

Erkka Uimonen

## **Voimalaitoksen ennakkohuoltolistojen dokumentointi**

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Erkka Uimonen

Työn nimi: Voimalaitoksen ennakkohuoltolistojen dokumentointi

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 94

Liitteiden lukumäärä: 18

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoen voimalaitokselle, joka oli opinnäytetyöprosessin alussa Vaskiluodon Voima Oy:n omistuksessa siirtyen myöhemmässä vaiheessa EPV Energia Oy:n omistukseen. Työssä tutustutaan voimalaitoksen ennakkohuoltolistojen dokumentointiprosessiin. Työ rajattiin koskemaan 4 ja 12 viikon ennakkohuoltolistoja, joita varten dokumentoitiin kuvia ja tietoja huollettavista kohteista.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kunnossapitoon ja sen suunnitteluun, teollisuusvoiteluun sekä kulumiseen. Työssä tarkastellaan erilaisia kunnossapitolajeja, teollisuusvoitelun perusteita, kitkaa ja kulumis- ja voitelumekanismia. Lisäksi työssä tutustutaan erilaisiin voiteluaineisiin ja niiden koostumuksiin.

Dokumentointia varten voimalaitoksen voitelukohteista kerättiin tietoa vanhoista voitelulistoista sekä henkilökunnalta. Tämän lisäksi osa tiedoista saatiin käymällä tutustumassa huollettaviin kohteisiin. Opinnäytetyöraportin teoriaosuutta varten tietoa kerättiin yrityksiä kotisivuilta, standardeista, tutkimusraporteista sekä alan kirjallisuudesta.

Tuloksena opinnäytetyöstä saatiin kaksi PowerPoint-esitystä, jotka pitävät sisällään tiedot huoltokohteista, niiden sijainnista, voiteluväleistä, voiteluaineista, voiteluaine- ja voitelunippamäärästä sekä tarvittavista työvälineistä. Lisäksi esityksissä on kuvat huoltokohteista sekä rakennusten kerroksien pohjapiirroksista, joihin on merkittynä huollettavat kohteet. Tuloksena saatiin myös muutamia kehitysehdotuksia sekä esiselvityslomake, jota käytetään tukena tiettyjen huoltokohteiden voitelujen selvittämisessä.

Avainsanat: Voimalat, voitelu (tekniikka), voiteluaineet, kunnossapito, kuluminen, tribologia

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Erkkä Uimonen

Title of thesis: Documentation of power plant's predetermined maintenance lists

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2018

Number of pages: 94

Number of appendices: 18

---

The thesis was prepared for the Seinäjoki power plant, which was owned by Vas-kiluodon Voima Oy in the beginning and was bought by EPV Energia Oy after-wards. The thesis introduced the documentation process of predetermined maintenance lists. The selected lists for the documentation were the 4 and 12 weeks maintenance lists.

The theory part of the thesis consisted of maintenance and the planning of it. In-dustrial lubrication and wearing were also a part of it. Various maintenance types, basics of industrial lubrication, friction, wear and lubrication mechanisms were ex-aminated. Many kinds of lubricants and their textures were covered as well.

The information for the maintenance lists was gathered from the plant's old lubri-cation documents and from the staff. In addition, some of the information was ob-tained by visiting the power plant's maintenance objects. Information for the theory part of the thesis was found on the Internet and from literature on the subject.

The first result of the thesis was two PowerPoint presentations, which contained information on maintenance activities. The second result was a pre-research doc-ument, which would be needed to clarify the maintenance objects that need lubri-cation. As a third result, a few proposals for improvements were detected at the power plant.

Keywords: Power plants, lubrication (technology), lubricants, maintenance, wear-ing, tribology

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	10
1.2 Opinnäytetyön tavoite .....	10
1.3 Vaskiluodon Voima Oy.....	10
1.4 Seinäjoen voimalaitos .....	11
<b>2 KUNNOSSAPITO .....</b>	<b>13</b>
2.1 Kunnossapitolajit.....	16
2.2 Miksi tehdään ehkäisevää kunnossapitoa.....	19
2.3 Työkuormat .....	20
2.4 Suunnittelun periaatteet .....	21
2.4.1 Suunnittelussa huomioon otettavat asiat .....	23
2.4.2 Seisokkisuunnittelu .....	26
2.5 Aikataulutus .....	27
<b>3 TEOLLISUUSVOITELUN PERUSTEET.....</b>	<b>29</b>
3.1 Pintojen välinen kosketus.....	29
3.1.1 Kitka- ja kulumismekanismien keskeiset käsitteet ja pääpiirteet .....	31
3.1.2 Kulumiseen vaikuttavat tekijät.....	37
3.1.3 Voiteluaineen viskositeetti.....	41
3.1.4 Voitelumekanismit.....	43
3.2 Voiteluaineet .....	54
3.2.1 Peruskäsitteet .....	54
3.2.2 Voitelurasvat .....	57
3.2.3 Kiinteät voiteluaineet.....	61
3.2.4 Voiteluöljyt.....	62
3.2.5 Lisäaineet.....	67

3.2.6	Voiteluaineiden sekoitettavuus.....	69
4	ENNAKKOHUOLTOLISTOJEN DOKUMENTOINTI SEVOLLA.....	71
4.1	Lähtötilanne .....	71
4.2	Suunnittelu ja dokumentointi .....	77
4.3	Tuotokset .....	78
4.3.1	4 ja 12 viikon ennakkohuoltolistat .....	78
4.3.2	Esiselvityslomake.....	83
4.4	Testaus .....	84
4.5	Ongelmat .....	87
4.6	Kehityskohteet.....	87
5	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	89
	LÄHTEET .....	91
	LIITTEET .....	94

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Seinäjoen voimalaitos Sevo (Vaskiluodon Voima Oy, [viitattu 7.3.2018]). .....	11
Kuvio 2. Seinäjoen voimalaitoksen prosessikaavio (Sevo -esite 2017).....	12
Kuvio 3. Kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen (Siekinen 1998, Järviön 2004a, 17 mukaan). ....	14
Kuvio 4. Kunnossapitotehtävien suunnitteluprosessi (Järviö 2004d, 69). ....	24
Kuvio 5. Vastinpintojen kontaktigeometrejä (Salonen 2007a, 21).....	30
Kuvio 6. Kuluminen luokittelu kulumismekanismien sekä kuluttavan rasituksen mukaan (Cizchos & Habig 1992, Salosen 2007b, 101 mukaan).....	33
Kuvio 7. Abrasiivinen kuluminen (Stecki 2009, 4/25). ....	35
Kuvio 8. Adhesiivinen kuluminen (Stecki 2009, 4/20). ....	36
Kuvio 9. Väsymiskuluminen (Stecki 2009, 4/23). ....	37
Kuvio 10. Liukoisuuskartta (Salonen 2007d, 124).....	41
Kuvio 11. Voiteluöljyn ja voitelurasvan leikkausjännityksen muutos leikkausnopeuden suhteen (Miettinen & Lehtovaara 2006, 19). ....	42
Kuvio 12. Voitelurasvojen kovuuden määrittäminen (Luukkainen 2006, 109). ....	43
Kuvio 13. Voitelumekanismit (Holmberg 1984, Kiviojan 2007b, 130 mukaan). ....	44
Kuvio 14. Stribeckin käyrä (Bosch 2003, 268). ....	47
Kuvio 15. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate (Miettinen & Lehtovaara 2006, 22).....	48
Kuvio 16. Painejakauma ja voitelukalvon muoto elastohydrodynaamisessa voitelussa (Holmberg & Holvio 1984, Kiviojan 2007c, 147 mukaan). ....	50

Kuvio 17. Työn kuvaus lähtötilanteen 4 viikon ennakkohuoltolistasta.....	72
Kuvio 18. Työn kuvauksen ensimmäinen osa lähtötilanteen 12 viikon ennakkohuoltolistasta. ....	73
Kuvio 19. Työn kuvauksen toinen osa lähtötilanteen 12 viikon ennakkohuoltolistasta. ....	73
Taulukko 1. Vuorokauden seisokkikustannushinta teollisuudessa.....	15
Taulukko 2. Rasvavoitelun positiivisia ja negatiivisia puolia öljyvoiteluun verrattuna vierintälaakereissa .....	52
Taulukko 3. Teollisuusöljyjen viskositeettiluokitus.....	56
Taulukko 4. Nafteeni- ja parafiinipohjaisten mineraaliöljyjen ominaisuuksia .....	63
Taulukko 5. Eräiden synteettisten voiteluaineiden ominaisuuksia verrattuna mineraaliöljyyn .....	65

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>AW</b>	Antiwear, kulumisenestolisäaine.
<b>C<sub>A</sub></b>	Aromaattiset hiilivetytyypit.
<b>C<sub>N</sub></b>	Nafteeniset hiilivetytyypit.
<b>C<sub>P</sub></b>	Parafiiniset hiilivetytyypit.
<b>EHL</b>	Elastohydrodynamic lubrication, elastohydrodynaaminen voitelu.
<b>EP</b>	Extreme pressure, paineenkestolisäaine.
<b>FM</b>	Friction modifier, kitkanalennuslisäaine.
<b>Henkilötyövuosi</b>	Kokoaikaiseksi muutetun henkilön työpanos.
<b>ISO</b>	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
<b>JV-pumppaamo</b>	Jäähdytysveden pumppaamo.
<b>KKS</b>	Kraftwerk Kennzeichen System, voimalaitoksen tunnistusjärjestelmä.
<b>Luvo</b>	Luftvorwärmer, polttoilman esilämmitin.
<b>NLGI</b>	National Lubrication Grease Institute, voitelurasvojen ominaisuuksia ja käyttöä tutkiva sekä kehittävä keskusorganisaatio.
<b>PAO</b>	Polyalfaolefiini.
<b>PTFE</b>	Polytetrafluorieteeni, teflon.
<b>RCM</b>	Reliability-centered maintenance, luotettavuuskeskeinen kunnossapito.



<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers, autoalan standardisointijärjestö.
<b>Sevo</b>	Seinäjoen voimalaitos.
<b>TAN</b>	Total acid number, kokonaishappoluku.
<b>TBN</b>	Total base number, kokonaisemäsluku.
<b>Tribologia</b>	Voitelua, kitkaa ja kulumista tutkiva tieteenala.
<b>VHVI</b>	Very high viscosity index, erittäin korkea viskositeetti-indeksi.
<b>VI</b>	Viskositeetti-indeksi.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Eläköityminen ja organisaation tiettyjen osien ulkoistaminen on vaikuttanut siihen, että enenevässä määrin voimalaitoksen ennakkohuollot ostetaan palveluna joltain yritykseltä. Tällöin on mahdollista, että huoltotoimenpiteen suorittaja voi olla eri henkilö jokaisella kerralla, kun huoltotoimenpiteitä joudutaan suorittamaan. Koska kyseinen henkilö saattaa olla töissä voimalaitoksella ihan ensimmäistä kertaa, hänellä on puutteita tärkeistä tiedoista, joita hän tarvitsee suorittaakseen hänelle annetun työn. Näiden syiden takia on nähty tarpeelliseksi uudistaa ennakkohuoltolistoja niin, että ne ovat tiedoiltaan ja ohjeistukseltaan entistä kattavammia ja selkeämpiä.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja luoda korvaavia ennakkohuoltolistoja vanhojen ja tiedoiltaan puutteellisten listojen tilalle. Lisäksi tavoitteena on myös dokumentoida ennakkohuoltolistoissa olevien huoltokohteiden tiedot mahdollisimman tarkasti, samalla listojen ollessa selkeät ja helppolukuiset. Opinnäytetyön aihe rajattiin käsittämään voimalaitoksen 4 ja 12 viikon ennakkohuoltolistoja.

## 1.3 Vaskiluodon Voima Oy

Vaskiluodon Voima Oy on yhtiö, jonka omistavat yhdessä tasaosuuksin EPV Energia Oy ja Pohjolan Voima Oy. Yhtiön voimalaitokset sijaitsevat Vaasassa ja Seinäjoella, ja niillä tuotetaan mankala-periaatteella sähköä ja kaukolämpöä. Vuoden aikana voimalaitokset tuottavat yhdessä sähköä noin 2 %:n verran koko Suomen tarpeista. (Vaskiluodon Voima -esite 2017.) Opinnäytetyöprosessin aikana EPV Energia Oy ja Pohjolan Voima Oy sopivat liiketoimintakaupasta 1.3.2018, jossa yhtiöiden puoliksi omistama Vaskiluodon Voima Oy myy EPV Energialle

Seinäjoen voimalaitostoiminnot sekä yhtiön maaomaisuuden (EPV Energia, [viitattu 20.3.2018]).

Suomen sähköntuotannossa yli 40 % sähköstä tuotetaan mankalaperiaatteella. Mankalatoimintamallissa yritys myy tuottamansa sähkön osakkailleen omakustannushintaan, ja kustannukset jaetaan omistusosuuksien suhteessa. Mankalayrityksen tavoitteena ei siis ole tuottaa voittoa, eikä myöskään jakaa osinkoa, vaan omistajat ansaitsevat hyödyn käyttämällä tuotetun energian tai myymällä sen edelleen. (Vaskiluodon Voima -esite 2017.)

#### 1.4 Seinäjoen voimalaitos

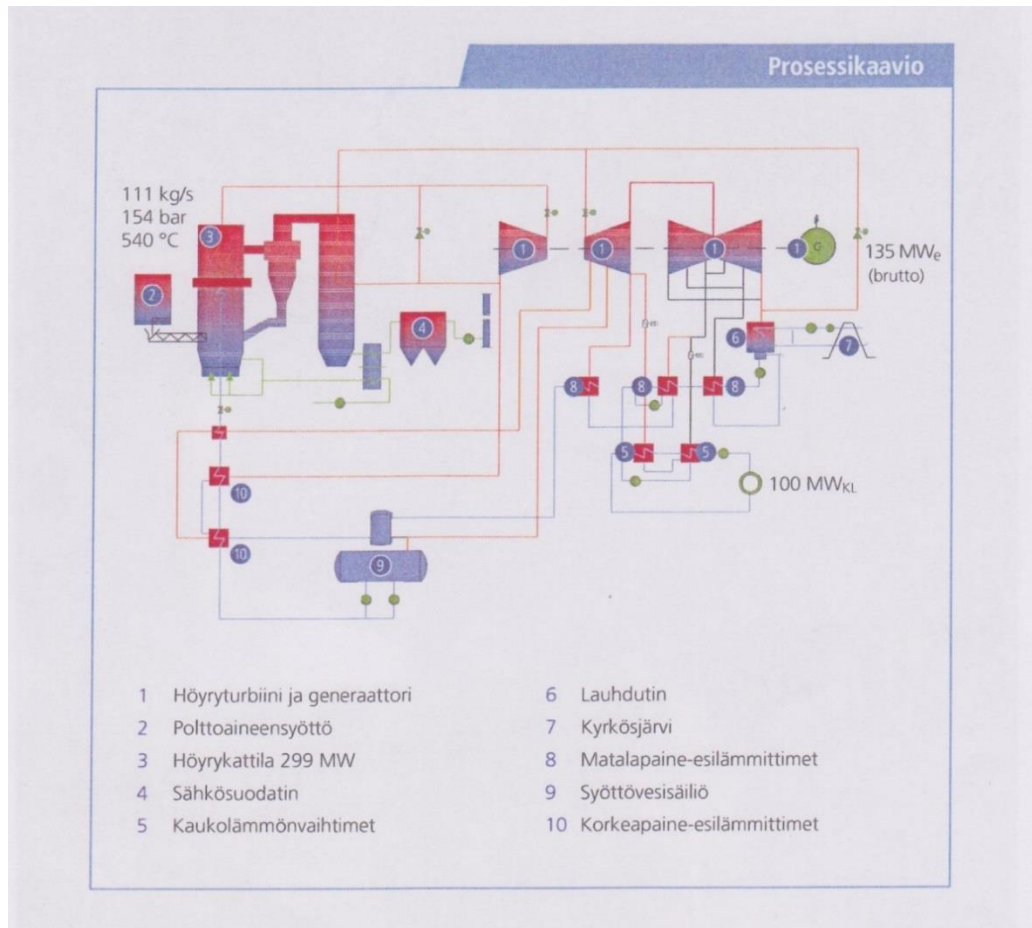


Kuvio 1. Seinäjoen voimalaitos Sevo (Vaskiluodon Voima Oy, [viitattu 7.3.2018]).

Seinäjoen voimalaitos, Sevo, on vuoden 1990 syksyllä käyttöön otettu voimalaitos. Se sijaitsee Kyrkösjärven rannalla noin kuuden kilometrin päässä Seinäjoen kaupungin keskustasta. Voimalaitos kykenee tuottamaan sähköä 120 megawatin teholla ja kaukolämpöä Seinäjoen kaupungille 100 megawatin teholla. (Sevo -esite 2017.) Voimalaitoksen tuottama kaukolämpö kattaa noin 90 % Seinäjoen kaupungin tarpeista (Vaskiluodon Voima -esite 2017). Kuviossa 1 on esitetty kuva Seinäjoen voimalaitoksesta.

Polttoaineena voimalaitoksen kiertoleijukattilassa käytetään turvetta ja biopolttoaineita. Enenevässä määrin käytetään puupolttoaineita, kuten haketta. Polttoainetta hankitaan useilta maakunnan yrittäjiltä, jolloin voimalaitoksen suora työllistämis-

vaikutus on noin 265 henkilötyövuotta. Vaikutuksesta johtuen, vuodessa aluetalouteen siirtyy rahaa noin 25 miljoonaa euroa. (Vaskiluodon Voima -esite 2017.) Höyryturbiini on kolmiosainen väliottolauhdeturbiini, jossa on säädetyt väliotot matalapaineosassa. Väliottoja on yhteensä kuusi kappaletta. (Sevo -esite 2017.) Seinäjoen voimalaitoksen prosessikaavio on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Seinäjoen voimalaitoksen prosessikaavio (Sevo -esite 2017).

Seinäjoen voimalaitoksen rakennusvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota ympäristötekijöihin. Ratkaiseva kattilatyypin valintaperuste olivat ympäristöpäästöt. Kiintoaineen erottamiseen voimalaitoksella käytetään sähkösuodinta. (Sevo -esite 2017.) Sivutuotteena voimalaitoksella syntyy tuhkaa noin 20000 tonnia vuodessa, joka menee 100-prosenttisesti hyötykäyttöön maanrakennusaineena. Tuhkaa käytetään maanrakennuskohteiden pohjarakenteisessa, jolloin siitä saadaan routimatton, kevytrakenteinen ja kantava. (Vaskiluodon Voima -esite 2017.)

## 2 KUNNOSSAPITO

Kunnossapidolla tarkoitetaan eri asioiden pitämistä toimintakuntoisina siten, että niiden toimivuus on luotettavaa, ympäristö- ja turvallisuusriskit hallitaan sekä havaitut viat korjataan. Kunnossapitoa vaativia kohteita ovat muun muassa erilaiset koneet ja laitteet, rakennukset, tieverkostot sekä vesi- ja viemäriverkostot. (Järviö 2004a, 11.) Standardi SFS-EN 13306 määrittää kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (SFS-EN 13306 2017, 8).

