

**Tuukka Hylkilä**

# **RASVAVOITELUOHJEEN OPTIMOINTI**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA AMMATTOKORKEAKOULU**

**Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma**

**Maaliskuu 2014**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Aika</b> Maaliskuu 2014	<b>Tekijä/tekijät</b> Tuukka Hylkilä
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> RASVAVOITELUOHJEEN OPTIMOINTI		
<b>Työn ohjaaja</b> Ilkka Rasehorn	<b>Sivumäärä</b> 51 + 6	
<b>Työelämäohjaaja</b> Veli Niemonen		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä Kokkolan Voima Oy:lle rasvavoitelulistat uusimman kattilarakennuksen laitteille sekä siihen liittyville polttoaineensyötön ja tuhkan käsittelyn laitteistoille. Aiemmin kunnossapitohenkilöstö voiteli työssä tutkitut kohteet muiden kohteiden ohessa ilman selkeää voiteluohjetta. Tämä aiheutti sen, että rasvamäärät eivät ole yhdenmukaisia vaan riippuvat työn suorittajasta. Lisäksi joidenkin kohteiden voitelu saattoi välillä kokonaan unohtua. Työssä pyrittiin luomaan selkeät ohjeet kunnossapidolle voideltavista kohteista ja käytettävistä rasvamääristä, jotta kokematonkin henkilö pystyisi tarvittaessa suorittamaan rasvaukset.</p> <p>Työssä otettiin kantaa myös rasvauskierrosta suunniteltaessa ilmenneisiin puutteisiin. Näitä olivat esimerkiksi vaikeapääsyiset rasvauskohteet, jotka heikensivät työturvallisuutta. Lisäksi tutkittiin sitä, miten epäedulliset olosuhteet, kuten esimerkiksi lika ja kosteus, vaikuttavat voiteluun ja miten kokemuksen pohjalta suoritettu voitelu poikkeaa laakerinvalmistajien ohjeista.</p> <p>Työ saatiin valmiiksi ajallaan ja sen tuloksena saatiin rasvavoitelulista, joka helpottaa ja yhdenmukaistaa kunnossapitoryhmän työtä. Lisäksi laitevalmistajien manuaaleista saatiin kerättyä tutkittavien laitteiden varaosalista, josta on hyötyä huoltoja ja vikakorjauksia tehdessä.</p>		

**Asiasanat**

kunnossapito, laakeri, rasvavoitelu, voimalaitos

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Kokkola-Pietarsaari	<b>Date</b> March 2014	<b>Author/s</b> Tuukka Hylkilä
<b>Degree programme</b> Mechanical and Production Engineering		
<b>Name of thesis</b> OPTIMIZATION OF THE GREASE LUBRICATION INSTRUCTIONS		
<b>Instructor</b> Ilkka Rasehorn		<b>Pages</b> 51 + 6
<b>Supervisor</b> Veli Niemonen		
<p>The purpose of this thesis was to create lubrication instructions for Kokkolan Voima Oy. The machines under examination are used in one of the company's most recent boiler buildings, its fuel feed system and its ash and sand processing system. Previously the maintenance personnel have performed the lubrication along with other work without clear lubrication instructions. Therefore the amounts of grease used always depended on the person performing the task. Also, without instructions some targets might get forgotten during the lubrication round. Clear lubrication instructions with targets listed and with precise grease amounts enable even persons with a little experience to perform the lubrication correctly.</p> <p>There were also some faults that were discovered during the planning process. For example some of the targets were hard to reach, which weakened occupational safety. Also one issue under examination was the negative effects, such as moisture and contamination, during lubrication, and how experience-based lubrication differs from guidelines provided by the bearing manufacturers.</p> <p>This thesis was completed on time and as a result the lubrication instructions were produced. Lubrication instructions ease and unify the work of the maintenance personnel. Also a list of spare parts was compiled using manuals provided by the machine manufacturers. The list can be used when performing maintenance tasks.</p>		
<b>Key words</b> bearing, lubrication, power plant, maintenance		

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 KOKKOLA POWER JA KOKKOLAN VOIMA</b>	<b>3</b>
2.1 Höyryvoimalaitoksen toimintaperiaate	3
2.2 Kokkola Powerin voimalaitos	5
2.3 Kokkolan Voiman voimalaitos	6
<b>3 KUNNOSSAPITO</b>	<b>8</b>
3.1 Kunnossapidon määritelmä	9
3.2 Kunnossapitolajit	10
<b>4 VIKAANTUMINEN</b>	<b>14</b>
4.1 Vikaantumisen syyt ja ehkäisy	14
4.2 Vikaantumisen vaikutukset	16
<b>5 LAAKERIEN KUNNOSSAPITO</b>	<b>17</b>
5.1 Vierintälaakerit ja liukulaakerit	17
5.2 Laakerien vikaantuminen	18
5.3 Lian vaikutus laakerissa	21
<b>6 VOITELU</b>	<b>22</b>
6.1 Voitelumekanismit	23
6.2 Rasvat	25
6.2.1 Perusöljyt	25
6.2.2 Saentimet	26
6.2.3 Lisäaineet	27
<b>7 LAAKERIEN RASVAVOITELU</b>	<b>29</b>
7.1 Voitelurasvan valinta	29
7.2 Voitelulaitteet	31
7.3 Rasvamäärän määrittäminen	35
7.4 Jälkivoiteluvälin määrittäminen	38
<b>8 RASVAUSKIERROS KOKKOLAN VOIMALLA</b>	<b>40</b>
8.1 Kokkolan Voiman kunnossapito	40
8.2 Kohteiden kuvaus	40
8.3 Rasvauskohteiden kartoittaminen	42
8.3 Rasvauslistan laatiminen	43
8.4 Ongelmakohdat	45

<b>8.5 Jälkivoitelun määrittäminen laskentayhtälöllä</b>	<b>46</b>
<b>9 TULOKSET JA POHDINTA</b>	<b>48</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>50</b>
<b>LIITTEET</b>	
LIITE 1. Polttoaineen syöttö	
LIITE 2. Tuhkan- ja hiekankäsittely	
LIITE 3. Pumput ja puhaltimet	
LIITE 4. Varaosalista polttoaineen syöttö	
LIITE 5. Varaosalista pumput ja puhaltimet	
LIITE 6. Varaosalista tuhkan- ja hiekankäsittely	

## 1 JOHDANTO

Tähän työhön sisältyy rasvavoitelukierroksen kartoittaminen ja kehittäminen Kokkolan Voiman Oy:n sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitokselle. Tehokas voitelu on erittäin tärkeä osa pyörivien laitteiden kunnossapitoa. Lisäksi, koska teollisuudessa voideltavia kohteita on yleensä useita, täytyy myös voitelutoiminta koordinoida tehokkaan kunnossapidon varmistamiseksi. Tätä varten käytetään usein työn helpottamiseksi voitelulistoja. Suurimmalle osalle voimalaitosta rasvauskierrokset oli jo tehty valmiiksi, mutta uusimman K2 kattilarakennuksen ja sen oheislaitteiden rasvavoitelulistoja ei ollut vielä tehty. Kattilarakennuksen laitteiden lisäksi kartoitettiin voitelukohteet siihen liittyvästä polttoaineensyöttöjärjestelmästä, sekä tuhkan- ja hiekankäsittelylaitteista.

Voimalaitoksella rasvavoitelusta huolehtii mekaanisen kunnossapidon ryhmä, jonka palvelut Kokkolan Voima ostaa Oy Kokkola Power Ab:n voimalaitokselta. Aiemmin kunnossapitohenkilöstö on voidellut tässä työssä käsiteltävät kohteet ilman erillisiä rasvauslistoja muiden laitteiden ohessa. Tässä on ongelmana se, että jokin kohde voi vahingossa unohtua ilman selkeää ohjetta ja voitelua suorittavan henkilön täytyy tuntea kohteet erittäin hyvin ja osata määrittää itse rasvamäärät. Alkuvaiheessa tutkittiin kaikki voideltavat kohteet alueelta, johon työ rajoittui. Valtaosa voideltavista kohteista oli vierintälaakereita. Voitelukohteiden rasvamäärät pohdittiin yhdessä kunnossapitohenkilöstön kanssa. Näiden tietojen pohjalta tehtiin laitteille rasvavoitelulistat, jotka voidaan syöttää yrityksen kunnossapitotietokantaan. Kun kohteet on kartoitettu ja niiden rasvamäärät valmiiksi määritetty, pitäisi listan avulla myös kokemattomamman henkilön pystyä voitelemaan kaikki laitteet oikealla tavalla. Lisäksi selvitettiin laitevalmistajien manuaaleista kohteissa käytettävät laakerit. Selvitettyjen tietojen perusteella pystyttiin myös tutkimaan

sitä, miten kokemuspohjaisen tiedon perusteella valitut rasvamäärät poikkeavat laakerinvalmistajien antamista ohjeistoista ja miten vaikeat olosuhteet vaikuttavat rasvaukseen. Työssä pohdittiin myös eri kohteisiin soveltuvia voitelumenetelmiä ja tarvittaessa myös voitelun automatisoinnin mahdollisuutta. Joissain kohteissa pohdittiin myös työturvallisuutta parantavia ja työtä helpottavia parannusehdotuksia. Rasvavoitelulistojen lisäksi työn tuotoksena syntyi pienimuotoinen varaosalista laitteiden laakereista laitevalmistajien manuaaleja tutkittaessa.

## 2 KOKKOLA POWER JA KOKKOLAN VOIMA

Oy Kokkola Power Ab on Kokkolan Energian alaisuudessa toimiva ja Kokkolan kaupungin omistama voimalaitosyhtiö. Voimalaitos tuottaa energiaa Kokkolan Energialle sekä teollisuusasiakkaille. Laitokselta käsin hoidetaan myös Kokkolan Energian lämpökeskusten sekä kaukolämpöverkon valvonta. Yritys työllistää 55 henkilöä. (Tuliniemi 2011.)

Kokkolan Voima on Pohjolan Voiman omistama tuottajayhtiö, joka myy energiaa Kokkolan Energialle, joka on Kokkolan kaupungin liikelaitos. Kokkolan kaupungilla on osakeomistajuuden kautta oikeus yhtiön tuottamaan energiaan. Käynnissä-pitotoimintansa Kokkolan Voima ostaa Oy Kokkola Power Ab:lta. (Tuliniemi 2011.)

### 2.1 Höyryvoimalaitoksen toimintaperiaate

Höyryvoimalaitoksessa tuotetaan sähkö- ja kaukolämpöenergiaa vesihöyryn avulla. Käytettävä vesi höyrystetään erilaisten polttoaineiden, esimerkiksi puun, turpeen, hiilen tai öljyn polttamisesta saatavan lämpöenergian avulla.

Kattilalaitoksen perusrakenteeseen kuuluu muun muassa polttoaineen käsittely- ja kuljetuslaitteet sekä laitteisto, joka tuottaa riittävästi palamisilmaa polttolaitteeseen. Tulipesässä palamisilma ja polttoaine pääsevät reagoimaan keskenään, ja siellä oleva vesihöyryputkisto toimii lämmönvaihtimena höyrystyvän veden ja savukaasujen välillä. Poltossa syntyvät savukaasut täytyy myös saada puhdistettua ja poistettua kattilasta mahdollisimman vähillä lämpöhäviöillä. Kaikki edellä mainitut te-

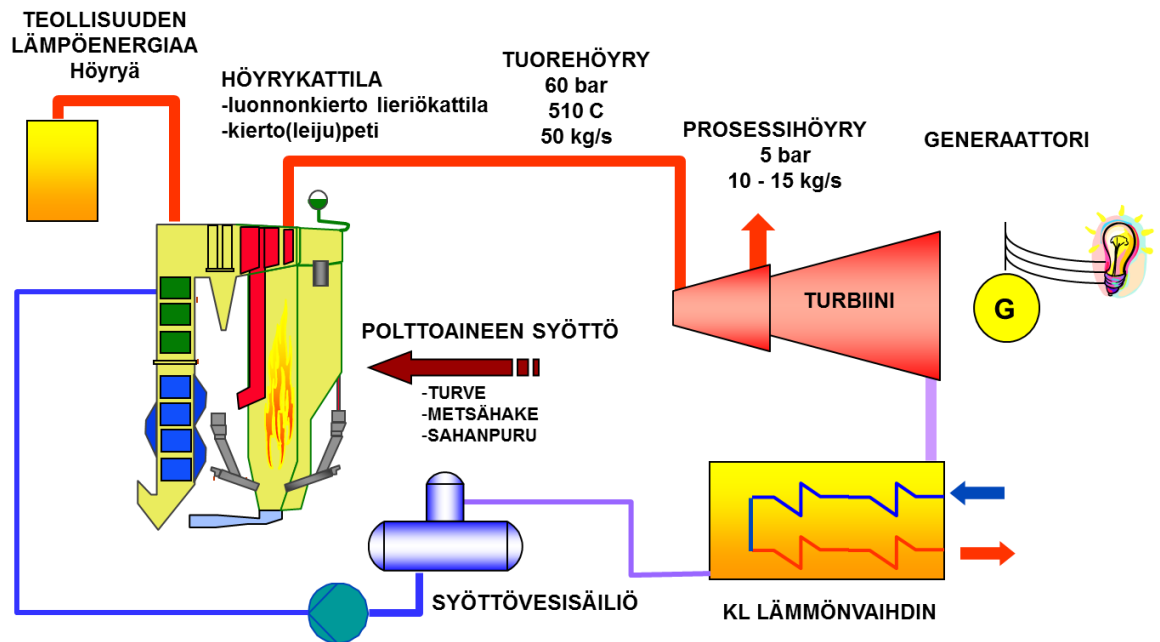


kijät ovat laitoksen perustoiminnan kannalta kriittisiä, ja laitteistojen toimintaa ohjataankin laitoksen omalla automatiikalla. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen, Pakkanen 2000, 7.)

Kiinteää polttoainetta käyttävistä kattiloista uusimmat ovat leijupeti- tai kiertopetikattiloita. Ne perustuvat menetelmään, jossa kattilan pohjalla olevaan hiekkapetiin puhalletaan alhaalta päin voimakkaasti palamisilmaa ja kattilaan syötettävä polttoaine palaa tässä samassa pedissä. Jos puhallus saa hiekan ainoastaan leijumaan, on kyseessä leijupetikattila. Jos ilmavirta on niin voimakas, että hiekka ja polttoaine kulkeutuvat sen mukana, puhutaan kiertopetikattilasta. Ilman mukana poistuneet kiinteät partikkelit erotetaan syklonissa ja kierrätetään takaisin tulipesään. Hiekkapatja toimii koko ajan samalla periaatteella kuin arina, joka ei pääse tukkeutumaan, ja samaan aikaan koko ajan liikkeessä oleva hiekka pitää tulipesän lämmönsiirtopinnat puhtaina. Menetelmä on hyvä vaikeasti palavan polttoaineen polttamiseen, koska se sekoittuu hyvin tulipesässä ja polttoaineen viipymäaika saadaan pitkäksi. Leijupeti- ja kiertopetikattiloissa palamislämpötilat ovat maksimissaan noin 900 °C. Korkeampi lämpötila voi aiheuttaa hiekan sintraantumista ja ihmisille sekä ympäristölle haitallisten typpioksidien muodostumista. (Perttula 2000, 177.)

