötila, jossa voiteluaineesta höyrystyvät kaasut leimahtavat pienen liekin vaikutuksesta, mutta eivät jatka palamista. (Teollisuusvoitelu 1998, 45)

**Syttymispiste**

Syttymispiste on alin lämpötila, jossa öljy syttyy palamaan ja palaa vähintään viisi sekuntia.

**Samepiste**

Samepiste on lämpötila, jossa kiteytyvät parafiiniset hiilivedyt alkavat näkyä sameutena. (Teollisuusvoitelu 1998, 45)

**Jähmepiste**

Jähmepiste on lämpötila, jossa koeputkessa oleva voiteluaine ei enää liiku viiden sekunnin aikana koeputkea kallistaessa. (Teollisuusvoitelu 1998, 45)

**Neutraloimisluku**

Neutraloimisluku on se emäs- tai happomäärä, lausuttuna kaliumhydroksidi-milli-grammoina, joka tarvitaan neutraloimaan yksi gramma öljyä ( $\text{mg KOH/g}$ ).

**4.2 Kompressorien voiteluaineiden luokitukset**

Viskositeetti on voiteluaineen tärkeimpiä ominaisuuksia. Viskositeetin ilmaisemiseen on olemassa useampia standardeja, mutta yleisimmin teollisuusvoiteluaineiden viskositeetti jaotellaan ISO 3448 – luokituksen mukaan. Luokitus muodostuu 18 viskositeettiluokasta. Luokkaa kuvaava lukuarvo ilmoittaa öljyn kinemaattisen viskositeetin 40 °C:ssa yksikössä  $\text{mm}^2/\text{s}$  (cSt). Käytössä olevat ISO VG – luokat ovat esiteltynä kuvassa 4.

ISO 3448 Viscosity class	Kinematic viscosity at 40°C [mm <sup>2</sup> /s = cSt]		
	Mid-point	Minimum	Maximum
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	9.0	11.0
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

Kuva 4. ISO 3448 mukaiset viskositeetit

Kompressorijölyt, jotka puristavat ilmaa on luokiteltu DIN 51506 ja ISO 6743/3 standardien mukaan. DIN 51506 standardi ei erottele kompressorijölyn luokituksissa laitetyyppiä, vaan se jakaantuu kolmeen eri luokitukseen seuraavasti:

- VB-L kevyt käyttö, puristuksen loppulämpötila < 140 °C
- VC-L keskiraskas käyttö, puristuksen loppulämpötila < 160 °C
- VD-L raskas käyttö, puristuksen loppulämpötila < 220 °C

ISO 6743/3 standardissa luokitukset seuraavat ISO 51506 luokitusta, mutta siinä on omat merkintänsä mäntä- sekä ruuvikompressoreille. Mäntäkompressoreille ISO 6743/3 luokitus menee seuraavasti:

- DAA kevyt käyttö, puristuksen loppulämpötila < 140 °C
- DAB keskiraskas käyttö, puristuksen loppulämpötila < 160 °C
- DAC raskas käyttö, puristuksen loppulämpötila < 220 °C

Ruuvikompressoreille ISO 6743/3 standardi jakaantuu seuraavasti:

- DAG kevyt käyttö, puristuksen loppulämpötila < 90 °C
- DAH keskiraskas käyttö, puristuksen loppulämpötila < 110 °C
- DAJ raskas käyttö, puristuksen loppulämpötila > 110 °C

### 4.3 Voiteluaineen valinta eri kompressorityypeille

Kompressorityyppien rakenteet ja käyttöolosuhteet, voiteluvaatimuksiin vaikuttava lämpötila ja paine sekä monet muut tekijät vaihtelevat suuresti. Siksi on ymmärrettävää, että tarvitaan useita erityyppisiä voiteluaineita. Useimmat voiteluun liittyvät ongelmat kompressoreissa johtuvat ilmanpuristuksen korkeasta loppulämpötilasta ja imuilman epäpuhtauksista, joka aiheuttaa voiteluöljyjen hapettumista eli vanhentumista.

#### **Mineraaliöljyt**

Mineraaliöljyjä on pitkään käytetty erityyppisissä kompressoreissa. Niiden käyttö on kuitenkin vähentymässä. Aikaisemmin on käytetty myös erilaisia moottoriöljyjä ja automaattivaihteistoöljyjä. Mineraaliöljyjen suosio on vähentynyt huomattavasti sen huonojen ominaisuuksien vuoksi. Mineraaliöljyjen heikkouksina ovat, niiden lyhyet vaihtovälit, epätasainen hiilivetyrakenne ja nopea vanheneminen. Niissä on myös vahoja, jotka heikentävät kylmäjuoksevuutta ja haihtuvia ainesosia jotka kiihdyttävät vanhenemista osaltaan. Mineraaliöljyjä suositaan nykyäänkin kohteissa, joissa öljynvaihtovälit ovat lyhyitä ilman mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien vuoksi.

#### **Synteettiset hiilivedyt**

Synteettisiin hiilivetyihin perustuvat voiteluaineet on suunniteltu aina jotain kohdetta varten. Ruuvikompressoreissa PAO (polyalfaolefiini) on yleisimmin käytetty. PAO – öljyssä on mineraaliöljyn parhaat voiteluominaisuudet ilman mineraaliöljyn heikkouksia. Niiden molekyyli rakenne on tasainen, joten niiden käyttäytyminen on hyvin ennustettavissa. PAO – öljystä vesi erottuu erinomaisesti ja ne eivät ole kovinkaan myrkyllisiä. On myös todettu, että PAO – öljyt ovat parhaimpia voiteluaineita kompressoreiden pyörivissä laakereissa. Huonoina puolina voidaan pitää, että nämä eivät ole kovinkaan hyviä liuottimia pitämään koneen osia puhtaana ja ne ovat myös haitallisia osalle käytössä olevista tiivistämateriaaleista.

#### **Orgaaniset esterit**

Orgaaniset estereiden kaksi yleisintä kompressoreissa käytössä olevaa tyyppiä ovat diesterit ja polyoliesterit. Niiden hyviä ominaisuuksia on vakaa viskositeetti laajalla lämpötila-alueella, hyvä voitelukalvon kestävyys ja pieni haihtuminen korkeissa lämpötiloissa. Esterit emulgoituvat veden kanssa ja voivat muodostaa syövyttäviä yhdisteitä. Diestereitä ei juurikaan käytetä ruuvikompressoreissa, koska ne sitovat itseensä vettä.

Puhdistuksessa niitä käytetään, koska ne ovat voimakkaita liuottimia. Disterit ovat kuitenkin suosittuja isoissa mäntäkompressoreissa, joissa ne pidentävät huoltoväliä pitämällä venttiilit puhtaina. Nykyään pääsääntöinen käyttökohde polyoliestereille ovat turbiinit, joissa tärkeitä ovat pieni hiiltojäämä ja puhdistavat ominaisuudet.

### **Polyglykolit**

Polyglykolit, joita usein kutsutaan PAG- öljyiksi (polyalkyleeniglykoli) ovat ensisijaisesti kehitetty kompressoreihin, jotka puristavat erilaisia hiilivetykaasuja esimerkiksi maakaasua. Pag – öljyt eivät sekoitu hiilivety-yhdisteiden kanssa ja tästä syystä ovat käytettyjä kaasuja puristavissa kompressoreissa. Pag – öljyt eivät ole ruuvikompressoreissa ehkä parhaita voiteluaineita, koska ne sekoittuvat veteen.

### **Silikonit**

Silikonioöljyillä on erinomaiset ominaisuudet lämpöä, vanhenemista ja haihtumista vastaan. Koska silikonit ovat kemiallisesti inerttejä, niitä voidaan käyttää kohteissa, joissa öljyyn on mahdollista sekoittua hapettavia yhdisteitä. Silikonit ovat kuitenkin yleisesti vähän käytettyjä, niiden hinnan ja huonojen voiteluominaisuuksien vuoksi.

### **Osasynteettiset**

Osasynteettiset ovat mineraalien ja synteettisten perusöljyn sekoituksia. Useimmiten ne ovat PAO:n ja mineraaliöljyn sekoituksia. Käytännössä muutkin synteettiset öljyt ovat näitä sekoituksia, joiden halutut ominaisuudet saadaan aikaan lisäainepakettien avulla. Näiden sekoitusten tarkoituksena on saavuttaa matalampi hintataso verrattuna täysin synteettiseen perusöljyyn valmistettuun voiteluaineeseen.

## **4.4 Ruuvikompressorit**

Ruuvikompressorit on malliltaan hyvin yleisesti käytetty kompressorit kaikkialla. Ruuvikompressoreita käytetään niin ulko- kuin sisätiloissa, joka asettaa voiteluaineen valinnalle tietynlaiset kriteerit. Myös kompressorin tuottama paineen määrä vaikuttaa valintaan. Lähtökohtaisesti noudatetaan aina valmistajan antamaa ohjeistusta voiteluaineen viskositeetista ja öljyalaadusta.

Ruuvikompressorissa voiteluaine sumutetaan ilman sekaan roottorien väliin, joka aiheuttaa öljylle suurta räsitusta. Öljy sekoittuu ilmaan, joka kiihdyttää öljyn hapettumista voimakkaasti. Myös imuilman kosteus ja likaisuus vaikuttaa öljyn elinkaareen ja toimintaan. Tästä syystä sen valintaan ja laatuun on syytä kiinnittää huomiota. Ruuvikompressorissa ei ole myöskään erillistä öljypumppua, joten kylmissä olosuhteissa toimivat kompressorit vaativat hyvin kylmässä juoksevaa voiteluainetta.

Seuraavia voiteluaineen ominaisuuksia voidaan pitää ruuvikompressorille tärkeimpinä:

- hyvä ilmanerottuminen
- hyvät voiteluominaisuudet
- ei saa emulgoitua veden kanssa
- hyvä hapettumisen kesto
- hyvä juoksevuus kylmässä (jos kompressoria käytetään kylmässä)
- hyvä lämmönsiirtokyky

Nykyään on monia erityyppistä voiteluaineita ruuvikompressoreille. Jokaisella näistä on omat etunsa ja haittansa toimiessaan erilaisissa olosuhteissa. Tästä syystä öljyn valinnan suhteen on otettava huomioon useita eri tekijöitä.