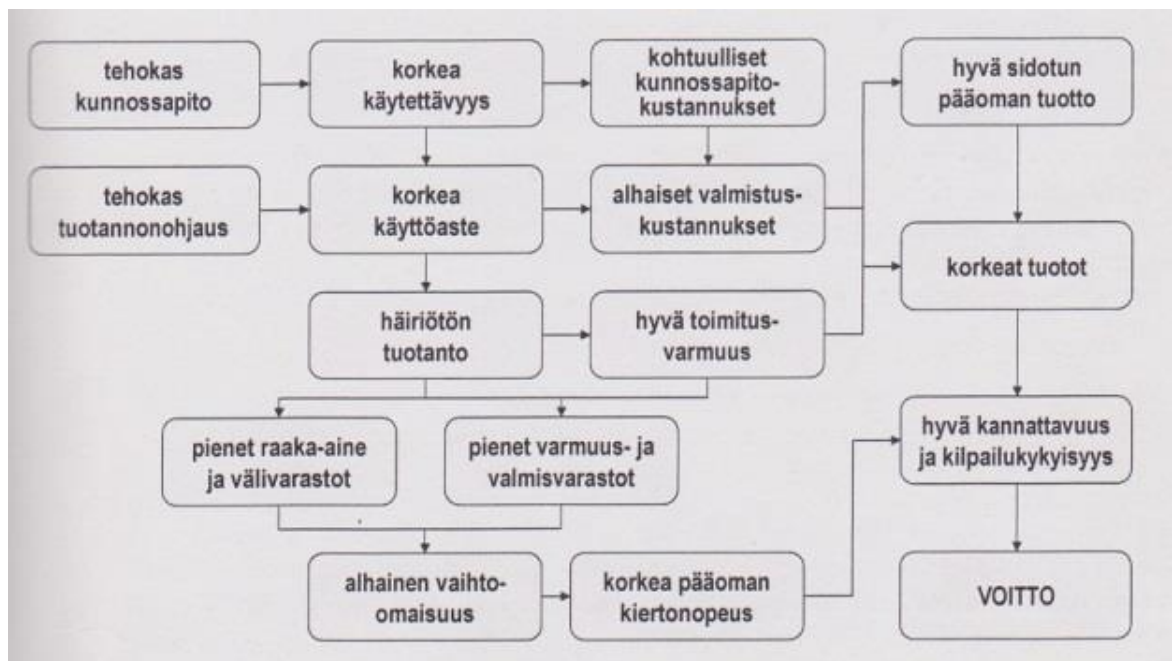
Kunnossapito on toimialoista riippumatonta toimintaa, mutta se ei tarkoita sitä, että se olisi samankaltaista eri toimialojen välillä. Kunnossapito on tarpeellinen osa-alue kaikkialla, missä on käytössä laitteita ja koneita. Teollisuuden toimialojen lisäksi kunnossapitoa tarvitaan myös niin sanotuilla ei-teollisilla toimialoilla, kuten terveydenhoidossa, kaupan ja logistiikan toiminnoissa sekä yhteiskunnan palveluiden tuotannossa. (Järviö 2004a, 11.)

Vuosituhanne vaihteessa kunnossapidon merkittäviksi kehittäjiksi muodostuivat kunnossapidon kustannukset, turvallisuus sekä ympäristöystävällisyys. Valmistusprosesseihin halutaan jatkuvasti investoida lisää pääomaa korkeampien tehojen sekä lisääntyneen automaation muodossa. Tästä johtuen kunnossapidon kustannukset ovat nousseet. Toisaalta kilpailukyvyyn säilymisen kannalta valmiin tuotteen kunnossapitokustannusten vähentäminen on yksi oleellisimmista asioista. Tämä tarkoittaa, että huolimatta kokonaiskustannusten noususta täytyy samalla määrällä rahaa saada aikaiseksi enemmän. Tämä taas johtaa määrärahojen ohjaamisen niihin kohteisiin, joissa niiden tuotto suurin. Näistä asioista huolimatta kunnossapidon kustannukset ovat olleet merkittävässä roolissa kehittämässä kunnossapitoa. Laadun merkitys korostuu automaation sekä tehokkuuden lisäämisen johdosta, joka ilmenee muun muassa asiakkaiden tyytyväisyytenä sekä haluna kehittää ja ylläpitää asiakas-toimittajasuhdetta, tuotteiden laadun tasaisuutena, laadusta aiheutuvien hävikkien pienenemisenä sekä toimitusaikojen hallittavuutena. Laadun

merkityksestä johtuen kunnossapidon sekä kunnossapitäjien rooli on erittäin tärkeä erilaisissa laatuprosesseissa. (Järviö 2004a, 15–16.)

Turvallisuuden näkökulmasta kunnossapidon kehitystä on tapahtunut merkittävästi ja sen onkin noussut yhdeksi tärkeimmistä asioista. Yksi tärkeä asia on, ettei työntekijää altisteta tapaturmille. Turvallisuusasiat voivat vaikuttaa kahdella eri tavalla, esimerkiksi viallinen kone on usein jo itsessään vaarallinen. Myös viallista konetta huoltava henkilö voi aiheuttaa vaaran, esimerkiksi huoltaja saattaa huoltoa tehdessään joutua tekemään toimenpiteitä, joita hän ei ole välttämättä harjoitellut tai hän ei osaa varautua niihin. (Järviö 2004a, 16.)

Ympäristöystävällisyyden merkitys on korostunut myös merkittävästi. Yrityksen toiminta voidaan päättää, mikäli se ei täytä viranomaisten asettamia määräyksiä ja usein päädytään samaan lopputulokseen, kun yritys ei täytä asiakaskuntansa asettamia vaatimuksia. Tällöin asiakaskunta lakkaa käyttämästä rahaansa yrityksen tuotteisiin, joka johtaa myös yrityksen toiminnan loppumiseen. (Järviö 2004a, 16.) Kuviossa 3 on esitetty kunnossapidon vaikutusta yrityksen kannattavuuteen.



Kuvio 3. Kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen (Siekkinen 1998, Järviön 2004a, 17 mukaan).

Teknologian kehittymisen johdosta tuotantojärjestelmien, koneiden sekä laitteiden monimutkaisuus on kasvanut. Samalla on myös lisääntynyt yhteiskunnan vaatimukset koneiden luotettavuuden, ympäristöriskien ja ihmisten turvallisuuden parantamiseksi sekä talouden valvomisen tehostamiseksi. Teollisuudessa yllättävät seisokit voivat aiheuttaa jopa satojen tuhansien päivätappiot, jonka vuoksi kunnossapito on erittäin tärkeää. (Helle 2006, 6.) Taulukossa 1 on esitetty seisokkitappioita eri prosessiteollisuuden aloilta.

Taulukko 1. Vuorokauden seisokkikustannushinta teollisuudessa (Holmberg ym. 2004, Helteen 2006, 6 mukaan).

<b>Teollisuudenalat</b>	<b>Seisokkikustannushinta / vuorokausi</b>
Öljynjalostamo	50000 €
Kaivos	100000 €
Hiilivoimalaitos	100000 €
Kemikaalitehdas	100000 €
Metallin jalostusprosessi	150000 €
Sellu- ja paperiteollisuus	200000 €
Ydinvoimalaitos	300000 €

Maailmanlaajuisesti kunnossapito on hyvin merkittävä liiketoiminta sekä työllistäjä. Vuonna 2003 Suomessa arvioitiin kansantalouden infrastruktuurin sisältävän noin 11,7 miljardin euron edestä kunnossapitoa, joka sisälsi muun muassa tiedonsiirron, teiden, ratojen, rakennusten, energian siirron ja jakelun sekä vesijohtojen ja viemäreiden kunnossapidon. Työpaikkojen kokonaismäärän kunnossapidossa arvioitiin olevan yli 200000, joista neljäsosa toimi teollisuuden palveluksessa. Kaikista teollisuuden palkansaajista kunnossapitäjien osuus oli noin 11 %. (Järviö 2004b, 20.)

## 2.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitoa on mahdollista luokitella monella eri tavalla. Standardi SFS-EN 13306 sisältää kunnossapitolajeista seuraavat käsitteet:

- ehkäisevä kunnossapito
- jaksotettu kunnossapito
- kuntoon perustuva kunnossapito
- ennustava/ennakoiva kunnossapito
- aktiivinen kunnossapito
- käyttövarmuuden parantaminen
- modifiointi
- modernisointi
- korjaava kunnossapito
- siirretty korjaava kunnossapito
- välitön korjaava kunnossapito
- aikataulutettu kunnossapito
- opportunistinen kunnossapito
- etäkunnossapito
- käynninaikainen kunnossapito
- lähikunnossapito
- koneenkäyttäjän suorittama kunnossapito/autonominen kunnossapito
- ulkoistettu kunnossapito
- kunnossapitotasoon perustuva kunnossapito. (SFS-EN 13306 2007, 34–41.)

Kunnossapitoyhdistys ry jakaa taas kunnossapidon viiteen käsitteeseen. Nämä käsitteet ovat huolto, ehkäisevä kunnossapito, korjaava kunnossapito, parantava kunnossapito sekä vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. (Järviö 2004c, 37.) Seuraavaksi perehdytään tarkemmin kyseisiin käsitteisiin.



**Huolto.** Huoltamalla ylläpidetään kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen kuin vaurio syntyy tai estetään vaurion syntyminen. Jaksotetulla huollolla tarkoitetaan huoltoa, joka suoritetaan tietyn määrävälein. Määrävalit voivat määräytyä käyttömäärän tai -ajan mukaan, kuitenkin ottaen huomioon käytön rasittavuuden. Jaksotetun huollon toimenpiteitä ovat muun muassa toimintaedellytysten vaaliminen ja käytön suorittama kunnossapito, toimintakyvyn palauttaminen, puhdistaminen, voitelu, huoltaminen, kalibrointi sekä kuluvien osien vaihtotyöt. Ehkäisevän kunnossapidon ja huollon tehtävät menevät osittain päällekkäin, koska huolto on yksi merkittävä toiminto vikaantumisen todennäköisyyden vähentämiseen, johon ehkäisevällä kunnossapidolla pyritään. (Järviö 2004c, 39–40.)

**Korjaava kunnossapito.** Korjaavan kunnossapidon tarkoitus on palauttaa vioittuvaksi todettu komponentti käyttökuntoon. Komponentin elinaika voidaan laskea korjaavan kunnossapidon suoritusajkojen avulla. Tämän tyyppin kunnossapito jaetaan kahteen luokkaan: suunniteltuihin ja suunnittelemattomiin. Näistä esimerkkeinä mainittakoon suunniteltu kunnostus ja häiriökorjaus. Korjaavan kunnossapidon toimenpiteitä ovat muun muassa toimintakunnon palauttaminen, vian määrittäminen, tunnistus ja paikallistaminen, korjaus sekä väliaikainen korjaus. (Järviö 2004c, 39.)

**Parantava kunnossapito.** Parantava kunnossapito jaetaan kolmeen ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä ei ole tarkoituksena muuttaa kohteen suorituskykyä, vaan siinä muokataan kohteen rakennetta käyttämällä alkuperäisiä osia uudempia komponentteja. Esimerkki tällaisesta toimenpiteestä on vanhojen tasavirtakäyttöjen vaihtaminen taajuusohjattuihin oikosulkumoottoreihin. Toiseen ryhmään kuuluvat erilaiset korjaukset sekä uudelleensuunnittelut, joilla pyritään parantamaan koneen luotettavuutta. Tällä ei kuitenkaan ole tarkoitus muuttaa koneen suorituskykyä. Viimeinen ryhmä koostuu modernisaatioista, joissa pyritään muuttamaan kohteen suorituskykyä. Modernisaatiossa yleensä uudistetaan koneen lisäksi myös valmistusprosessi. Tällaisia tilanteita, jossa on järkevämpää uudistaa vanha kone kuin ostaa uusi, esiintyy nykypäivänä yhä useammin. Tämä johtuu koneiden elinjaksojen pidentymisestä, jotka ovat pidempiä kuin koneen tuottamien tuotteiden elinkaaret. Tämän lisäksi tilanteeseen vaikuttaa, että vanhalla koneella ei ky-

ettäisi enää kilpailukykyisesti valmistamaan tuotteita, joita markkinat vaatisivat. (Järviö 2004c, 40–41.)

**Vikaantumisen ja vikojen selvittäminen.** Tätä kunnossapidonlajia ei ole alun perin ajateltu kuuluvan kunnossapidon toiminnoksi. Kuitenkin kansainvälisissä kunnossapitokonferensseissa on esitetty monia näytteitä kyseisten menetelmien onnistuneista käyttämisistä. Riskianalyyysien sekä vikaistorioiden käytöstä onkin muodostunut yksi tärkeimmistä voimista, joka ohjaa kunnossapitoa. Tällä selvitystyöllä pyritään saamaan selville vikaantumisen perussyyn sekä vikaantumisprosessi. Selvityksestä saatujen tulosten perusteella voidaan panna täytäntöön toimenpiteitä, joilla estetään samanlaisen vahingon toistuminen. Erikoisosaamisen vaatimuksesta johtuen analysointia vaativat kohteet tulee valita huolella, eikä jokaisesta vikaantumistilanteesta ole kannattava lähteä tekemään analyysijä. Tavanomaisia käytettyjä menetelmiä ovat muun muassa suunnittelun analyysit, vika-analyysit, vikaantumisen selvittäminen, mallintaminen, perussyyn selvittäminen, materiaali-analyysit, vikaantumispotentiaalin kartoitukset sekä riskien hallinta. (Järviö 2004c, 41.)

**Ehkäisevä kunnossapito.** Ehkäisevä kunnossapito sisältää kolme elementtiä, jotka ovat kunnostaminen, toimintaolosuhteiden vaaliminen sekä tarkastukset, joita suoritetaan säännöllisin määräajoin. (Järviö 2004d, 59). Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkkaillaan kohteen suorituskykyä tai sen parametreja. Sen tavoitteena on vähentää koneen toimintakyvyn heikentymistä ja vikaantumisen todennäköisyyttä. Ehkäisevä kunnossapito voi olla säännöllistä, mutta sitä voidaan myös tehdä tarpeen vaatiessa. Säännöllisellä ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, joka on aikataulutettua ja jatkuvaa. Tuloksien perusteella on mahdollista suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon eri tehtäviä, joita ovat muun muassa vikaantumistietojen analysointi, tarkastaminen, käynninvalvonta, määräystenmukaisuuden toteaminen, toimintakunnon toteaminen sekä kunnonvalvonta. Kunnonvalvonnalla pyritään etsimään oireilevia vikoja tai vaihtoehtoisesti havaintojen avustuksella toteamaan kohteen olevan toimintakuntoinen. (Järviö 2004c, 40.) Kuten jo aiemmassa vaiheessa todettiin, huollon ja ehkäisevän kunnossapidon tehtävät menevät osittain päällekkäin. Tästä esimerkkinä voiteluhuollon suorittaminen, jota voideltava kone tarvitsee kyetäkseen toimimaan suunnitellulla tavalla. Muita

tällaisia toimenpiteitä, jotka vaikuttavat koneen toimintaan, ovat muun muassa toimintaympäristön puhtaana pitäminen sekä konerakenteen ylläpito, jolla tarkoitetaan osien linjauksia ja liitosten kireyksiä. (Järviö 2004d, 59.)

Pääosin ehkäisevä kunnossapito koostuu suunnitelluista säännöllisistä toiminnoista, joita suoritetaan sekä koneen ollessa käynnissä että erilaisten seisokkien aikana, mukaan luettuna häiriöseisokit. Tämän kunnossapidon piiriin sisältyy myös ennustava kunnossapito, jonka tavoitteena on pyrkiä selvittämään erilaisin mittauksin koneen ja siihen kuuluvien komponenttien kuntoa. Mittaukset jaetaan kahden kategoriaan, suoriin ja epäsuoriin. Suorassa mittauksessa mitataan esimerkiksi värähtelyä ja kulumista. Epäsuorasta mittauksesta esimerkkinä mainittakoon öljyanalyysi, jossa analysoidaan voiteluaineen sisältämää metallipartikkelien määrää sekä niiden geometriaa. Värähtely- ja öljyanalyysien lisäksi mittaavana tekniikkana käytetään infrapunakuvausta. (Järviö 2004d, 59.)

## **2.2 Miksi tehdään ehkäisevää kunnossapitoa**

Mikäli koneelta edellytetään luotettavaa toimintaa ja että kone kykenisi suorittamaan vaaditun toiminnon halutulla tavalla, häiriötekijöitä ei saa esiintyä. Esimerkiksi lentokoneen tulee voida lentää lentokentältä toiselle ilman kunnossapidon hoitamia toimenpiteitä. Ehkäisevällä kunnossapidolla voidaan luotettavuus prosesseissa asettaa täyden varmuuden tasolle. Toisaalta tavallisessa teollisuudessa näin korkean varmuustason tavoittelu voi olla liian kallista, tällöin tavoiteltava luotettavuustaso asetetaan alemmalle tasolle. Luotettavuustason voidaankin näin ajatella olevan taloudellinen asia. Mikäli prosessin vioittuminen aiheuttaa ympäristöön tai turvallisuuteen kohdistuvia riskejä, on ne silti arvioitava, vaikka riskin arviointi pelkästään rahallisena on erittäin vaikeaa ja moraalisesti hyvin arveluttavaa. Tällaisia vakavia riskejä ovat muun muassa vakava ympäristövahinko, henkilön loukkaantuminen tai kuolema. Mikäli prosessissa on turvallisuuteen ja ympäristöön liittyviä riskejä ja niitä ei osata hallita eikä käsitellä asiallisesti, joutuvat yrityksen johtohenkilöstö vastaamaan viranomaisille, mikäli tällainen riski käy toteen. Riskien hallitsemisen lisäksi ehkäisevää kunnossapitoa suoritetaan taloudellisen merkityksen vuoksi. (Järviö 2004d, 59–60.) On todettu, että ehkäisevä kunnossapito on

huomattavasti halvempi tapa toimia verrattuna suunnittelemaan kunnossapitoon. Sama asia on useasti esitetty toteamalla, että valmiiksi suunnitellun työn tehokkuus on 4–10-kertainen verrattuna suunnittelemaan työhön. Tämän lisäksi suunnittele mattomasta kunnossapidosta aiheutuu välillisiä tappioita, jotka ovat huomattavasti suurempia kuin kunnossapidosta aiheutuvat välittömät kustannukset. (Järviö 2004d, 61.)

### 2.3 Työkuormat

Kunnossapidossa voidaan työkuorma erotella kolmeen osa-alueeseen:

- peruskuormitus
- karkeakuormitus
- hienokuormitus (Järviö 2004d, 62–63).

**Peruskuormitus.** Peruskuormitus rakentuu vuosisuunnitelman ja käyttösuunnitelman pohjalle. Kuorma sisältää jaksotetun kunnossapidon, kunnonvalvonnan tehtävät sekä suunnitellut seisokit, jotka pitävät sisällään myös vuosihuollot. Lisäksi kuormaan kuuluu mahdolliset investointityöt, kuten modernisaatiot. Peruskuorman suunnittelussa uusien toimintamallien mukaan lähtökohdiksi valitaan yrityksen liiketaloudelliset tavoitteet, joita ovat markkinatilanne, kasvutavoitteet, kustannustehokkuus, reagointikyky muutoksiin, kannattavuus, laatu sekä investointisuunnitelmat. Kun kyseiset lähtökohdat suhteutetaan yrityksen tämänhetkiseen toimintaan, joka koostuu nykyisestä toimintamallista, sidotusta pääomasta ja sen kunnosta, osaamisesta ja motivaatiosta, organisaatiosta sekä toimintakulttuurista, saadaan muodostettua yritykselle toiminnalliset tavoitteet, jotka asetetaan eri tuotantolinjoille. Viimeiseksi suunnitellaan kunnossapidon toimintamalli ja sen kautta peruskuormitus niin, että tuotantolinjojen toiminnalliset tavoitteet täyttyvät. Strategiset ratkaisut sisältyvät myös peruskuormaan, ne muun muassa määrittelevät, kuinka kunnossapitoa toteutetaan. Peruskuorma voi vaihdella peräkkäisinä toimintakausina. Tämä johtuu peruskuormituksen suunnittelusta, jossa on otettu huomioon muun muassa kasvutavoitteet sekä markkinatilanne. (Järviö 2004d, 62.)

**Karkeakuormitus.** Karkeakuormitukseen on sisällytetty työtehtäviä, joita ei ole otettu huomioon peruskuormituksessa, lisäksi ne on havaittu kunnonvalvonnan avulla. Karkeakuormituksen suunnitteluvaihe on yleensä noin 1–3 kuukauden pituinen. Suunnitelmat sisältävät työt, tarvittavat varaosat ja materiaalit. Karkeakuormituksessa on tavoitteena pyrkiä jo 80 % kuormitusasteeseen. (Järviö 2004d, 62.)