Sähkön ja kaukolämmön tuotantoprosessi tapahtuu lämpövoimalaitoksessa suljetussa kierrossa (KUVIO 1). Ensin syöttövesisäiliöstä pumpataan paineistettua vettä esilämmittimeen, missä se lämpenee höyrystymislämpötilaan, ja sen jälkeen kattilan höyrystinputkiin, joissa se höyrystyy ja höyrinpaine nousee entisestään. Tämän jälkeen höyry kulkee tulistimeen, jossa kattilan lämmöllä kylläinen höyry lämmitetään höyrystymislämpötilaansa kuumemmaksi eli tulistetaan. Tulistettu, korkeassa paineessa oleva höyry ohjataan turbiiniin, jonka läpi virratessa höyrin paine ja lämpötila laskevat. Samalla osa höyrin sisältämästä lämpöenergiasta muuttuu mekaaniseksi energiaksi, joka pyörittää turbiinia. Turbiiniin on kytketty generaattori, joka muuttaa mekaanisen energian sähköenergiaksi. Turbiinin jälkeen höyrinpaine on

normaalisti välillä 0,8–1,5 bar. Tämän jälkeen matalapaineinen, mutta yhä lämmin höyry kulkee kaukolämmönvaihtimeen, jonka toisiopiirissä kulkeva kaukolämpövesi lämpenee vuodenajan mukaan noin 70–120 asteeseen samalla kun höyry lauhduu takaisin vedeksi. Lauhtunut vesi pumpataan lopulta syöttövesisäiliöön ja sieltä takaisin kattilaan. (Huhtinen ym. 2000, 11.)



KUVIO 1. Esimerkki sähkön ja kaukolämmön tuotantoprosessista (mukaiillen Tulinieniemi 2011)

## 2.2 Kokkola Powerin voimalaitos

Kokkola Powerilla (KUVIO 2) on käytössä polttoaineteholtaan 108 megawatin kiertopetikattila C5, joka tuottaa 60 baarin höyrynpaineen. Polttoaineena kattilassa käytetään turvetta ja puuhaketta. Tämän lisäksi lämpövoimalaitoksella on yksi polttoaineteholtaan 180 MW ja paineeltaan 60 baarin raskaspolttoöljykattila C4, joka on tällä hetkellä säilönnässä, sekä kaksi pienempää, polttoaineteholtaan 12,5 MW:n

raskaspolttoöljykattilaa C6 ja C7. Jälkimmäiset tuottavat tarvittaessa 5 baarin höyrynpaineet ja ovat käytössä, jos kaukolämmöstä tai prosessihöyryä on puutetta. C5-kattilaan kytketty turbiini tuottaa sähköä 35 MW. Lisäksi laitoksella voidaan tuottaa kaukolämpöä 80 MW sekä prosessihöyryä 35 MW. Polttoaineiden lisäksi Kokkola Powerilla käytetään yhtenä energialähteenä teollisuudesta saatavaa höyryä. (Tuliniemi 2011.)



KUVIO 2. Kokkola Powerin voimalaitos (Tuliniemi 2011)

### 2.3 Kokkolan Voiman voimalaitos

Kokkolan Voiman voimalaitos (KUVIO 3) on yhteistuotantolaitos, joka tuottaa sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä. Vuonna 2001 valmistunut kattila K1 on sähkön ja lämmön yhteistuotantokattila, jonka polttoaineteho on 80 MW. Kattilaan on liitetty Siemens AG:n toimittama vastapaineturbiini, jolla voidaan tuottaa sähkötehoa 20 MW. Tämän lisäksi K1 tuottaa 50 MW kaukolämpötehoa. K1 on luonnonkiertolieriöllinen kerrosleijupetikattila, jonka tuottaman tuorehöyryn paine on 80 baaria ja lämpötila 428 °C. (Pohjolan Voima 2009.)

Toinen Kokkolan Voimalla käytössä oleva kattila on vuonna 2009 valmistunut prosessihöyrykattila K2. Kattilalla tuotetaan 270 °C:n lämpöistä 40 baarin höyryä lähi-alueen teollisuuden käyttöön, eikä sitä ole liitetty voimalaitoksen turbiiniin sähkön- tuotantoa varten. K2 on myös luonnonkiertolieriöllinen leijupetikattila, jolla saadaan tuotettua prosessihöyryä 15 MW. Tarvittaessa prosessihöyryä saadaan otettua myös K1-kattilan höyrynkierrosta. (Pohjolan Voima 2009.)

Molemmat kattilat K1 ja K2 käyttävät polttoaineina metsähaketta, turvetta, puu- sivutuotteita ja ruokohelpiä. Tämän lisäksi laitoksella on käytössä raskaspolttoöl- jyllä toimiva lämminvesikattila kaukolämmön tuotantoa varten. Kattilalla voidaan tuottaa 15 megawattia kaukolämpötehoa. (Pohjolan Voima 2009.)



KUVIO 3. Kokkolan Voiman voimalaitos (Tuliniemi 2011)

Kokkolan Voimalla otetaan myös talteen lähialueen teollisuuden tuottamaa hukka- lämpöä. Prosessiteollisuuden lämmöntalteenoton avulla voidaan saada kerättyä 15 MW kaukolämpötehoa voimalaitoksen käyttöön. (Tuliniemi 2011.)

### 3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on erittäin tärkeä tekijä niin teollisuudessa kuin muuallakin yhteiskunnassa. Tuotantotoiminnan yhteydessä kunnossapitoon kuuluu tuotantolaitteiden kunnonvalvontaa, kunnan ylläpitoa, suorituskyvyn parantamista ja vikakorjausta. Yleisessä kunnossapidossa varmistetaan toiminnan perusedellytysten, kuten esimerkiksi veden, sähkön ja lämmityksen saatavuus, ja pidetään yllä rakennusten kuntoa. (Opetushallitus 2013.)

Kunnossapitotoiminta on yksi suurimmista kustannustekijöistä yrityksissä, ja lisäksi se vaikuttaa yrityksen tulokseen epäsuorasti, joten sitä on haasteellista ottaa aina oikein huomioon. Kunnossapito voidaan nähdä yrityksessä vain yhtenä kulujen aiheuttajan korkeiden kustannustensa takia, mutta tehokkaasti suunniteltu kunnossapito vaikuttaa suoraan tuotannon kokonaistehokkuuteen ja sitä kautta voi parantaa selvästi yrityksen tulosta. Koska kunnossapito on suurin kontrolloimaton kustannuserä yrityksille, on tärkeää, että pyritään oikealla suunnittelulla välttämään odottamattomia kunnossapitotoimia ja siten pitämään kustannukset hallinnassa. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 38.)

Yksi koko ajan tärkeämmäksi muuttuva tekijä teollisuudessa on henkilö- ja ympäristöturvallisuus. Yhteiskunta ja lainsäädännöt eivät salli yritysten työntekijöiden asettamista alttiiksi tapaturmille. Rikkoontunut kone saattaa käyttäytyä arvaamattomasti ja on siten usein vaarallinen käyttäjälleen. Kunnossapidon tehtävä on huolehtia, että näin ei pääse käymään. Itse kunnossapito vaatii myös usein toimia, jotka poikkeavat rutiinista ja ovat jopa vaarallisia, joten riskit täytyy arvioida tarkkaan ennen kunnostustöitä. Ympäristökriteerit asettavat tiukkoja vaatimuksia laitteille, ja lisäksi ympäristötietoisuus on koko ajan tärkeämpää yrityksen imagon kannalta.

On kunnossapidon tehtävä huolehtia, että laitteet eivät aiheuta ympäristövahinkoja. (Järviö, Lappalainen, Parantainen, Piispa & Åström 2004, 15.)

### 3.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapidon tarpeet täytyy aina ottaa huomioon tilanteiden mukaan, mikä tarkoittaa, että ei ole olemassa pelkästään yhtä oikeaa tapaa kunnossapidon määrittämiseen. Monista kansainvälisistä ja kansallisista standardeista ja alan teoksista löytyy kuitenkin määritelmiä, jotka kuvastavat hyvin kunnossapidon pääkohtia. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

Standardi PSK 6201 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon koko elinjakson aikana. (PSK 6201 2011, 2.)

Eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 13306 kunnossapito määritellään seuraavalla tavalla:

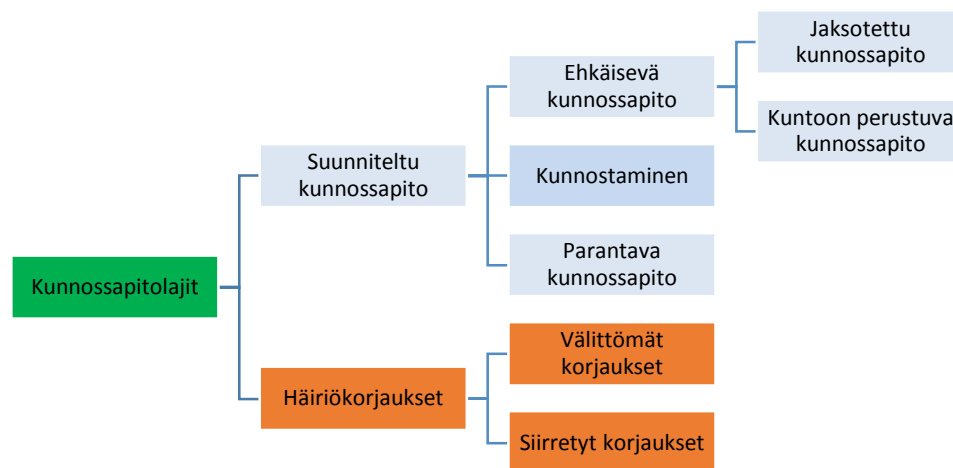
Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinjakson aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. (SFS-EN 13306 2010, 8.)

Edellä mainitut määritelmät ovat sisällöltään erittäin lähellä toisiaan, joten niiden perusteella kunnossapidon määritelmä voidaan jakaa kahteen eri pääkohtaan. En-

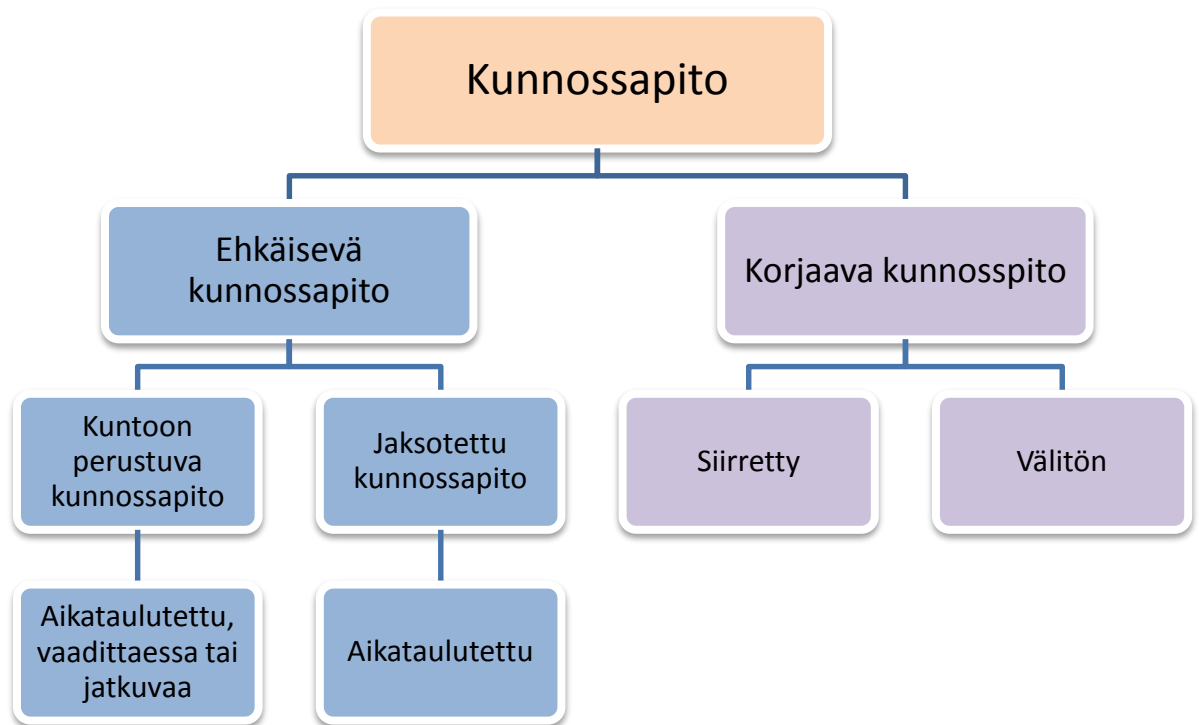
simmäisenä ovat kunnossapidon tekniset toimet, joilla kohde pidetään toimintakuntoisena tai kunnostetaan vaadittuun tilaan. Toisena ovat hallinnolliset ja johdolliset toimet, joilla määritetään kohteelle asetettavat toimintavaatimukset ja kunnossapitotoimet ja johdetaan teknistä kunnossapitoa. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

### 3.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon toimien jakaminen eri lajeihin on tärkeää yrityksen tehokkaan johtamisen kannalta. Sen avulla voidaan seurata eri työlajien kustannuksia ja työtuntien määriä, mistä saadaan kuva kunnossapidon tehokkuudesta. Samoin kuin kunnossapidon määritelmä, myös kunnossapitolajit on mainittu eri standardeissa. Jaottelu on hieman erilainen standardin mukaan (KUVIO 4 ja KUVIO 5), mutta perussisältö on kaikissa samankaltainen, sillä ne kaikki perustuvat suunnitellun ja suunnittelemattoman kunnossapidon väliseen jakoon. (Järviö & Lehtiö 2012, 46–47.)