#### **4.4.1 Mineraaliöljyt ruuvikompressoreissa**

Mineraaliöljyt ovat usein käytössä olevia öljyjä edelleenkin. Ne toimivat hyvin ruuvikompressoreissa, joissa imuilma on kuivaa, puristuksen loppulämpötila kohtuullinen, vähemmän kuin 90 °C ja työympäristö ei ole kylmä. Mineraaliöljyjen etu verrattuna syntetettiin öljyihin on sen edulliset hankintakustannukset. Mineraaliöljyille valmistajien yleisesti annetut öljynvaihtovälit sisätiloissa toimiville kompressoreille vaihtelevat 2000 - 4000 tunnin välillä. Siirrettävissä kompressoreissa vaihtoväli on huomattavasti lyhyempi vain 500 - 1000 tuntia. Joidenkin valmistajien mineraaliöljyille luvataan jopa 8000 tunnin öljynvaihtovälejä optimaalisissa käyttöympäristössä sisätiloissa. Jos kompressorin imuilma on hyvin likaista ja vaihtoväli joudutaan sen takia sovittamaan hyvin lyhyeksi, on mineraaliöljy hyvin perusteltu vaihtoehto voiteluaineeksi. Lähtökohtaisesti mineraaliöljyä ei suositella käytettäväksi siirrettävissä ulkona toimivissa kompressoreissa niiden huonojen kylmäjuoksevuus- ja vedenerottumisominaisuuksien vuoksi.

Käytettävän viskositeetin määrää valmistaja. Yleisenä ohjesääntönä voidaan ruuvikompressoreiden öljynviskositeetille pitää ISO VG 46 vahvuista öljyä normaaleissa käyttölämpötiloissa. Poikkeuksen muodostavat erittäin kuumissa olosuhteissa toimivat, joihin voidaan suositella ISO VG 68 öljyä, tai erityisen kylmissä olosuhteissa toimivat, joihin voidaan suositella ISO VG 32 öljyä.

Ruokateollisuuden kohteissa, joissa öljyllä on mahdollisuus päästä ilman mukana koskeuksiin elintarvikkeiden kanssa, pitää käyttää erityisesti elintarvikehyväksytyjä (NSF H1) - luokiteltuja voiteluaineita. Tärkeintä on kuitenkin käyttää mahdollisimman korkealaatuista voiteluainetta.

#### **4.4.2 Synteettiset öljyt ruuvikompressoreissa**

Synteettiset voiteluaineet ovat kehittyneempiä kuin mineraaliöljyt ja ovat monessa kohtaa syrjäyttämässä tavanomaisia mineraaliöljyjä. Ne ovat pidemmälle jalostettuja ja voimakkaammin lisääaineistettuja, jotta niille saadaan haluttuja ominaisuuksia. Synteettisten öljyjen suurimpia etuja mineraaliöljyyn verrattuna ovat hyvä vedenerottuminen, hyvä kylmäjuoksevuus, hyvä hapettumisen kesto, pieni haihtuvuus ja kesto korkeampia lämpötiloja vastaan.

Synteettisistä öljyistä puhuttaessa tarkoitetaan vähintään Group II – luokan perusöljyyn valmistettuja voiteluaineita, nämä ovat ns. osasynteettisiä. Täyssynteettisistä voiteluaineista puhuttaessa tarkoitetaan kompressorien kohdalla Group IV – luokan, eli polyalfaolefiini –pohjaisiin perusöljyihin valmistettuja voiteluaineita. Group IV – luokan voiteluaineet ovat synteettisiä hiilivetyjä. Myös Group V – luokan perusöljyihin tehtyjä voiteluaineita käytetään ruuvikompressoreissa. Group V – luokan muodostavat esterit, silikonit ja glykolit.

Siirrettäviin ruuvikompressoreihin olisi käytännössä hyvä laittaa PAO-pohjaista voiteluainetta. Siirrettävät eli ulkona toimivat kompressorit joutuvat huomattavan vaihtelevien lämpötilaerojen, kosteuskuorman ja likaisen imuilman armoille. Tästä syystä öljynvalinnan merkitys korostuu huomattavasti näissä laitteissa. Synteettisiin hiilivetyihin perustuvan voiteluaineen kylmäjuoksevuus on tärkeimpiä ominaisuuksia siirrettävissä kompressoreissa. Kylmissä olosuhteissa kuten talvella on voiteluaineen virrattava esteettömästi,

jotta voiteluaineen saanti ruuviroottoreille ja roottoreiden laakereille ei häiriinny. PAO-pohjaisten voiteluaineiden merkitys kasvaa ulkona toimivissa laitteissa varsinkin kesällä ja lämpimissä olosuhteissa, joissa imuilma on käytännössä aina hyvin kosteaa. Koska kompressori puristaa ilmaa, on luonnollista että ilman lämpötila nousee huomattavasti puristusvaiheessa. Lämmin ilma pystyy taasen sitomaan itseensä hyvin paljon kosteutta. PAO-öljyt erottuvat vedestä erinomaisesti. Kun vesi erottuu öljystä se on helppo laskea ulos järjestelmästä.

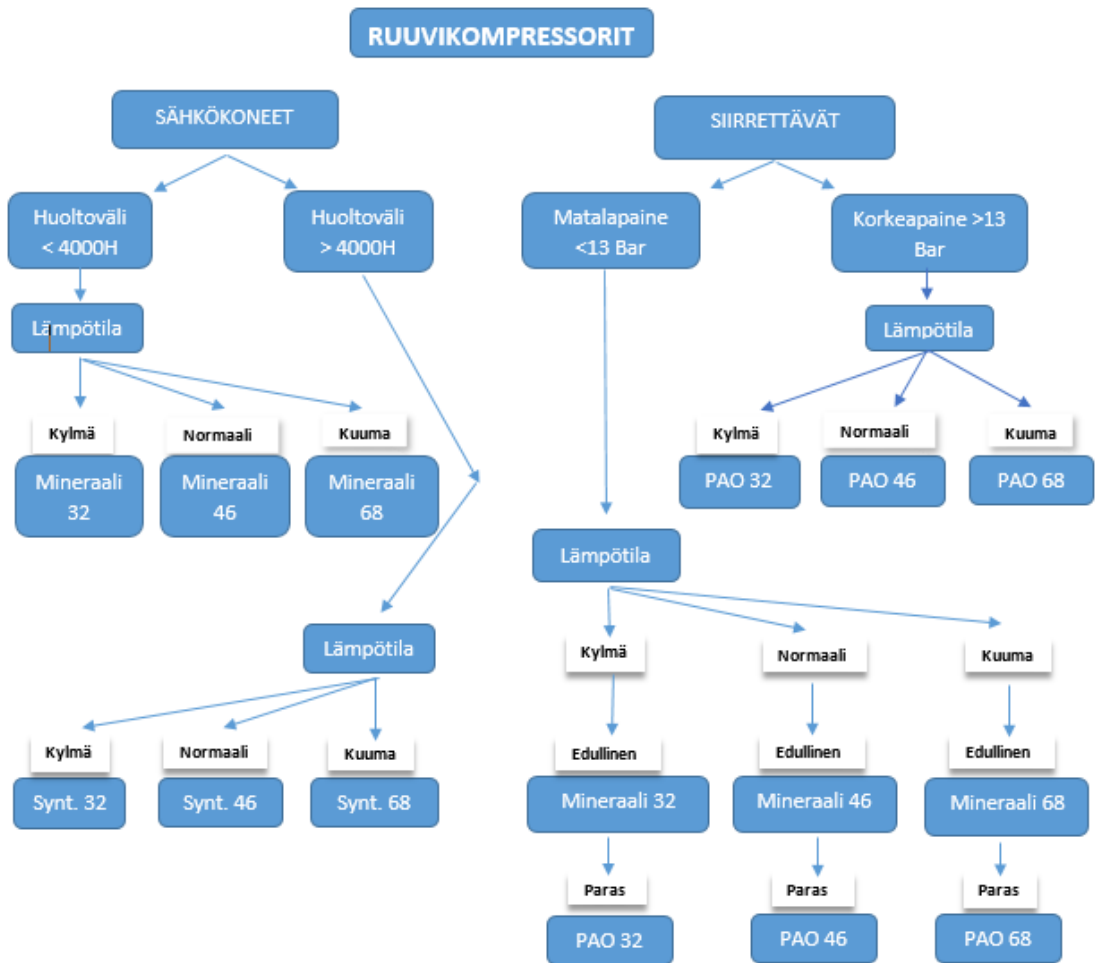
Kuvassa 5 on kastepistetaulukko, joka kertoo kuinka paljon yhden kuution tilavuus sisältää vettä, kun suhteellinen ilmankosteus on 100 %.

Lämpötila °C	Vesisisältö g/m <sup>3</sup>	Lämpötila °C	Vesisisältö g/m <sup>3</sup>	Lämpötila °C	Vesisisältö g/m <sup>3</sup>	Lämpötila °C	Vesisisältö g/m <sup>3</sup>
+100	588	+58	118	+16	13,5	-26	0,51
+99	569	+57	113	+15	12,7	-27	0,46
+98	550	+56	108	+14	12	-28	0,41
+97	532	+55	103	+13	11,3	-29	0,37
+96	514	+54	98,9	+12	10,6	-30	0,33
+95	497	+53	94,5	+11	9,96	-31	0,301
+94	480	+52	90,2	+10	9,36	-32	0,271
+93	464	+51	86,2	+9	8,74	-33	0,244
+92	448	+50	82,3	+8	8,23	-34	0,22
+91	433	+49	78,5	+7	7,73	-35	0,198
+90	418	+48	74,9	+6	7,25	-36	0,178
+89	403	+47	71,4	+5	6,79	-37	0,16
+88	389	+46	68,1	+4	6,36	-38	0,144
+87	375	+45	64,8	+3	5,95	-39	0,13
+86	362	+44	61,8	+2	5,57	-40	0,117
+85	340	+43	58,8	+1	5,21	-41	0,104
+84	337	+42	56	0	4,87	-42	0,093
+83	324	+41	53,3	-1	4,49	-43	0,083
+82	311	+40	50,7	-2	4,14	-44	0,075
+81	301	+39	48,2	-3	3,89	-45	0,067
+80	290	+38	45,6	-4	3,51	-46	0,06
+79	279	+37	43,5	-5	3,24	-47	0,054
+78	269	+36	41,3	-6	2,98	-48	0,048
+77	259	+35	39,3	-7	2,75	-49	0,043
+76	249	+34	37,2	-8	2,54	-50	0,038
+75	239	+33	35,3	-9	2,34	-51	0,034
+74	230	+32	33,5	-10	2,16	-52	0,03
+73	221	+31	31,7	-11	1,96	-53	0,027
+72	213	+30	30,1	-12	1,8	-54	0,024
+71	204	+29	28,5	-13	1,65	-55	0,021
+70	196	+28	27	-14	1,51	-56	0,019
+69	188	+27	25,5	-15	1,38	-57	0,017
+68	181	+26	24,1	-16	1,27	-58	0,015
+67	174	+25	22,8	-17	1,15	-59	0,013
+66	167	+24	21,6	-18	1,05	-60	0,011
+65	160	+23	20,4	-19	0,96	-65	0,0064
+64	153	+22	19,3	-20	0,88	-70	0,0033
+63	147	+21	18,2	-21	0,8	-75	0,0013
+62	141	+20	17,1	-22	0,73	-80	0,0006
+61	135	+19	16,2	-23	0,66	-85	0,00025
+60	129	+18	15,2	-24	0,6	-90	0,0001
+59	123	+17	14,3	-25	0,55		

Kuva 5. Kastepistetaulukko

<http://www.sarlin.com/fi/Paineilma/Paineilma---tyokalupakki/Kastepistetaulukko>

Kuvassa 6 on esiteltyä öljyn valintapuu ilmaa puristaville ruuvikompressoreille. Kuvan valintapuu on vain lähtökohtainen valinnan apu, ottamatta kantaa esimerkiksi imuilman likaisuuteen tai kosteuteen. Taulukko ei myöskään huomioi elintarviketeollisuuden erityistarpeita.