**Hienokuormitus.** Aikajänne hienokuormituksessa on noin 1–2 viikkoa. Ennalta suunniteltujen toimenpiteiden osuus on tämän tyyppin kuormituksessa 80 %. Jotta resurssien käyttö olisi tehokasta, täytyy toimenpiteillä olla noin 2–3 viikon toimitusaika ilman, että koneet vioittuvat tai niiden kunto kärsii kunnossapidon puutteessa. (Järviö 2004d, 63.)

## 2.4 Suunnittelun periaatteet

Edellytykset tehokkaalle ehkäisevälle kunnossapidolle ovat aikataulutusta sekä suunnitelmallisuus. Huolellisella työn suunnittelulla poistetaan viiveitä, joita ilmenee työnteon yhteydessä. Töiden väliin jäävät viiveet voidaan taas poistaa onnistuneella aikataulutamisella. Lopullisena tuloksena resurssien käyttäminen tehostuu ja laitteiden sekä koneiden vioittuminen saadaan niin hyvään hallintaan, kuin mahdollista ja viisasta on. Yksi hankalimmista kunnossapidon osa-alueista on ehkäisevän kunnossapidon suunnittelu. Koneen valmistajan suositukset, aikaisemmat kokemukset vikaantumisista sekä koneen ja sen osien toimintapa ovat tietoja, joiden perusteella ehkäisevän kunnossapidon työlistoja on perinteisesti laadittu. (Järviö 2004d, 63.)

Ehkäisevällä kunnossapidolla on siis pyritty estämään aiemmin esiintyneet vioittumistapaukset. Käytetyt huolto-ohjelmat ovat kuitenkin usein ylimitoitettuja tai ne sisältävät tehottomia menetelmiä. Osasyitä tähän ovat muun muassa liiallisen varmuuden tavoittelu sekä tietynlainen tahaton ylimitoittaminen suhteessa valmistajien antamiin ohjeisiin, joilla valmistajan on tarkoitus varmistaa tuotteensa asianmukainen toiminta. Edellä mainittuun ylimitoitukseen sekä tehottomiin menetelmiin on kehitetty RCM, josta Suomessa käytetään nimitystä luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Toinen vähän vähemmän tunnustusta saanut metodi perustuu

paikalliseen konekohtaiseen osaamiseen. Siinä käyttäjät sekä kunnossapitäjät viedään seuraamaan koneiden toimintaa. Näin pyritään kehittämään näille ryhmille tarkka tuntemus koneiden toiminnasta ja niiden rakenteista. (Järviö 2004d, 63.)

Yksi kunnossapidon merkittävimmistä pulmista on työn tekemisen kirjavuus. Suurissa sekä monissa eri toimipisteissä toimivissa kunnossapito-organisaatioissa on yleistä, että työn tilaajan saama palvelu hinnallisesti, sisällöllisesti sekä laadullisesti riippuu melko pitkälti itse työntekijästä. Ongelmat aiheutuvatkin tarkkojen ja selkeiden ohjeistuksien puutteesta, jolloin kukin kunnossapitäjä joutuu toimimaan oman kokemuksensa sekä osaamisensa puitteissa. Ainoa tapa poistaa kyseinen ongelma on huolellinen suunnittelu. Yrityksissä, jotka myyvät kunnossapitoa palveluna, on työsuoritteet jo ennalta ohjeistettu ja suunniteltu palvelutuotteiksi. Tällöin puhutaan töiden tekemisen perustuvan yhtenäiseen ohjeistoon sekä kokemusperäiseen suunnitteluun, jolloin on mahdollista päästä eroon yhden työntekijän tekemistä yksilöllisistä ratkaisuista samalla kunnossapitäjien työn muuttuessa yhtenäisemmäksi. (Järviö 2004d, 64.)

Suunnittelu ehkäisevässä kunnossapidossa riippuu suunniteltavan työn koosta. Mikäli on kyse tavallisesta, pienestä toimenpiteestä, ei ole kannattavaa panostaa liikaa sen suunnitteluun. On olemassa myös muita tilanteita, joissa ei ole käytännössä kannattavaa suunnitella. Esimerkiksi suunnitelmia ei ole kannattavaa tehdä, jos:

- on käytettävissä aikaisemmat yksityiskohtaiset suunnitelmat, joita voidaan käyttää hyödyksi
- tarpeellisia tarvikkeita tai varaosia ei tarvitse tilata tai varata, vaan niitä löytyy jo varastosta
- toimenpiteellä ei ole strategista tai historiallista merkitystä
- aika joka kuluu työn suorittamiseen, on vähäinen. (Järviö 2004d, 64.)

### 2.4.1 Suunnittelussa huomioon otettavat asiat

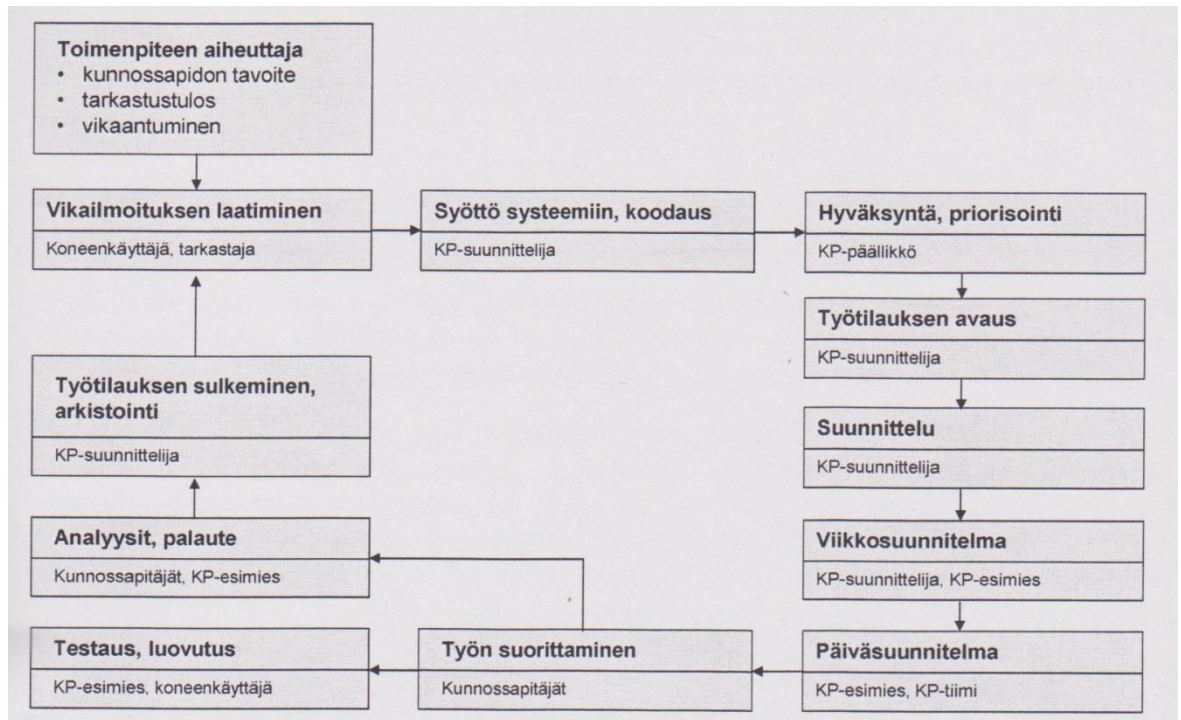
Suunnitteleminen työnä on erilaista verrattuna kunnossapitoon. Jotta voitaisiin ottaa käyttöön uudet sekä tehokkaat menetelmät, on kannattavaa eriyttää suunnittelijat muista kunnossapitäjistä. Lisäksi kyseinen eriyttäminen mahdollistaa myös tulevan työn suunnittelemisen. Suunnittelijoiden tulee keskittyä uusien työtehtävien suunnitteluun, ja jotta kunnossapitäjät pystyisivät hoitamaan työnsä suunnitellusti, tulee suunnittelijoiden toimittaa hyväksytyt ja valmiit työlistat kunnossapito-osastolle ainakin viikkoa aikaisemmin. (Järviö 2004d, 64.)

Työnjohtajat kunnossapito-osastolla käsittelevät jokapäiväiset työlistat sekä esiintyneet ongelmatapaukset. He antavat jokaisen työsuorituksen jälkeen suunnittelijalle palautetta, jossa käsitellään esiin tulleet ongelmat sekä muutokset suunnitelmissa. Lisäksi palautteessa annetaan suunnittelijalle tietoja, joita tarvitaan ohjeistuksen ja toiminnan kehittämiseen. Saamansa palautetiedon suunnittelijat syöttävät toiminnanohjausjärjestelmään niin, että seuraavalla kerralla ei synny muutoksia tai ongelmia. (Järviö 2004d, 64–65.)

Suunnitteluosasto on vastuussa toiminnanohjausjärjestelmän hoidosta, johon on tallennettu tiedot laitteista. Kyseisen järjestelmän avustuksella suunnittelijat tallentavat ennemmin tehtyjen toimenpiteiden ja töiden tiedot käytettäväksi kunnossapitotoimenpiteiden kehittämiseen sekä toistuvien korjausten suunnitteluun. Toimenpiteisiin sekä korjauksiin voidaan lisätä tarvittaessa taloudelliset tiedot modernisaatio- ja korjaustarpeen selvittämiseksi. Toiminnanohjausjärjestelmän käyttö tulee opettaa kaikille niille, jotka tarvitsevat työssään sinne tallennettuja tietoja. (Järviö 2004d, 65.)

Laatiessaan työsuunnitelmia suunnittelijat hyödyntävät toiminnanohjausjärjestelmään tallennettuja tietoa sekä omaa henkilökohtaista osaamistaan. Lisäksi he huomioivat työssään myös kunnossapitäjien ammatilliset taidot. Tärkeää on, että suunnitelmat tehdään tehokkaasti ja viiveittä ja että laatuun panostetaan riittävästi. Suunnitelmat laaditaan niin, että toimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti, tehokkaasti sekä laadukkaasti. Yleisesti ottaen suunnittelija tekee päätöksen siitä, mitä toimenpiteitä tehdään. Kunnossapitäjä taas päättää, kuinka annettu tehtävä suoritetaan. Suunnittelijan tehtävänä on siis määrittää tehtävän toimenpiteen laajuus

perustuen työtilaukseen sekä tilaajan antamiin toivomuksiin. Joskus toimenpide voi olla liian vaativa, jolloin suunnittelija voi lisätä työmääräimeen liitteeksi havain- toja sekä ohjeita, jotka on tallennettu toiminnanohjausjärjestelmään kyseisen toi- menpiteen yhteyteen. (Järviö 2004d, 65.) Kuviossa 4 on esitetty tavanomaisten työtehtävien suunnitteluprosessin eteneminen.



Kuvio 4. Kunnossapitotehtävien suunnitteluprosessi (Järviö 2004d, 69).

Toiminnan tehokkuutta mitataan tehokkaalla kunnossapitoajalla, johon ei sisälly aikaa, joka kuluu paperitöihin, työpaikalla tapahtuviin järjestelyihin, matkusteluun sekä työkalujen ja osien hankkimiseen (Järviö 2004d, 65). Amerikkalaiset käyttävät tehokkaasta kunnossapitoajasta termiä wrench time, joka suomeksi tarkoittaa jakoavainaikaa. Tällä tarkoitetaan aikaa, joka kuluu, kun kunnossapitäjä todellisuudessa kunnostaa koneen. (Järviö 2004d, 61.) Tärkeää koko toiminnan kannalta on, että suunnitelmat tallennetaan toiminnanohjausjärjestelmään, jolloin uudelleen suunnittelun määrä vähenee ja että eri häiriötilanteissa olisi käytettävissä mahdollisimman paljon jo aiemmin luotuja työsuunnitelmia. Asiat, jotka on huomioitu suunnittelun yhteydessä ja jotka tulisi löytyä työmääräimestä:

- työnnumero
- kohdelaitteen laitetiedot



- työtilauksen vastaanottoaika
- työtilauksen tekijä, lisäksi hänen yhteystiedot sekä mahdolliset lisätiedot
- haluttu korjausaika
- korjauksen prioriteetti
- suoritettava toimenpide
- toimenpiteiden määrittely
- tarvittava dokumentaatio
- tekijät
- ammattitaito sekä pätevyyydet
- lupa-asiat
- tekijöiden määrä
- ryhmien väliset rajapinnat
- ilmoitukset
- yhteisö
- aikataulut
- ohjetunnit, seisokin pituus
- listaus tarvittavista materiaaleista sekä varaosista
- tarvittavat erikoistyökalut ja erikoisosaaminen
- työturvallisuuden asettamat vaatimukset
- kustannusarvio
- viiteluettelot muista ohjeista ja piirustuksista, joita voidaan tarvita
- lisäksi suunnittelijan tulisi muistaa päivittää toiminnanohjausjärjestelmä seuraavaa kertaa varten. (Järviö 2004d, 65–66.)

## 2.4.2 Seisokkisuunnittelu

Häiriöseisokit voidaan jakaa kahteen ryhmään: välittömiin ja siirrettyihin häiriöihin. Välittömässä häiriötilanteessa jokin vika on pysäyttänyt koneen ja se on korjattava heti, jolloin suunnitelmien laatimiseen ei juuri jää aikaa. Tällaisessa tilanteessa toiminnan painotus onkin häiriön syyn määrittämisessä ja korjaamisessa. Mikäli suunnitelmia on jo enemminkin tallennettu toiminnanohjausjärjestelmään, joudutaan toiminnan suunnitelmat rakentamaan niiden varaan. Osaamista ja suunnittelua tarvitaan kuitenkin niin paljon, että tarvittavat korjaukset kyetään suorittamaan järkevästi sekä turvallisuusmääräyksien mukaan. Siirretyssä häiriötilanteessa seisokkia on kannattavaa suunnitella mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi suoritettavien korjausten lisäksi on usein viisasta tehdä myös muita, ehkäisevässä kunnossapidossa tarpeelliseksi huomattuja toimenpiteitä, joita on mahdollista suorittaa koneen ollessa pysähdyksissä. (Järviö 2004d, 66.)

Tärkeää on, että häiriöseisokkia ei pitkitetä tarpeettomasti, etenkin, jos konetta tarvitaan kiireellisesti takaisin tuotantoon. Korjaustarpeet, jotka huomataan suoritettaessa ehkäisevää kunnossapitoa, olisi kannattavaa suunnitella niin pian kuin on mahdollista, jolloin häiriötilanteen tapahtuessa voidaan selvittää niiden toteuttamisen tarpeellisuus. Mikäli korjaukset suunnitellaan ostettavaksi palveluna, voidaan hinta sekä muut kaupalliset ehdot päättää peräti etukäteen. Tällöin voidaan häiriötilanteessa painottua alihankinnan sekä korjaamisen johtamiseen kaupallisten neuvotteluiden sijaan. (Järviö 2004d, 66.)

Jokaisen seisokin jälkeen olisi järkevää pitää palaveri, jossa käytäisiin läpi seisokitilannetta. Olisi hyvä keskustella siitä, että mikä aiheutti kyseisen seisokin ja onko tarve tehdä perusanalyysi. Lisäksi voidaan miettiä, onko vastaavanlainen seisokki mahdollista välttää muuttamalla jaksotettua huoltoa tai kunnonvalvontaa vai kenties muuttamalla molempia näistä. Toimintojen kehittämistäkin olisi hyvä tarkastella, esimerkiksi miten voidaan tehostaa korjaustoimenpiteitä sekä miten voidaan estää tällaisen häiriön muodostuminen. Lopuksi kannattaisi vielä kerrata läpi asiat, jotka opittiin seisokitilanteen johdosta. (Järviö 2004d, 67.)

Suunnitellut seisokit suunnitellaan 100 %:n suunnitteluasteella, jolloin seisokin mallinnus on seuraavanlainen:

- toimenpiteiden kuvaus ja määrittely huomioiden jokaisen osallistuvan ryhmän, joita ovat koneiden käyttöhenkilöt, kunnossapitäjät, yrityksen johtohenkilöt, alihankkijat sekä muut toimenpiteitä suorittavat ryhmät, joiden ponnasta tarvitaan seisokin aikana
- suunnittelukokouksista päättäminen
- valmistautuminen seisokkiin
- tiedonkulun varmistaminen
- seisokin organisointi
- seuranta ja toteutuksen analysointi
- jatkuva kehittäminen (Järviö 2004d, 67).

## 2.5 Aikataulutus

Tehtävien töiden hallinnassa yksi tärkeä tekijä on aikatauluttaminen. Edellytys töiden hallinnassa onkin tehokas aikatauluttaminen, jolla saadaan useita hyötyjä. Esimerkiksi työskentelyn tehokkuutta voidaan seurata ja kehittää, kun työtehtäville määritetään tavoite/ohjeajat. Aikataulutuksen avulla on mahdollista määrittää työtehtävät kunnossapitäjille niin, että käytettävissä olevat työtunnit voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Lisäksi aikatauluttamisella voidaan tehtävät toimenpiteet järjestellä mielekkäiksi kokonaisuuksiksi vaadittavien taitojen, tuntimäärien sekä sisällön mukaisesti. Tämä periaatteessa tarkoittaa sitä, että suurehkoihin tehtäviin voidaan kohdistaa tarvittava määrä henkilöitä, joilla työ on mahdollista saada valmiiksi suunnitellussa aikamääreessä. Eri kunnossapitoryhmien välistä toimintaa voidaan tehostaa aikataulutuksen avulla. Tästä esimerkkinä mainittakoon laajat seisokit, jossa aikataulutuksella on merkittävä vaikutus. Näiden seikkojen lisäksi aikatauluttamisella pystytään hallitsemaan kunnossapidon suorittamista sekä sen työmäärää. (Järviö 2004d, 67.)

Kun kunnossapitoryhmille pystytään osoittamaan viikon työt ennakkoon, voidaan puhua, että aikataulutus toimii tällöin tehokkaimmillaan. Tehokkaan kunnossapidon eräs tärkeimmistä ominaisuuksista koostuu kunnossapidon tehtävien tehokkaasta aikatauluttamisesta ja suunnittelusta, jolloin tiimit kykenevät organisoimaan työtehtävänsä parhaalla mahdollisella tavalla. Prosessina aikataulutus on moni-

mutkainen ja sen tehokas toiminta vaatii muutaman periaatteen noudattamista. (Järviö 2004d, 68.)

Kyseisiä periaatteita on yhteensä kuusi kappaletta, joista ensimmäisen mukaan eri tehtävien toteuttamisessa edellytetään työntekijältä erilaista ammattitaitoa. Työntekijöiltä vaadittavat ammattitaito- sekä erikoisosaaminen määritellään suunnittelu- vaiheessa, jonka aikana on kannattavaa huomioida osaamisen vaikutus työaikaan. Eli suunnitelmassa osoitetaan vaadittava minimiammattitaito, henkilömäärä, työn kesto tunteina sekä koko seisokin kesto. Suoritettavia tehtäviä ei ensisijaisesti anneta korkeimman ammattitaidon omistaville työntekijöille. Tällä tavoin pyritään saavuttamaan hyvä oppimisprosessi, jolloin pystytään vapauttamaan osaavimmat kunnossapitäjät häiriökorjauksiin, joita ei ole suunniteltu. Toisen periaatteen mukaan toimenpiteiden suorittaminen ajoitetaan mahdollisimman hyvin käytettävissä olevan ajan mukaan. Mikäli uusia työtilauksia tulee, pyritään ne priorisoimaan järkevästi, samalla yrittäen välttää jo aloitettujen töiden keskeyttämistä tai aikataulu- muutoksien tekemistä. Kolmannen periaatteen ideana on, että toimenpiteiden suorittaminen määritetään tehokkaan työajan mukaan, joka muodostuu hyvän ammattitaidon mukaisesta tehokkuudesta ilman tarpeettomia odotteluun kuluvia aikoja. Neljäs periaate liittyy työkuormaan, jonka mitoituksessa tähdätään 100 %:iin, jonka lisäksi pyritään välttämään yli- ja alikuormituksia. Tästä huolimatta yllättävät ja korkean prioriteetin tehtävät suoritetaan välittömästi, ja kuten jo aiemmin todettiin, nämä kyseiset työt kannattaa varata kaikista kokeneimmille ammattitaitoisille henkilöille. Viidennen periaatteen mukaan ryhmien vetäjät huolehtivat jokapäiväisen töiden jakamisen, joka koostuu päivän työtehtävien valinnasta, työtehtävien suorittajien nimeämisestä, lupien sekä resurssien järjestämisestä sekä mahdollisten korkean prioriteetin työtehtävien hoitamisesta. Kuudennessa ja näin ollen myös viimeisessä periaatteessa aikataulujen toteutumisella sekä tehokkaan kunnossapidon määrällä mitataan toteutuneen aikataulutuksen sekä suunnittelun tehokkuutta. (Järviö 2004d, 68.)