KUVIO 4. Kunnossapito PSK:n mukaan. (PSK 6201 2011, 22)



KUVIO 5. Kunnossapito SFS:n mukaan. (SFS-EN 13306 2010, 34)

Järviö ja Lehtiö (2012, 49–52.) jakavat yrityksen tuotanto-omaisuuden hoitamisen viiteen päälajeihin, huoltoon, ehkäisevään kunnossapitoon, korjaavaan kunnossapitoon, parantavaan kunnossapitoon sekä vikojen ja vikaantumisen selvittämiseen. Nämä lajit muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla tuotantolaitoksen kunnossapitoa voidaan seurata ja hallita. Jako eroaa standardien määritelmistä jonkin verran, eikä kaikissa niissä myöskään mainita kaikkia edellä esitettyjä lajeja.

Huollon tavoitteena on pitää kohteen toimintakykyä ja estää vaurioiden syntymisen. Yleensä huolto on jaksotettu aikaväleille, jotka määräytyvät käytön määrän, rasittavuuden ja käyttöajan mukaan. Huoltoon kuuluu muun muassa käyttäjäkunnossapito, voitelu, puhdistus, kuluvien osien vaihtaminen ja kalibrointi. (Järviö & Lehtiö 2012, 49.)



Ehkäisevä kunnossapito seuraa kohteen kykyä suoriutua vaaditusta tehtävästä. Valvonnalla vähennetään kohteen vikaantumisen todennäköisyyttä ja pidetään yllä sen toimintakykyä. Esimerkkejä ehkäisevän kunnossapidon toimista ovat tarkastukset, testaaminen, käynninvalvonta, vikaantumistietojen tutkiminen sekä kuntoon perustuva kunnossapito. Viimeisen osalta ehkäisevän kunnossapidon tehtävät, esimerkiksi puhdistus ja kuluneiden osien vaihdot, ovat osittain päällekkäisiä huollon toimien kanssa. (Järviö & Lehtiö 2012, 50.)

Korjaavan kunnossapidon tarkoitus on palauttaa vikaantunut osa tai komponentti käyttökuntoon. Kyseessä saattaa olla odottamaton häiriökorjaus tai suunniteltu kunnostus. Korjaavan kunnossapidon suoritusten välejä tutkimalla voidaan määrittää vikaantuvan komponentin elinikä. Pääkohdat korjaavassa kunnossapidossa ovat vian määrittäminen, sen tunnistaminen ja paikallistaminen sekä korjaus. (Järviö & Lehtiö 2012, 50.)

Parantava kunnossapito sisältää kolme pääryhmää. Ensimmäisessä kohdetta muutetaan vaihtamalla alkuperäisten huonompilaatuisten osien tilalle uudempia ja kestävämpiä osia. Tässä prosessissa itse kohteen suorituskyky ei varsinaisesti muutu, vaan sen luotettavuus paranee. Toinen menetelmä parantaa kohteen toimintavarmuutta on uudelleensuunnittelu. Tämäkään ei vaikuta laitteen suorituskykyyn, vaan sen luotettavuus paranee, kun sen toiminta muutetaan paremmaksi aiempia kokemuksia hyväksi käyttäen. Kolmas pääryhmä on modernisaatiot, joissa muutetaan kohteen kykyä suoriutua halutuista tehtävistä uudistamalla kone ja usein lisäksi myös prosessi. Menetelmällä pyritään saattamaan potentiaalinen, mutta vanhentunut tuotantolaite sekä myös prosessi ajan tasalle. Tämä tulee yleensä halvemmaksi kuin niiden poistaminen käytöstä ja uuteen investoiminen. (Järviö & Lehtiö 2012, 50.)

Viimeinen kunnossapitolaji, vikojen ja vikaantumisten analysointi, jää kokonaan määrittelemättä standardeissa, ja sitä harvemmin mielletään kunnossapidon osaksi. Nykyään on kuitenkin käytössä menetelmiä, joilla voidaan kerätä tietoa esimerkiksi koneen kuormituksesta, käyttötavasta ja olosuhteista. Näitä tietoja analysoimalla voidaan päästä käsiksi vikaantumisia aiheuttaviin perussyihin. Niitä tutkimalla voidaan kohteen kunnossapito suunnitella oikein ja havaita viat ennen kuin tuotanto kärsii. Vika-analyysin lisäksi käytettäviä menetelmiä ovat esimerkiksi vikaantumisen simulointi ja mallintaminen, materiaalin ja suunnittelun analysointi ja vikaantumispotentiaalin kartoitukset. (Järviö & Lehtiö 2012, 51.)

## 4 VIKAANTUMINEN

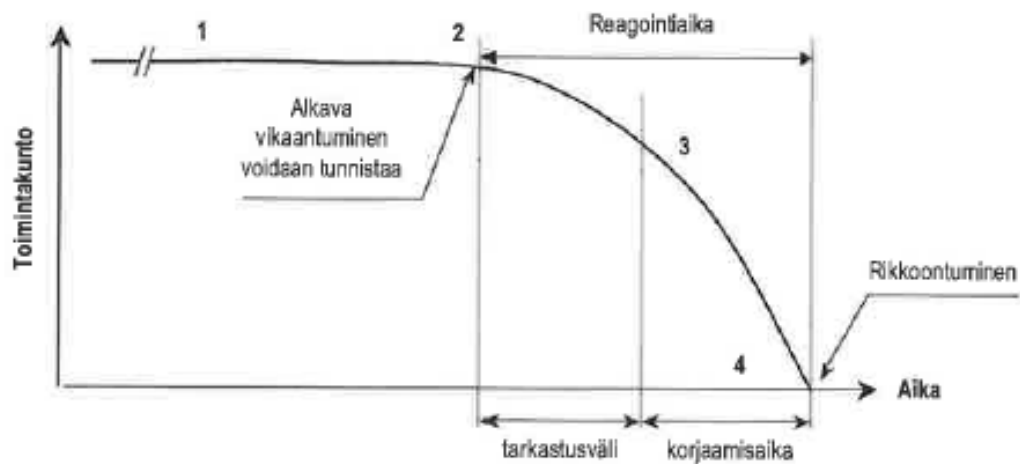
Järviö ja Lehtiö (2012, 67.) määrittelevät vikaantumisen ja vian siten, että vika on tila, joka syntyy vikaantumisen seurauksena. Tässä tilassa kohde ei kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa riittävän hyvin tai ollenkaan. Vika voidaan luokitella häiriöksi, joka voidaan poistaa säätämällä, puhdistamalla tai yksinkertaisesti käynnistämällä uudelleen. Tämän lisäksi vika voidaan luokitella vaurioksi, joka tarkoittaa, että kohde on rikkoontunut ja se täytyy kunnostaa. Molemmat tapaukset aiheuttavat tuotannon pysähtymisen ja tuotannon menetyksiä. Myös standardeissa on kuvattu laajasti vian ja vikaantumisen käsitteitä.

### 4.1 Vikaantumisen syyt ja ehkäisy

Vikaantuminen johtuu melkein aina pohjimmiltaan ihmisten toiminnasta. Jos laitetta huollettaisiin ja sen kuntoa valvottaisiin täydellisesti, ei se pääsisi vikaantumaan. Todellisuudessa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, koska vikoja aiheuttavia tekijöitä todella paljon. Yleinen syy on se, että laitteen käyttöolosuhteet eivät ole optimaaliset, mikä voi aiheuttaa sen, että vikoja pääsee syntymään. Lika voi esimerkiksi peittää vaurioituneet kohdat tai aiheuttaa kuumenemistä. Lika ja esimerkiksi ylimääräiset varastot voivat myös tukkia reittejä ja vaikeuttaa kunnollista laitteiden tarkastusta. Yksi syy saattaa olla vääränlainen käyttö, joka voi johtua puutteellisesta koulutuksesta. Sama pätee myös kunnossapitohenkilökuntaan. Heikko koulutus voi johtaa siihen, että vikoja ei tunnisteta ja niitä voidaan jopa korjata väärin. Vikojen aiheuttamat oireet saattavat olla niin pieniä, että niitä ei pidetä oleellisina. Koneen käyttäjältäkin on siis perusteltua vaatia jonkinlaista ymmärrystä kunnossapidosta, jotta kriittiset viat tulevat ilmi. Toinen syy vikaantumiseen voi olla laitteen

laiminlyönti esimerkiksi sillä perusteella, että ajatellaan huollon olevan jonkin muun henkilön tehtävä. Laiminlyöntiä on myös se, että jo syntyneistä vioista ei välitetä eikä niistä raportoida. Pahimmillaan vikaantumisen voi johtua jopa tahallista väärinkäytöstä. (Järviö & Lehtiö 2012, 81–82.)

Nykyajan kunnossapidolla pyritään estämään vikojen kehittymistä. Tähän panostaminen on jopa tärkeämpää kuin vikojen tehokas korjaaminen. Paras tapa vikojen synnyn estämiseksi on niiden tutkiminen ja syntymissyyn määrittäminen. Vika ei koskaan synny itsestään. Jos vikaa aiheuttava tekijä löydetään, voidaan se mahdollisesti poistaa tai ainakin siihen voidaan varautua. Vikaantumista voidaan kuvata niin sanotulla Point to Failure -kuvaajalla (PF-kuvaaja) (KUVIO 6). Kuvaajan mukaan vika esiintyy ensin huomaamattomana, mutta alkaa ennen pitkää oireilla, niin että se huomataan. Tämän jälkeen on tietty aika reagoida vikaan, ennen kuin laitevika pysäyttää tuotannon. (Järviö & Lehtiö 2012, 72–75.)



KUVIO 6. PF-kuvaaja (Järviö & Lehtiö 2012, 75.)

Ehkäisevän kunnossapidon menetelmillä voidaan tutkia juuri kehittyviä vikoja. Mittaavista tekniikoista esimerkiksi värähtelymittauksilla ja lämpötilamittauksilla

voidaan löytää alullaan oleva laakerivika tai öljyanalyysillä voidaan havaita rikkoontuneesta laitteesta irronneita hiukkasia. Tehokkaalla valvonnalla voidaan PF-kuvaajalla oleva vian havaitsemiskohta siirtää lähemmäs sen syntyä, joten reaktio-aika jää pidemmäksi, ennen kuin tuotanto pysähtyy. Mittaustulosten ja vikahistorian perusteella voidaan myös optimoida esimerkiksi laakerien voiteluväliä, ketjujen kireyksiä ja kuluvien osien vaihtovälejä. Näin vältetään odottamattomia tuotantokatkoksia ja turhia vikaantumisia. (Järviö ym. 2004, 58.)

#### **4.2 Vikaantumisen vaikutukset**

Vikaantumisella on aina jonkinlainen vaikutus yrityksen toimintaan. Vaikutus voi kohdistua tuotannon laatuun, tulokseen tai kustannuksiin vioista aiheutuneiden tuotantokatkosten kautta. Pahimmillaan vika voi aiheuttaa henkilö- ja ympäristöturvallisuuden heikkenemistä. Osa vioista ei välttämättä vaikuta suoranaisesti mihinkään edellä mainituista, mutta ne voivat olla syynä myöhemmin syntyviin vakavampiin vikoihin. Yleensä vikoihin reagoidaan niiden vakavuuden ja sen perusteella. Jos vika aiheuttaa yritykselle suuria ongelmia, sen ehkäisemiseksi nähdään paljon vaivaa. Tällöin asetetaan suuri arvo vian synnyn ennustamiselle, jotta seuraukset olisivat mahdollisimman pienet. Jos vian seuraukset eivät ole vakavia, saatetaan vian korjaus suorittaa vain aina sen synnyttyä. (Mikkonen ym. 2009, 158.)

## 5 LAAKERIEN KUNNOSSAPITO

Laakerit ovat kone-elimä, jotka mahdollistavat akselin pyörivän liikkeen kannatusrakenteessa ja samalla kantavat kuormituksen, jonka laitteen toiminta aiheuttaa. Laakereiden ominaisuuksille asetetaan erilaisia vaatimuksia toiminnan, käyttöolosuhteiden ja laitteen rakenteen mukaan. Yleensä laitteiden suunnittelussa käytetään kahta laakereiden päätyyppiä, vierintälaakereita ja liukulaakereita. Näillä laakerityypeillä on se ero, että liukulaakerissa laakerin liukupinta ja akseli liukuvat vastakkain kitkaa vähentävän voiteluaineen avustuksella. Vierintälaakerissa taas vierivä osa laakerin renkaiden välissä mahdollistaa pyörivän liikkeen. Vierivä osa voi olla esimerkiksi kuula tai rulla. Vierintälaakerikin vaatii kuitenkin myös riittävän voitelun toimiakseen kunnollisesti. (Ansaharju 2009, 135.)

### 5.1 Vierintälaakerit ja liukulaakerit

Vierintälaakerien edut perustuvat pääosin siihen, että vierintävästus kappaleiden välillä on pienempi kuin liukuvastus. Vierintälaakeri koostuu tavallisesti kahdesta sisäkkäisestä renkaasta ja niiden välissä olevista vierintäelimestä, joiden välityksellä laakeriin kohdistuva kuorma siirtyy. Vierintäelimet ovat kiinni pitimessä, joka pitää niitä paikallaan, mutta kuitenkin sallii niiden pyörimisen. Vierintälaakereita on useita erityyppisiä, ja niillä jokaisella on omat etunsa ja heikkoutensa. Tyypit voidaan jaotella esimerkiksi vierintäelinten muodon mukaan, (kuulalaakerit, rullalaakerit, neulalaakerit jne.) tai laakerin muodon mukaan, (pallomainen laakeri, kartiolaakeri, yksi- tai useampirivinen laakeri jne.) Oikein valittuna ja vierintälaakerit soveltuvat lähes kaikkiin kohteisiin. Kunnollisella voitelulla ja kunnossapidolla ne

kestävät suuriakin kierrosnopeuksia ja kuormia sekä kohtalaisia lämpötiloja. (Ansaharju 2009, 142–145.)