Kuva 6. Öljyn valintapuu ruuvikompressoreille.

#### 4.5 Mäntäkompressorit

Mäntätyyppisten kompressorien käyttökohteet vaihtelevat suuresti. Myös käyttöympäristö voi olla melkein millainen tahansa, joka vaikuttaa voiteluaineen valintaan. Myös kompressorin kehittämä ylipaine ja puristettava kaasun laatu vaikuttaa voiteluaineen valintaan. Puristettava kaasu on otettava huomioon öljyä valittaessa. Hiilivety – perustaisia mineraaliöljyjä tai synteettisiä öljyjä saa käyttää vain koneissa, jotka puristavat inerttejä kaasuja.

Mäntäkompressoreissa voitelutapahtuma on huomattavan erilainen verrattuna muihin kompressorityyppeihin. Mäntäkompressoreissa voideltavia kohteita ovat pääsääntöisesti koneen kampiakselin laakerit, sylinterin seinämät ja kiertokangen laakerit.

Yleisimmin käytössä on roiskevoitelu varsinkin pienemmissä mäntäkompressoreissa, jossa kiertokangessa oleva roisketikku roiskii öljyä laakereille ja sylinterin seinämille. Roiskevoitelun hyvä puoli on sen yksinkertaisuus. Heikkoutena voidaan pitää sen voiteluainekalvon ohuutta, koska voiteluaine ei tule paineella voideltavalle pinnalle. Muita voitelujärjestelmiä on painovoimavoitelu ja painevoitelu, joista jälkimmäistä käytetään suurituottoisissa kompressoreissa.

Seuraavia voiteluaineen ominaisuuksia voidaan pitää mäntäkompressorille tärkeimpinä:

- hyvä voitelukalvon pysyvyys ja paksuus
- pieni hiiltojäämä
- hyvä hapettumisenkesto
- hyvät kylmäjuoksevuusominaisuudet

#### **4.5.1 Mineraaliöljyt mäntäkompressoreissa**

Mineraaliöljyjä käytetään hyvin yleisesti mäntäkompressoreissa, vaikka ne eivät olisi-kaan aivan parhaimpia vaihtoehtoja näihin koneisiin. Niiden etuna voidaan pitää niiden edullista hankintahintaa. Mineraaliöljyillä on huono hapettumisen kesto verrattuna syn- teettisiin öljyihin. Myös mineraaliperustaisen öljyjen vaatimattomammasta jalostuksesta johtuen niiden hiiltojäämä on suurempi, joka on mäntäkompressoreissa haitallinen omi- naisuus. Vaikka öljytila on tiivistetty männän renkailla, pääsee voiteluainetta aina pieniä määriä venttiileille. Korkea paine yhdessä korkean lämpötilan kanssa polttaa öljyn vent- tiilien pinnoille haitaten niiden toimintaa. Tästä syystä tavanomaisille mineraaliöljylle mäntäkompressoreissa annetaan hyvin lyhyet vaihtovälit vain noin 500 tuntia ja maksimi puristuksen loppulämpötila vähemmän kuin 150 °C. On olemassa myös mineraaliperus- taisia öljyjä, jotka ovat eritoten tarkoitettu mäntäkompressoreille ja niissä on lisätty öljyn hapettumisenkestoa ja estetty öljyn vanhenemistuotteiden muodostumista. Näille puoli- synteettisille öljyille vaihtoväli voi olla pidempi, jopa 2000 tuntia. Mäntäkompressorin rakenteen vuoksi voideltavat kohteet ovat hyvin samanlaisia, kuin esimerkiksi auton moottorissa. Tästä syystä niissä on käytetty myös moottoriöljyjä voiteluaineena, mutta nykyään vähemmän. Moottoriöljyn heikkous on vastustaa öljyn vanhenemista ja sen ve- denerottumiskyky on heikko.

Viskositeetin valinnassa mäntäkompressoreille tulee noudattaa valmistajan ohjeita. Tyypillisesti mäntäkompressoreissa käytetään ISO VG 68 ja ISO VG 100 vahvuisia öljyjä. Poikkeuksen muodostavat hyvin kylmissä toimivat koneet, joihin voidaan laittaa ISO VG 46 vahvuista öljyä. Erittäin suurissa ja korkeita paineita tuottavissa tai korkeissa lämpötiloissa toimivissa mäntäkompressoreissa käytetään viskositeetiltään paksumpia öljyjä, esimerkiksi ISO VG 150 ja ISO VG 220 vahvuisia öljyjä. Mineraaliöljyä käytettäessä tulee öljynvaihtovälin kuitenkin olla melko lyhyt, jotta vältytään koneen osien likaantumisilta.

#### **4.5.2 Synteettiset öljyt**

Mäntäkompressoreissa käytetään myös synteettisiä voiteluaineita. Poiketen ruuvikompressoreiden öljyistä, mäntäkompressoreissa suositetaan enemmän synteettisiä estereitä, kuin synteettisiä hiilivetyjä (PAO-öljyjä). Synteettisten estereiden kesto vanhenemista vastaan on hyvä ja ne pitävät koneen osat ja venttiilikoneiston puhtaina. Esterit ovat luontaisia liuottimia ja tästä syystä niitä suositetaan jos voiteluaineeksi valitaan synteettinen öljy. Jos öljyalaatu vaihdetaan mineraalipohjaisesta synteettiseen, tulee varmistua kompressoreiden tiivisteiden yhteensopivuudesta.

#### **4.6 Lamellikompressorit**

Niin kuin ruuvi- tai mäntäkompressoreilla on lamellikompressoreilla useita erilaisia käyttökohteita ja käyttöympäristöjä. Lamellikompressorin voitelutapahtuma on ruuvikompressorin tapainen, jossa öljy suihkutetaan ilman sekaan tiivistämään ja voitelemaan roottoria ja roottorin siipiä.

Tyypillisesti lamellikompressoreissa käytettävän voiteluaineen viskositeetti vaihtelee ISO VG 68 – 150 välillä riippuen käyttöympäristöstä ja laitevalmistajan suosituksesta. Kun käytetään mineraaliöljyjä lamellikompressoreissa, tulee öljynvaihtovälin olla suhteellisen lyhyt, vain 500 – 1000 tuntia. Vaihtoväli riippuu voiteluaineen laadusta ja käyttöolosuhteista. Lyhyt öljynvaihtoväli johtuu mineraaliöljyn nopeasta hapettumista, joka johtaa lamellikompressorissa siipien jumittumiseen.

Lamellikompressoreiden rakenteen vuoksi niissä tulisi käyttää korkealaatuisia esteri-pohjaisia ja erilaisia esteri-sekoitteisia voiteluaineita, kuten PAO/Esteri. Estereiden kyky pitää koneen osat puhtaana ja vastustaa hapettumista on hyvä ja tästä syystä ne ovat parhaita valintoja lamellikompressoreille. Näiden kompressorityyppien yleisin ongelma on öljyn vanhenemistuotteet, jotka aiheuttavat lamellisiipien jumittumista.

Seuraavia voiteluaineen ominaisuuksia voidaan pitää lamellikompressorille tärkeimpinä:

- hyvä voitelukalvon pysyvyys ja paksuus
- pieni hiiltojäämä
- hyvä hapettumisenkesto
- hyvät kylmäjuoksevuusominaisuudet
- öljyn kyky puhdistaa ja kuljettaa epäpuhtauksia

#### **4.7 Kineettisesti puristavat turbokompressorit**

Turbokompressorit ovat puhaltimia, joissa voiteluaine ei sekoitu puristettavan / siirrettävän kaasun kanssa. Näissä kompressorimalleissa voiteluaineen tarkoituksena on voidella vaihteita ja akseleilla sijaitsevia laakerointeja. Näiden koneiden voiteluaineen valintaa vaikuttaa pyörimisnopeus ja laakerin, sekä vaihteen koko. Yleisesti näissä käytetään niin kutsuttuja turbiini öljyjä tai R&O – merkinnällä varustettuja hapettumisen- ja ruosteentorjaisaineistettuja öljyjä. Öljyn viskositeetti on useasti ISO VG 32 – 68.

Seuraavia voiteluaineen ominaisuuksia voidaan pitää turbokompressoreiden voiteluaineille tärkeimpinä:

- hyvä voitelukalvon pysyvyys ja paksuus
- hyvä hapettumisenkesto
- hyvä korroosionsuoja
- öljyn kyky puhdistaa ja kuljettaa epäpuhtauksia

#### **4.8 Kiertomäntäpuhaltimet**

Kiertomäntäpuhaltimissa, eli yleisimmin kutsutuissa Root – mallin puhaltimissa voitelutapahtuma on turbokompressorien tapainen, jossa voiteluaine ei ole kosketuksissa puristettavan kaasun kanssa. Voiteluaineen tehtävä on voidella kohdistuspyörien hammaspyöriä ja laakereita. Voiteluaineena näissä käytetään yleisesti teollisuuden vaihteistoöljyjä viskositeetiltaan ISO VG 150 – 320. Mineraaliöljyt ovat yleisimmin käytettyjä voiteluaineita. Synteettinen voiteluaine on perusteltu valinta kohteissa, joissa on pitkä vaihtoväli tai lämpötila vaatii synteettisen voiteluaineen. Synteettiset öljyt voivat olla PAO- tai PAG – pohjaisia vaihteistoöljyjä.

Seuraavia voiteluaineen ominaisuuksia voidaan pitää kiertomäntäpuhaltimien voiteluaineelle tärkeimpinä:

- hyvä voitelukalvon pysyvyys ja paksuus
- hyvä hapettumisenkesto
- hyvät kylmäjuoksevuusominaisuudet

#### **4.9 Voiteluaineen muutoksiin vaikuttavia tekijöitä**

Huoltovälin aikana öljyn ominaisuudet muuttuvat jatkuvasti sen vanhentuesssa, lämpötilojen muuttuessa ja imuilman mukana tulleiden epäpuhtauksien vuoksi. Myös vääränlaisen öljyn käyttö aiheuttaa nopeita ominaisuuksien muutoksia öljyissä. Voiteluaineen kuntoa ei voida silmämääräisesti todeta, vaan se vaatii aina laboratorioanalyysin.