### 3 TEOLLISUUSVOITELUN PERUSTEET

Voitelulla pyritään vähentämään toistensa suhteen liikkuvien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista. Erottamalla kosketuspinnat toisistaan voiteluainekalvolla, vältetään ei-toivotulta kitkalta ja kulumiselta. Voiteluaine voi käytännössä olla mikä tahansa kiinteässä, kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa oleva materiaali, joka on helposti leikkautuva. Teollisuuden kunnossapidon yksi tärkeimmistä osista on voitelu, jonka tärkeimpiä tehtäviä ovat:

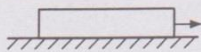
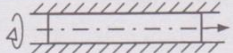
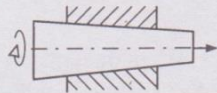
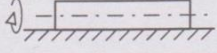
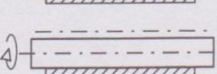
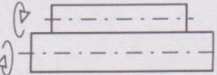
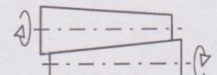




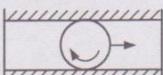
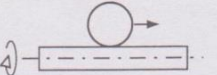

- erottaa pinnat toisistaan
- pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa häviötehoa
- vähentää kulumista
- jäähdyttää kosketusta
- estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kohteeseen
- kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois
- vaimentaa värähtelyä
- suojata osia korroosiolta. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 12.)

Voitelulla saadaan aikaan myös huomattavaa taloudellista hyötyä. Alhainen kitka säästää energiaa, kohottaa suoritustehokkuutta ja se mahdollistaa koneiden elinajan pidentämisen. Näiden asioiden lisäksi konejärjestelmien käyttövarmuus kasvaa. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 12.)

#### 3.1 Pintojen välinen kosketus

Kahden pinnan väliset kosketustilanteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: vierintä- ja liukukosketukseen sekä näiden yhdistelmään. Esimerkkejä vierintä- ja liukukosketuksesta ovat nimensä mukaisesti vierintä- ja liukulaakerit. Yhdistelmäkosketuksesta esimerkkinä mainittakoon ryntövaiheessa olevan hammaspyörän hammas-kosketus. Kosketuksen luonteeseen kuuluu, että todellinen kosketus tapahtuu vain osittain näennäisellä kosketusalueella. Tämä tarkoittaa sitä, että kuivakitka, ja siten myös kulumisen, tapahtuvat pintojen todellisissa kosketuskohdissa, jotka ovat pinnankarheuksien huippukohdat. Näiden seikkojen lisäksi, normaalivoiman kas-

vaessa, todellinen kosketuspinta-ala laajenee ja materiaalin myötölujuus pienee. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16.) Pintojen välisen kosketuksen analysoinnissa ja mitoituksessa käytetään apuna muun muassa Hertzin kosketusjännitystä ja projektiopintapainetta (Miettinen & Lehtovaara 2006, 12). Erilaisia vastinpintojen kontaktigeometrejä on esitetty kuviossa 5.

Kontaktigeometria	Vastinpinnat 1 ja 2		Kuva	Käyttökohde
Kosketusala	Taso	Taso		Suora- viennit
	Sylinteriputki	Tanko		Liuku- laakerit
	Kartioholkki	Kartiotappi		Laakerit, Kartio- liitokset
Viiva- kosketus	Taso	Tanko		Rulla- viennit
	Sylinteriputki	Tanko		Neula- laakerit
	Tanko	Tanko		Valssit, Rulla- laakerit
	Kartio	Kartio		Kartio- käytöt
	Kartio- kolo	Kuula		Ohjaus- tapit
	Prisma	Prisma		
	Evolventti	Evolventti		Hammas- pyörät
Piste- kosketus	Taso	Kuula		Kuula- ohjaukset
	Sylinteriputki	Kuula		Kuula- ohjaukset
	Tanko	Kuula		Kuula- ohjaukset
	Kaareva pinta	Kuula		Vierintä- laakerit

Kuvio 5. Vastinpintojen kontaktigeometrejä (Salonen 2007a, 21).

**Hertzin kosketusjännitys.** Puhuttaessa koneiden osien välisistä kosketuksista toimitaan tällöin aina elastisella alueella. Hertzin teoriassa koskettavat materiaalit oletetaan homogeenisiksi, isotrooppisiksi ja lineaarisesti kimmoisiksi. Lisäksi kosketus oletetaan kokonaan kitkattomaksi. Tämän tyyppin kosketukselle on tunnusomaista, että kuormittamattomana kosketuskuvio on viiva tai piste, jolloin kosketuspinta-ala on nolla. Lisäksi kun kosketukseen kohdistuu pienikin kuormitus, siitä aiheutuu muodonmuutosta ja suuria paikallisia jännityksiä. Kosketuksen jännitystila on 3-akselinen, josta seuraa, että paikallisesti jännitys voi nousta hyvin suureksi aiheuttamatta silti vaurioita. Hertzin pintapainejakautuma aiheuttaa kappaleelle sisäisiä jännityksiä. Kappaleeseen vaikuttavat leikkausjännitykset ovat pintojen vierintäväsytymisen puolesta kaikkein haitallisimpia. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 12–14.)

**Projektiopintapaine.** Liukulaakeroinnin yhteydessä projektiopintapaineella yleensä tarkoitetaan kuvitteellista keskimääräistä pintapainetta. Projektiopintapainetta käytetään rasvavoideltujen liukulaakerien, voitelemattomien liukulaakerien sekä liukurengastiivistimien kosketustilanteen mitoittamiseen. Edellä mainituissa tapauksissa mitoitus perustuu niin sanotun pv-tekijän käyttöön, joka saadaan kertomalla projektiopintapaine liukunopeudella. Lisäksi projektiopintapainetta voidaan käyttää, kun arvioidaan karkeasti hydrodynaamisen paineen maksimiarvoa radiaali-liukulaakerissa. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 15.)

### 3.1.1 Kitka- ja kulumismekanismien keskeiset käsitteet ja pääpiirteet

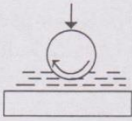
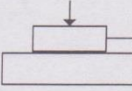
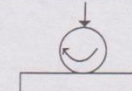
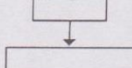
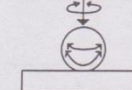
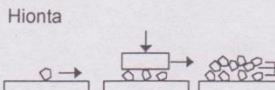
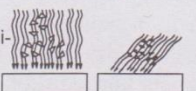
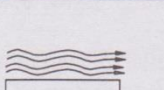
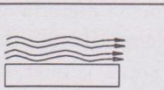
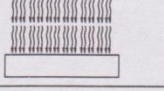
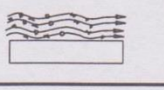
**Vierintävastus.** Vierintävastus muodostuu elastisesta hystereesistä vierivillä vastinpinnoilla sekä mahdollisesta plastisesta muodonmuutoksesta. Metallisten vastinpintojen tapauksessa päästään pieneen vierintävastukseen, mikäli pysytään materiaalin elastisten ominaisuuksien alueella. Viskoelastisilla materiaaleilla korostuvat liukuvassa kosketuksessa kitka ja vierivässä kosketuksessa hysteeristä aiheutuva vierintävastus. Kyseisiin materiaaleihin kuuluvat esimerkiksi muovit. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16.)

**Tihkomisvärähtely.** Tihkomisvärähtely (stick-slip) tarkoittaa epäsuotuisaa nykivää liikettä, joka tapahtuu vastinpintojen välillä, vaikka vastinpintoja ja siihen kuuluvia

rakenteita liikutetaan tasaisella nopeudella. Värähtelyä syntyy alhaisilla nopeuksilla ja pääasialliset syyt tähän ovat pintoihin liittyvien rakenteiden vaimennus- ja jäykkyysominaisuudet sekä kitkakertoimen vaihtelevuus alhaisilla nopeuksilla. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16.) Kosketuskohtien lämpötila voi nousta merkittävästi liukumisen aikana, jolloin paikallinen sulaminen on mahdollista pinnankarheuksien huipuissa. Tästä syystä myös eri materiaalien sulamispisteet vaikuttavat tiukomisvärähtelykäyttäytymiseen. (Kivioja 2007a, 75.)

**Kulumismekanismit.** Kuluminen koneenelimissä tapahtuu varsin erilaisissa olosuhteissa. Tämä kuluminen voidaan jaotella erilaisiin kulumismekanismeihin. Varsinainen kuluminen voi toteutua todellisessa kosketustilanteessa monella eri kulumismekanismilla, jolloin ajatellaan yhden mekanismeista oleva hallitseva. (Salonen 2007b, 100.) Czichos & Habig (1992, Salonen 2007b, 101 mukaan) luokittelee kulumisen kulumismekanismin sekä kuluttavan rasituksen mukaan, joka on esitetty kuviossa 6.



Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasitustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abraasio	Pinnanväsyminen	Tribo-kemiallinen
Kiinteiden pintojen välissä voiteluaine	Liukuminen Vierintä Isku Sysäykset 				X	X
Kiinteät pinnat toisiaan vasten	Liukuminen 	Liukumis-kuluminen	X	X	X	X
	Vierintä 	Vierintä-kuluminen	X	X	X	X
	Iskukuormitus 	Isku-kuluminen	X	X	X	X
	Värähtely 	Värähtely-kuluminen	X	X	X	X
Kiinteät pinnat ja kulumispartikkeli	Hionta 			X		
Kiinteät pinnat ja partikkelit	Partikkeli-suihku 	Erosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-erosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-erosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeita	Virtaus 	Erosio		X	X	
		Korroosio-erosio		X	X	X

Kuvio 6. Kulumisen luokittelu kulumismekanismien sekä kuluttavan rasituksen mukaan (Cizchos & Habig 1992, Salosen 2007b, 101 mukaan).

Godfrey (1980, Steckin 2009, 4/20 mukaan) luokittelee kulumisen kolmeentoista kategoriaan:

- adhesiivinen kuluminen
- lievä adhesiivinen kuluminen

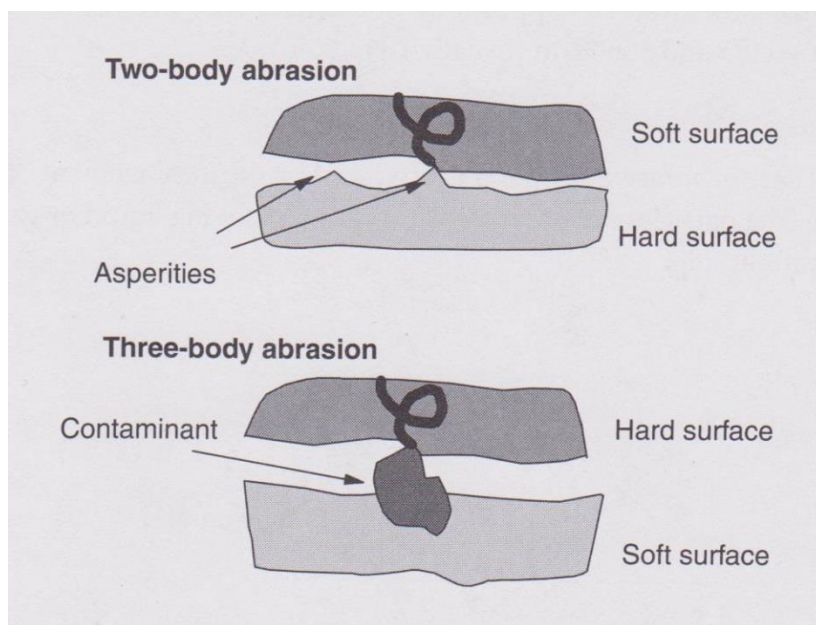
- voimakas adhesiivinen kuluminen tai alkava kiinnileikkautuminen
- abrasiivinen kuluminen
- eroosiokuluminen
- väsymiskuluminen
- delaminaatiokuluminen
- korroosiokuluminen
- syöpymis-/liukenemiskuluminen
- kavitaatiokuluminen
- sähköeroosiokuluminen
- kiillotuskuluminen.

Normi DIN 50320 määrittelee kulumisen ilmenemismuodot sekä kappaleen pinnan muutosten että irronneiden kulumapartikkelien laadun ja muodon perusteella (Bosch 2003, 371). Useimmin kulumismekanismit kuitenkin jaotellaan abrasiiviseen kulumiseen, adhesiiviseen kulumiseen, väsymiskulumiseen sekä tribokemialliseen kulumiseen (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16). Edellä mainitussa normissa (DIN 50320 1979, Parikka & Lehtosen 2000, 4 mukaan) kulumismekanismit on jaoteltu juurikin näihin neljään pääryhmään (Parikka & Lehtonen 2000, 4).

Yksi vaihtoehto on jaotella kuluminen liikkeen mukaan, esimerkiksi vierivän ja liukuvan kosketuksen kulumiseen. Muita tämän jaottelun mukaisia kulumistyyppejä ovat isku-, värähtely-, kavitaatio- ja eroosiokuluminen. Kuitenkin pääosin nämä liikkeen mukaan jaotellut kulumistyyppit muodostuvat edellä mainituista neljästä kulumismekanismista. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16–17.)

Kulumismekanismiin pohjautuvassa jaottelussa on useita eri luokitustapoja ja alan kirjallisuudessakin on esitelty useita erilaisia luokittelutapoja, jotka kuitenkin pääpiirteiltään ovat samankaltaisia toisiensa kanssa. Kirjallisuudesta myös löytyy lukuisia määriä nimiä erilaisille kulumismekanismeille, jotka ovat joko jonkin tietyn kohteen ominaisia kulumistapoja, tai ne ovat rinnakkaisia nimityksiä perusmekanismeille. (Parikka & Lehtonen 2000, 4–5.) Tässä opinnäytetyössä mukaillaan luokitustapaa neljästä pääryhmästä, jotka esitellään seuraavaksi.

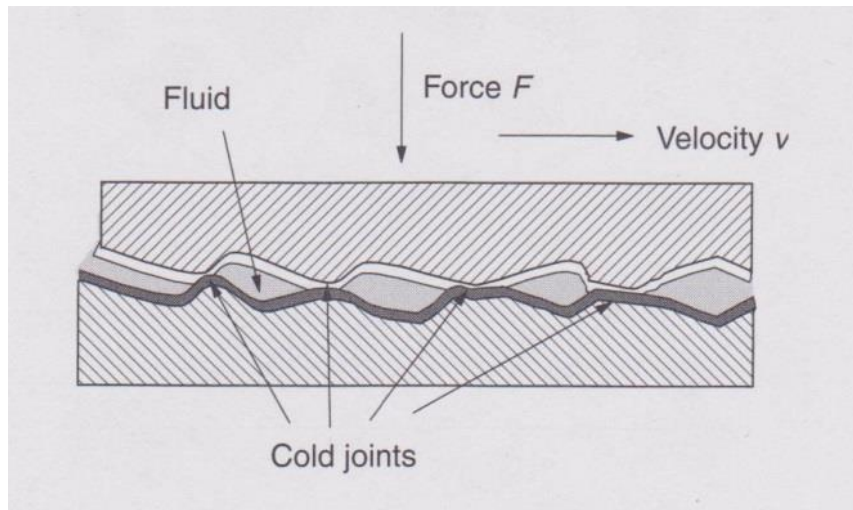
**Abrasiivinen kuluminen.** Abrasiivinen kuluminen, jota kutsutaan myös hiontakulumiseksi, tarkoittaa, kun pintojen pinnankarheuden huiput kyntävät toisiaan vasten normaalivoiman vaikutuksesta. Puhuttaessa kolmen kappaleen abrasiivisesta kulumisesta (3-body-wear), liukuvien vastinpintojen välissä on kovia partikkeleita, kuten irronneita, muokkauslujittuneita kulumishiukkasia, jotka uurtavat molempia vastinpintoja. Abrasiivinen kuluminen voi tapahtua hauraasti murtumalla, kyntämällä tai leikkaamalla. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 17.) Yleisesti abrasiivinen kuluminen lähtee liikkeelle kahden kappaleen kulumisena, joka edetessään kehittyy kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi, sama kehittyminen on myös mahdollista adhesiivisessä ja tribokemiallisessa kulumisessa (Salonen 2007c, 108). Abrasiivisen kulumismekanismin periaate on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Abrasiivinen kuluminen (Stecki 2009, 4/25).

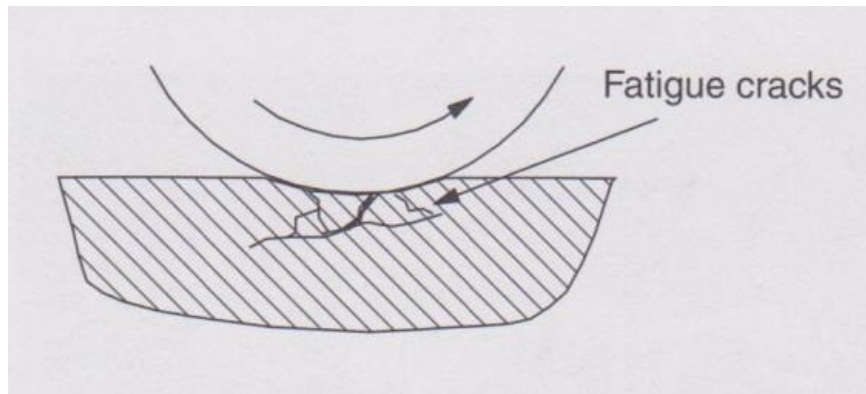
**Adhesiivinen kuluminen.** Adhesiivisessä kulumisessa pinnankarheushuippujen tarttuessa toisiinsa syntyy adhesiivinen liitos. Vastinpinoista irtoaa partikkeleita, kun liitos repeää irti muualta kuin alkuperäisestä rajapinnasta. Erittäin voimakasta vastinpintojen kulumista esiintyy raskaalla kuormituksella ja häiriintyneellä voitelulla, jolloin vastinpintoja suojeleva helposti leikkautuva pintakalvo on joko puutteellinen tai sitä ei ole ollenkaan, jolloin syntyy lujia adhesiivisiä liitoksia. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16.) Tämän tyyppin kulumisesta käytetään myös nimitystä tartuntakuluminen (Bosch 2003, 371). Saksankielisessä kirjallisuudessa adhesiivisesta

liitoksesta käytetään taas nimitystä kylmähitsautuminen, johon vaikuttavat vastinpintojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuormitus sekä mahdollinen voitelu. Koneenrakennuksen yhteydessä voidaan puhua kiinnileikkautumisesta, kun adhesiivisessa kulumisessa vastinpinnat tahmautuvat toisiinsa, jolloin näiden välinen liike pysähtyy kokonaan. (Salonen 2007c, 104–106.) Kuviossa 8 on esitetty havainnekuva adhesiivisesta kulumismekanismista, jossa näkyy adhesiiviset liitokset eli kylmähitsautumiset (cold joints).