Liukulaakerin käyttö on nykyään vähentynyt vierintälaakereiden ominaisuuksien kehityttyä yhä paremmiksi. Silti liukulaakerilla on selkeitä etuja, joiden vuoksi sitä yhä käytetään hyvinkin vaativissa kohteissa. Liukulaakerin etuja ovat esimerkiksi se, että se voidaan valmistaa tarvittaessa itse, mikä on hyödyksi kunnossapito- ja asennustöissä. Liukulaakeri on myös mahdollista asentaa puolikkaina, mikä helpottaa sen asentamista esimerkiksi kampiakselin kaulalle, jonne on vaikea saada kokonaisena asennettavaa vierintälaakeria. Liukulaakeri on usein rakenteeltaan erillinen laakeripesä tai koneen runkoon tehty reikä, johon on asennettu laakerimetalliholkki. Akseli pyörii pesän tai holkin sisällä. Liukulaakerin voitelu tapahtuu yleensä rasvavoiteluna tai öljyvoiteluna. Rasvavoitelua käytetään, kun pyörimisnopeudet, kuormitus ja laitteen käyttölämpötila pysyvät alhaisina. Rasvaa lisätään laakeriin voitelunipan kautta puristamalla tai voitelukupin avulla. Öljyvoitelu taas soveltuu nopeasti pyöriviin liukulaakereihin. Usein öljyvoitelu tapahtuu kiertovoiteluna, jolloin öljy myös jäähdyttää laakeria. Voitelu voi olla myös käsivoitelua tippakannun tai voitelupuristimen avulla. Liukulaakerit voivat olla myös itsevoitelevia. Tässä tapauksessa laakeri on valmistettu sintratusta laakerimetallista, jonka huokoiseen rakenteeseen on imeytetty öljyä, joka toimii voiteluaineena käytön aikana. (Ansaharju 2009, 135–141.)

## **5.2 Laakerien vikaantuminen**

Vierintälaakerien elinikä voidaan teoriassa laskea useiden erilaisten siihen liittyvien tekijöiden perusteella. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi laakeriin eri suunnista koh-

distuva kuorma, pyörimisnopeus ja laakerin tyyppi sekä laskuihin lisättävät varmuuskertoimet. Nämä ovat helposti huomioon otettavia tekijöitä, mutta eliniän määrittämisessä täytyy ottaa myös huomioon erilaiset olosuhteet, esimerkiksi ympäristön puhtaus, kosteus ja lämpötila, jotka tuovat laskentaan huonontavia kertoimia. Eri laakerinvalmistajien tarjoamat laskentamallit saattavat poiketa hiukan toisistaan, mutta ne kaikki perustuvat näihin samoihin tekijöihin. (SKF 2010, 27–28.) Laakerin elinikää laskettaessa käytetään perusolettamuksia, joiden mukaan laakerissa ei ole valmistusvirheitä, se on juuri sopiva kohteeseen ja on asennettu oikein, voitelu on oikeanlaista, laakeri on oikein suojattu, olosuhteet ovat odotetun kaltaiset ja laakerin kunnossapito on oikeanlaista. Todellisuudessa näiden olettamusten vaaraan ei voida täysin laskea, sillä olosuhteet voivat muuttua ja inhimillisille erehdyksille täytyy jättää myös varaa. (SKF 2010, 290.)

Vain murto-osa käytössä olevista laakereista vikaantuu laitteen eliniän aikana. 90 % laakereista kestää kauemmin kuin laite ja 9,5 % vaihdetaan ennen vikaantumista. Noin 0,5 % vaihdetaan vikaantumisen vuoksi. Laakerin rikkoontumiselle voi olla useita erilaisia syitä, esimerkiksi rasitus, vääränlainen voitelu, lika, tehottomat tiivistet, väärinasennus ja väärä mitoitus. SKF:n mukaan 1/3 vikaantumisista johtuu rasituksesta, 1/3 voiteluun liittyvistä ongelmista, 1/6 laakerin likaantumisen ja 1/6 muista syistä esimerkiksi vääränlaisesta käytöstä. Vikaantumisten syyt vaihtelevat kuitenkin teollisuuden toimialoittain. Esimerkiksi paperiteollisuudessa suurin osa vioista johtuu likaantumisen ja voitelusta rasituksen sijaan. (SKF 2010, 230.)

Laakerin vääränlainen toiminta aiheuttaa yleensä tunnistettavia oireita, joita tutkimalla voidaan tunnistaa vika ja sen syy. Tapauksen mukaan aika oireen alkamisella ja laakerin pettämisen välillä voi vaihdella muutamasta minuutista kuukausiin. (Rolling Bearing Damage 2008, 4.) Tavallisimpia oireita ovat laakerin liika lämpeneminen, lisääntynyt melu, värinä, akselin vääränlainen liike, sekä laakerin ja akse-



lin välinen hankaus. Oireille voi olla useita erilaisia syitä, esimerkiksi lämpeneminen voi johtua muun muassa väärästä voiteluaineen määrästä tai kuorman määrästä. Värinä voi johtua väljistä sovitteista tai väärästä laitteen linjauksesta, ja melu voi johtua laakeriin päässeestä liasta tai laakerin osien liukumisesta. Samalla tavalla yksi syy voi aiheuttaa monia erilaisia oireita. Liian vähäinen voitelu voi aiheuttaa lämpenemisen lisäksi melutason nousua, ja metallin liukuminen aiheuttaa myös värinää. (SKF 2010, 232–251.)

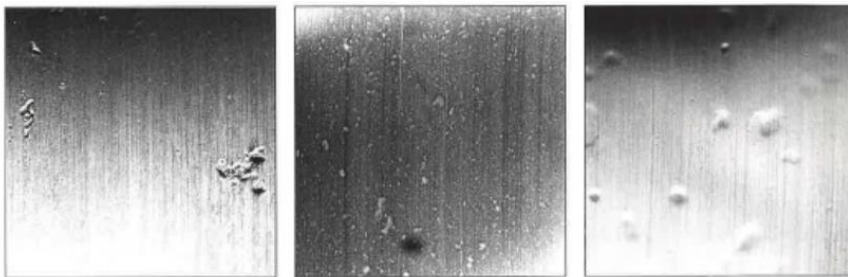
Vikaantumisen syiden tunnistaminen voi olla vaikeaa, joten joskus joudutaan käyttämään poissulkevaa menetelmää ongelman poistamiseksi. Erilaiset viat aiheuttavat kuitenkin myös laakeriin niille ominaisia fyysisiä jälkiä. Esimerkiksi SKF on kuvannut ja listannut kunnossapitohenkilöstölle erilaisia vikaantumismalleja, joiden avulla vikojen syyt voidaan tunnistaa. Tässä listassa viat jaotellaan ennen käyttöön-ottoa ja käytön aikana syntyneiksi. Ennen käyttöönottoa syntyviä vikoja ovat väärät laakerien sovitteet, vialliset akselit ja laakeripesät, väärä linjaus, väärinasennus, laakerin läpi kulkenut jännite ja vääränlainen kuljetus ja varastointi. Esimerkiksi väärät sovitteet voivat aiheuttaa laakerin liukumista (KUVIO 7) tai jännitystä laakerissa. Väärinasennus voi aiheuttaa laakerissa kolhuja ja muodonmuutoksia, jotka heikentävät sen kestävyyttä. Käytön aikana syntyneitä vikoja aiheuttavat esimerkiksi laakerin materiaalin väsyminen, tehottoman voitelun aiheuttama kulumisen, tiiviste- viat ja niiden aiheuttama likaantuminen, laitteen värinä ja suuri sähkövirran pääsy laakerin läpi. (SKF 2010, 298–305.)



KUVIO 7. Laakerin liukumisesta aiheutunutta kulumista. (SKF 2010, 300.)

### 5.3 Lian vaikutus laakerissa

Lika on tekijä, joka voi kriittisesti lyhentää laakerin elinikää ja lisäksi vaikuttaa myös voiteluaineen ja tiivisteiden toiminta-aikaan. Laakeriin kerääntyneet partikkelit ja kosteus voivat aiheuttaa laakerissa kulumista (KUVIO 8), tärinää, melua, rasitusta ja korroosiota (Rolling Bearing Damage 2008, 13). Laakerin puhtaus täytyy ottaa huomioon sekä asennuksessa että kunnossapidon aikana. Laakeri täytyy säilyttää puhtaassa pakkauksessa asennushetkeen asti. Asennusvaiheessa täytyy pitää huoli, että kohde, johon laakeri asennetaan, on puhdistettu. Uudelleenvoitelussa käytettävän rasvan täytyy olla puhdasta ja roiskunut rasva täytyy pyyhkiä välittömästi pois, jotta siihen ei ala kerääntyä likaa. Ohjesääntönä onkin, että laakeria on helpompi estää likaantumasta kuin puhdistaa se. (SKF 2010, 28.)



KUVIO 8. Erikovuisten partikkelien aiheuttamia kulumia. (Rolling Bearing Damage 2008, 22)

Lian ja kosteuden pääsyä laakeriin voidaan rajoittaa tiivisteillä. Kuitenkin toiminnan kannalta on lisäksi tärkeää, että laakerit ja niiden ympäristö pidetään puhtaana, sillä tiivisteiden kunto heikkenee likaisissa olosuhteissa ja ne päästävät jonkin verran likaa läpi alusta asti. Tiivisteiden tarkoitus on myös pitää voiteluaine laakerin sisällä. Käyttötarkoituksen mukaan on laakereita, joihin on integroitu tiivisteet ja tiivisteitä, jotka tulevat laakerin ulkopuolelle. (SKF 2010, 39.)

## 6 VOITELU

Eri kosketustilanteet pintojen välillä voidaan karkeasti jakaa kolmeen pääryhmään: vierintäkosketukseen, liukukosketukseen, sekä näiden yhdistelmään. Vierintäkosketusta tapahtuu esimerkiksi vierintälaakerissa, kun taas liukukosketuksen kuvaamiseen sopii hyvin esimerkiksi liukulaakeri. Näiden yhdistelmää kuvaa hyvin hammaspyörän hampaiden kosketus ryntövaiheessa. Kun koneenosien kosketuspinnat liikkuvat toistensa suhteen, syntyy aina kitkaa ja sen vaikutuksesta kulumista. Kulumisen voi olla pintojen toisiinsa tarttumista aiheutuvaa eli adhesiivista, hiovaa eli abrasiivista, pintakalvoissa tapahtuvaa tribokemiallista ja väsymisrasituksesta aiheutuvaa väsymiskulumista. (Anttila, Kajander, Korpi, Lehtovaara, Luukkainen, Malinen, Malkamäki, Miettinen, Mikkola, Pietiläinen, Pulkkinen, Rinkinen, Ronkainen, Rätty, Strengell, Suontama, Säynätjoki, Vihersalo, Virtanen & Vuolle 2013, 12–16.)

Kulumista pyritään vähentämään erottamalla pinnat toisistaan voitelukalvolla. Tärkeimpiä tehtäviä voitelulla kitkan ja kulumisen vähentämisen lisäksi ovat jäähdyttäminen, epäpuhtauksien vähentäminen ja poiskuljettaminen, värähtelyjen vaimentaminen ja korroosionesto. Periaatteessa voiteluaineeksi kelpaa mikä tahansa helposti leikkautuva nestemäinen, kiinteä, tai kaasumainen materiaali. Teollisuudessa yleisimpiä voiteluaineita ovat rasvat ja öljyt. (Anttila ym. 2013, 11.) Tässä luvussa kuitenkin tutkitaan erityisesti rasvoja voiteluaineina.

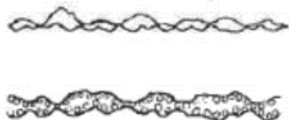
## 6.1 Voitelumekanismit

Voitelu kosketuspintojen välisen kitkan vähentämiseksi voi olla suunnittelu- ja käyttöarvojen mukaan nestevoitelua, sekavoitelua tai rajavoitelua (KUVIO 9). Näitä mekanismeja ja voitelun toimivuutta voidaan verrata voitelukalvon ominaispaksuudella. Ominaispaksuutta kuvataan merkillä  $\lambda$ , jonka arvo saadaan seuraavasta yhtälöstä. (Anttila ym. 2013, 19.)

$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

Yhtälössä  $h_{min}$  on voiteluaineen minimipaksuus.  $\sigma_1$  ja  $\sigma_2$  kuvaavat toisiaan vastavien pintojen pinnankarheuksien rms-arvoa, joka on noin 1,3-kertainen kappaleen pinnankarheuden arvoon eli  $R_a$ -arvoon verrattuna. Ominaispaksuus on suuntaa antava. Sen perusteella ei voida suoraan mitata voitelun toimivuutta, varsinkaan, jos  $\lambda$ -arvo on pienempi kuin 1. (Anttila ym. 2013, 19.)

### Rajavoitelu:



### Sekavoitelu:



### Nestevoitelu:



KUVIO 9. Voitelumekanismit. (Anttila ym. 2013, 19)

Seka- ja rajavoitelua käytetään pienillä kierrosnopeuksilla pyörivissä vierintä- ja liu- kulaakereissa, hammaskytkimissä, hammaspyörissä ja murrosnivelissä (Anttila

ym. 2013, 34). Rajavoitelu on tilanne, jossa vastinpintojen pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan selvästi ja jossa voi syntyä kuivakitkaa. Tässä tapauksessa pintoja erottavaa voitelukalvoa ei vielä tai enää ole olemassa. Rajavoitelutilanteeseen johtavia tekijöitä voivat olla liian alhainen voiteluaineen viskositeetti lämpötilaan nähden, hidas liikenopeus pintojen välillä, suuri kuormitus, liian alhainen voiteluaineen määrä tai huonot lämmönsiirto-ominaisuudet. Toimiva voitelu riippuu suuresti pintakalvojen tarttuvuudesta, stabiilisuudesta ja muodostumisnopeudesta pintojen välillä. Hallitussa rajavoitelussa suojaavan kalvon muodostavat voiteluaineen lisäaineet niiden reagoidessa kosketuspintojen kanssa. Kalvonpaksuus on silloin 1–10 nm ja kitkakerroin noin 0,1. Tällöin kalvojen paksuus on selvästi pienempi kuin pinnankarheus. Jos pintojen välinen kalvo pettää, voi kitkakerroin nousta samalle tasolle materiaaliparin kuivakitka-arvojen kanssa. (Anttila ym. 2013, 19–20.)

Sekavoitelu on nestevoitelun ja rajavoitelun yhdistelmätilanne. Siinäkin kuormitusta välittyy pinnankarheuden huippujen kautta, mutta pienikitkainen voiteluainekalvo kantaa myös osan kuormituksesta. Kun voitelukalvon paksuus kasvaa, kosketuspintojen välinen kitkakerroin pienenee siitä syystä, että pinnankarheushuippujen kautta välittyvä kuormitus on vähäisempää. Sekavoitelutilanne on hyvin altis olosuhteiden muutoksille. Esimerkiksi lämpötilan vaihtelut kosketuksessa voivat muuttaa sekavoitelun rajavoitelutilanteeksi. Sekä seka- että rajavoitelutilanteessa voi syntyä esimerkiksi kitkaa, lämpöä ja kulumista lisääviä pintojen hitsautumia. Puhtaassa nestevoitelussa pinnat on erotettu toisistaan kokonaan voitelukalvolla. Tämän seurauksena kitkaa syntyy hyvin vähän eivätkä vastinpinnat juurikaan väsy taikka kulu. Kyseessä on nestevoitelutilanne, jos voitelukalvon ominaispaksuus  $\lambda > 4$ . (Anttila ym. 2013, 19–20.)