Kuvassa 7 on esiteltyä karkeasti ongelmanratkaisua tilanteeseen, jossa öljyn ominaisuudet ovat muuttuneet ja mikä muutoksen on todennäköisesti aiheuttanut.

Muutos voiteluaineessa	Mahdollinen aiheuttaja	Syy muutokselle
Vettä öljyn seassa	Kondensoituminen Vettä päässyt ulkopuolelta Huono voiteluaineen vedenerottuminen	Kosteaa imuilma Vuotava lämmönvaihdin Vettä sisältävän voiteluaineen lisäys
Tiheyden muutos	Sekoittuminen toisen aineen kanssa	Erityyppisen öljyn lisäys
Viskositeetin muutos (Lasku)	Sekoittuminen toisen öljyn kanssa Liukeneminen Voiteluaineen huonot ominaisuudet Voiteluaineen hajoaminen	Viskositeetiltaan alhaisemman öljyn lisääminen Puhdistusaineen jäännökset Huonolaatuinen voiteluaine Korkea voiteluaineen lämpötila
(Nousu)	Sekoittuminen toisen öljyn kanssa kanssa Voiteluaineen hajoaminen  Voiteluaineen huonot ominaisuudet	Viskositeetiltaan korkeamman öljyn lisääminen Liian pitkä öljynvaihtoväli Korkea toimintalämpötila (riittämättömän jäähtytys) (epänormaali toiminta, vika) (liian vähäinen voiteluaineen määrä) Vääränlainen voiteluaine
Neutraloimisluvun muutos (Hidas tai asteittainen) (Nopea)	Normaali toiminta Korkea lämpötila / epäpuhtaudet Voiteluaineen huonot ominaisuudet	Epänormaali toiminta, vika Huonolaatuinen voiteluaine
Vaahtoaminen	Epäpuhtaudet Voiteluaineen huonot ominaisuudet	Vesi ja lika Vääränlainen voiteluaine

Kuva 7. Öljyn ominaisuuksien muuttuminen.

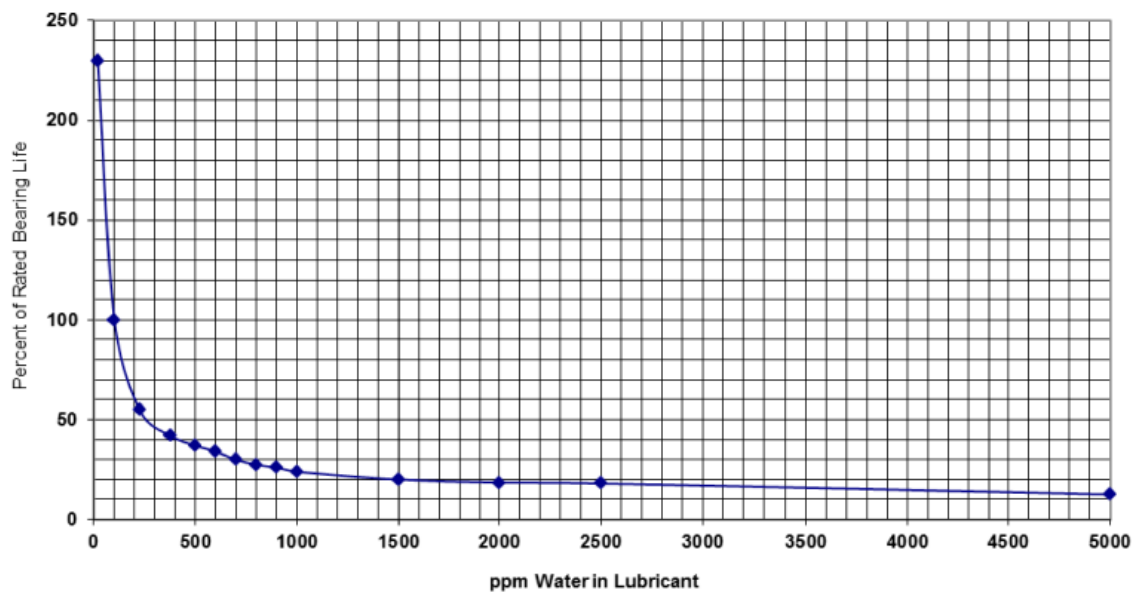
#### 4.10 Kompressoriöljyn kunnonvalvonta

Kompressorien öljyn kunnonvalvonnan avulla voidaan saada merkittäviä säästöjä aikaiseksi, parantaa koneen toimintavarmuutta ja pidentää huomattavasti laitteen käyttöikä. Kompressorien öljyn kunnonvalvontaa olisi hyvä suorittaa kaikille kompressorityypeille, mutta joidenkin tyyppien kohdalla se ei juurikaan hyödytä vaihtovälien lyhydestä johtuen. Tästä syystä kunnonvalvonnassa keskitytään pääsääntöisesti ruuvikompressoreihin, joissa vaihtovälit ovat huomattavan pitkiä ja tässä kompressorityypissä on enemmän komponentteja joihin öljy vaikuttaa.

Öljyn kunnonvalvontaa suoritettaessa on syytä kiinnittää huomiota myös imuilman laatuun, joka ruuvikompressorin tyypistä johtuen on yksi öljyn eliniän kannalta tärkeimpiä seikkoja. Seuraavissa kappaleissa käsitellään mitä arvoja öljyanalyseissa tulisi tutkia.

## Öljyn vesipitoisuus

Yleisin ja myös eniten toimintahäiriöitä aiheuttava epäpuhtaus ruuvikompressoreissa on vesi. Vesi kulkeutuu öljyn sekaan enimmäkseen imuilman mukana. Laakereiden elinikää laskettaessa on oletettu että uudessa öljyssä on vettä 65 – 100 ppm. Vesipitoisuuden nousu jo 300 ppm:ään laskee laakerin elinikää arviolta 50 %. Vapaa vesi tulisi poistaa kompressorista pois tasaisin väliajoin. Vettä on myös emulgoituneena voituaineeseen eri määriä, riippuen voiteluaineen laadusta. Veden poistaminen ei onnistu muuten kuin öljyä vaihtamalla. Kuvassa 8 on esiteltyä laakerin elinikää prosentteina verrattuna veden määrään öljyssä.



Kuva 8. Öljyn vesipitoisuus suhteutettuna laakerin elinikään. ([www.kaeser.com/whitepapers](http://www.kaeser.com/whitepapers))

## Öljyn puhtausluokka

Partikkelit ovat toiseksi yleisin epäpuhtaus kompressoröljyssä. Yleisesti vierintälaakereiden voiteluainekalvon paksuus on vain 0,1 – 1,0 mikrometriä. Näin pienten hiukkasten suodattaminen on joka mahdotonta tai tarpeetonta. Laakerivalmistajat ovat ottaneet huomioon tämän laskettaessa laakerin elinikää. Öljyn puhtausluokka määritellään ISO 4406 – luokituksen mukaan. Testissä lasketaan kolmen erikokoisen 4, 6 ja 14 mikrometrin partikkelien tai suurempien lukumäärä yhtä millilitraa voiteluainetta kohden. Uuden öljyn puhtausluokka laakereille tulisi olla 16/14/12. Jossa ensimmäinen numero tarkoittaa 4 mikrometrin tai suurempien partikkeleiden lukumäärää, toinen numero 6 mikrometrin tai suurempien lukumäärää ja kolmas numero 14 mikrometrin tai suurempien partikkeleiden

lukumäärää. Kuvassa 9 on ISO 4406 - luokituksen mukainen taulukko partikkeleiden lukumäärälle yhtä millilitraa voiteluainetta kohden.

ISO code number	Number of particles per ml	
	More than	Up to and including
22	20 000	40 000
21	10 000	20 000
20	5 000	10 000
19	2 500	5 000
18	1 300	2 500
17	640	1 300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
09	2.5	5
08	1.3	2.5
07	0.64	1.3

Kuva 9. ISO 4406 – luokituksen mukainen taulukko partikkeleiden lukumäärälle.

(<http://blog.parker.com/meeting-iso-4406-cleanliness-standards-with-diesel-and-biodiesel-fuel>)

Monet öljyanalyysit voivat ilmoittaa puhtausluokan vain kahden numeron, 6 ja 14 mikrometrin partikkelien määrän avulla. Eli uuden öljyn puhtausluokka 16/14/12 voidaan ilmoittaa 14/12. Kuvassa 10 esitettynä on laakerin elinikä suhteutettuna voiteluaineen puhtausluokkaan.

		Bearing Life Factor								
		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
Current Machine Cleanliness (ISO 4406)	26/23	22/19	20/17	18/15	17/14	16/13	15/12	15/12	14/11	14/11
	25/22	21/18	19/16	17/14	16/13	15/12	14/11	14/11	13/10	13/10
	24/21	20/17	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	13/10	12/9
	23/20	19/16	17/14	15/12	14/11	13/10	13/10	12/9	11/8	11/8
	22/19	18/15	16/13	14/11	13/10	12/9	11/8	11/8	---	---
	21/18	17/14	15/12	13/10	12/9	11/8	11/8	---	---	---
	20/17	16/13	14/11	13/10	11/8	---	---	---	---	---
	19/16	15/12	13/10	11/8	---	---	---	---	---	---
	18/15	14/11	12/9	---	---	---	---	---	---	---
	17/14	13/10	11/8	---	---	---	---	---	---	---
	16/13	12/9	---	---	---	---	---	---	---	---
	15/12	11/8	---	---	---	---	---	---	---	---

Kuva 10. Laakerin elinikä suhteutettuna öljyn puhtausluokkaan. ([www.kaeser.com/whitepapers](http://www.kaeser.com/whitepapers))

### Imuilman laatu

Kaikki ruuvikompressorin läpi kulkeva ilma joutuu kosketuksiin öljyn kanssa. Öljyyn siis imeytyy kaikki imuilman mukana tulevat epäpuhtaudet ja esimerkiksi hapot, jotka voivat imeytyä öljyyn muuttaen sen ominaisuuksia. Happojen liukeneminen öljyyn näkyy öljyanalyseissä pH – arvon putoamisena ja TAN – arvon nousuna. Ruuvikompressorioöljyt ovat erinomaisesti lisääaineistettu korroosiota vastaan, mutta ennen pitkään lisääaineistus kuluu pois. Kun öljyn lisääaineistuksen korroosionestolisäaineet on kulunut pois, se näkyy helposti tukkeutuneina suodattimina, joihin muodostuu korroosiosta aiheutunutta epäpuhtautta.

Kompressorin jälkeisissä komponenteissa käyttöikä vähentyy myös merkittävästi. Välijäähdyttimet ja kuivaimet joutuvat korroosiota edistävien happojen kanssa tekemisiin. Myös kondenssivesi sisältää näitä haitallisia happoja, joten korroosiokuorma kasvaa laitteissa jotka käsittelevät kondenssivesiä.