Kuvio 8. Adhesiivinen kuluminen (Stecki 2009, 4/20).

**Väsymiskuluminen.** Väsymiskuluminen edellyttää vaihtelevaa pitkäaikaista kuormitusta sekä alkusärön, jonka seurauksena kosketuspintojen väsymisrasituksesta aiheutuu väsymismurtuma, josta taas syntyy kulumispartikkeli. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 17.) Tämän partikkelin irrotessa kosketuspinnasta se edesauttaa kolmen kappaleen abrasiivista kulumista (Stecki 2009, 4/22). Kulumisen päästyä alkuun vaurioituminen etenee kiihtyvällä nopeudella, joka yleensä johtuu pinnanlaadun huononemisesta. Väsymiskuluminen on myös mahdollista ilman, että vastinpinnat fyysisesti koskettavat toisiaan, tällöin kulumista ehkäistään voitelun lisäksi materiaalien lämpökäsittelyllä, vastinpintojen viimeistelyllä sekä kuormitusten vähentämisellä. (Parikka & Lehtonen 2000, 9–10.) Kuviossa 9 on esitetty havainnekuva väsymiskulumisesta, jossa näkyy kulumiseen vaaditut alkusäröt (fatigue cracks).



Kuvio 9. Väsymiskuluminen (Stecki 2009, 4/23).

**Tribokemiallinen kuluminen.** Tribokemiallisesta kulumisesta puhutaan silloin, kun voideltavien kappaleiden vastinpinnat reagoivat väliaineen tai ympäröivän aineen kanssa aiheuttaen tällöin kulumista (Bosch 2003, 371). Materiaaliominaisuudet ja kuluvan sekä kuluttavan vastinpinnan toimintaolosuhteet vaikuttavat merkittävästi materiaalien kulumiseen. Nämä asiat yhdessä muodostavat tribokemiallisen kulumismekanismin, jonka vaikutuksesta vastinpinnasta irtoaa materiaalia. (Tiilikka 1999, 27.) Kulumista tapahtuu pääsääntöisesti kosketuspintojen pintakalvoissa, jolloin se on yleensä varsin vähäistä. Kappaleen metallipinta kuluu ainoastaan sen muodostaessa pintakalvoa, esimerkiksi teräksen tapauksessa sen muodostaessa oksidikerrosta. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 17.)

### 3.1.2 Kulumiseen vaikuttavat tekijät

Kuten jo aiemmin todettiin, kuluminen tapahtuu monella eri tavalla ja siihen vaikuttavia tekijöitä on useita. Kulumisen laajuuteen vaikuttavat kosketuksissa olevien vastinpintojen rakenteet, joista eritoten pintakerroksien koostumus on merkittävä. Lisäksi muita kulumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat liukunopeus, kuormituksen tyyppi ja sen suuruus, lämpötila, vallitsevat ympäristöolosuhteet sekä eri materiaalien liukoisuus toisiinsa. (Salonen 2007d, 120.) Seuraavaksi tarkastellaan edellä mainittuja tekijöitä hivenen tarkemmin.

**Pintakerrokset.** Kulumisnopeuden kasvu johtuu adhesiivisista metalli/metalliliitoksista, jotka laajenevat, kun oksidikalvo on kulunut kappaleen pinnalta pois. Kyseisten liitosten revetessä syntyy kulumispartikkeleita, jotka ovat yleisesti muokkauslujittuneita. Kuluminen kasvaa, kun irronneet kulumispartikkelit alkavat

toimimaan kolmansina kuluttavina partikkeleina varsinaisten kappaleiden pintojen lisäksi. Kulumisen alkamisen ja sen nopeuden määräävät rakenteiden pintakerroksien ominaisuudet. Koneenrakennuksen sovelluksissa pyritään usein saamaan materiaalien kulutusrasitusta paremmaksi parantamalla perusmateriaalien pintojen kovuutta erinäisin keinoin. Materiaalien lämpökäsittelyillä sekä pinnoitusmenetelmillä pyritään muokkaamaan perusaineen pintarakennetta kovemaksi tai vaihtoehtoisesti voidaan fysikaalisesti/kemiallisesti saada aikaan kulutusta kestävä yhdistekerros materiaalin pinnalle. Yhdistekerroksen muodostumista komponenttien pinnoille voidaan edistää voiteluaineen lisääineistamisella. (Salonen 2007d, 120–121.)

**Väliaine.** Yleisesti koneenosien voitelu pohjautuu hydrodynaamisesti kuorman kantavaan voiteluainekalvoon. Ongelmia aiheutuu, kun voideltavassa kohteessa on suuri kuormitus sekä erittäin alhainen liukunopeus, jolloin hydrodynaamista kalvoa ei pääse muodostumaan. Hyvänä esimerkkinä mainittakoon hidaskäyntinen teollisuusvaihte, jossa metallipintojen välinen kontakti sekä kulumisen estetään rajavoitelulisäaineilla. Voiteluaineeseen voidaan lisätä muun muassa rasvahappoja, jotka suhteellisen nopean kemiallisen reaktion jälkeen muodostavat kemiallisen liitoksen metallien kanssa. Tämä liitos estää metalli/metalli-kosketukset ja ehkäisee näin kulumista. Erikoisolosuhteissa, joissa ei ole mahdollista käyttää öljyvoitelua, voidaan käyttää kiinteitä voiteluaineita. Esimerkkejä tällaisista erikoisolosuhteista ovat muun muassa tribologiset kohteet lääke- ja elintarviketeollisuudessa. Lisäksi näitä voiteluaineita voidaan lisätä voitelurasvoihin ja -öljyihin täydentämään puutteellista voitelua. Kiinteistä voiteluaineista yleisimpiä ovat grafiitti, teflon (PTFE) sekä molybdeenidisulfidi ( $\text{MoS}_2$ ). (Salonen 2007d, 121–122.)

**Ympäristöolosuhteet.** Lämpötilan muuttuminen kosketuskohdassa vaikuttaa kulumisnopeuteen, sillä se muuttaa väliaineen ominaisuuksia, materiaalien pintaominaisuuksia sekä pintakalvon ominaisuuksia ja sen kasvunopeutta. Kun pinnankarheuksien ulkonemat hiertävät toisiaan vasten, muuttuu osa ulkonemien muodonmuutokseen kuluva energiasta lämmöksi. Lämpötilat ovat suurimmillaan pinnankarheuksien huippukohdissa, joissa lämpötila saattaa olla jopa tuhansia asteita. Vaikka lämpötila on vain hetkellisesti näin korkea, ehtii lämmön johtuminen vaikuttamaan väliaineen sekä molempien perusmateriaalien ominaisuuksiin. Lämpöti-

lan suuruuteen vaikuttaa oleellisesti myös liukumisnopeus ja kuormitus. (Salonen 2007d, 122.)

Ympäristön vaikutusta voi tavallisesti pitää merkitykseltään melko vähäisenä voiteluöljyllä voidelluissa koneenelimissä, mutta kun voiteluöljyn voiteluominaisuudet heikkenevät, se vaikuttaa kulumisen muodostumismahdollisuuksiin edistävästi. Voiteluominaisuuksien heikkeneminen johtuu yleensä veden tai muiden kontaminaattien sekoittumisesta voiteluöljyyn, joita ovat muun muassa hiekka, pöly, kuidut ja kulumishiukkaset. Kun tarkoituksenmukaisesti luovutaan hydrodynaamisesta voitelusta kosketustilanteissa, muuttuu ympäristön vaikutus kulumiseen merkittäväksi. Tällöin todennäköisesti kosteiden sekä happamien aineiden läsnäolon vaikutuksesta tapahtuu ennenaikainen loppuun kulumisen sekä laiterikko. (Salonen 2007d, 122.)

Avaruusteknisissä sovelluksissa oleellisena asiana tulee ottaa huomioon säteilyn vaikutus, joka muokkaa perusaineen pintaominaisuuksia. Säteily voi aiheuttaa tilanteen tyhjiössä, jossa adheesion johdosta tapahtuu totaalinen toisiinsa hitsautuminen koskettaville vastinpinnoille. Ei-voideltujen, kuivien keraamisten liukulaakerointien yhteydessä on kuitenkin havainnointu, että ilman hapen osapaine sekä ilman kosteus vaikuttaa kitkaan alentavasti, ja näin ollen myös kulumisen pienenee. (Salonen 2007d, 122.)

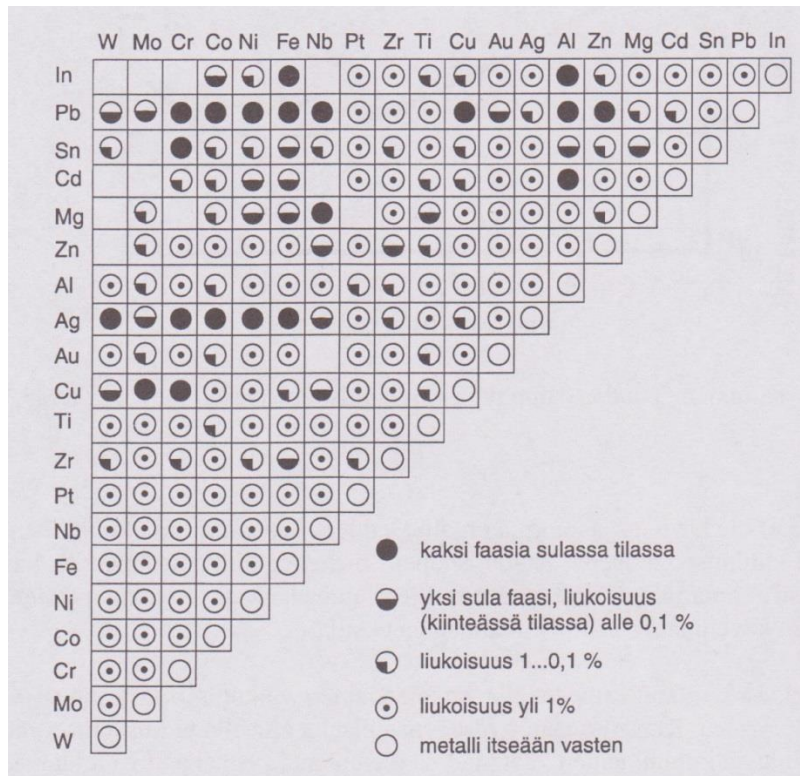
**Liukumisnopeus.** Kosketuskohtien lämpötilaa muokkaamalla liukumisnopeus vaikuttaa kulumisen nopeuteen. Kun puhutaan liukumisnopeudesta voitelun yhteydessä, on sillä oleellinen vaikutus kitkakertoimeen sekä kulumiseen. Kulumista ei tapahdu oikeastaan ollenkaan, kun toimitaan hydrodynaamisen voitelun alueella, koska metallipintojen välillä ei tapahdu kosketusta. Seka- ja rajavoitelutilanteissa muodostuu osittaisia metalli/metalli-kosketuksia, joista syntyy kulumispartikkeleita. Näiden kahden tilanteen saavuttaminen on riippuvainen kuormituksesta, voiteluaineen viskositeetista sekä liukumisnopeudesta. (Salonen 2007d, 122–123.)

**Kuormitus.** Mitä suurempi kuormitus kohteessa on, sitä suurempi on myös sen kulumisen. Adhesiivisessa kulumisessa kuormitusta suurentamalla muuttuu kulumistapahtuma lievästä kulumisesta voimakkaan kulumiseen. Tätä siirtymäkohdassa vaikuttavaa kuormaa kutsutaan transitiokuormaksi. Mikäli kuormitusta suuren-

netaan edelleen näiden vaiheiden jälkeen, on seurauksena vastinpintojen kiinnileikkautuminen, jolloin kulumisnopeus kohoaa varsin jyrkästi. Kuormituksen lisääminen vaikuttaa kulumiseen myös lämpötilan nousun myötä, jolloin oksidikerroksen lisääntyminen kiihtyy perusmateriaalin pinnalla, jolloin samaan aikaan myös transitiokuorma kasvaa. (Salonen 2007d, 123.)

**Liukoisuus.** Kitka- ja kulumisominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi vastakkain liukuvien materiaalien liukoisuus toisiinsa. Alhaisella keskinäisellä liukoisuudella on paremmat edellytykset pienen kitkan sekä kulumisen aikaan saamiseen. Liukuparin ollessa samaa materiaalia liukoisuus on 100 %, jolloin materiaalien keskinäinen adheesio on voimakasta ja kulumisen tavallisesti nopeaa. (Salonen 2007d, 123–124.) Kuviossa 10 on esitetty liukoisuuskartta, josta voidaan tulkita eri metallien kykyä liueta toisiinsa. Kartasta voidaan nähdä, että sopivat materiaalit terästä vastaan liukumiseen olisivat muun muassa tina (Sn), lyijy (Pb), hopea (Ag) sekä kadmium (Cd).





Kuvio 10. Liukoisuuskartta (Salonen 2007d, 124).

### 3.1.3 Voiteluaineen viskositeetti

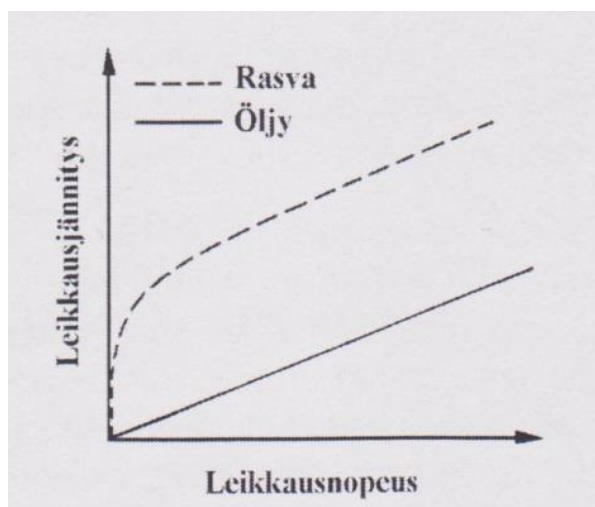
Voiteluaineen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen viskositeetti, mikä kuvastaa voiteluaineen sisäisen kitkan suuruutta (Miettinen & Lehtovaara 2006, 17). Korkeamman viskositeetin aineet, kuten öljyt, virtaavat hitaammin kuin alhaisemman viskositeetin aineet, josta esimerkkinä mainittakoon vesi (Salonen 2007e, 172). Toistensa suhteen liikkuvan kahden vastinpinnan välissä olevan nesteen voidaan käytännössä ajatella liukuvan äärettömän ohuin kerroksin toistensa suhteen niin, että ylin kerros liikkuu pinnan nopeudella ja alin kerros pysyy paikallaan. Jokainen ylimmän ja alimman kerroksen välissä oleva molekyylikerros liikkuu tietyllä nopeudella ja korkeudella. Jotta saataisiin selvitettyä kerrosten liukuminen toistensa suhteen, tarvitaan leikkausjännitys, joka on suoraan verrannollinen dynaamiseen viskositeettiin sekä kerrosten väliseen leikkausnopeuteen. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 17.)

Leikkausnopeuden ja leikkausjännityksen välinen suhde on vakio newtonilaisesti käyttäytyvillä voiteluaineilla. Tällaisia voiteluaineita ovat muun muassa mineraaliöl-

jyt. Ei-newtonilaisten voiteluaineiden viskositeetti on riippuvainen leikkausnopeudesta. Esimerkkejä tällaisista voiteluaineista ovat muun muassa polymeereillä seostetut rasvat ja öljyt. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 18.)

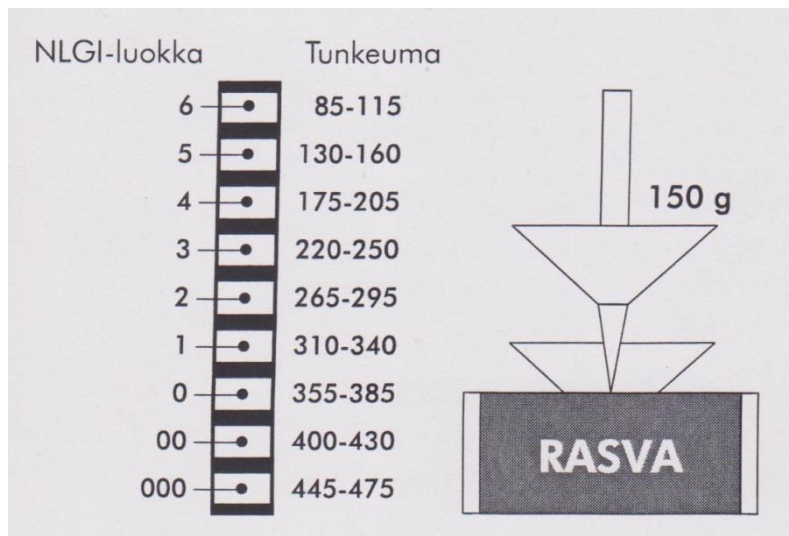
Viskositeetti on erittäin riippuvainen vallitsevasta lämpötilasta. Esimerkiksi kylmissä olosuhteissa voiteluaine saattaa olla liian jäykkää voitelemiseen, kun taas liian kuumissa olosuhteissa voiteluaine ei kykene muodostamaan riittävää voitelukalvoa. Viskositeettiin vaikuttaa lämpötilan lisäksi myös paine, mutta se ei ole vaikutukseltaan läheskään niin merkittävä kuin lämpötila. Voiteluaineen viskositeetti muuttuukin lämpötilan funktiona lähes logaritmisesti. Tätä muuttumista kuvataan viskositeetti-indeksillä, jonka kasvaessa viskositeetin riippuvuus vallitsevasta lämpötilasta pienenee voiteluaineessa. Tyypillinen viskositeetti-indeksi arvo on noin 70–200. Koska voiteluaineiden lämpötilariippuvuus on niin oleellinen, on ne siksi yleensä esitetty öljyvalmistajien luetteloissa. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 18.)

Rasvat kuuluvat siis voiteluaineisiin, jotka ovat ei-newtonilaisia. Tämä siis tarkoitti sitä, että kyseisillä aineilla leikkausjännityksen riippuvuus leikkausnopeudesta ei ole lineaarinen, toisin kuin öljyillä. Rasvoilla voidaan kuitenkin erottaa niin sanottu kynnysarvo aikaisemmin kuin leikkautumista alkaa tapahtua. Leikkausjännitys alkaa kuitenkin käyttäytyä lineaarisemmin leikkausnopeuden kasvaessa. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 19.) Kuviossa 11 on esitetty voiteluöljyjen ja voitelurasvojen ero leikkausjännityksen muuttumisesta leikkausnopeuden suhteen.



Kuvio 11. Voiteluöljyn ja voitelurasvan leikkausjännityksen muutos leikkausnopeuden suhteen (Miettinen & Lehtovaara 2006, 19).

Voitelurasvan kiinteys sekä sen sisältämän perusöljyn viskositeetti kuvaavat voitelurasvan ominaisuuksia (Miettinen & Lehtovaara 2006, 19). Voitelurasvan kiinteys määräytyy saennintyyppin sekä sen määrän perusteella. Tätä kiinteyttä ilmaistaan NLGI-luokituksella, jossa voitelurasvojen kovuus määritetään tunkeuman avulla. Kovuuden määrittämisessä annetaan 150 g painoisen kartion tunkeutua voitelurasvaan viiden sekunnin ajan +25 celsiusasteen lämpötilassa. Mittayksikkönä tunkeumalle toimii 1/10 millimetri. Mitattua tunkeumaa verrataan asteikkoon, josta saadaan luettua voitelurasvan NLGI-luokka. Kuviossa 12 on esitetty periaatepiirros voitelurasvojen kovuuden määrittämisestä. (Luukkainen 2006, 109.) Kuten jo aiemmin todettiin, lämpötilalla on merkittävä vaikutus voiteluaineen viskositeettiin. Lämpötila vaikuttaa täten myös voitelurasvan kiinteyteen, mutta sen vaikutus ei ole kuitenkaan yhtä merkittävä kuin sen vaikutus voiteluöljyn viskositeettiin. Lämpötilan noususta johtuen voidaan kuitenkin saavuttaa tippumispistelämpötila, jossa voitelurasvan rakenne pettää ja se muuttuu tällöin juoksevaksi. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 19.)