## 6.2 Rasvat

Voitelurasvat voidaan käsittää eräänlaisena paksuuntuneina öljyinä, jotka koostuvat perusöljystä, jota rasvassa tyypillisesti on noin 70–95 %, saentimista ja erilaisista lisäaineista. Näiden rakenneosien määriä ja laatuja muuttelemalla voidaan valmistaa useita erityyppisiä rasvoja eri käyttötarkoituksiin. (SKF 2010, 183.) Rasvojen ominaisuuksia tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti. Tärkein organisaatio tällä alalla National Lubricating Grease Institute (NLGI), joka on osallistunut voitelurasvojen testaamiseen ja kehittämiseen vuodesta 1933. Yksi voitelurasvojen testausmenetelmä on tunkeumamittaus, jossa mitataan rasvojen kovuutta kartiotunkeumakokeella. (Anttila ym. 2013, 66.) Tulos voidaan ilmoittaa yhdeksänä NLGI-luokkana välillä 000–6. Luokituksessa 000-luokka on juokseva rasva ja luokka 6 on kova rasva. Laakerinvalmistajat ilmoittavat suosittelimansa rasvat yleensä NLGI-luokilla. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 10.)

### 6.2.1 Perusöljyt

Suurin komponentti voitelurasvassa on perusöljy, joka vaikuttaakin merkittävästi rasvan voiteluominaisuuksiin. Perusöljyn valinnassa käytetään periaatetta, jonka mukaan perusöljytyyppin täytyy olla sama ja sen viskositeetin on oltava yhtä suuri kuin vastaavanlaiseen öljyvoideltuun kohteeseen käytettävän voiteluöljyn viskositeetti. Rasvan jäykkyyden valintaan vaikuttavat voideltavassa kohteessa vallitsevat perusolosuhteet, esimerkiksi värähtelyt, lämpötila, geometria ja voitelun toteutustapa. Perusöljyn omien ominaisuuksien lisäksi jäykkyyteen vaikuttavat käytettävät saentimet ja lisäaineet. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 6.) Perusöljyinä käytetään yleensä mineraali- tai synteettispohjaisia öljyjä. Teollisuudessa käytetään yleensä perusrasvoina raakaöljystä valmistettuja mineraalipohjaisia rasvoja

näiden laajan soveltuvuusalueen takia. Synteettisiä öljyjä sisältäviä rasvoja käytetään yleensä erikoisolosuhteissa, esimerkiksi erittäin korkeissa tai erittäin matalissa käyttölämpötiloissa. (SKF 2010, 183.)

### 6.2.2 Saentimet

Saentimen osuus voitelurasvasta on 5–30 %. Se pyrkii säilyttämään rasvassa olevan öljyn ja lisäaineet mahdollistaen siten rasvan oikeanlaisen toiminnan. Saennin myös muodostaa rasvalle jäykemmän rungon, joka mahdollistaa sen, että rasva pysyy paikallaan kohteessa. (SKF 2010, 183.) Erilaisia saentimia ovat metallisaippuat ja metallikompleksisaippuat, joiden nimitys johtuu emäksen, esimerkiksi litiumhydroksidin ja rasvahapon yhdistelmästä, jota kutsutaan saippuaksi. Lisäksi saentimina käytetään orgaanisia ei-saippuayhdisteitä ja epäorgaanisia yhdisteitä. Nykyään käytettävistä rasvoista suurin osa koostuu litiumrasvoista niiden hyvien ominaisuuksien, esimerkiksi tiivistysominaisuuksien, lämmönkeston, vedensiedon ja korroosiosuojan takia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 6.) Muita yleisesti käytettäviä saentimia ovat kalsium-, natrium-, barium- ja alumiinipohjaiset saentimet. Eri saentimilla on erilaiset vaikutukset rasvan ominaisuuksiin (TAULUKKO 1). Kompleksisaippuarasvoilla on yleensä parempi suorituskyky ja lämmönsietokyky kuin tavallisilla saippuarasvoilla. Niissä käytetään yleisimmin litium-, kalsium- tai alumiinikomplekseja. (SKF 2010, 183.)

TAULUKKO 1. Saentimen vaikutus rasvan ominaisuuksiin. (mukaillen Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 9.)

Saennin	Ominaisuus	Lämmönkesto	Maksimi lämpötila	Vedenkesto	Mekaaninen stabiilisuus
Kalsiumsaippua	Eläinrasvahappo	D	70	B	C-B
	Hydrottu risiiniöljy	C	100	B	B
Kalsium-kompleksisaippua		B	120-150	B	D-B
Natriumsaippua		B	120-150	D-C	C-B
Alumiinisaippua		D	80	B	D-C
Alumiini-kompleksisaippua		A	120-180	A	A
	Eläinrasvahappo	B	130-150	B	B
Litiumsaippua	Hydrottu risiiniöljy	B	130-150	B	A
	Hiilivety rasvahappo	B	130-150	B	A
Litium- kompleksisaippua		A	130-180	B	A
Epäorgaaninen	Savi	A	150-200	C-B	B
	Silica geeli	A	150-200	D-C	D-C
Orgaaninen	Polyuretaani	A	150-200	A	B
	Natrium Tereftalaatti	A	150-200	B	B
	A = erittäin hyvä	B = hyvä	C = kohtalainen	D = huono	

### 6.2.3 Lisäaineet

Eri lisäaineita käytetään voitelurasvoissa tietyntyyppisten ominaisuuksien saavuttamiseksi tai parantamiseksi. Näitä ominaisuuksia voivat muun muassa olla korroosiosuoja, hapettumisen esto, pintapaineenkesto eli Extreme Pressure (EP) ja kulumisen esto eli Anti-Wear (AW). EP- lisäaineen tarkoitus on lisätä voitelukalvon toimivuutta suurten kuormitusten aiheuttaman paineen vaikuttaessa kohteessa. AW-lisäaineet muodostavat kappaleen pintaan suojaavan kerroksen EP-aineiden ta-



paan. (SKF 2010, 184.) Joissain tapauksissa saentimet saattavat heikentää perusöljyjen korroosiosuojaominaisuuksia, joten saattaa olla aiheellista lisätä rasvaan korroosionestoaineita. Raskaasti kuormitetuissa voitelukohteissa rasvaan saatetaan lisätä kiinteitä voiteluaineita, varsinkin jos kohteessa syntyy rajavoitelutilanteita. Kiinteät voiteluaineet helpottavat voitelua, jos perusöljyn voiteluteho heikkenee, esimerkiksi hitaasti pyörivissä kohteissa. Yleisiä tämän tyyppisiä rasvoja ovat molybdeenisulfidirasvat ja grafiittirasvat. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 8.)

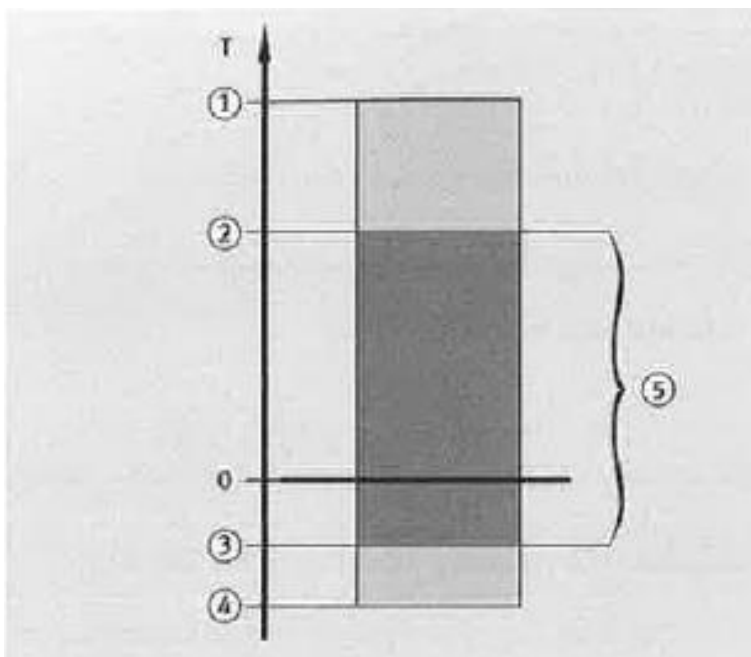
## 7 LAAKERIEN RASVAVOITELU

Voideltavista komponenteista vierintä-, liuku-, lineaari- ja nivellaakerit ovat yleisimpiä, ja niitä on saatavana kestovoideltuina eli huoltovapaina ja jälkivoideltavina laakereina. Vierintälaakereista 90 % on rasvavoideltuja, ja teollisuuden käyttöolosuhteiden takia niistä suuri osa on jälkivoideltuja. Merkittävä osa laakerivaurioista syntyy puutteellisen tai väärin suunnitellun voitelun seurauksena, joten hyvin suunnitellulla ja toteutetulla voitelulla voidaan vaikuttaa suuresti kunnossapidon kustannuksiin ja ehkäistä odottamattomia tuotantokatkoksia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 14–15.)

### 7.1 Voitelurasvan valinta

Kaikilla laakerin kunnan ylläpitämiseksi tehdyillä toimenpiteillä on pieni vaikutus lopputulokseen, jos voiteluun on valittu väärä rasva. Voideltavan kohteen olosuhteet määrittävät rasvanvalinnan. Määrittäviä tekijöitä ovat laitteen asennustapa, laakerin tyyppi ja koko, laakerin kuormitus, käyttölämpötila, pyörimisnopeus, akselin asento, epäpuhtaudet sekä ulkoiset tekijät, kuten värinä. (SKF 2010, 198.) Lämpötila vaikuttaa merkittävästi rasvan käyttöikänsä. Valmistajat ilmoittavat rasvoille käyttölämpötilat, ja yleinen ongelmia aiheuttava väärinkäsitys on se, että luullaan ilmoitetun käyttölämpötilan olevan rasvan normaali toimintalämpötila. Todellisuudessa lämpötila-alueen ääriarajat ilmoittavat vain mahdollisen lyhytaikaisen käytön minimi- ja maksimilämpötilat. Tämä ilmenee kuvioista (KUVIO 10), jossa jatkuvan käytön yläraja (2) on reilusti alempana ja alaraja (3) ylempänä kuin ilmoitetun käyttölämpötilan arvot (1) ja (4). Toimivassa voitelussa täytyy käyttää rasvaa, jolla jat-

kuvan käytön lämpötilaraja ylittää kohteen käyttölämpötilan. Kuormituksen vaikutus koostuu useista tekijöistä, joita ovat kierrosnopeus, dynaaminen kuormitus, laakerin ilmoitettu dynaaminen kantoluku, laakerin tyyppi ja koko. Useat laite- ja komponenttivalmistajat tarjoavat rasvan valintaa helpottavia tietokonesovelluksia ja asiantuntija-apua. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 13–14.) Esimerkiksi SKF:n internetsivuilla on käytettävissä LubeSelect-ohjelma, jonka avulla voidaan valita oikea rasva siihen syötettyjen parametrien avulla (SKF 2010, 189).



KUVIO 10. Rasvojen käyttölämpötila-alueet. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 16)

NLGI 2 -luokan mineraalirasva litiumpohjaisella saentimella sopii useimpiin teollisuuden sovelluksiin, mutta sitäkään ei voi pitää joka paikan yleisrasvana, vaan muitakin rasvoja joudutaan käyttämään (SKF 2010, 189). Voiteluhuollon käytännön toteutuksen helpottamiseksi usein joudutaan tekemään kompromisseja rasvojen valinnassa, jotta ei jouduta ostamaan ja varastoimaan liian monia eri rasvoja. Silloin

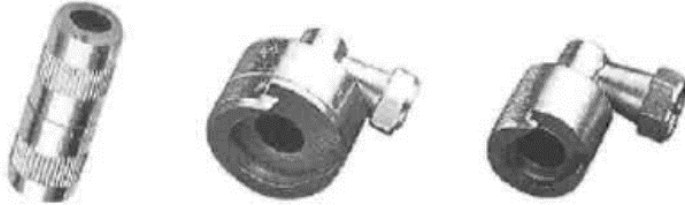
käytetään yleensä samoja perusrasvoja useimmissa kohteissa ja ehkä joitain eri rasvoja vaativimmissa kohteissa. Tämä yksinkertaistaa kunnossapitohenkilöstön työtä, mutta saattaa aiheuttaa sen, että kaikkiin kohteisiin ei saada valittua niille optimaalista voitelurasvaa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 13.)

## 7.2 Voitelulaitteet

Laakerien rasvavoitelussa käytettävät tarvikkeet ovat erittäin tärkeitä kunnossapidon työvälineitä, joten on erittäin suositeltavaa, että niiden hankinnassa panostetaan laatuun ja luotettavuuteen. Nykyään on yleistä, että rasvavoitelu on automatisoitu vuorokauden ympäri toimivaksi voitelujärjestelmäksi. Kuitenkin tämän menetelmän rinnalla myös perinteinen manuaalinen voitelu on edelleen hyvin paljon käytetty ja täysin toimiva tapa. Valinta automaattisen ja manuaalisen voitelun välillä riippuu useista tekijöistä, kuten esimerkiksi kohteen kriittisyydestä, voiteluvälistä, rasvamäärästä ja luoksepäästävydestä. (Anttila ym. 2013, 221–232.)

Laakeriin lisätään rasva yleensä laakeripesään liitetyn voitelunipan kautta. Nippoja on erilaisia, ja oikean nipan valinta riippuu käytettävän voiteluaineen määrästä. Yleisimmät koneenrakennuksessa käytettävät nipat ovat taso- ja kaulanippoja. Voitelunippojen valmistusstandardit eroavat jonkin verran toisistaan maanosittain, mikä voi vaikeuttaa kunnossapitotoimia. Esimerkiksi amerikkalaisessa standardissa nipan laipan paksuus on eri kuin eurooppalaisessa standardissa. Yleensä nippojen tärkeimpien osien, kuten tasonipan laipan ja kaulanipan kaulaosan mitat on määritetty standardeissa, mutta esimerkiksi nippojen kierteisiin ja valmistusmateriaaleihin ne eivät ota kantaa. Erilaisia nippoja varten täytyy valita niille sopiva voitelutyökalun suukappale (KUVIO 11). Kaulanippaan soveltuvat suukappaleet ovat yleensä sylinterimäisiä 3- tai 4-leukaisia. Hankalia kohteita varten on olemassa

kääntyviä sekä nivelöityjä suukappaleita, jotka helpottavat rasvausta. Tasonipan rasvauksessa suukappaleen valintaan vaikuttavat nipan laipan paksuus ja halkaisija. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 37.)