Voiteluaineen eliniän pidentämiseksi on tehtävissä muutamia ratkaisuja imuilman suhteen. Kompressorin ilmanotto tulisi siirtää ulos rakennuksesta, koska teollisuuslaitoksen sisällä oleva ilma on harvemmin puhtaampaa kuin ulkona oleva. Imuilman laatua voidaan

tarkkailla erityisillä kupari- tai hopealiuskoilla ja laboratorioanalyysien avulla, joilla voidaan todeta imuilman likaisuus. Kun tiedetään mitä imuilman epäpuhtaudet ovat, voidaan imuilma suodattaa oikein. Puhtaan imuilman avulla saadaan huomattavasti pidempi öljyn vaihtoväli ja vähemmän laakereita, jäädyttimiä, kuivaimia ja muita komponentteja rasittava lopputulos.

### **Öljyanalyysien avulla tutkittavia arvoja**

Öljyanalyyseissa tutkittavat arvot vaihtelevat öljytyypin mukaan ja myös käyttöympäristön mukaan. Jos on tiedossa, että imuilman mukana kulkeutuu mahdollisesti happamia kaasuja imuilman mukana, tulisi öljyanalyysien avulla seurata voiteluaineen pH – arvoa, varsinkin polyglykoli- ja polyoliesteripohjaisissa voiteluaineissa. pH – arvon nopea tippuminen on seurausta imuilman mukana tulleista kaasuista ja muista epäpuhtauksista, jotka ovat lienneet voiteluaineeseen. Muuttuneen pH – arvon korjaamiseksi ei ole tehtävissä muuta, kuin vaihtaa voiteluaine. Epäpuhtauksien lähde tulisi selvittää ja korjata.

Öljyn hapettuminen eli vanheneminen ilmoitetaan TAN – arvon avulla, joka kertoo voiteluaineen jäljellä olevan eliniän. Öljyn vanhentuessa eli hapettuessa, öljyyn alkaa muodostumaan vanhenemistuotteita. Kun öljyn vanheneminen jatkuu edelleen, alkaa öljyyn muodostumaan orgaanisia happoyhdisteitä, jotka näkyvät öljyanalyyseissa kohonneena TAN – arvona. Erilaisilla öljyillä on erilaiset TAN – arvot jo uutena, joka on syytä ottaa huomioon öljyanalyysejä tarkastellessa. Yleisesti nykyaikaisissa ruuvikompressorioöljyissä uuden öljyn TAN – arvo mineraaliöljyissä on noin 0,20, synteettisissä 0,10 – 0,15 ja täyssynteettisissä PAO – perusöljyyn valmistetuissa öljyissä lähellä nollaan, noin 0,03. Kokonaishappoluvun kohoaminen lähelle 1 on jo selvä merkki öljyn vanhentumisesta jolloin öljyn vaihtoa tulisi alkaa suunnittelemaan. Jos arvo on noussut jo 2:een niin vaihto suoritettavat välittömästi. Kokonaishappoluvun kohoaminen öljyn vanhentuessa tapahtuu eksponentiaalisesti, joten kokonaishappoluvun kohoaminen 1:stä 2:een on vain noin 10 – 20 % öljyn koko eliniästä. Öljy tulisi vaihtaa jo huomattavasti aikaisemmin ennen happoluvun kohoamista 2:een koska kaikkia öljyjä ei vaihdossa saada koskaan pois. Vaihdossa koneeseen jääneet vanhat, hapettuneet öljyt saastuttavat uuden puhtaan öljyn nopeasti ja vaihtoväli voi pienentyä entisestään. Normaaleilla mineraali öljyillä happoluvun nousu alkaa jo 2000 tunnin kohdilla, kun huippulaatuisilla täyssynteettisillä öljyillä voidaan päästä 8000 tuntiin saakka.

Öljyn viskositeetin seuraaminen kuuluu öljyn kunnonvalvonnassa analyyseissä tutkittaviin arvoihin. Viskositeetti mitataan 40 °C ja 100 °C asteessa ASTM D445 menetelmän mukaan. Myös öljyn viskositeetti-indeksi määritetään. Näitä arvoja verrataan referenssiarvoihin ja päätellään onko epänormaalia muutosta tapahtunut.

Lisäaineet ja niiden määrät mitataan, jolla saadaan hyvä kuva onko öljyyn sekoittunut toisentyypisiä öljyä, kun tiedetään millaisella lisäainepaketilla tyypillisesti referenssi öljy on varustettu. Tyypillisesti mitatut lisäaineet ovat kalsium, magnesium, boori, sinkki, fosfori, barium ja rikki. Mittaus suoritetaan ASTM D5185 menetelmää käyttäen.

Kulumametallien laskennalla saadaan hyvä kuva koneen tai laitteen kunnosta. Kohonneet kulumametallipitoisuudet indikoivat koneen komponenttien sisäisestä kulumisesta. Tyypillisesti mitattavia kulumetalleja ovat rauta, kromi, tina, alumiini, nikkeli, kupari, lyijy ja molybdeeni. Mittaus suoritetaan ASTM D5185 menetelmää käyttäen.

Epäpuhtaudet ovat koneenosien kulumisen tai vian ensisijainen syy. Syy on tunnistettava ja korjaavat toimenpiteet on tehtävä epäpuhtauksien poistamiseksi. (ExxonMobil, 2008) Näin vältytään voiteluöljyn ja koneen osien ennenaikaiselta kulumiselta. Öljyanalyyseissä usein mitattavia epäpuhtauksia ovat pii, kalium ja natrium.

Muita öljyanalyyseissa tehtäviä mittauksia ovat muun muassa vesipitoisuuden mittaaminen, puhtausluokan määrittäminen, membraanisuodatus ja mikroskooppikuva.

## 5 TESTIT JA TULOKSET

Tätä työtä varten suoritettiin testijakso, jonka tarkoituksena oli vertailla kahta eri valmistajan ruuvikompressorioöljyä keskenään. Testin perusteella oli tarkoitus arvioida kahden eri öljyn paremmuutta toisiinsa. Toinen öljyistä oli Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd:n maahantuomaa Petro-Canada Compro XL-S 46 kompressorioöljy ja toinen oli kompressorivalmistajan myymä oma tuote. Testi suoritettiin samanaikaisesti kahdella samaan tilaan sijoitetulla, saman valmistajan koneella. Koneet ottivat imuilmansa samasta paikasta. Koneet poikkesivat hieman toisistaan, joka osaltaan saattoi vaikuttaa testin lopputulokseen.

### **Kone 1.**

Kone oli malliltaan Kaeser CSDX 137 ruuvikompressor, jota käyttää 75kW sähkömoottori. Koneen vuosimalli oli 2007 ja käyttötunnit testin alkuhetkellä 32094 tuntia. Koneen tuottama ylipaine testin aikana oli 7 bar:ia ja tuotto 16,1 m<sup>3</sup> minuutissa. Ilman lämpötila vaihteli testin aikana 70 – 77 °C asteen välillä.

Kone 1:ssä öljynä käytettiin Petro-Canada Compro XL-S 46 kompressorioöljyä ja Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd:n maahantuomaa öljynsuodatinta.

### **Kone 2.**

Kone oli malliltaan Kaeser CSD 102 ruuvikompressor, jota käyttää 55kW sähkömoottori. Koneen vuosimalli oli 2007 ja käyttötunnit testin alkuhetkellä 32000 tuntia. Koneen tuottama ylipaine testin aikana oli 7 bar:ia ja tuotto 12,0 m<sup>3</sup> minuutissa. Ilman lämpötila vaihteli testin aikana 70 – 77 °C asteen välillä.

Kone 2:ssä öljynä käytettiin koneen maahantuojan myymää kompressorioöljyä ja valmistajan omaa öljynsuodatinta.

Testin aikana öljyihin piti kertyä saman verran käyttötunteja, mutta muusta huollosta johtuen toista öljyä päästiin käyttämään vain 2000 tuntia, kun toista käytettiin yli 3000 tuntia. Tästä huolimatta saatiin kumpaakin öljyyn riittävän pitkä testijakso, jonka perusteella voidaan tehdä luotettava vertailu öljyjen paremmuudesta öljyanalyysejä hyödyntäen. Kummastakin koneesta otettiin 200ml öljynäyte. Öljynäytteet toimitettiin Fluidlab Oy:lle Turkuun, joka on riippumaton laboratorio.

## 5.1 Öljynäytteiden vertailu

Testissä olleissa kompressoreissa aikaisemmin käytetyt öljyt poikkesivat testattavista öljyistä, joka saattoi hieman muuntaa testin lopputuloksia. Testin kannalta olisi ollut parasta jos koneet olisi voitu huuhdella testiin tulevilla öljytyypeillä, ennen testijakson alkua. Näin olisi välttytty toisenlaisen öljytyypin mahdollisesta vaikutuksesta öljyanalyysin tuloksiin. Tämä ei valitettavasti ollut kuitenkaan mahdollista. Öljyn vaihto suoritettiin huolto-ohjeen mukaisesti ja vaihdossa pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvin vanha öljy koneesta pois ennen uuden öljyn lisäämistä. Koneen lävitse myös laskettiin uutta öljyä, jolla pyrittiin saamaan vanhan öljyn jäänteet mahdollisimman hyvin pois.

Öljyjen viskositeetti mitattiin ASTM D445 menetelmän mukaan. Viskositeetti on voiteluöljyn tärkeimpiä ominaisuuksia ja siksi se tulee mitata aina öljyä tutkittaessa. Viskositeetin epänormaali lasku tai nousu voisi indikoida voiteluaineen hajoamisesta. Testin öljyjen viskositeetit olivat muuttuneet vain hieman joten sen osalta öljyt olivat ”Kunnossa”.

Öljyn hapettumista kuvaava TAN – arvo on kummassakin testi öljyssä noussut. TAN – arvo kone 2:ssa 2000 käyttötunnin jälkeen on noussut jo 1,22:een, joka on jo huomattavan korkea ja vaatii vaihtoa. Kone 1:ssa TAN – arvo 3269 käyttötunnin jälkeen on pienempi 0,94. Tämä arvo ei itsestään ole vielä kriittisen korkea ja öljyn käyttöä voitaisiin periaatteessa vielä jatkaa. Tiedettyyn uuden öljyn TAN – arvoon verraten happamien yhdisteiden määrä öljyssä on kuitenkin jo moninkertainen lähtökohtaan nähden, joten öljyn vaihtamista voidaan suositella. Öljyn hapettuminen ei ole lineaarista, joten sen TAN – arvon nousu on hyvin jyrkkää tästä eteenpäin ja öljy on käyttöikänsä lopussa hyvin nopeasti. Pelkästään hapettumista tarkastellessa huomataan hyvin suuret erot koneen 1 ja 2 öljyjen välillä. Toisen koneen isommat käyttötunnit ja suurempi ilmantuotto yhdistettynä pienempään TAN – arvoon kertovat öljyn huomattavasti paremmasta hapettumisen kestosta. Tämä johtuu yleisimmin laadukkaamman perusöljyn käytöstä voiteluaineen pohjana.