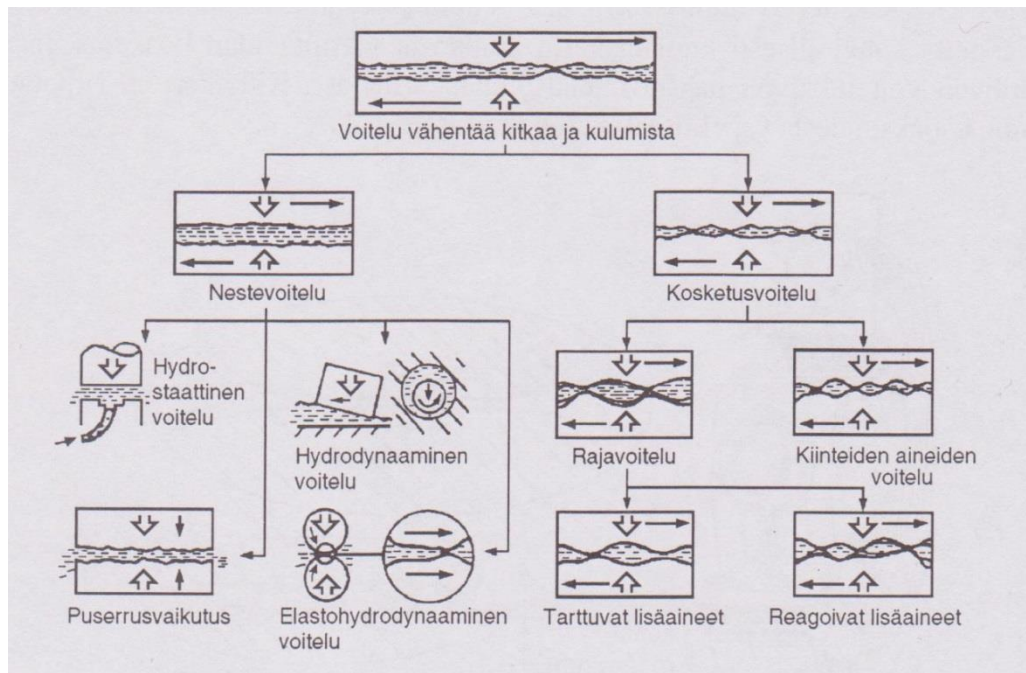


Kuvio 12. Voitelurasvojen kovuuden määrittäminen (Luukkainen 2006, 109).

### 3.1.4 Voitelumekanismit

Tyypillisesti kitkaa, ja näin myös kulumista, joka tapahtuu toisiaan vasten liukuvien kosketuspintojen välillä, pyritään vähentämään voitelulla, missä se vain on sallittua. Voitelumekanismit voidaan jaotella kolmeen eri luokkaan, jotka ovat nestevoitelu, rajavoitelu sekä sekavoitelu, joka muodostuu neste- ja rajavoitelusta. Se, mitä

voitelumekanismeja voitelu edustaa, riippuu suunnittelu- ja käyttöarvoista. Voitelukalvon ominaiskalvonpaksuudella kyetään tarkastelemaan voitelumekanismeja sekä osittain voitelun toimivuutta, kuitenkin se ei yksiselitteisesti määritä voitelun toimivuutta, vaan se tulisi käsittää enemmänkin suuntaa antavana arvona. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 20.) Holmberg (1984, Kivioja 2007b, 130 mukaan) jaottelee voitelumekanismit kuvion 13 mukaisesti.



Kuvio 13. Voitelumekanismit (Holmberg 1984, Kiviojan 2007b, 130 mukaan).

**Rajavoitelu.** Tunnusomaisia piirteitä, jotka johtavat rajavoiteluun, ovat korkea kuormitus, voiteluaineen liian alhainen viskositeetti käyttölämpötilassa, riittämätön voiteluainemäärä, hidas vastinpintojen välinen liikenopeus sekä epäsuotuisat lämmönsiirto-ominaisuudet. Rajavoitelussa varsinaista vastinpintoja erottavaa voitelukalvoa ei ole vielä muodostunut tai sitä ei enää ole. Tästä syystä tämäntyyppisessä voitelussa tapahtuu suora vastinpintojen pinnankarheushuippujen kosketusta. Lisäksi vastinpintojen kitkaan ja kulumiseen vaikuttavat kosketuksissa olevan materiaaliparin tribologiset ominaisuudet. Pintakalvojen stabiilisuus, tarttuvuus sekä muodostumisnopeus kosketuskohdassa ovat avainasemassa voitelun toimivuudelle. Vastinpintoja liukastavat ja suojelevat kalvot muodostuvat voiteluaineissa olevien lisäaineiden reagoimissa kosketuspinnan kanssa. Erityisesti kulumisenestolisäaineet (AW) sekä paineenkestolisäaineet (EP) ovat reagoivia lisäaineita. Kun puhutaan hallitusta rajavoitelutilanteesta, on tällöin kitkakertoimen suuruusluokka

noin 0,1 ja kalvonpaksuus 1-10 nm, joka on merkittävästi pinnankarheutta alempi arvo. Kitkakertoimen on mahdollista nousta jopa materiaaliparin kuivakitka-arvojen kokoluokkaan, jos muodostuneet pintakalvot pääsevät petteämään. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 20–21.)

**Lisäaineet rajavoitelussa.** Kuten jo aiemmin todettiin, voiteluaineisiin lisätään lisäaineita. Rajavoitelutilanteen hallinta perustuu juuri tähän lisäaineistukseen, jolloin lisäaineiden on tarkoitus reagoida ja/tai tarttua metallipintaan muodostaen helposti leikkautuvan rajakerroksen liikepintojen väliin. Lisäaineiden tehtävänä rajavoitelutilanteessa on estää metallipintojen väliset kosketukset sekä vähentää kitkaa ja kulumista. Tyypillisiä lisäaineita ovat kitkanalentajat (FM), kiinteät lisäaineet sekä jo aiemmin mainitut paineenkesto- ja kulumisenestolisäaineet. Kestävyydeltään ja vaikutusmekanismeiltaan lisäaineita voi olla varsin erilaisia. Niiden reagointi metallipintojen kanssa saattaa vaihdella eri tavoin, riippuen kosketusmekanismista, metallipinnan ominaisuuksista, muista voiteluaineen sisältämistä komponenteista, lämpötilasta, kuormituksesta sekä epäpuhtauksista. (Miettinen & Lehtinen 2006, 30.)

Kitkanalentajat kiinnittyvät yleensä fysikaalisesti metallipintaan, esimerkiksi sähköä avulla. Lisäksi kitkanalentajat menettävät vaikutuksensa, kun lämpötila on tarpeeksi korkea niiden molekyylien irtautumiselle. Paineenkestolisäaineet sekä kulumisenestolisäaineet taas reagoivat kemiallisesti metallipintojen kanssa. Paineenkestolisäaineita tarvitaan kulumisenestolisäaineiden lisäksi raja- ja sekavoitelutilanteissa, kun kosketuskohdan kuormitus on korkea. Paineenkestolisäaineet sisältävät reaktiivisia ainesosia, esimerkiksi fosfori- ja/tai rikkiyhdisteitä. Metallipinta sekä paineenkestolisäaineiden yhdisteet reagoivat nopeasti keskenään lämpötilan ollessa riittävän korkea. Paineenkestolisäaineet jaetaan reaktioherkkyyden mukaan ei-aktiivisiin ja aktiivisiin yhdisteisiin. Yhdiste muodostaa suojaavaa kerrosta sitä nopeammin, mitä aktiivisempi yhdiste on, mutta vaarana on kuitenkin arkojen metallipintojen syöpyminen. Esimerkiksi pronssi, messinki sekä muut keltametallit ovat alttiita lisäaineista johtuvalle syöpymiselle. Stabiilit epäorgaaniset yhdisteet ovat kiinteitä lisäaineita, jotka eivät reagoi kemiallisesti metallipinnan kanssa, toisin kuin kulumisenesto- ja paineenkestolisäaineet tekevät. Kiinteiden lisäaineiden tehtävänä on kerrostua ja tasoittua metallipinnalle korkean paineen

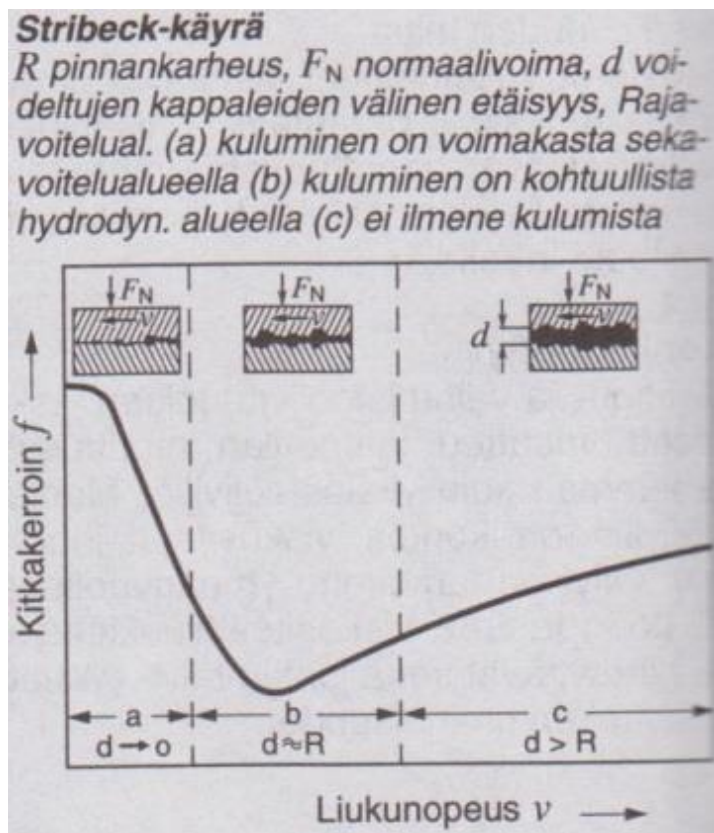
johdosta ja ne vaikuttavatkin rajavoitelutilanteessa jo enemmän, kuin kulumisenesto- ja paineenkestolisäaineiden vaatima reaktiolämpötila saavutetaan. Esimerkkeinä tällaisista yhdisteistä mainittakoon molybdeenidisulfidi sekä grafiitti. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 30–32.)

**Sekavoitelu.** Sekavoitelutilanne koostuu siis neste- ja rajavoitelun kombinaatiosta. Tilanteessa kuormitus jakautuu kahteen osaan, jossa toisessa pienikitkainen voiteluainekalvo kantaa osan kuormituksesta, ja jäljelle jäävä osa välittyy pinnankarheushuippujen kautta. Kokonaiskitkakerrointa ja kokonaiskitkaa saadaan pienennettyä kasvattamalla voiteluainekalvon paksuutta, jolloin pinnankarheushuippujen kantama osa kuormituksesta pienenee. Pienet olosuhdemuutokset voivat vaikuttaa kitkakertoimen vaihteluun merkittävästi, josta seurauksena ovat huomattavat lämpötilan vaihtelut kosketuksessa. Lämpötilan vaihtelusta johtuen on mahdollista, että sekavoitelutilanne voi lämmönkehityksen noususta johtuen muuttua rajavoitelutilanteeksi. Metallikosketuksia esiintyy raja- ja sekavoitelutilanteissa aiheuttaen paikallisia hitsautumisia pintakerroksissa. Hitsaumat lisäävät kitkaa, joka taas lisää lämpöä, kulumista sekä pinnan väsymistä. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 21.)

**Nestevoitelu.** Nestevoitelussa ei oikeastaan ilmene materiaalien kulumista tai enenaikaista väsymistä. Tämä johtuu siitä, että voitelukalvon paksuus on riittävän suuri pitämään vastinpinnat kokonaan erossa toisistaan. Käytettävässä materiaali-parissa ei ole muita rajoittavia tekijöitä kuin paineensietokyky. Nestevoitelua on kolmea eri tyyppiä, hydrodynaaminen, elastohydrodynaaminen sekä hydrostaattinen voitelu. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 21.)

**Hydrodynaaminen voitelu.** Nestevoiteluun kuuluvassa hydrodynaamisessa voitelussa kitkavoima syntyy voiteluaineen sisäisestä kitkasta, joka on pieni verrattuna vastaavaan kuivakitkassa tapahtuvaan kosketukseen. Tämä johtuu siitä, että hydrodynaamisessa voitelussa vastinpinnat ovat kokonaan erossa toisistaan voitelukalvon vaikutuksesta. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 16.) Hydrodynaamisen voitelun tapauksessa voidaan kitkakertoimen sekä voitelumekanismien välistä yhteyttä kuvata Stribeckin käyrällä. Käyrään liittyvä Stribeckin parametri kuvaa voitelukalvon paksuutta, jonka tilalla yleisesti käytetään jo aiemmin mainittua voitelukalvon ominaispaksuutta. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 21.) Kyseinen käyrä on esitetty

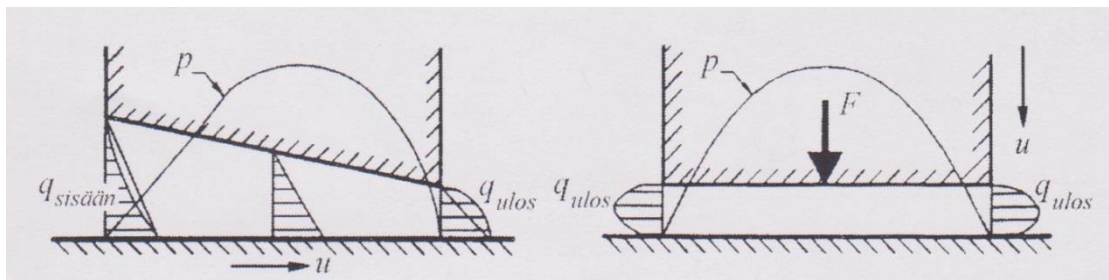
kuviassa 14, jolla esitetään kahden toistensa suhteen liikkuvan kappaleen välinen kitkakerroin liukunopeuden funktiona (Bosch 2003, 268–269).



Kuvio 14. Stribeckin käyrä (Bosch 2003, 268).

Hydrodynaamisten sekä hydrostaattisten laakerien kuormitusalueella vaikuttaa merkittävästi matalampi paine verrattuna elastohydrodynaamiseen kosketukseen. Tämän johdosta niissä ei aiheudu elastisesta muodonmuutoksesta aiheutuvaa väsymistä, joka on tyypillistä vierintälaakereille. Hydrodynaaminen voitelutilanne perustuu suppenevaan voiteluainekalvoon, joka aikaan saadaan kiilamaisella rakenteella sekä nopeuseroon vastakkain liukuvien pintojen välillä. Edellä mainittuun voitelukalvoon kehittyä ylipaine, joka kompensoi kiilan sisään ja ulos virtaavan voiteluaineen määrän sekä kannattelee laakerille kohdistuneen kuormituksen. Hydrodynaamisessa voitelussa vaikuttaa myös niin sanottu puserrusvaikutus, joka muodostuu kahden vastakkaisen pinnan liikuessa kohtisuorasti toisiaan vasten. Kyseisestä liikkeestä aiheutuu liukukosketukseen painejakautuma, joka parantaa voiteluainekalvon kuormankantokykyä. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 22.) Kuviossa 15 on esitetty toimintaperiaate hydrodynaamiselle laakerille, jossa vasemmalla

on kuvattuna suppeneva voiteluainekalvo ja oikealla taas oheneva voiteluainekalvo.



Kuvio 15. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate (Miettinen & Lehtovaara 2006, 22).

Sommerfeldin luku on hydrodynaamisen säteislaakerin ominaisluku, joka kuvaa laakerin toimintaa. Laakerin stabiilisuus määrittää Sommerfeldin luvun alarajan: mikäli kyseinen luku on hyväksyttävän alueen alapuolella, on mahdollista, että laakeri menettää vaimennuskykynsä. Menetyksen jälkeen laakeri aloittaa värähtelemisen, joka johtaa puolen taajuuden kieppumis-ilmiöön. Englanninkielessä tästä ilmiöstä käytetään termejä half frequency whirl ja oil whirl. Ilmiö syntyy, kun värähtelyn aikana akselin keskipiste kiertää laakeripesässä ympyränmuotoista kiertorataa tietyllä kulmanopeudella, joka on noin puolet akselin pyörimisnopeudesta. Vauhdikkaasti pyörivät koneet sekä pystytyyppiset laakeroinnit ovat kohteita, joissa kyseinen ilmiö korostuu. Tämä johtuu laakerin pienestä epäkeskeisyydestä, joka on ominaista näille kohteille. Mikäli Sommerfeldin luku ylittää sallitun alueen ylärajan, aiheutuu siitä laakerin ylikuormitus. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 23–24.)

Värähtelysteemi muodostuu akselin massasta sekä voiteluainekalvosta, jolla on vaimennus- ja jousto-ominaisuutensa. Systeemissä vaarana on värähtelyn muodostuminen voiteluainekalvoon. Värähtelyä voi syntyä, mikäli akselin pyörimisestä johtuva epätasapainovoiman taajuus on lähellä systeemin ominaistaajuuden arvoa. Värähtelyilmiötä kutsutaan öljykalvon ominaispyörteilyksi ("shaft whip" tai "oil whip"), joka on vaarallisimmillaan, kun akselin pyörimistaajuus on noin kaksinkertainen verrattuna systeemin ominaistaajuuden suuruuteen. Ilmiön voimakkuuteen voidaan vaikuttaa öljyn viskositeettia muuttamalla. Jos öljyn viskositeettia pienennetään, lisää se tällöin epäkeskisyyttä, joka voi poistaa haitallisen värähtelyn. Toi-



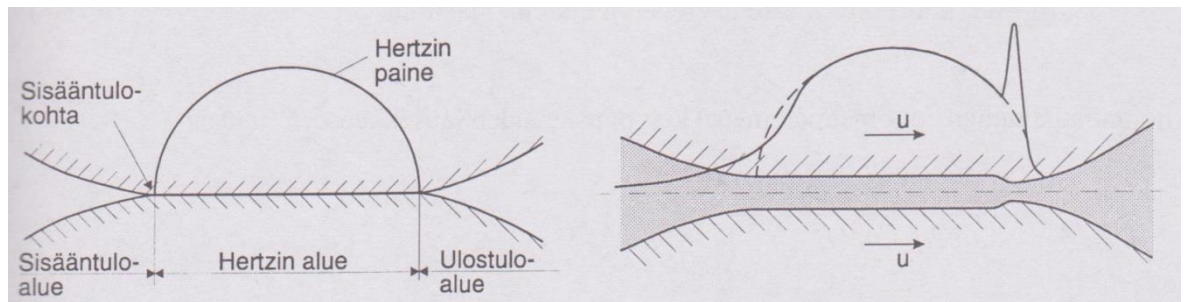
saalta, viskositeetin kasvattaminen lisää vaimennusta, joka ennaltaehkäisee värähtelyä. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 24.)

Liukulaakerin hydrodynaaminen voitelu mitoitetaan niin, että laakeri on tasapainotilanteessa, jossa kitkasta muodostuva lämpöenergiämäärä on saman suuruinen kuin laakerissa virtaavan voiteluöljyn poiskuljettama lämpöenergiämäärä. Laakerin mitoituksessa voidaan vaikuttaa laakerin toimintaan usealla eri tavalla, jolloin yhdenkin tekijän muuttaminen voi vaikuttaa siihen merkittävästi. Tällaisia tekijöitä ovat muun muassa:

- laakerin halkaisija
- laakerin leveys
- laakerin välys
- kuormitus
- kehänopeus
- voiteluaineen syöttöpaine
- voiteluaineen syöttölämpötila
- voiteluaineen viskositeetti. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 25.)