KUVIO 11. Kaulanipan ja tasonipan suukappaleita (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 37)

Manuaalisessa voitelussa on tärkeää valita oikeanlainen voitelulaite, jotta kohteeseen saadaan tuotua oikea rasvamäärä oikealla paineella. Lisäksi laitteen valintaan vaikuttavat rasvan laatu ja sen tilantarve. Voitelulaitteen suukappale valitaan kohteessa olevan nipan mukaan. Yleiskäyttöön hyvin soveltuvia voitelulaitteita ovat suorat voitelu- ja vipuvarsipuristimet. Suora puristin sopii pienille rasvamäärille, ja kun määrät kasvavat, soveltuu vipuvarsipuristin (KUVIO 12) tehtävään paremmin. Vipuvarsipuristimella voidaan saavuttaa noin 150–700 baarin paine ja se tuottaa 1–4 grammaa rasvaa yhdellä puristuksella. (Opetushallitus 2013.) Rasvamäärien kasvaessa yhä suuremmiksi käytetään usein rasvasäiliöitä, joihin on liitetty pumppu. Pumput ovat yleensä vipuvarsipumppuja. Suositus on, että rasvan puhtaanapidon takia pumppu asennetaan alkuperäiseen rasva-astiaan, mutta joissain laitteistoissa on myös erikseen täytettävä rasvasäiliö. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 38–39.)



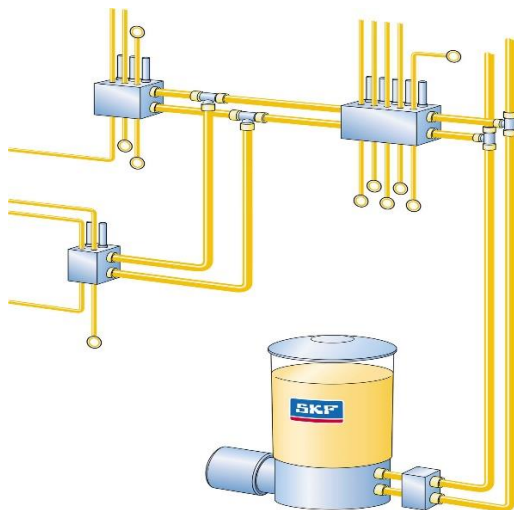
KUVIO 12. Vipuvarsipuristin (Opetushallitus 2013)

Koska teollisuudessa on useimmiten käytettävissä paineilmaa, voidaan rasvavoite-  
lussa tapauskohtaisesti käyttää paineilmatoimisia pumppuja (KUVIO 13). Pumppu  
koostuu ilmamoottorista ja pumpusta. Ilmamoottorin männän molemmille puolille  
johdetaan vuorotellen ilmaa, mikä saa männän liikkumaan. Pumpun ja moottorin  
välissä oleva yhdysakseli välittää mäntien liikkeen ja saa aikaan pumppaustoimin-  
non. Paineilmatoiminen pumppu liitetään suoraan rasva-astiaan. Astiassa suositel-  
laan käytettäväksi saattokantta, joka pakottaa rasvan tasaisen laskeutumisen asti-  
assa. (Opetushallitus 2013.)



KUVIO 13. Saattokannella varustettu rasvapumppu (Opetushallitus 2013)

Automaattinen voitelujärjestelmä on hyvä valinta, jos kohde on tarkka voiteluaineen määrän ja voiteluvälin suhteen. Automaattijärjestelmä syöttää ennalta määrätyn rasvamäärän tietyin väliajoin, mikä ehkäisee puutteellisesta tai väärästä voitelusta johtuvia konerikkoja ja seisokkeja. Lisäksi se vähentää voiteluaineen kuluusta. Menetelmä soveltuu hyvin vaikeapääsyisiin kohteisiin, mikä parantaa huomattavasti työturvallisuutta. (SKF 2013) Jos voitelukohteita on useita, voi olla kannattavaa käyttää keskusvoitelujärjestelmää. Järjestelmä koostuu ohjausyksiköstä, voiteluainesäiliöstä, putkistosta, pumppausyksiköstä, paineenvälontayksiköstä ja erikseen säädettävistä annostimista. Ohjausyksikkö ohjaa laitteen toimintaa ja ilmoittaa mahdollisista vioista ja voiteluaineen vajauksesta henkilöstölle. Järjestelmät voivat olla esimerkiksi yksi- tai kaksilinjaisia voitelujärjestelmiä. Yksilinjaista järjestelmää käytetään yksittäisille koneille. Menetelmässä linjan paineistuessa männän liikkeestä rasva siirtyy kohteeseen. Paineen laskeutuessa annostin latautuu uudelleen. Kaksilinjaisessa (KUVIO 14) järjestelmässä männän liike molempiin suuntiin paineistaa yhden linjan, joten toiseen linjaan menee koko ajan rasvaa. Tätä järjestelmää käytetään, jos rasvattavana on useampia laitteita samalla kertaa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 44–45.)



KUVIO 14. Kaksilinjainen voiteluainejärjestelmä. (SKF 2013)

Yksittäisten kohteiden automaattivoitelussa voidaan käyttää lubrikaattoreita (KUVIO 15), jotka asennetaan suoraan rasvanippaan. Niihin kuuluu sähkömoottori, voiteluainesäiliö sekä integroitu mäntäannostin. Annostimilla voidaan syöttää rasva suoraan voideltavaan kohteeseen. Lubrikaattoreita käytetään tyypillisesti yksittäisissä laitteissa, esimerkiksi kuljettimissa, purkaimissa ja liikkuvassa kalustossa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 46–47.)



KUVIO 15. Lubrikaattori. (SKF 2013)

### 7.3 Rasvamäärän määrittäminen

Voitelurasvalla on rajallinen elinikä, jonka aikana rasva lopulta hajoaa ja menettää voiteluominaisuutensa lämpötilan, mekaanisen kulutuksen ja epäpuhtauksien seurauksena. Tämän takia rasva täytyy vaihtaa, ennen kuin se menettää ominaisuutensa, tai laakeriin täytyy ennalta määritetyn ajan välein lisätä rasvaa jälkivoiteluna. Kunnollisen voitelun tärkeimmät tekijä oikean tyyppisen rasvan valinnan lisäksi ovat sopiva jälkivoiteluväli ja oikeat rasvamäärät. Jälkivoiteluvälit ja rasvamäärät riippuvat siitä, suoritetaanko jälkivoitelu manuaalisesti vai automaattisesti. Useissa



kohteissa laakereita ei kestovoitelun takia tarvitse voidella uudestaan, mutta teollisuuden olosuhteissa jälkivoitelu on tavallinen käytäntö. (SKF 2010, 192.)

Laakereita voideltaessa ennen käyttöönottoa täytyy pitää huoli, ettei laakeripesään eikä laakeriin joudu liikaa rasvaa, koska ylitäyttö voi aiheuttaa kuumakäyntitilanteita. Laakerin vapaaseen tilaan kerääntynyt rasva puristuu käynnistyksen yhteydessä ulos laakerista. Jos poistuvalla rasvalla ei ole tarpeeksi tilaa eikä poistumisreittiä, alkaa rasva vatkaautua, mikä voi aiheuttaa laakerissa voimakasta lämpenemistä. Tämä saattaa puolestaan aiheuttaa kuumakäyntivaurioita. Jälkivoitelun, kylmäkäynnistyksen ja käyttöönoton jälkeen rasvavoidellun laakerin vierintävastus on korkeimmillaan. Vatkautuminen voi johtaa jopa kymmeniä asteita normaalia käyttölämpötilaa korkeampiin lämpöpiikkeihin. Tämä ilmiö on ehkäistävissä sopivalla rasvamäärällä ja ylimääräisen rasvan poistumisen mahdollistamisella. Asennusvaiheessa laakeri voidaan täyttää rasvalla ja laakeripesän vapaasta tilasta täytetään noin 30–50 %. Jos jälkivoitelun sijaan rasva vaihdetaan määräajoin, on täyttöaste korkeampi. Hitaasti pyörivien laakerien ja pesien täyttöaste voi olla lähes täysi, koska niissä syntyvä vatkauksesta aiheutuva kitka on paljon alhaisempi. Laakerivalmistajat tarjoavat erilaisia taulukoita, joiden mukaan voidaan määrittää eri laakerisarjojen ja laakeripesien rasvatilavuudet. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 26–27.)

Jälkivoitelussa käytettävä rasvan määrä voi riippua laakerin koosta ja voiteluvälin tiheydestä. Automaattisessa voitelussa annostelutiheys on suurempi, joten kertausannosmäärät ovat pienempiä. Automaattivoitelulaitteiden valmistajat tarjoavat laskentamallit voiteluainemääriin erilaisissa kohteissa. Jos voitelu suoritetaan manuaalisesti, ovat voiteluvälit henkilöstöresurssisyistä pidempiä, yleensä viikoista jopa vuosiin. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 30.) Rasvamäärää laskettaessa käytetään yleisesti seuraavaa laskentayhtälöä:

$$G = D \times B \times V$$

Yhtälössä G on lisättävä rasvamäärä grammoina, D on laakerin ulkohalkaisija, B laakerin leveys ja V on kerroin, joka määritelmät poikkeavat eri laakerinvalmistajilla hiukan toisistaan. FAG määrittää V:n siten, että V = 0,001, jos voitelu tapahtuu päivittäin, 0,002, jos voidellaan viikoittain ja niin edelleen. FAG:n kerroin on suurimmillaan 0,005, jos voiteluväli on 2 vuotta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 30.) SKF:n mukaan (SKF 2010, 196) kerroin V = 0,005, jos rasva lisätään laakeriin kyljestä. V = 0,002, jos rasva lisätään laakerin ulkorenaan keskeltä. Yhtälöiden lisäksi laakerinvalmistajat tarjoavat laskentaohjelmia rasvamäärien määrittämiseksi.

Rasvan vanhenemisen takia täytyy jälkivoiteltavan laakerin rasva vaihtaa kokonaan ajoittain. Tämä voidaan joskus suorittaa irrottamalla laakeri ja puhdistamalla se vanhasta rasvasta. Jos laakeripesän avaaminen ei kuitenkaan ole mahdollista, voidaan rasva vaihtaa pumppaamalla laakeriin uutta rasvaa läpihuuhteluna niin kauan, että se on korvannut vanhan rasvan. Holvautumisen takia kaikki vanha rasva ei kuitenkaan poistu laakerista, joten uuden rasvan määrää on vaikea arvioida etukäteen. Rasvan vaihtumista pystytään arvioimaan poistuvan rasvan väristä. Läpihuuhtelu voi kuitenkin aiheuttaa rasvan pakkaantumista ja kuumakäyntiä liian suurien rasvamäärien takia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 30.)

## 7.4 Jälkivoiteluvälin määrittäminen

Voitelurasvan toiminnallinen elinikä riippuu useista eri tekijöistä. Yleensä laitevalmistajat antavat ohjeet laitteiden voiteluvälistä, mutta joskus tätä tietoa ei ole saatavilla, tai voiteluun vaikuttavat tekijät voivat muuttua. Voiteluvälin laskentaa varten kannattaa kerätä kaikki saatavilla oleva oleellinen tiedot. Laakerin valmistajalta löytyy tieto laakerin tyypistä ja mitoista. Olosuhteisiin liittyvät tiedot ovat laakerin kuorma, käyttölämpötila, pyörimisnopeus, akselin asento sekä mahdollinen värinä ja epäpuhtaudet. (SKF 2010, 192.) Kaikkia tietoja ei ole kuitenkaan aina mahdollista selvittää, ja olosuhteet voivat myös muuttua, joten jälkivoiteluvälin määrittäminen varsinkin manuaaliseen voiteluun voi olla haastavaa. Tästä johtuukin, että voiteluväli määritetäänkin hyvin usein kokemuspohjaisten tietojen perusteella. Esimerkiksi jälkivoitelun aikana laakerista poistuvan vanhan rasvan väriä seuraamalla voidaan päätellä, onko rasva ehtinyt mennä liian huonoon kuntoon vai onko rasvausväli sopiva. Laakerin lämpötilaa ja voitelukalvon paksuutta seuraamalla voidaan myös tutkia rasvan kuntoa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 28.)

Rasvan käyttöiän määrittämiseksi on olemassa erilaisia laskentamalleja ja käyrästöjä, joista saadaan voiteluväli edullisissa olosuhteissa laskettua laakerin koon, pyörimisnopeuden ja laakerityypin rasvakulutuksen mukaan. Jos olosuhteet poikkeavat edullisista, lisätään laskentaan mukaan väliä lyhentäviä kertoimia. Näiden kertoimien arvot määritetään epäpuhtauksien, lämpötilan, kuormituksen, värinän, keskipakovoiman ja laakerin läpi virtaavan ilmavirran suuruuden perusteella. (Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry 2010, 28–29.) Laakerinvalmistaja SKF:n laatiman ohjeen mukaan jälkivoiteluväli edullisissa olosuhteissa määritetään laakerin C/P-arvon, laakerityypin ja laakerin keskimääräisen kehänopeuden mukaan. C/P-arvo koostuu laakerin dynaamisesta kantoluvusta C ja laakerin kuormituksesta P. SKF:n ohjekirjan kuvaajan mukaan voidaan määrittää näiden arvojen perusteella voiteluravan ideaalinen elinikä, ja siltä löytyy ohjeistusta huonontavien olosuhteiden

huomioon ottamiseksi. Se ei anna kertoimia, joilla saataisiin tarkka voiteluväli, vaan huonontan tekijän mukaan se neuvoo hieman epämääräisesti esimerkiksi vähentämään tai puolittamaan voiteluvälin ja ottamaan tarkempia tietoja varten yhteyttä yrityksen neuvontaan. SKF tarjoaa myös tietokoneohjelmia, joilla voidaan laskea rasvamäärien lisäksi jälkivoiteluvälit. (SKF 2010, 192–195.)

## **8 RASVAUSKIERROS KOKKOLAN VOIMALLA**

### **8.1 Kokkolan Voiman kunnossapito**

Käynnissäpitotoimintansa lisäksi Kokkolan Voima ostaa myös kunnossapitopalvelunsa Oy Kokkola Power Ab:lta. Kokkola Powerilla työskentelee noin kymmenen hengen vahvuinen kunnossapitoryhmä, jonka vastuulla ovat vikakorjaukset ja ennakkohuollot, mukaan lukien voiteluhuolto molemmissa, sekä Kokkola Powerin että Kokkolan Voiman voimalaitoksissa. Tarvittaessa yritykset ostavat kunnossapitopalveluita myös ulkoisilta toimijoilta. Kunnossapidon organisoinnissa yrityksissä käytetään apuna PowerMaint- kunnossapitojärjestelmää, josta kunnossapitohenkilöstö löytää ajankohtaiset ennakkohuoltokohteet ja vikakorjaukset. Ohjelmistoon voidaan kohteiden lisäksi syöttää aiempien töiden toimintakuvauksia seuraavien kertojen tueksi.