Öljyjen lisäaineet mitattiin testissä. Kummankin öljyn lisäaineet ovat melko samoja, joskin lisäainemäärissä on eroja. Koneen 2 öljyn lisäainemäärät eroavat Fluidlab:n mukaan

tunnetuista referenssiarvoista. Tästä syystä analyysin tekijä on kyseenalaistanut, onko öljyyn voinut sekoittua jotain muuta öljyä. Lisäaineet ovat kuitenkin niitä, joita ruuvikompressoröljyssä voidaan olettaa olevan. Kalsium, sinkki, fosfori ja rikki ovat kulumisen-, hapettumisen- ja korroosionestoon käytettyjä lisäaineita. (Beatty 2004)

Kulumametallien laskennassa ei havaittu kummankaan öljyn kohdalla mitään epänormaalia. Myös mikroskooppikuvan perusteella voidaan sanoa, että epätavallisen raskasta kulumista ei ole havaittu. Lasketut kulumametallit olivat rauta, kromi, tina, alumiini, nikkeli, kupari, lyijy ja molybdeeni. (Signum öljyanalyysi, 2008)

Näytteiden hiukkaspuhtaus määriteltiin ISO 4406 menetelmän mukaan. Kummakin näytteen öljyn puhtaus on huonommalla tasolla, kuin mitä kompressorissa tulisi olla. Hiukkaspuhtauden perusteella kumpikin öljy tulisi vaihtaa. Koneen 1 öljyn puhtausluokaksi saatiin 19/17/13 ja koneen 2 öljyn puhtausluokaksi 21/18/14. Vaikka suurin osa voiteluaineeseen kertyvästä epäpuhtaudesta tulee imuilman mukana, on siinä iso osa vanhenemistuotteita ja myös kulumisesta johtuvia hiukkasia. Tässä testissä imuilman puhtauden erot ovat hyvin pienet, koska imuilma otettiin kumpaankin koneeseen samasta paikasta. Voidaan siis olettaa, että koneen 1 öljy on toiminut paremmin koneessa, aiheuttaen pienempää kulumista ja tuottanut vähemmän vanhenemistuotteita. Pienempi hiukkas määrä indikoi pienemmästä kulumisesta. Täytyy ottaa myös huomioon, että öljynsuodattimet olivat eri valmistajan tuotteita. Ero voisi selittyä myös suodattimien erilaisella suodatusasteella ja suodatustehokkuudella.

Vesipitoisuudessa havaittiin suuret erot näytteiden kesken. Vesipitoisuus oli kymmenkertainen koneen 2. öljyssä (690 ppm), verrattuna koneen 1. öljyyn jonka vesipitoisuus oli vain 70 ppm. Koska testin koneet imivät kumpikin ilmansa samasta paikasta, ei ero voinut johtua erilaisesta imuilmasta. Kone 1:sen vesipitoisuus 70 ppm, 3269 käyttötunnin jälkeen kertoo öljyn erinomaisesta kyvystä erottua vedestä, vaikka kyseessä ei ollut PAO – pohjainen täyssynteettinen öljy. Koneen 2. erittäin korkea vesipitoisuus johtuu huonolaa-tuisemman öljyn kyvystä erottua vedestä. Koneen 2. vesipitoisuus 690 ppm on jo niin korkealla tasolla, että laakereiden oletettu 100 % elinikä on tippunut 30 %:iin korkean vesipitoisuuden vuoksi. Jos öljyanalyysi olisi otettu aikaisemmin, olisi öljyn vaihtoa koneeseen 2. suositeltu jo aikaisemmassa vaiheessa.

Öljynäytteistä saatujen testiarvojen perusteella voidaan testissä olleet öljyt laittaa paremmuusjärjestykseen perustellusti. Voidaan myös todeta, että kyseisissä koneissa ja työympäristössä, koneessa 1. ollut Petro-Canada Compro XL-S 46 kompressoriöljy on toiminut testin ajan paremmin. Vaikka koneen 1. öljyillä oli näytteenottohetkellä 1269 tuntia enemmän käyttöikää takana, oli se mitattavilta arvoiltaan edelleenkin paremmassa käyttökunnossa kuin koneen 2., valmistajan oma suosittelema öljy. Analyysien tulkinta ei onnistunut koneen 2. öljyn osalta niin hyvin, koska sen öljyn teknisiä arvoja ei ole julkisesti saatavilla. Vertailuun olisi tarvinnut uuden öljyn TAN – arvon, jota olisi voinut vertailla analyysin arvoihin. Näin oltaisi voitu arvioida öljyn happoluvun muutosta uudesta, tuoreesta öljystä. Tämä ei kuitenkaan ollut välttämätön tieto, koska koneen 2. öljyn happolukema oli jo ylittänyt suositusten mukaisen vaihtorajan.

## 6 POHDINTA

Kompressorit ovat teollisuuslaitoksen kriittisimpiä koneita. Niiden kunnonvalvonta on kuitenkin hyvin heikolla tasolla edelleen, verrattuna prosessin muiden laitteiden ja koneiden huoltoon ja valvontaan. Kompressoreiden parissa toimiville ja niihin voiteluaineita myyville henkilöille ohjeistus voiteluaineista on välttämätön. Työn tarkoituksena oli antaa lähtökohtainen ohjeistus yleisimpien kompressorityyppien voiteluaineen valintaan ja kertoa erilaisten voiteluaineiden ominaisuuksista kyseisissä kohteissa. Tällaisen perusohjeen tekemisessä onnistuttiin mielestäni hyvin, syventymättä liikaa voiteluaineen kemialliseen rakenteeseen, ja asiat esitettynä ymmärrettävästi.

Öljyn kunnonvalvonnan osalta työssä saatiin tehtyä selkeä kokonaisuus siitä, mitkä ovat tärkeimmät tutkittavat arvot kompressorioöljyjä tutkittaessa. Työssä saatiin listattua myös öljyn muutoksiin vaikuttavia tekijöitä, joiden avulla voidaan kompressorin käyttövarmuutta parantaa keskittymällä voiteluaineen kuntoon.

Öljynäytteiden vertailu osoitti selvästi toisen öljyn paremmuuden. Se osoitti sen, että myös niin sanottu tarviketuote voi suoriutua alkuperäistä tuotetta paremmin, vaikka usein kompressoreiden valmistajien osalta ei koneissa sallita käytettävän muuta kuin alkuperäistä öljyä. Testi osoitti myös sen, että esimerkiksi 4000 tunnin vaihtoväli mineraliöljyille voi olla hyvinkin liikaa, vaikka ohjekirja näin sanoisi. Testiä olisi pitänyt jatkaa uudelleen öljynvaihdon jälkeen ja ottaa öljyanalyysyjä 1000 tunnin välein, jolloin oltaisiin voitu tehdä tarkka kuvaus öljyn kunnon muuttumisesta käyttötuntien mukaan. Tällöin oltaisiin myös poistettu mahdollinen vanhan öljyn vaikutus analyysiin. Mutta tälläkin testillä saatiin haluat erot aikaiseksi kahden eri voiteluaineen välillä.

Tämä työ auttaa Voitelukeskuksen myyntihenkilökuntaa oikean voiteluaineen valinnassa kompressoreihin. Vastaavanlaista ohjeistusta ei ole ollut saatavilla ja siksi tämä työ tuli tarpeeseen. Jatkona tähän olisi aiheellista tehdä ohjeistus myös kylmäkompressoreiden ja muidenkin kuin ilmaa puristavien kompressoreiden voiteluaineista.

## LÄHTEET

Airila M., Hallikainen K., Kääpä J. & Laurila T. Kompressorikirja 1983. Vantaa: Korpi-vaara Oy Hydor Ab

Teollisuusvoitelu 1998. KP-Media. Kunnossapidon julkaisusarja N:o 8

Wayne Perry. Basics of Rotary Screw Compressor Lubricants. Luettu 15.11.2017  
[www.kaeser.com/whitepapers](http://www.kaeser.com/whitepapers)

Daryl Beatty. Oil Analysis Boosts Compressor Reliability. 2004. Luettu 20.11.2017.  
<http://www.machinerylubrication.com/Read/674/compressor-reliability>

ExxonMobil Finland Oy Ab. Signum öljyanalyysi, Kunnonvalvonnan perusteet. 2008. Luettu 26.11.2017.  
<http://www.signumoilanalysis.com/signum-english/Files/signum-oil-analysis-condition-monitoring-fundamentals-finland.pdf>

Selina Kustula. Laadullinen ja määrällinen tutkimus opinnäytetyössä. 2015. Luettu 27.11.2017.  
<http://esseebankki.proakatemia.fi/laadullinen-ja-maarallinen-tutkimus-opinnaytetyossa/>

**LITTEET**

## Liite 1. Koneen 2. öljyanalyysiraportti

1(4)



## RAPORTTI

1(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45912

## ASIAKAS

Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd  
PL 25  
33961 Pirkkala

## YHTEYSHENKILO

Matti Tavinen  
03 358 7662  
matti.tavinen@voitelukeskus.com

## NÄYTE

Asiakas:  
Järjestelmä (kone/laite): Ruuvikompressori Kaeser  
Järjestelmän tunnus:  
Näytteenotto:  
Näytteenottaja:  
Öljy: Kaeser Sigma Fluid MOL  
Suodattimet:  
Järjestelmän käyttöaika: ei ilmoitettu

Öljyn kunto

Kuluminen

Puhtaus

## KOMMENTIT JA DIAGNOOSI

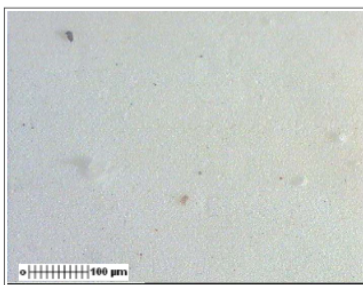
Öljyn lisäaineistus eroaa tunnetuista referenssiarvoista. Kulumametallipitoisuudet ovat alhaiset eikä mikroskooppianalyyysissä havaittu epätavallisen tai ankaran kulumisen merkkejä. Öljyn vesipitoisuus on koholla. Yleisesti ottaen öljyn hiukkaspuhtaus on suositettavaa heikompi kompressorikohteeksi.

Suosittellemme hieman kuivempaa ja hiukkasten suhteen puhtaampaa öljyä järjestelmään ja tarkastamaan käytetyn öljytyypin.