**Elastohydrodynaaminen voitelu.** Elastohydrodynaaminen voitelu (EHL) on siis yksi kolmesta nestevoitelun tyypeistä. Esimerkkejä EHL-voitelun sovellusalueista ovat, pienen kosketuspinta-alan kautta suuria kuormituksia välittävät hammaspyörät sekä vierintälaakerit. Verraten hydrodynaamiseen voiteluun tämän tyyppin voitelussa muodostuu suuria kosketuspaineita, jotka luovat kosketuksessa huomattavaa elastista muodonmuutosta sekä paineesta johtuen voiteluaineen viskositeetin voimakasta kasvua. Voiteluainekalvo ei kuitenkaan hajoa, koska kimmoisten muodonmuutosten vuoksi koskettava pinta-ala kasvaa ja paineen vaikutuksesta kankeaksi muuntunut voiteluaine ei ennäätä pusertua pois kosketuskohdasta. Elastohydrodynaamisessa voitelussa Hertzin maksimikosketuspaineiden suuruusluokka on noin 0,5–3 GPa ja voiteluainekalvon minimipaksuus on suuruusluokaltaan noin 0,1–2  $\mu\text{m}$ . Verrattuna Hertzin kuivan kosketuksen painejakautumaan elastohydrodynaamisen voitelutilanteen ominaisia piirteitä ovat voiteluainekalvon minimipaksuuden sekä painepiikin sijainti kosketuksen ulostulopuolella. Kosketuksen sisään-

tuloalueella voiteluaine pakkautuu ja painejakautuma levittäytyy Hertzin alueen ulkopuolelle. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 25–26.) Kuviossa 16 on esitelty periaatepiirros kahden kitkattoman lieriön välisestä painejakautumasta sekä voitelukalvon paksuudesta, jossa kuvattuna vasemmalla kuivakosketustilanne ja oikealla elastohydrodynaaminen voitelutilanne. Kuvioista voidaan myös nähdä edellä mainitut elastohydrodynaamisen voitelutilanteen ominaispiirteet.



Kuvio 16. Painejakauma ja voitelukalvon muoto elastohydrodynaamisessa voitelussa (Holmberg & Holvio 1984, Kiviojan 2007c, 147 mukaan).

Elastohydrodynaamisessa voitelussa voiteluainekalvon kyky erottaa kosketuspinnat toisistaan vaatii sileitä kosketuspintoja, sillä voiteluainekalvonpaksuudet ovat ohuet. Tästä syystä erityisen epäsuotuisia ovat terävät pinnankarheuden huiput. Johtuen ohuesta voitelukalvosta kosketus on herkkä siihen saapuville epäpuhtauksille, joista merkittävimpänä kovat kulumispartikkelit. Jotta voitelu toimisi halutulla tavalla, voiteluöljyn suodatuksen sekä huollon yhteydessä tulee painottaa puhtauden merkitystä. Kosketus on niin herkkä, että jopa muutaman mikrometrin kokoiset hiukkaset voivat aiheuttaa kosketuskohdassa huomattavan painehuipun, josta seuraa kosketuspintojen väsyminen sekä niiden käyttöiän lyhentäminen. (Lehtovaara 1998, Miettisen & Lehtovaaran 2006, 28 mukaan.)

Elastohydrodynaamisessa voitelussa kosketuksen kitkan arviointi on haastava tehtävä, sillä kitkaominaisuudet riippuvat monista asioista. Tällaisia seikkoja ovat voiteluaineen reologiset ominaisuudet, kosketuksen lämpötila, kosketusolosuhteet sekä kosketusmekanismin tyyppi. Erittäin haastavien kosketusolosuhteiden, esimerkiksi suuren kosketuspaineen sekä kosketuksessa tapahtuvan luiston vuoksi on mahdollista, että voiteluaineen käyttäytyminen muuntuu ei-newtonilaiseksi. Tämä tarkoittaa, että leikkausnopeuden kasvaessa leikkausjännityksen kasvu hidastuu ja lopuksi se saavuttaa voiteluaineelle tyypillisen maksimileikkauslujuuden, jolloin voiteluaine leikkautuu plastisesti. Maksimileikkauslujuudella on oleellinen

vaikutus kitkaominaisuuksiin kosketuksessa ja se on riippuvainen lämpötilasta ja paineesta. Kosketuksessa vallitsevilla lämpötilalla ja kitkaominaisuuksilla on keskenään toisiaan tehostava vuorovaikutus, jolloin suurentunut kitkavoima nostaa kosketuksen lämpötilaa, joka taas puolestaan vaikuttaa jälleen kitkaan voiteluaineen muuttuneiden ominaisuuksien välityksellä. Englanninkielisessä materiaalissa käytetään maksimileikkauslujuudesta nimitystä limiting shear strenght. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 28.)

**Hydrostaattinen voitelu.** Viimeinen nestevoiteluun kuuluva tyyppi on hydrostaattinen voitelu, joka perustuu voiteluaineen hydrostaattisen paineen kykyyn erottaa vastinpinnat toisistaan pintojen välisen suhteellisen liikkeen puutteesta huolimatta. Tämän tyyppin voitelussa voiteluaine pumpataan voiteluainetaskuun, joka sijaitsee liukupintojen välissä. Pumpun tehontarpeesta huolimatta hydrostaattisen laakeroinnin kitkateho on alhainen. Lisäksi toinen hydrostaattisen laakerin etu on sen suuri jäykkyys. Nopeakäyntisissä koneissa on kannattavaa käyttää matalan viskositeetin omaavia voiteluaineita, esimerkiksi kaasut, joista erityisesti mainittakoon ilma. Esimerkkejä kohteista, joissa käytetään tällaisia aerostaattisia laakerointeja, ovat työstökoneiden karat ja luistit, eräät prosessilaitteet sekä instrumentit. (Kivioja 2007d, 157.)

**Rasvavoitelu.** Vierintälaakereissa rasvavoitelu on käytetyin voitelutapa, ja sen ominaisia käyttökohteita ovat muun muassa teollisuuden keskipakopumput. Liukulaakerien rasvavoitelu on hankalampaa, koska rasvavoitelutilanteeseen voidaan soveltaa hydrodynaamista voiteluteoriaa vain rajallisesti. Rasvavoitelu soveltuukin laakereihin, jotka muodostavat vain vähän lämpöä. Liukunopeuden raja-arvona pidetäänkin rasvavoidellussa laakerissa nopeutta 2 m/s. Yleisesti voitelurasvaa käytetään hitaasti pyörivissä hammaskosketuksissa ja liukulaakereissa sekä akselitapeissa, joiden liikkuminen on edestakaista. Rasvavoitelu on mahdollista toteuttaa keskusvoitelujärjestelmällä ja kertavoiteluna. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 38–40.) Nykyään laakerien rasvavoitelu on myös mahdollista toteuttaa kestovoiteluna. Rasvavoitelun positiivisia ja negatiivisia puolia öljyvoiteluun verrattuna on esitettyinä taulukossa 2, kun puhutaan vierintälaakerien voitelusta.

Taulukko 2. Rasvavoitelun positiivisia ja negatiivisia puolia öljyvoiteluun verrattuna vierintälaakereissa (Mietinen & Lehtovaara 2006, 39).

<b>Rasvavoitelun positiivisia puolia</b>	<b>Rasvavoitelun negatiivisia puolia</b>
Vähemmän vaativissa käyttökohteissa ei tarvita jälkivoitelua.	Suurin sallittu pyörimisnopeus yleensä matalampi.
Yksinkertainen tiivistäminen epäpuhtauksia, vettä ja poisvalumista vastaan.	Sallittu käyttölämpötila-alue kapeampi.
Yleensä alhaisempi käyntilämpötila ja kitka.	Epäpuhtauksien suodattaminen ei ole mahdollista.
Hyvä soveltuvuus kaltevien ja pystyssä olevien akselien laakerointeihin.	Voiteluaineen syötön toimivuus vaikea todeta.
Yksinkertainen ja halvempi rakenne.	Lämmön siirtyminen pois laakerista heikkoa.

Toisin kuin öljyvoitelussa, rasvavoitelussa toimitaan suurimmaksi osaksi sekavoitelun alueella, sillä voitelurasvan sisältämä öljy on sitoutunut saentimeen, eikä se virtaa voideltavassa kohteessa samalla tavalla kuin öljyvoitelussa. Voitelutilanteessa ei myöskään synny nestevoitelulle yleistä hydrodynaamista tai elastohydrodynaamista voiteluainekalvoa, joka erottaisi vastinpinnat toisistaan. Rasvavoiteluissa laakereissa lämpö siirtyy pois laakerista johtamalla akselin kautta rakenteiden muihin osiin sekä säteilemällä sitä ilmaan. Öljyvoitelulle tyypillistä lämmönsiirtymistä voiteluaineen kuljettamana ei esiinny rasvavoitelutilanteessa. Liian korkean lämpötilan vaikutuksesta muuttuu voitelurasvan kiinteytys niin mitättömäksi, että voitelurasvalla ei ole enää edellytyksiä pysyä laakerin sisällä. Voitelemisen toiminnan kannalta voidaan rasvavoitelu jakaa kolmeen hallitsevaan mekanismiin, joita ovat voitelurasvan leviäminen vierintäelimien avustuksella pidikkeestä kosketuskohtaan, tärinän vaikutuksesta tapahtuva rasvan liikkuminen laakerissa sekä perusöljyn erottuminen sideaineesta. (Mietinen & Lehtovaara 2006, 38.)

Laakeria voideltaessa se täytetään kauttaaltaan voitelurasvalla. Kun laite, ja näin ollen myös voideltu laakeri, käynnistetään, alkaa voitelurasva työntyä laakerin ympärillä sijaitsevaan tilaan vierintäelimien johdosta. Kyseisestä tapahtumasta johtuu käynnin alkuvaiheen laakerin lämpötilan nouseminen sekä laakerissa vaikuttavan kitkan kohoaminen. Suositeltu arvo laakeripesän täyttöasteeksi on noin 30–50 %

sen tilavuudesta. Tällä tavoin pyritään varmistamaan riittävä tila siirtyvälle rasvalla sekä sen lämpölaajenemiselle, jolloin vältetään laakerin liialliselta lämpenemiseltä. Rasvavoideltujen laakerien pyörimisnopeudet ovat juurikin tästä käynnistystilanteen lämpötilan noususta johtuen matalampia verrattuna öljyvoideltuihin laakereihin. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 39.)

Alkuvaiheen jälkeen, kun lähes koko voitelurasva määrä on ajautunut laakerin ympärillä sijaitsevaan tilaan, muuttuvat hallitseviksi mekanismeiksi rasvan ajautuminen pidikkeestä kosketuskohtaan sekä perusöljyn erottuminen voitelurasvasta. Käyttöolosuhteista perusöljyn erottumiskykyyn vaikuttaa jaksollinen käynti sekä käyntilämpötila. Korkea käyntilämpötila vaikuttaa perusöljyn viskositeettiin alentavasti, jolloin öljyn erottumiskyky kasvaa. Käynnin jaksollisuuden vaikutus perustuu aikaan, jolloin mitä enemmän laakerin käynnissä ilmenee pitempiä jaksoja, jonka aikana se on pysähtyneenä, sitä enemmän perusöljyä ehtii erottumaan voitelurasvasta. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 39.)

Tärinän vaikutus voitelutilanteeseen vaihtelee ja se riippuu tärinätasosta. Tärinätason ollessa matala ei tapahdu voitelurasvan liikettä laakerin sisällä. Voitelutilanne huononee entisestään, kun tärinätaso ei riitä voitelurasvan liikuttamiseen, ja samaan aikaan akselin jatkaessa pyörimistä, ilman että kosketuskohtaan tulisi uutta rasvaa. Huonoa voitelutilannetta voidaan parantaa säännöllisellä voitelulla. Lisäksi voitelutilanne paranee, kun tärinätason nousun johdosta voitelurasva aloittaa taas liikkumisen laakerissa, jolloin kosketuspisteeseen saadaan uutta voitelurasvaa. Tärinätasosta voi kuitenkin aiheutua ongelmia sen ollessa erittäin korkea. Tällöin tärinätaso saattaa johtaa voitelurasvan voimakkaaseen kiertokulkuun laakerin sisällä, josta seuraa rasvan ennenaikainen turmeltuminen, perusöljyn liiallisesta erottumisesta sekä rasvan pehmentymisestä johtuen. Tärinätason lisäksi erilaisten tilaiteiden syntyyn vaikuttaa myös itse voitelurasvan kiinteys. Kohteissa, joissa tapahtuu voimakasta tärinää, käytetään mekaanisesti kestäväää voitelurasvaa. Tyyppillisesti käytetään rasvaa, jonka saennin on litiumsaippuapohjaista. (Miettinen & Lehtovaara 2006, 39.)

## 3.2 Voiteluaineet

Laitteiden toimintaan kuuluu olennaisena osana voiteluaine. Voiteluaine voi olla nestettä, kiinteää ainetta tai kaasua, joka toimii väliaineena kahden kiinteän vastinpinnan välissä. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 48.) Erilaiset ympäristöolosuhteet sekä voitelukohteet asettavat voiteluaineille useita erilaisia vaatimuksia. Voiteluaineen on myös usein pystyttävä hoitamaan yhtä aikaa useita eri tehtäviä, joita ovat muun muassa kulumisen vähentäminen, korroosion ehkäiseminen, jäähdyttäminen, tiivistäminen, ei-toivottujen partikkelien poistaminen sekä kitkan alentaminen. (Salonen 2007e, 170.) Ymmärtääkseen voiteluaineen käyttäytymistä tulee ymmärtää joitain peruskäsitteitä voiteluaineisiin liittyen, mistä voi olla hyötyä esimerkiksi valittaessa sopivaa voiteluainetta tiettyyn kohteeseen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 48.) Tässä opinnäytetyössä on jo aiemmin käsitelty muutamia käsitteitä liittyen voiteluaineisiin, kuten viskositeettia, tunkeumaa sekä tippumispistettä. Seuraavaksi esitellään lyhyesti muita voiteluaineisiin liittyviä peruskäsitteitä.

### 3.2.1 Peruskäsitteet

**Dynaaminen viskositeetti.** Dynaaminen viskositeetti voidaan mitata vastusmomentilla, joka kohdistuu voiteluaineessa pyörivään roottoriin. Kyseistä menetelmää käytetään paksuille nesteille, jotka eivät enää virtaa kylmässä kapillaarisesti. Tavanomaisin menetelmä on Brookfield-menetelmä, jota käytetään esimerkiksi liikkuvan kaluston voiteluaineluokittelussa eli SAE-luokituksessa. Dynaamisen viskositeetin yksikkö SI-järjestelmässä on  $\text{Ns/m}^2$ . Dynaamisesta viskositeetista käytetään myös nimitystä absoluuttinen viskositeetti. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 49.)

**Kinemaattinen viskositeetti.** Kinemaattista viskositeettia käytetään teollisuusöljyjen ISO VG -luokan määrittämiseen. Kinemaattista viskositeettia voidaan mitata kapillaariviskometrillä, ja sen yksikkö SI-järjestelmässä on  $\text{m}^2/\text{s}$ . Käytännön yksikkönä käytetään kuitenkin  $\text{mm}^2/\text{s}$ , joka on myös cSt, eli senttistoke. Dynaamisen ja kinemaattisen viskositeetin välillä on tietty suhde, sillä kinemaattinen viskositeetti saadaan, kun dynaaminen viskositeetti jaetaan voiteluaineen tiheydellä. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 50.)

**Viskositeetti-indeksi.** Viskositeetti-indeksi, lyhennettynä VI, kuvaa viskositeetin muuttumista lämpötilan muuttumisen suhteen. Lämpötilan vaikutus viskositeettiin on pieni, kun viskositeetti-indeksi on korkea. Lisäksi on mahdollista, että indeksin arvo on negatiivinen. Viskositeetti-indeksin määrittäminen tapahtuu +40 celsiusasteen ja +100 celsiusasteen lämpötiloissa mitattujen viskositeettiarvojen perusteella. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 50.)

**ISO VG -luokitus.** ISO VG -luokitus kansainvälisen standardisoimisjärjestön teollisuusöljyille kehittämä viskositeettiin perustuva luokitus. Systeemi muodostuu 18 viskositeettiluokasta, jotka on esitetty  $\text{mm}^2/\text{s}$ :na +40 celsiusasteen lämpötilassa. Kyseinen luokitus ei ota kantaa itse voiteluöljyn suorituskykyyn. Taulukossa 3 on esitetty ISO 3348:n mukainen teollisuusöljyjen viskositeettiluokitus. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 52.)

Taulukko 3. Teollisuusöljyjen viskositeettiluokitus  
(ISO 3448, 1992, Luukkaisen & Vihersalon 2006, 53 mukaan).

ISO VG -luokka	Viskositeetin keskiarvo mm <sup>2</sup> /s, lämpötilassa +40 °C (vaihtelurajat +/- 10 %)
ISO VG 2	2,2
ISO VG 3	3,2
ISO VG 5	4,6
ISO VG 7	6,8
ISO VG 10	10,0
ISO VG 15	15,0
ISO VG 22	22,0
ISO VG 32	32,0
ISO VG 46	46,0
ISO VG 68	68,0
ISO VG 100	100,0
ISO VG 150	150,0
ISO VG 220	220,0
ISO VG 320	320,0
ISO VG 460	460,0
ISO VG 680	680,0
ISO VG 1000	1000,0
ISO VG 1500	1500,0

**Ominaispaino.** Ominaispaino on veden ja voiteluaineen tiheyden suhde. Vertailulämpötilana käytetään öljyteollisuuden yhteydessä +15 °C. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 52.)

**Leimahduspiste.** Leimahduspisteellä tarkoitetaan lämpötilaa, jossa pienen liekin johdosta voiteluaineesta höyrystyvät kaasut leimahtavat, mutta eivät sen jälkeen kuitenkaan jatka palamista. Leimahduspisteen määrittämiseen on kaksi menetelmää, jotka ovat avoimen ja suljetun upokkaan menetelmät. Nämä kaksi menetelmää antavat toisistaan eroavia tuloksia siten, että avoimen upokkaan menetelmäs-



tä saadut arvot ovat muutamia asteita korkeampia kuin suljetun upokkaan menetelmästä saadut arvot. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 53.)

**Samepiste ja jähmepiste.** Samepiste tarkoittaa lämpötilaa, jossa kiteytyvät parafiiniset hiilivedyt alkavat näkyä sameutena. Jähmepisteeksi kutsutaan taas ylintä lämpötilaa, jossa koeputkessa oleva voiteluaine ei enää putkea kallistaessa liikuviiden sekunnin aikana. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 53.)

**Pumpattavuus.** Pumpattavuudella ilmaistaan voiteluaineen juoksevuutta matalissa lämpötiloissa. Se kertoo alimman lämpötilan, jossa testilaitteeseen saadaan virtaamaan tarpeeksi voiteluainetta. Raja-arvo pumpattavuudelle on järjestelmäkohtainen ja siksi rasvoille sekä öljyille onkin kehitetty erilaisia testauslaitteita. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 53.)

**Neutraloitumisluku.** Voiteluöljyn vanhenemisen, käytettyjen lisäaineiden tai käytön vaikutuksesta johtuen voi voiteluaineessa olla happamia ja/tai emäksisiä ainesosia. Näiden ainesosien määrittäminen suoritetaan potentiometrisen titrauksen avulla. (Kara 1989, 163.) Neutraloitumisluku ilmaisee siis voiteluaineessa olevien emäksisten (TBN) sekä happamien (TAN) ainesosien määrän (Luukkainen & Vihersalo 2006, 55).