### **8.2 Kohteiden kuvaus**

Kokkolan Voiman voimalaitoksen vanhemmille osille, K1-kattilarakennukselle ja polttoaineen vastaanottoasemalle, on jo olemassa olevat voitelulistat, joten tämä työ rajoittui pelkästään K2-kattilarakennuksen laitteisiin, joihin kuuluu pumppuja, puhaltimia ja tuhkan- ja hiekankäsittelylaitteisto, sekä kattilarakennuksen polttoaineen syöttölaitteistoihin. Seuraavassa esitetään lyhyet kuvaukset K2-kattilan, sen polttoaineen syöttöjärjestelmän ja tuhkan- ja hiekankäsittelylaitteiston rakenteesta ja toiminnasta.

Voimalaitoksen polttoaine siirretään vastaanottoasemilta eteenpäin kolakuljettimella, joka vie sen K1-kattilan polttoainesiiloihin. Tämän kuljettimeen pohjaan on liitetty sulkuluukku. Sulkuluukku on K2-kattilan polttoaineen syöttölaitteiston ensimmäinen kohde, jota tässä työssä tutkitaan. Luukun alla on ryöstöruuvi, joka ottaa osan kuljettimella menevästä polttoaineesta ja vie ottamansa polttoaineen väli-varastona toimivaan taskuun. Tarvittaessa taskua voidaan täyttää kattoluukun kautta pyöräkuormaajalla, jos ryöstöruuvia ei jostain syystä voida käyttää. Taskussa on kuljetin, joka siirtää polttoainetta alemmalle kiertäväkolakuljettimelle. Tämä kuljetin vie polttoaineen kiekoseulalle, joka erottelee liian suuret partikkelit polttoaineen joukosta. Seulan läpi mentyään polttoaine siirtyy siilokolakuljettimelle (KUVIO 16), joka vie sen ylös kattilan polttoainesiiloon. Siilosta polttoaine puretaan neljällä ruuvipurkaimella syöttöruuville, josta se kulkeutuu sulkusyöttimen kautta kattilan tulipesään.



KUVIO 16. Siilokolakuljetin ja oikeassa reunassa kiekoseula. Kokkolan Voima.

Jotta polttoaineen palaminen olisi mahdollisimman tehokasta, täytyy tulipesään syöttää palamisilmaa. Tähän tarkoitukseen kattilarakennuksen sisällä on kaksi ilmapuhallinta, primääripuhallin ja sekundääripuhallin, joilla puhalletaan ilmaa kattilaan. Ilmavirran säätelyä varten puhaltimille ja lisäksi myös tertiäärikanavalle on omat säätöpellit kattilan kyljessä. Prosessissa höyrystettävää vettä varten rakennuksessa on kaksi syöttövesipumppua, jotka syöttävät veden kattilaan. Kaikki pumput ja puhaltimet saavat käyttövoimansa sähkömoottoreista.

Kattilan hiekkapetin hiekkaa täytyy ajoittain vaihtaa. Tämä tapahtuu siten, että yksi hiekkasulkusyötin syöttää kattilaan uutta hiekkaa ja vanha hiekka poistuu kattilan pohjassa olevasta aukosta petituhkaruuville. Ruuvi kuljettaa hiekan tuhkakolajettimelle. Kolajettimeen on myös liitetty kaksi suppilotuhkasulkusyötintä, jotka tuovat sille palamisessa syntynyttä tuhkaa. Kuljetin vie tuhkan ja hiekan tuhkakonttiin, joka aika ajoin tyhjennetään. Kontissa on levitysruuvi, jolla varmistetaan, että petituhka levittyy sinne tasaisesti. Kattilan yhteydessä on myös sähkösuodatin, joka suodattaa poistuvista savukaasuista kevyen lentotuhkan ja kerää sen talteen. Sähkösuodattimen alaosassa on ruuvi, joka kuljettaa alas painuneen tuhkan tuhkanlähettimelle. Lähetin kuljettaa paineilman avulla lentotuhkan koko voimalaitoksen yhteiseen lentotuhkasiiloon.

### **8.3 Rasvauskohteiden kartoittaminen**

Voitelukierroksen kartoittaminen aloitettiin kesällä 2013. Ensimmäinen vaihe työssä oli kaikkien voideltavien kohteiden etsiminen. Työ eteni järjestyksessä ulkoa polttoaineen syöttölaitteistosta kattilarakennuksen sisällä oleviin laitteisiin. Jokaisesta laitteesta etsittiin kaikki voideltavat osat, jotka olivat enimmäkseen vierintä-

laakereita. Laitteille on annettu omat positiokoodinsa, jotka myös kirjattiin voitelu-  
listan käytön selventämiseksi. Kun voideltavat kohteet oli kirjattu ylös, alettiin tut-  
kia laitevalmistajien manuaaleja. Laitevalmistajan mukaan tähän työhön oleellisia  
tietoja löytyi vaihtelevasti. Kuitenkin manuaaleista löytyi kohtalaisen hyvin lait-  
teissa käytettävien laakereiden, tiivisteiden ja laakeripesien tietoja, joista saatiin ke-  
rättyä tutkituille laitteille työn sivutuotteena pienimuotoiset varaosalistat (LIIT-  
TEET 4, 5 ja 6). Lisäksi manuaaleista löytyi laitteiden pyörimisnopeuksia, joita käy-  
tettiin myöhemmin jälkivoiteluarvoja määrittäessä. Kohteita kartoitettaessa mie-  
tittiin myös laitteiden käyttöolosuhteita, jotka vaikuttavat jälkivoiteluun. Tämän jäl-  
keen selvitettiin laakerien valmistajilta laitteissa käytettävien laakerien mitat ja  
muut tarvittavat tiedot.

### **8.3 Rasvauslistan laatiminen**

Ennakkohuoltoon kuuluvat laitteiden rasvaukset suoritetaan Kokkolan Voimalla  
kahden kuukauden sykleissä. Kaikkia laitteita ei voidella samalla kerralla, vaan  
kohteet on jaettu ryhmiin, jotka voidellaan eri voitelukierroksilla. Tämä mahdollis-  
taa sen, että kunnossapitohenkilöstö käy alueella useammin. Sen ansiosta yhtä lai-  
teryhmää voideltaessa voidaan suorittaa kunnonvalvontaa myös muille laitteille.  
Tämänkin työn rasvauslistat on jaettu kolmeen osaan, polttoaineen syöttö (LIITE 1),  
tuhkan- ja hiekankäsittelyyn (LIITE 2) sekä pumppuihin ja puhaltimiin (LIITE 3),  
vaikka kohteita ei ole kovin monta. Kahden kuukauden rasvausväli ei välttämättä  
ole optimaalinen voideltaville kohteille. Useiden tutkittavien laitteiden pyörimis-  
nopeudet ovat niin hitaita, että laskennat antavat todella pitkiä rasvausvälejä, mutta  
kunnonvalvonnan takia väli kannattaa pitää kahdessa kuukaudessa. Lisäksi tasai-  
set voiteluvälit selkeyttävät kunnossapitohenkilöstön työtä. Rasvauslistat tehtiinkin  
tämän kahden kuukauden syklin mukaan.



Voitelurasvoina tässä työssä tutkittavissa kohteissa käytetään Neste Oil allrex EP2- ja EP3-rasvoja. EP2-rasva on yleisrasva, jota käytetään melkein kaikissa laitteissa. EP3-rasvaa käytetään sähkömoottoreissa. Rasvauslistoihin on erikseen merkitty kohteet, joissa käytetään EP3-rasvaa. Laitteissa on myös muutama voideltava ketju. Niiden voiteluun käytetään synteettistä voiteluöljyä Sabeston HHS 2000.

Kuten aiemmin ilmeni, kannattaa jälkivoitelu varsinkin vaikeissa olosuhteissa määrittää kokemuspohjaisten tietojen perusteella. Voimalaitoksella osa laakereista on ulkona sään armoilla ja ympäristö välillä erittäin likainen (KUVIO 17), joten tarkkoja laskentamenetelmiä on vaikea soveltaa. Tämän takia voideltavat kohteet käytiin läpi kunnossapitotyöntekijöiden kanssa. Työ eteni siten, että jokaiseen voideltavaan laakeriin mietittiin siihen lisättävä rasvamäärä, joka merkittiin rasvauslistaan keltaiseen kenttään. Lisäksi mietittiin listaan merkittävälle kohteille looginen järjestys, jossa kohteet ovat siten kuin ne kannattaa rasvata. Tällä vältetään turhaa edestakaista kulkemista laitteiden välillä. Esimerkiksi polttoaineensyöttölaitteiston listassa kiertäväkolakuljetin on jaettu kahteen osaan, koska välissä olevat kiekko-seula ja siilokolakuljettimen taittopää kannattaa rasvata matkalla kiertäväkolakuljettimen taittopäältä vetopäälle. Listoihin merkittiin myös laitteen nimen oheen sen positio, jotta laite on helpompi löytää, vaikka ei ole ennen sitä nähnyt. Valmiiden rasvauslistojen tiedot voidaan syöttää PowerMaint- järjestelmään, josta kunnossapitohenkilöstö voi niitä hyödyntää.



KUVIO 17. Laakeripesä, Kokkolan Voima

#### 8.4 Ongelmakohdat

Rasvauslistaa laatiessa ilmeni muutamia kunnossapidon kannalta ongelmallisia kohteita. Joidenkin laakereiden luokse oli myös hankala päästä, joten niiden nipat päätettiin putkittaa. Näin ei tarvita erillisiä työtasoja ja vältetään työturvallisuudelle vaarallista kiipeilyä. Putkitettavat nipat merkittiin listoihin erillisinä huomioina. Useimmat laakerit ovat helposti nähtävissä, mutta muutamissa kohteissa ei putkituksen jälkeen päästäisi enää näkemään koko laakeria rasvausvaiheessa. Esimerkiksi tuhkakontin levitysruuvien käyttöpään laakeri on pulteilla kiinnitetyn luukun takana (KUVIO 18), ja sähkösuodattimen ruuvien vapaapäätä ei näe lattiatasolta. Vaikka putkitus helpottaa rasvausta, se saattaa vaikeuttaa laakerin silmämääräistä kunnonvalvontaa. Lisäksi huomioitava kohde oli yksi purkuruuvien laakeripesä, joka täytyy kääntää. Putkitukset ja muut parannukset merkittiin myös rasvauslistoihin.



KUVIO 18. Tuhkakontin moottorin suojaluukku, Kokkolan Voima.

### 8.5 Jälkivoitelun määrittäminen laskentayhtälöllä

Suurimmassa osassa koneista, joille voitelulista tässä työssä tehtiin, on erittäin hitaasti pyöriviä laakereita. SKF:n teknisen asiantuntijan kanssa käydyn puhelinkeskustelun mukaan hitaasti pyörivien laakereiden rasvamääriä ei voida määrittää laskentaohjelmalla, vaan täytyy käyttää laskukaavoja ja lisätä olosuhteiden aiheuttamia kertoimia kokemusten mukaan (Pihtola 2013). Rasvauslistoja laadittaessa tarvittavat rasvamäärät määritettiin kunnossapitohenkilöstön kokemuspohjaisten tietojen mukaan. Tässä luvussa määritetään rasvamäärät SKF:n ohjeistamalla yhtälöllä:

$$G = D \times B \times V$$

Kertoimena  $V$  ohjeistettiin käyttämään lukua 0,005. SKF:n huolto-ohjeessa tätä kerrointa käytetään, jos rasvausväli on yksi kuukausi, mutta se soveltuu myös tässä tapauksessa. Esimerkiksi ryöstöruuvissa käytettävälle SKF 2312E -laakerille saatiin

laskettua rasvamääräksi 20,15 grammaa. Lasketut määrät merkittiin voitelulistoihin sinisiin kenttiin. Yhtälöllä laskettuja alustavia rasvamääriä voitiin verrata kunnossapitohenkilöstön antamiin arvoihin. Vertailun avulla saatiin viitteitä siitä, kuinka paljon kokemuspohjaisen tiedon perusteella määritetyt arvot voivat poiketa laakerinvalmistajien antamista ohjearvoista varsinkin hitaasti pyörivillä koneilla.

## 9 TULOKSET JA POHDINTA

Työtä tehtäessä huomattiin, että todellisia rasvamääriä on vaikea määrittää epäedullisten olosuhteiden takia. Normaaleissa tilanteissa SKF:n laskentaohjelma antaa tarkkoja arvoja, koska se ottaa huomioon myös lämpötilan, likaisuuden ja kosteuden, mutta koska tutkittavat laitteet pyörivät niin hitaasti, ei sen käyttö ollut mahdollista. Laskentayhtälöllä laskettaessa saatiin enemmän oikeaan suuntaa viittaavia arvoja. Yhtälöllä saatuja arvoja ja kunnossapitohenkilöstön antamia arvoja verrattaessa huomattiin, että kokemuksen perusteella lisättävä rasvamäärä on melkein kaikissa laitteissa pienempi kuin suoraan yhtälöstä saatu määrä. Lisäksi vertailussa täytyy ottaa huomioon, että yhtälö on tarkoitettu yhden kuukauden voiteluvälille todellisen kahden sijaan, mikä kasvattaa eroa entisestään. Mitään tarkkaa kerrointa ei voida kuitenkaan määrittää, koska rasvamäärät vaihtelevat täysin tilannekohtaisesti. Voitelulistoista ilmeni, että erittäin likaisissa ja sääolosuhteille alttiissa kohteissa lisättävä rasvamäärä oli suhteessa suurempi kuin paremmissa kohteissa, koska niissä rasvan nopeammalla vaihtuvuudella saadaan pidettyä laakerit puhtaampina.

Vaikeapääsyisille voitelukohteille pohdittiin myös vaihtoehdoksi automaattirasvausta, esimerkiksi lubrikaattoreita. Tämä vähentäisi kuitenkin kunnonvalvontaa, jota voitelukierrosten aikana tehdään. Lisäksi vaikeita kohteita on vain muutama, joten on suositeltavampaa käyttää näissä kohteissa nipponen putkitusta. Muutamissa esille tulleissa kohteissa, joihin lisätään putkitus, täytyy kunnossapitoryhmän muistaa määrääjain tarkastaa laakerit, joita ei voideltaessa nähdä. Näitä olivat tuhkakontin levitysruuvien käyttöpään laakeri ja sähkösuodattimen ruuvien vapaapään laakeri.