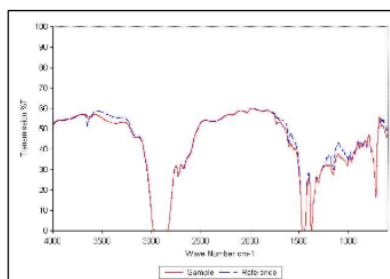
## TULOKSET

Näytteenottopäivä				13.4.2015			
Öljyn käyttötunnit				2000			
Laboratorionumero				H45912			
<b>ÖLJYN KUNTO</b>				<b>Menetelmä</b>			
Viskositeetti	+40 °C	cSt	ASTM D445	46,87			
	+100 °C			7,10			
Viskositeetti-indeksi	-			110			
Väri	-		ASTM 1500	5,5			
Öljyn ulkonäkö				kirkas, rusk.			
Öljyn hapettuminen	-TAN	mgKOH / g	in-house	1,22			
	-IR	A / cm		1			
	-Memb. väri			vaal. harm.			
<b>Lisäaineet - ICP</b>				ppm	ASTM D5185		
Kalsium				1998			
Magnesium				6			
Boori				1			
Sinkki				952			
Fosfori				776			
Barium				0			
Rikki				3688			

Mikroskooppikuva: (suodatettu näytelmä: 50 ml)



FT-IR-spektri





## RAPORTTI

2(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45912

## TULOKSET

Näytteenottopäivä			13.4.2015		
Öljyn käyttötunnit			2000		
Laboratorionumero			H45912		
<b>JÄRJESTELMÄN KULUMINEN JA ÖLJYN KONTAMINAATIO</b>					
			<b>Menetelmä</b>		
<b>Kulumametallit - ICP</b>	ppm	ASTM D5185			
Rauta			0		
Kromi			0		
Tina			0		
Alumiini			0		
Nikkeli			0		
Kupari			1		
Lyijy			0		
Molybdeeni			0		
<b>PQ-indeksi</b>	-		OK		
<b>Kontaminantit - ICP</b>	ppm	ASTM D5185			
Pii			2		
Kalium			4		
Natrium			17		
<b>Vesipitoisuus</b>	ppm	ASTM D6304 C	690		
<b>Puhtausluokka</b>	<b>ISO4406</b>	ISO4407	21/18/14		
<b>Hiukkaslaskenta (A=autom., M=mikrosk.)</b>			M		
<b>ISO4406:1999</b>	<b>ISO4406</b>				
> 4 µm	(> 2 µm)	kpl / 100 ml	1800000		
> 6 µm	(> 5 µm)		240000		
> 10 µm	(> 10 µm)				
> 14 µm	(> 15 µm)		12000		
> 21 µm	(> 20 µm)				
> 25 µm	(> 25 µm)				
> 38 µm	(> 50 µm)				
> 70 µm	(> 100 µm)				
<b>Visuaalinen hiukastunnistus (&gt; 5 µm)</b>	%	in-house			
Kirkas metalli					
Keltainen metalli					
Musta metalli					
Ruoste					
Silika ja muut pölym.					
Polymeerit					
Kuidut					
Muut					
<b>Lisäanalyytit</b>					

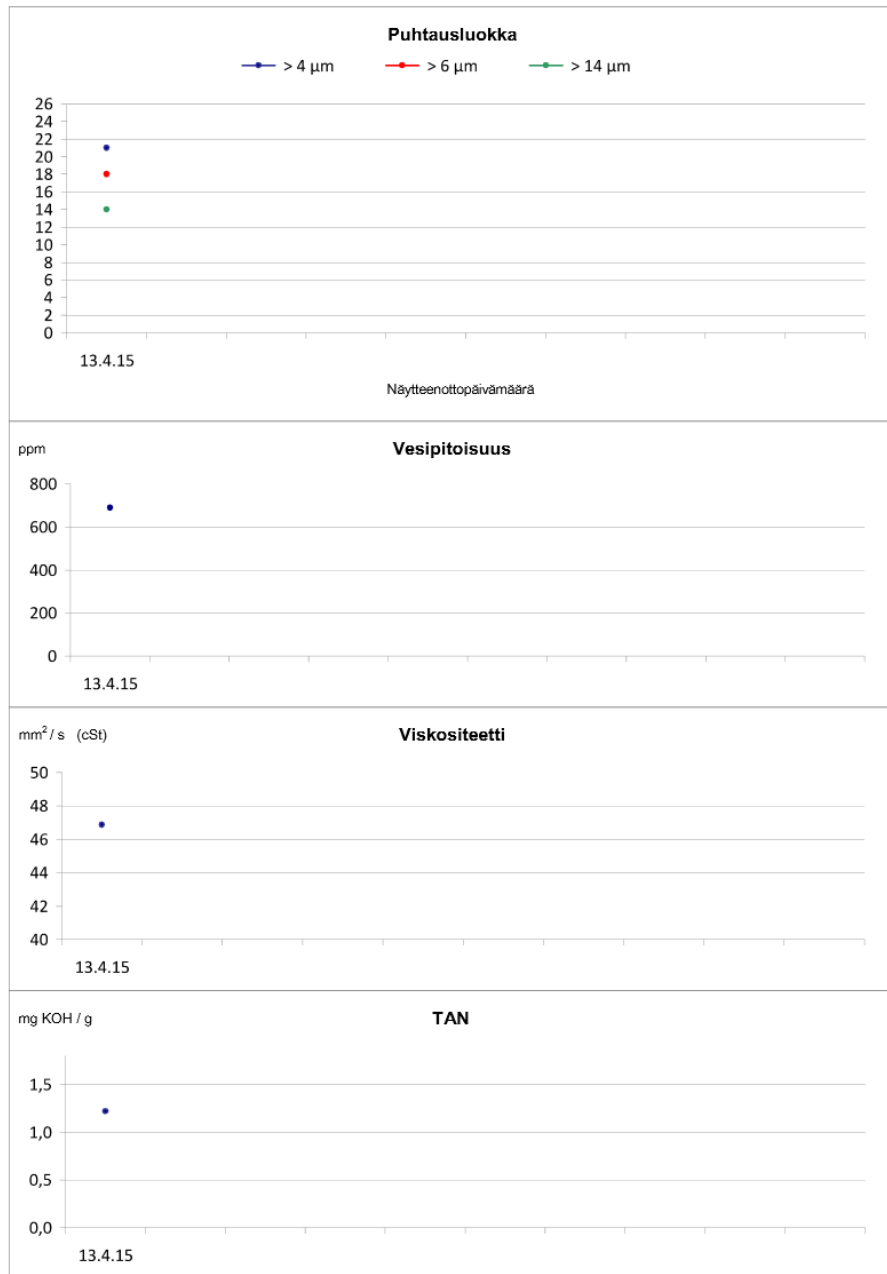


## RAPORTTI

3(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45912





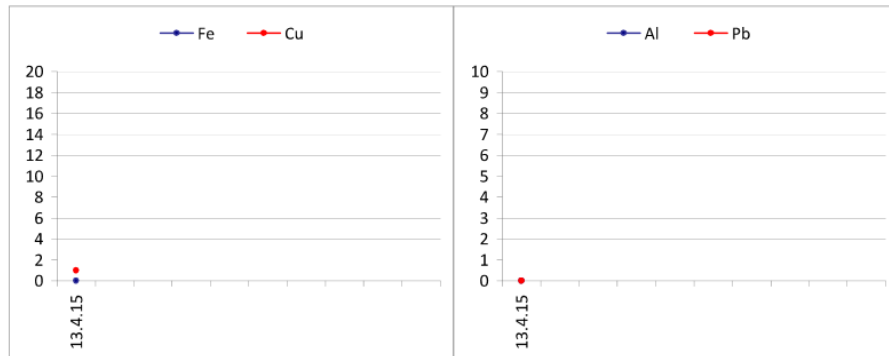
## RAPORTTI

4(4)

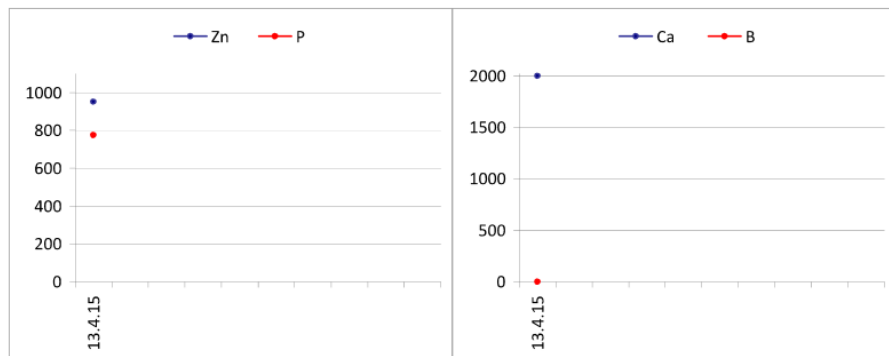
22.4.2015

Laboratorionumero: H45912

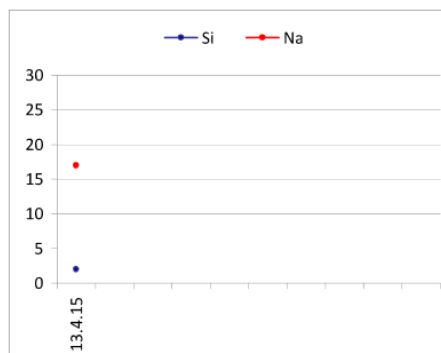
## Kulumametallit



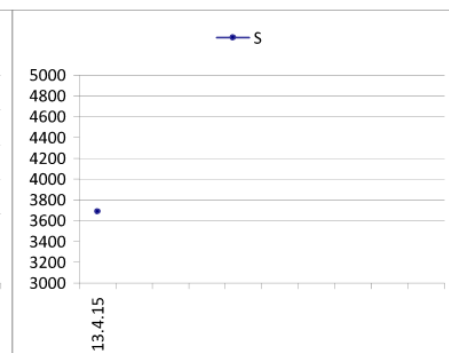
## Lisäaineet



## Kontaminantit



## Rikkiptoisuus



## Liite 2. Koneen 1. öljyanalyysiraportti

1(4)



## RAPORTTI

1(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45913

## ASIAKAS

Voitelukeskus Tonttila Oy Ltd  
PL 25  
33961 Pirkkala

## NÄYTE

Asiakas:  
Järjestelmä (kone/laite): Ruuvikompressori P-C  
Järjestelmän tunnus:

## YHTEYSHENKILÖ

Matti Tavinen  
03 358 7662  
matti.tavinen@voitelukeskus.com

Näytteenotto:  
Näytteenottaja:  
Öljy: Petro-Canada Compro XL-S 46  
Suodatimet:  
Järjestelmän käyttöaika: ei ilmoitettu

Öljyn kunto

Kuluminen

Puhtaus

## KOMMENTIT JA DIAGNOOSI

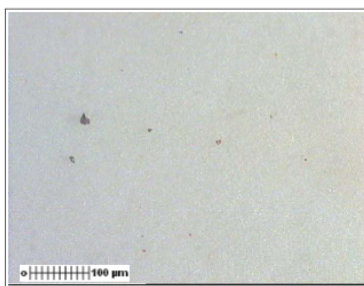
Öljyn happoluku (TAN-arvo) on hyvin korkea referenssiarvoihin nähden. Meillä ei ole muita referenssiarvoja joten emme voi kommentoida, johtuuko korkea öljyluku öljyn hapettumisesta vai sekoittumisesta toisen öljylaadun kanssa. Kulumametallipitoisuudet ovat alhaiset eikä mikroskooppianalysissä havaittu epätavallisen tai ankaran kulumisen merkkejä. Öljy on kuivaa, mutta sen hiukkaspuhtaus on yleisesti ottaen hieman suositeltavaa heikommalla tasolla.

Mikäli voidaan poissulkea eri öljylaatujen sekoittuminen, tulisi öljynvaihtoa harkita korkean TAN-arvon takia.

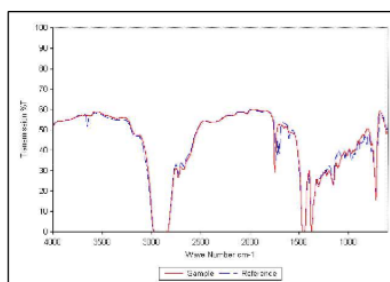
## TULOKSET

Näytteenottopäivä		13.4.2015		
Öljyn käyttötunnit		3269		
Laboratorionumero		H45913		
ÖLJYN KUNTO		Menetelmä		
Viskositeetti	+40 °C	cSt	ASTM D445	49,25
	+100 °C			7,63
Viskositeetti-indeksi		-		120
Väri		-	ASTM 1500	8,0
Öljyn ulkonäkö				kirkas, t.rusk.
Öljyn hapettuminen	-TAN	mgKOH / g	in-house	0,94
	-IR	Å / cm		1
-Memb. väri				vaal. ruseht.
Lisäaineet - ICP		ppm	ASTM D5185	
Kalsium				1053
Magnesium				2
Boori				0
Sinkki				420
Fosfori				298
Barium				0
Rikki				2758

Mikroskooppikuva: (suodatettu näytelmä: 50 ml)



FT-IR-spektri



Fluidlab Oy | PL 407 | 20101 Turku | Puh. +358 (0)2 469 0025 | info@fluidlab.fi | www.fluidlab.fi

2(4)



## RAPORTTI

2(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45913

## TULOKSET

Näytteenottopäivä	13.4.2015		
Öljyn käyttötunnit	3269		
Laboratorionumero	H45913		
<b>JÄRJESTELMÄN KULUMINEN JA ÖLJYN KONTAMINAATIO</b>			
<b>Kulumametallit - ICP</b>	ppm	Menetelmä	ASTM D5185
Rauta			0
Kromi			0
Tina			0
Alumiini			0
Nikkeli			0
Kupari			3
Lyijy			0
Molybdeeni			0
<b>PQ-indeksi</b>	-		OK
<b>Kontaminantit - ICP</b>	ppm	Menetelmä	ASTM D5185
Pii			2
Kalium			7
Natrium			25
<b>Vesipitoisuus</b>	ppm	Menetelmä	ASTM D6304 C
			70
<b>Puhtausluokka</b>	<b>ISO4406</b>	ISO4407	19/17/13
<b>Hiukkaslaskenta (A=autom., M=mikrosk.)</b>			M
<b>ISO4406:1999</b>	<b>ISO4406</b>		
> 4 µm	(> 2 µm)	kpl / 100 ml	480000
> 6 µm	(> 5 µm)		110000
> 10 µm	(> 10 µm)		
> 14 µm	(> 15 µm)		7200
> 21 µm	(> 20 µm)		
> 25 µm	(> 25 µm)		
> 38 µm	(> 50 µm)		
> 70 µm	(> 100 µm)		
<b>Visuaalinen hiukastunnistus (&gt; 5 µm)</b>	%	in-house	
Kirkas metalli			
Keltainen metalli			
Musta metalli			
Ruoste			
Siiika ja muut pölym.			
Polymeerit			
Kuidut			
Muut			
<b>Lisäanalyytit</b>			

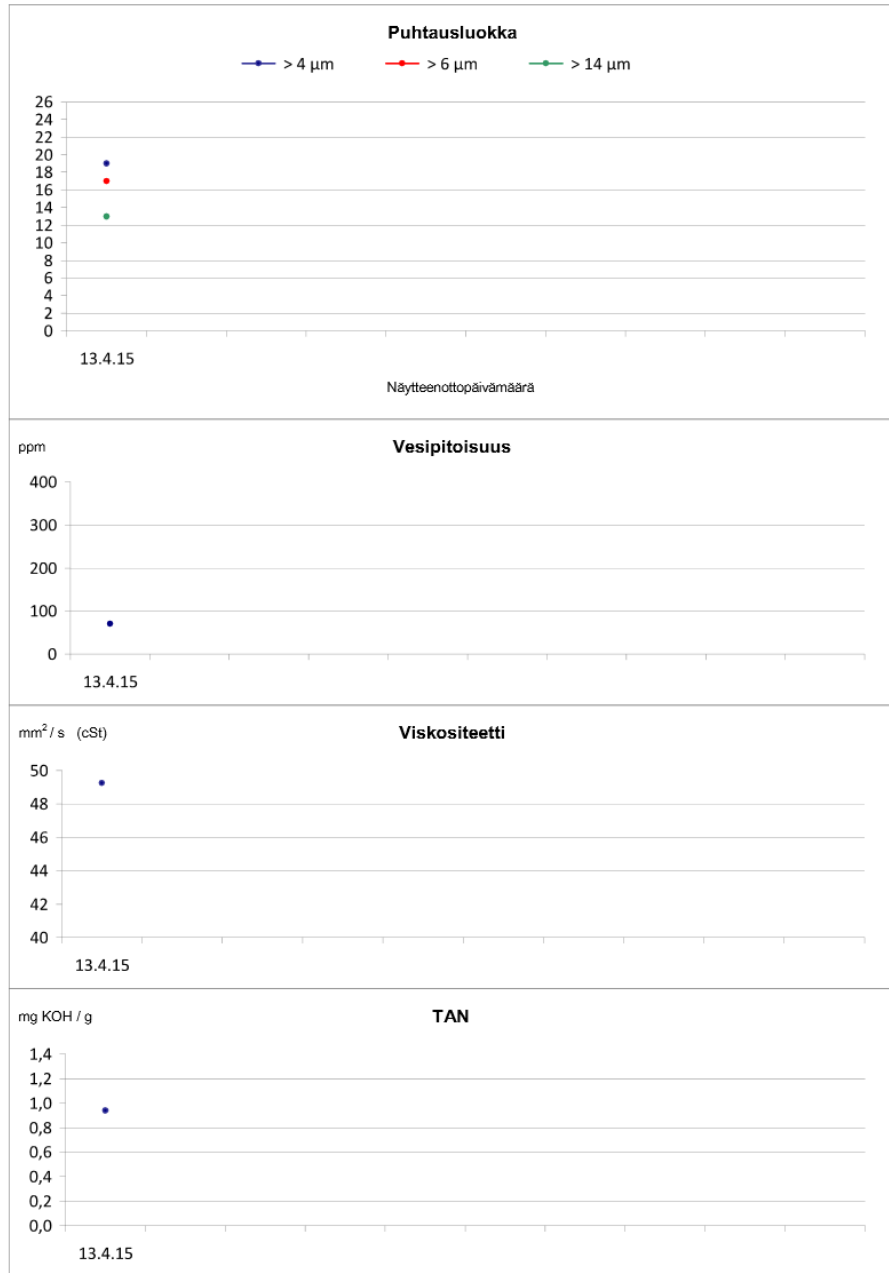


## RAPORTTI

3(4)

22.4.2015

Laboratorionumero: H45913





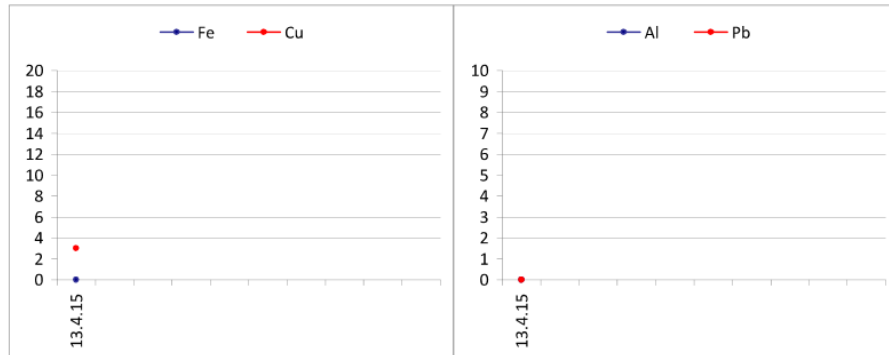
## RAPORTTI

4(4)

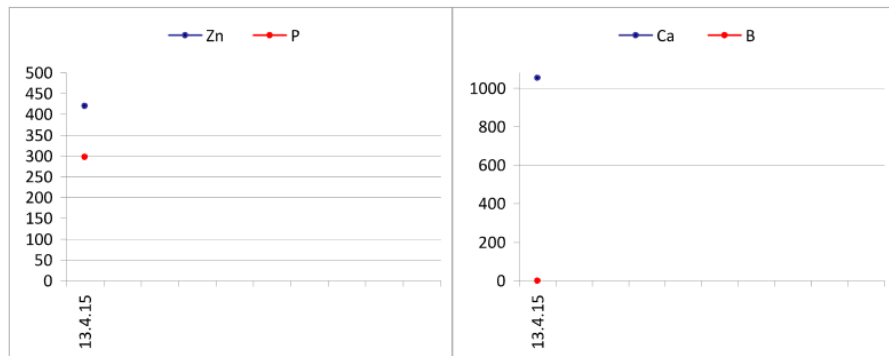
22.4.2015

Laboratorionumero: H45913

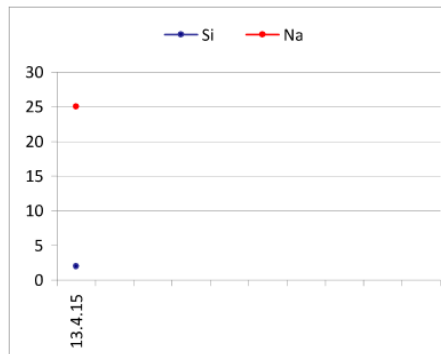
## Kulumametallit



## Lisäaineet



## Kontaminantit



## Rikkipitoisuus