Kokkolan Voimalle tärkein asia tässä työssä oli voitelukohteiden määrittäminen. Kartoitus tehtiin jo aikaisessa vaiheessa työtä, jonka jälkeen ne pystyttiin lisäämään PowerMaintiin. Rasvamäärien määrittäminen kunnossapitohenkilöstön kanssa mahdollisti sen, että kohteet pystyy jatkossa voitelemaan myös sellainen henkilö, jolla ei ole kokemusta asiasta. Työn ohessa kerätty varaosalista nopeuttaa oikeiden osien löytymistä ja helpottaa kunnossapitotöitä. Liitteenä olevat voitelulistat ja varaosalistat ovat Excel-tiedostomuodossa Kokkolan Voimalle.

## LÄHTEET

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY oppimateriaalit Oy.

Anttila, 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., Vihersalo, J., Virtanen, I. & Vuolle, P. 2013. Teollisuusvoitelu. Käsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja nro: 8. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uudistettu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Järviö, J., Lappalainen, M., Parantainen, T., Piispa, T. & Åström, T. 2004. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja numero 10. Rajamäki: KP-Media Oy.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5., uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Kunnossapitoyhdistys Promaint Ry. 2010. Teollisuuden rasvavoitelu. Voitelutekninen toimikunta. Helsinki: KP-Media Oy.

Miettinen, J., Mikkonen, H., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.

Opetushallitus. Kunnossapito menestystekijä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/>. Luettu 21.11.2013.

Perttula, J. 2000. Energiatekniikka. Helsinki: WSOY.

Pihtola, M. 2013. Puhelinkeskustelu. 2.12.2013.

Pohjolan Voima. 2009. Kokkolan Voiman voimalaitos. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.pohjolanvoima.fi/filebank/249-22348-Kokkolan\\_Voiman\\_voimalaitos\\_.pdf](http://www.pohjolanvoima.fi/filebank/249-22348-Kokkolan_Voiman_voimalaitos_.pdf). Luettu 18.10.2013.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointi.

Rolling Bearing Damage. Recognition of damage and bearing inspection. 2008. Schweinfurt. Schaeffler KG.

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. painos. Suomen standardoimisliitto SFS.

SKF. 2010. Bearing maintenance handbook. SKF Group.

SKF. Voiteluaineratkaisut. Www-dokumentti. Saatavissa:  
<http://www.skf.com/fi/products/lubrication-solutions/index.html>. Luettu  
21.11.2013.

Tuliniemi, V-M. 2011. Kokkolan Energia. Yritysesitelmä. Oy Kokkola Power Ab.



Rasvauskierros polttoaineen syöttö						
	<b>Sulkuluukku</b>	<b>2EBA10AA101</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>SKF</b>	
1			5	2	14,85	
	<b>Ryöstöruuvi</b>	<b>2EBA10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>SKF</b>	
2	Vetopää		20	7	20,15	
3	Vapaapää		20	7	18,6	
	<b>Tasku</b>	<b>2EDA10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
4	Vetopää		35	7	2	62,35
5	Vapaapää		17	7	2	Nipan putkitus 71,2
6	Sylinterin tapit		5			
	<b>Repijätela</b>	<b>2EBC11AJ001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
7	Vetopää		25	7	1	32
8	Vapaapää		25	7	1	Nipan putkitus 32
	<b>Kiertäväkolakuljetin alempi</b>	<b>2EBA20AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
9	Taittopää ala		35	7	2	Nipan putkitus 46
10	Taittopää ylä		20	7	2	71,2
11	Mutka		20	7	2	71,2
12	Tukosvahti		4		2	
	<b>Kiekkoseula</b>	<b>2EBD20AT001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
13			14		16	Ketjun rasvaus 35,8
	<b>Siilokolakuljetin</b>	<b>2EBA30AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
14	Taittopää		35	7	2	Nippojen putkitus 41,4
	<b>Kiertäväkolakuljetin alempi</b>	<b>2EBA20AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
15	Vetopää		50	7	2	85
16	Tukosvahti		4			
	<b>Siilokolakuljetin</b>	<b>2EBA30AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
17	Vetopää		50	7	2	85
	<b>Nuohoin tasolla 17.600</b>					
18	Ketjun rasvaus					
	<b>Ruuvipurkaimet 1-4. Taso 14.800</b>	<b>2HFA10AF001,-002,-003,-004</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
19	Kiinteä pää		25			Yksi laakeripesä pitää kääntää 41,5
20	Vapaapää		25	7		140,4
	<b>Syöttöruuvi. Taso 12.300</b>	<b>2HFB10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
21	Kiinteä pää		30		1	41,4
22	Vapaapää		30	7	1	140,4
	<b>Sulkusyötin. Taso 12.300</b>	<b>2HFB10AF002</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom. SKF</b>
23			15	7	2	71,2

Rasvauskierron tuhkan- ja hiekankäsittely							
	<b>Petituhkaruuvi. Taso 4.800</b>	<b>2ETA10F001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
1		Kiinteä pää	25	7			53
2		Vapaapää	10	7			19,5
3		Jäähdytysletku	8		2	Molemmat päät	
	<b>Tuhkakolakuljetin. Taso 4.800</b>	<b>2ETA20AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
4		Vetopää	25	7	2		23,1
5		Kulma	15		2		43,7
	<b>Suppilotuhkasulkusyötin 1 ja 2. Taso 4.800</b>	<b>2ETG10AF001 2ETG11AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
6			10	5	2	Kyljessä lisäksi nipat	19,7
	<b>Tuhkakolakuljetin. Taso 4.800</b>	<b>2ETA20AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
7		Taittopää	25		2		18,6
	<b>Tuhkakontin levitysruuvi. Taso 4.800</b>	<b>2HDE10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
8		Käyttöpää	20	7			9,4
9		Vapaapää	20				19,7
10		Saranalaakerit	5				
	<b>Sähkösuodattimen ruuvi. Taso 4.800</b>	<b>2HDE10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
11		Käyttöpää	20	7			14,85
12		Vapaapää	15	7		Nippojen putkitus	12,5
	<b>Hiekkasulkusyötin. Taso 8.400</b>	<b>2HFC10AF001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
			10	5	2	Kyljessä lisäksi nipat	19,7

Rasvauskierron pumput ja puhaltimet							
			Laakeri (g)	Poksi (g)	Kpl	Huom.	SKF
	<b>Syöttövesipumput. Taso 4.800</b>	<b>2LAC10AP001 2LAC20AP001</b>					
<b>1</b>	Moottori	Akselin puoli	10				
		Roottorin puoli	10				
	<b>Primääripuhallin. Taso 4.800</b>	<b>2HLE10AN001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
<b>2</b>	Moottori		10				
		Akselin puoli	10				
		Roottorin puoli					
<b>3</b>	Puhallin						
		Käyttöpää	15			20,15	
		Vapaapää	15			20,15	
	<b>Savukaasupuhallin</b>	<b>2HNC10AN001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
<b>4</b>	Moottori						
		Akselin puoli	10				
		Roottorin puoli	10				
<b>5</b>	Puhallin						
		Käyttöpää	30			EP3	76,5
		Vapaapää	30			EP3	76,5
	<b>Sekundääripuhallin</b>	<b>2HLA10AN001</b>	<b>Laakeri (g)</b>	<b>Poksi (g)</b>	<b>Kpl</b>	<b>Huom.</b>	<b>SKF</b>
<b>6</b>	Moottori		10				
		Akselin puoli	10				
		Roottorin puoli					
<b>7</b>	Puhallin						
		Käyttöpää	15				14,85
		Vapaapää	15				14,85
<b>8</b>	Sekundäärikanavan säätöpelti 1-2	2HHL10AA001 2HHL10AA002	2 nippaa molemmissa akseleissa. Rasvataan tarvittaessa				
<b>9</b>	Tertiäärikanavan säätöpelti	2HLA20AA001	Yksi nippa näkyvissä. Rasvataan tarvittaessa				

Varaosalista polttoaineen syöttö										
1	Sulkuluukku	2EBA10AA101	Laakerityyppi	Kpl						
			SKF FYTJ 50 TF	2						
2	Ryöstöruuvi	2EBA10AF001	Pesä	Laakerityyppi	kpl	Poksi	Tiiviste	Kiristysrengas	Lukitusrengas	
			Vetopää	SNL 515-612	21312E	1	1	TSNL 312 L		2xFRB12,5/130
			Vapaapää	SNL 513-611	22213EK	1	1	TSNL 513 L	H 313	
3	Tasku	2EDA10AF001	Pesä	Laakerityyppi	kpl		Tiiviste	Kiristysholkki	Lukitusrengas	
			Vetopää	SNL 524-620	22224EK	2		TSNL 524 L	H3124	2xFRB14/215
			Vapaapää	Pystylaakeri	SYJ90TF	2				
4	Repijätela	2EBC11AJ001	Pesä	Laakerityyppi	kpl	Poksi	Tiiviste	Kiristysholkki	Lukitusrengas	
			Vetopää	SNL 518-615	22218EK	1		TSN 518 L	H 318	2xFRB12,5/160
			Vapaapää	SNL 518-615	22218EK	1		TSN 518 L	H 318	2xFRB12,5/160
5	Kiertäväkolokuljetin	2EBA20AF001	Pesä	Laakerityyppi	kpl	Poksi	Tiiviste	Kiristysholkki	Lukitusrengas	
			Vetopää	SNL 528	SKF 22228EK	2	2	TSN 528 L	H3128	2xFRB15/250
			Taittopää ylä	Laippalaakeri	SKF FYJ 90 TF	2	2			
			Taittopää ala	SNL 520-617	SKF 22220E	2	2		H320	2xFRB12/180
			Kulma	Laippalaakeri	SKF FYJ 90 TF	2				
			Tukosvahti		?	2				
6	Kiekkoseula	2EBD20AT001	Laakerityyppi	kpl						
			SKF FYJ60TF	16						
7	Siilokolokuljetin	2EBA30AF001	Pesä	Laakerityyppi	kpl	Poksi	Tiiviste	Kiristysholkki	Lukitusrengas	
			Vetopää	SNL 528	22228EK	2	2	TSN 528 L	H3128	2xFRB15/250
			Taittopää	SNL 520	22220E	2	2	TSN 520 L	H320	2xFRB12/180
8	Ruuvipurkaimet 1-4	2HFA10AF001,-002,-003,-004		Laakerityyppi	kpl	Poksi				
			Kiinteä pää		KOYO SNK 520 U+ 22220 MB W 33	4				
			Vapaapää	KOYO UFC 322	4	4				
9	Syöttöruuvi	2HFB10AF001	Laakerityyppi	kpl	Poksi					
			Kiinteä pää	K 520 22220MB W	1					
			Vapaapää	KOYO UFC322	1	1				
10	Sulkusyötin	2HFB10AF002	Laakerityyppi	kpl	Poksi					
			Pystylaakeripesä	SKF SYJ90TF	2	2				

Varaosalista pumput ja puhaltimet					
1	Syöttövesipumput	2LAC10AP001	Pumppu	Laakerityyppi	
		2LAC20AP001			
			Käyttöpää	7309 BECBM	
			<b>Moottori</b>		
			Akselin puoli	1 nippa	
	roottorin puoli	1 nippa			
<hr/>					
2	Primääripuhallin	2HLE10AN001	Puhallin	Laakerityyppi	Pesä
			Käyttöpää	6312	kaksoislaakeripesä RCM-AL-60
			Vapaapää	6312	
			<b>Moottori</b>		<b>Rasva</b>
	Akseihin puoli	1 nippa	DE 6314 C3 DIN 625 41		
	Roottorin puoli	1 nippa	NE 6314 C3 DIN 625 41		
<hr/>					
3	Sekundääripuhallin	2HLA10AN001	Puhallin	Laakerityyppi	Pesä
			Käyttöpää	6310	kaksoislaakeripesä RCM-AS- 50
			Vapaapää	6310	
			<b>Moottori</b>		<b>Rasva</b>
	Akseihin puoli	1 nippa	DE 6312 C3 DIN 625		
	Roottorin puoli	1 nippa	NE 6310 C3 DIN 625 41		
<hr/>					
4	Savukaasupuhallin	2HNC10AN001	Puhallin	Laakerityyppi	Pesä
			Käyttöpää	23218 K C3	Pystylaakeripesä SNL 518-615
			Vapaapää	23218 K C3	Pystylaakeripesä SNL 518-615
			<b>Moottori</b>		<b>Rasva</b>
	Akseihin puoli	1 nippa	DE 6316 C3 DIN 625		
	Roottorin puoli	1 nippa	NE 6314 C3 DIN 625 41		
<hr/>					
Moottorin tyyppi WEM MOTORS: WE1R 280M 4NS LL T WS HW					
<hr/>					
4	Sekundäärikanavan säätöpelti 1-2	2HHL10AA001	2 nippaa molemmissa akseleissa		
		2HHL10AA002			
<hr/>					
5	Tertiäärikanavan säätöpelti	2HLA20AA001	1 nippa näkyvissä		

Varaosalista tuhkan- ja hiekankäsittely											
1	Petituhkaruuvi	2ETA10F001	Laakerityyppi	kpl							
						Kiinteä pää	FAG F522WB+ 2222ESK+H322+FRM200/10	1			
						Vapaapää	KOYO UCF 312	1			
2	Tuhkakolakuljetin	2ETA20AF001	Laakerityyppi	kpl	Pesä						
						Vetopää	22216E (222216E)	2	SNL 516-613		
						Kulma	Laippalaakeriyksikkö FYJ70TF	2			
						Taittopää	22213EK	2	SNL 513-611		
3	Suppilotuhkasulkusyötin 1 ja 2	2ETG10AF001 2ETG11AF001	Laakerityyppi	kpl	Poksi						
							Pystylaakeriyksikkö SKF SYJ 40 TF	2	2		
4	Tuhkakontin levitysruu	2HDE10AF001	Laakerityyppi	kpl	Poksi						
						Käyttöpää	KOYO UKF 209+ holkki	1	1		
						Vapaapää	KOYO UCF 208	1	?		
5	Hiekkasulkusyötin	2HFC10AF001	Laakerityyppi	kpl	Poksi						
							Pystylaakeriyksikkö SKF SYJ 40 TF	2	2		
6	Sähkösuodattimen ruu	2HDE10AF001	Laakerityyppi	kpl	Pesä	Poksi					
							Vetopää	21310E	1	SNL 512-610	1
							Vapaapää	22211EK	1	SNL 511-609	1