### 3.2.2 Voitelurasvat

Voitelurasvat ovat toiseksi yleisin voiteluaineryhmä heti voiteluöljyjen jälkeen. Rakenteeltaan voitelurasvat ovat saennettuja öljyjä, jotka nykypäivänä koostuvat perusöljystä sekä siihen heikosti liukenevasta, hienojakoisesta saentimesta. Näiden perusraaka-aineiden lisäksi voitelurasvat sisältävät lisäaineita, jotka vaikuttavat muun muassa kestoikään ja suorituskykyyn. Yhdessä nämä seikat muodostavat kokonaisuuden, joka määrää voitelurasvan ominaisuudet sekä koostumuksen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 68.)

Voitelurasvoilla on mahdollista toteuttaa kustannustehokkaasti käytännön tarpeita vastaavia paikallisia voitelujärjestelmiä. Tribologisesta näkökulmasta katsottuna voitelurasvojen käytöllä ei saada etuja verrattuna voiteluöljyjen käyttöön. Voiteluöljyjen voitelumekanismit ovat paremmin tunnetut kuin voitelurasvojen. Tämä johtuu

osittain voitelurasvan jäykkyydestä johtuvista reologisista eli virtausteknisistä rajoituksista. Lisäksi öljyvoidellun vierintälaakerin voitelukalvo on paksumpi kuin vastaavassa rasvavoidellussa laakerissa. Vaikka voitelurasvan sisältämä saennin osallistuu voitelutilanteeseen, on se samaan aikaan ainesosa, joka voidaan rinnastaa pehmeisiin epäpuhtauspartikkeleihin. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 68.)

Sovellusalueita rasvavoitelulle on lukuisia, joista kaikkein kriittisimpiä ovat vierintälaakerit, joissa ilmenee suuri pintapaine sekä hyvin ohut voitelukalvo. Vierintälaakerien voitelusta suurin osa on toteutettu rasvavoitelulla, joko keskusvoiteluna, kertavoiteluna tai jaksottaisesti uusintavoiteluna. Uusintavoitelun toiminnassa kulutetun rasvan sekä sen sisältämän kosteuden, epäpuhtauden ja kulumisjätteen syrjäyttää uusi rasva. Tällä osittain voidaan korvata se, ettei voitelurasvaa pystytä suodattamaan käytön aikana. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 69.)

**Perusöljyt.** Tyypillisessä voitelurasvan koostumuksessa noin 90 % on perusöljyä, joka vaikuttaa merkittävästi voitelurasvan voiteluominaisuuksiin. Voitelurasvan valintaprosessi lähtee liikkeelle periaatteesta, jossa voitelurasvan sisältämän perusöljyn viskositeetin tulee olla saman suuruinen kuin vastaavanlaiseen öljyvoitelulla hoidettuun kohteeseen valittavan voiteluöljyn viskositeetti. Voitelurasvan jäykkyys valitaan voideltavan kohteen perusolosuhteiden mukaan, joita ovat muun muassa voitelutapa, värähtelyt sekä geometria. Lisäksi voitelurasvan jäykkyyteen vaikuttavat perusöljy, saennintyyppi sekä sen määrä. Käyttötarkoituksesta riippuen voitelurasvan perusöljynä käytetään joko mineraaliöljyä tai synteettistä öljyä. Teollisuuden voitelurasvoista suurin osa perustuu yhä mineraalipohjaisiin öljyihin, kun taas synteettiseen öljyyn perustuvien voitelurasvojen käyttö on yleistynyt kuumissa ja kylmissä käyttökohteissa. Synteettisillä perusöljyillä saavutetaan parempi suorituskyky paremman viskositeetti-indeksin johdosta sekä paremman kylmien olosuhteiden juoksevuuden ansiosta. Fluori- ja silikoniöljypohjaiset voitelurasvat sallivat korkean, jopa yli +200 celsiusasteen käyttölämpötilan. Yksi rajoittava tekijä synteettisten voitelurasvojen yleistymiselle on sen hinta, joka on korkeampi verrattuna mineraaliöljypohjaisiin voitelurasvoihin. Lisäksi on tiettyjä synteettisiä voitelurasvoja, kuten esteripohjaiset voitelurasvat, jotka voivat olla haitallisia elastomeereille. Tästä aiheutuu tiettyjen voitelurasva- ja tiivisteyhdistelmien käytön rajoittumista. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 69–70.)

**Saentimet.** Perusöljyjen lisäksi voitelurasvojen toisen perusrakenneosan muodostavat siis saentimet. Voitelurasvoissa käytetään saentimina muun muassa metallikompleksisaippuuita, orgaanisia ei-saippuayhdisteitä, epäorgaanisia yhdisteitä sekä metallisaippuuita. Saippuanimityksellä viitataan emäksen, kuten litiumhydroksidin, sekä rasvahapon (esimerkiksi steariinihapon) suolaan, josta käytetään nimeä saippua. Kompleksisaippualla tarkoitetaan emäksen sekä kahden tai useamman rasvahapon yhteistä reaktiotuotetta. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Litiumsaippuarasvat.** Litiumsaippuarasvoilla on monia hyviä ominaisuuksia, joista mainittakoon hyvä lämpötilankesto, hyvät tiivistysominaisuudet sekä erinomainen leikkautumiskestävyys. Lisäksi niiden korroosionestokyky ja vedenkestävyys on parempi kuin natriumsaippuarasvalla. Litiumsaippuarasvat antavat myös hyvät edellytykset vaikuttaa voitelurasvan ominaisuuksiin lisäaineistuksella. Tämän hetken käytetyistä voitelurasvoista suurin osa on litiumsaippuarasvoja. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Kalsiumsaippuarasva.** Kalsiumsaippuarasva on perinteisesti käytetty voitelurasvatyyppi, ja sen parhaana ominaisuutena voidaan pitää hyvää vedenkestävyyttä. Tämän lisäksi kyseisen rasvan valmistuskustannukset ovat alhaiset. Kalsiumsaippuarasvan maksimaalinen käyttölämpötila on rajoitettu noin +90 celsiusasteen pintaan, mutta ne sietävät myös kohtuullisen hyvin kylmiä olosuhteita. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Natriumsaippuarasva.** Natriumsaippuarasva on myös aiemmin suosiossa ollut metallisaippuarasvatyyppi. Viime vuosikymmenien aikana on kyseisen rasvan käyttö kuitenkin vähentynyt. Syy tähän on natriumsaippuarasvan vähäiset ominaisuuksien muokkaamismahdollisuudet ja sen kyky liueta veteen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Kompleksisaenninrasvat.** Nämä rasvat kehitettiin sallimaan korkeampia käyttölämpötiloja, johon perinteiset saippuarasvat eivät kyenneet. Lisäksi vedenkestokyky on saippuarasvoja parempi. Kompleksisaippuarasvojen käyttäminen on yleisyydessä haastavissa voitelukohteissa. Kaupallisten kompleksirasvojen käytettyjä saentimia ovat muun muassa litium-, alumiini- ja kalsiumkompleksit. Tämän tyy-

pisillä rasvoilla saavutetaan noin +150—+170 celsiusasteen käyttölämpötilat. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Orgaaniset saentimet.** Orgaaniset saentimet ovat yleensä polyureakuituja tai polytetrafluorietyylejä (PTFE), jos ne eivät ole saippuonia. Polyureakuidut syntyvät aminiinien ja isosyaniittien välisissä reaktioissa. Tämänäyttötyypisillä saentimilla toteutetulla voitelurasvalla on usein hyvät lämmön- ja vedenkesto-ominaisuudet. Tästä syystä voitelurasvalle saadaan luotua pitkä elinikä haastavissakin olosuhteissa. Polyurearasvoja käytetäänkin yleisesti voiteluaineena eräissä kertavoidelluissa laakereissa. Tällöin voitelurasvaa ei vaihdeta tai lisätä laakerin eliniän aikana. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 70.)

**Polyurearasvat.** Näillä rasvoilla on saippuarasvoja heikommat pumpattavuusominaisuudet, mikä rajoittaa niiden käyttämistä keskusvoitelujärjestelmissä. Lisäksi toinen polyurearasvojen käyttöä rajoittava tekijä on niiden hinta, joka on huomattavasti korkeampi kuin saippuarasvojen hinta. Tietyillä kaupallisilla voitelurasvoilla on mahdollista toteuttaa jopa +250 celsiusasteen sallivan käyttölämpötilan. Näiden voitelurasvojen toteutuksessa on käytetty fluoriöljyä sekä PTFE-saenninta. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 71.)

**Epäorgaaniset saentimet.** Tärkein näistä saentimista on bentoniittisavi. Voitelurasvojen, jotka perustuvat tähän saentimeen, paras ominaisuus on suuri käyttölämpötila-alue. Tämä on mahdollista, sillä näillä voitelurasvoilla on olomuotomuutoksia vastustava kyky, eikä niillä ole lainkaan sulamispistettä. Ongelmana ovat kuitenkin bentoniittirasvojen korkeat valmistuskustannukset, jonka vuoksi niitä on kannattavaa käyttää vain erikoissovelluksissa, joissa kyseisen voitelurasvan kuumansietokyky on todella tarpeen. Silikonirasva on toinen erikoissovellutuksiin käytetty ei-saippuarasva, jonka perusöljynä käytetään silikoniöljyä ja saentimena sili-kageeliä. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 71.)

**Lisäaineet.** Saentimien ja perusöljyjen lisäksi voitelurasvan toimintaan vaikuttaa merkittävästi sen sisältämät lisäaineet. Voitelurasvoin lisätään lisäaineita voitelurasvan eliniän sekä voiteluominaisuuksien parantamiseksi. Tarve voiteluaineiden lisäaineistamiselle on erialaista rasvojen ja öljyjen välillä. Tämä johtuu siitä, että voitelurasvatilavuudet ovat yleensä pienemmät kuin voiteluöljytilavuudet vastaa-

vanlaisessa kohteessa. Tämän lisäksi vaadittu toiminnallinen käyttöikä on voitelurasvoilla useassa tilanteessa pidempi kuin vaihtoväli vastaavilla voiteluöljyillä. Tämä yleensä johtaa voitelurasvoilla suurempaan lisäaineistamisen tarpeeseen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 71.)

Voitelurasvojen lisäaineiden valintaan vaikuttavat monet asiat. Esimerkkeinä mainittakoon yhteensopivuus muiden lisäaineiden sekä pääkomponenttien kanssa, ympäristöasiat, hinta, väri, sekä suorituskyvyn parantaminen. Metalliatomit, joita on saippuarasvojen saentimissa, toimivat joskus hapettumisreaktioissa katalyytteinä. Tämä tarkoittaa sitä, että voitelurasvoilla saattaa olla suurempi ongelma hapettumisen kanssa voiteluöljyihin verrattuna. Saentimen lisäämisellä on taipumus vaikuttaa heikentävästi perusöljyn korroosionesto-ominaisuuksiin, tästä syystä voidaan joutua lisäämään lisäannoksia korroosionestoaineita, jotta päästäisiin haluttuihin ominaisuuksiin. Kaikkein raskaimmin kuormitettujen kohteiden voitelurasvoihin lisätään monesti kiinteitä voiteluaineita, joilla pyritään parantamaan voitelurasvan suorituskykyä rajavoitelutilanteissa, jotka johtuvat ääriolosuhteista. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 71.)

### 3.2.3 Kiinteät voiteluaineet

Kiinteitä voiteluaineita käytetään äärikäyttöolosuhteissa, joissa nestemäisillä voiteluaineilla ei saada tyydyttäviä tuloksia niiden käytöstä. Tällaisten käyttöolosuhteiden syntyyn vaikuttaa useita seikkoja. Esimerkiksi suuret ominaiskuormitukset tai hyvin matalat ja hyvin korkeat lämpötilat ovat tällaisia seikkoja. Lisäksi omaa vaikutusta käyttöolosuhteiden syntyyn luovat alhaiset liukunopeudet sekä tekijät, jotka aiheuttavat ympäristövaikutuksia, joista esimerkkinä mainittakoon hapot, säteily sekä voimakkaasti vaikuttavat olosuhteet. Tällaisia kiinteitä voiteluaineita ovat jo aiemmin mainitut grafiitti ja molybdeenidisulfidi. Näiden lisäksi kiinteinä voiteluaineina käytetään muoveja sekä muita mineraaliperustaisia voiteluaineita. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 72–73.)

**Grafiitti.** Erittäin puhdasta pulverimaista kolloidigrafiittia käytetään voitelutarkoituksiin. Grafiitti on kestävää normaalioloissa noin +400 celsiusasteeseen asti, mutta palaa hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>) noin +500 celsiusasteessa. Grafiitin kitkaa alentava

vaikutus perustuu sen kerrokselliseen kiderakenteeseen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 72.)

**Molybdeenidisulfidi (MoS<sub>2</sub>).** Samantyyppisen grafiitin kiderakenteen omaava molybdeenidisulfidi mahdollistaa erittäin alhaiset kitka-arvot rajakitkatilanteissa. Kyseisen aineen käytön ylärajana pidetään +400 °C, jossa se hapettuu molybdeenitrioksidiksi. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 72.)

**Muut mineraaliperustaiset voiteluaineet.** Kadmiumkloridi, boorinitridi, sinkki-stearaatti sekä booraksi ovat muita kerroksellisen kiderakenteen omaavia voiteluaineita. Käytettäessä kiinteitä voiteluaineita tärkeitä seikkoja ovat kerroksellinen rakenne ja riittävä voitelukalvonpaksuus, jossa on hyvin pintaan tarttuvat ja suuntautuvat lamellit. Edellytyksenä kuitenkin on, että pinnat ovat kuivat ja puhtaat ja että kiinteää voiteluainepulveria hierotaan voimakkaasti pintaa vasten. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 73.)

**Muovit.** Monilla muoveilla on erittäin pieni kitkakerroin terästä vasten. Esimerkkinä näistä mainittakoon polyetylenei ja polytetrafluorietylenei. Pienen kitkakertoimen johdosta muoveja käytetään laakerien raaka-aineena kuivakäytöllä käyvissä laakeroinneissa. Lisäksi niitä käytetään nestemäisissä sekä tahnamaisissa esikäsitteilyaineissa pulverimaisina ainesosina. Tällaisia aineita ovat muun muassa edellisessä kappaleessa mainitut muut mineraaliperustaiset voiteluaineet. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 73.)

### 3.2.4 Voiteluöljyt

Voiteluaineet ovat useimmin perustaltaan öljypohjaisia. Lisäksi suurin osa voiteluaineista on olomuodoltaan nestemäisiä. Käytettyjä perusöljyjä voiteluaineissa ovat synteettiset, mineraali- sekä kasviöljyt. Jokaisella perusöljyraaka-aineella sekä niiden jalostusmenetelmällä on omat positiiviset ja negatiiviset ominaisuutensa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 55.)

**Mineraaliöljyt.** Mineraaliöljyjen valmistus tapahtuu tislaamalla ja puhdistamalla raakaöljyä. Koostumus raakaöljyssä vaihtelee laadun mukaan. Haluttuja kemiallisesti sopivia raakaöljyjen ominaisuuksia voiteluaineiden perusöljyjen jalostukseen

ovat muun muassa alhainen rikkipitoisuus ja aromaattisuus sekä stabiilisuus, esimerkiksi kemiallista kestävyyttä hapettumiskykyä vastaan. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 55.)

Voiteluöljyissä hiilivetykoostumuksella on vaikutus jähme- ja leimahduspisteeseen, tiheyteen sekä viskositeetin lämpötilariippuvuuteen eli viskositeetti-indeksiin (VI). Hiilivetytyypeistä tärkeimmät ovat nafteeniset (tyydyttyt rengasrakenteiset ( $C_N$ )), aromaattiset (tyyydyttymättömät rengasrakenteiset ( $C_A$ )) sekä parafiiniset (tyydyttyt ketjumaiset ( $C_P$ )) hiilivedyt. Eroavuudet hiilivetyjen nafteenisuudessa tai parafiinisuudessa johtavat erilaisiin lopputuotteen ominaisuuksiin. Suurina pitoisuuksina aromaattiset hiilivedyt ovat haitallisia voiteluaineissa, joten tavanomaisesti niitä on perusöljyssä alle 10 %. Suurin osa mineraalipohjaisista voiteluöljyistä on valmistettu parafiinisista perusöljyistä. Tuotteelle halutut ominaisuudet ja voiteluaineen käyttökohde vaikuttavat, millainen perusöljy valitaan käytettäväksi. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 55–56.) Taulukossa 4 on esitetty nafteeni- ja parafiinipohjaisten mineraaliöljyjen erilaisia ominaisuuksia.

Taulukko 4. Nafteeni- ja parafiinipohjaisten mineraaliöljyjen ominaisuuksia (Luukkainen & Vihersalo 2006, 56).

Ominaisuus	Nafteeniset	Parafiiniset
Kumitiivistemateriaalien kestävyys	huono	neutraali
Viskositeetti-indeksi	huono	kohtalainen
Käyttäytyminen kylmässä	hyvä	kohtalainen
Lisäaineiden liuotuskyky	voimakas	kohtalainen

Prosessina voiteluaineiden jalostaminen raakaöljystä on monivaiheinen. Perusöljyjen kehittämisellä tavoitellaan parempia fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia, kuten parempaa pumpattavuutta, viskositeetin lämpötilariippuvuutta sekä hapettumisenkestoa. Käytännössä nämä fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaikuttavat parempiin kylmäkäyttöominaisuuksiin, korkeampaan viskositeetti-indeksiin sekä pidempään käyttöikään. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 56.)

Synteettisten nesteiden sekä mineraaliöljyjen lisäksi markkinoille on uusi tuoteryhmä, joka koostuu VHVI-tyypin tuotteista. VHVI on lyhenne sanoista Very High Viscosity Index, jolla tarkoitetaan erittäin korkeaa viskositeetti-indeksiä. Kyseiset

aineet sijoittuvat ominaisuuksiensa puolesta perinteisten mineraaliöljyjen ja synteettisten öljyjen väliin. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 58.)

Teollisuuden voiteluaineista suurin osa kuitenkin pohjautuu yhä perinteisiin mineraaliöljyihin. Ne ovatkin erilaisten lisäaineiden sekä perusöljyjen seoksia, joilla tavoitellaan käyttötarkoituksen mukaan vaadittuja ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa viskositeetti-indeksi, viskositeetti, kylmäominaisuudet, hapettumisen esto, hallittu karstanmuodostus sekä lisäaineliukoisuus. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 58.)

**Synteettiset nesteet.** Synteettisiä voiteluaineita käytetään käyttöalueilla, joissa mineraalipohjaiset voiteluaineet eivät enää kykene suoriutumaan voitelusta halutulla tavalla voideltavan kohteen niille asettamista vaatimuksista. Tällaisia olosuhteita ovat esimerkiksi erittäin matalat ja korkeat lämpötilat, ympäristövaatimukset, raskaat kuormitukset sekä palamattomuus. Ominaisuudet synteettisissä voiteluaineissa ovat peräisin perusöljyn kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista sekä niiden sisältämistä lisäaineista. Voiteluaineessa olevan perusöljyn ominaisuudet määrittävät pääasiassa valmiin tuotteen jähmepisteen, kiehumispisteen, vaikutuksen tiivisteisiin ja maaleihin, juoksevuuden matalissa lämpötiloissa, lisäaineiden liukenevuuden, sekoitettavuuden mineraaliöljyihin sekä viskositeetin käyttäytymisen eri lämpötiloissa. Lisäaineilla taas vaikutetaan kuormankantokykyyn, haihtuvuuteen, hapettumiskestävyyteen sekä korroosionestoon. Synteettisten voitelunesteiden käyttökohteita ovat muun muassa työstökoneet, hydraulijärjestelmät, kaivosteollisuuden koneet, jäähdytyskompressorit, maalit sekä tietynlaiset vaihteistot ja laakerit. (Salonen 2007e, 181–182.) Synteettisiä nesteitä ovat muun muassa synteettiset hiilivedyt, esterit, polyglykolit, fosforihappoesterit sekä silikoniöljyt (Luukkainen & Vihersalo 2006, 59–60). Taulukossa 5 on havainnollistettu eräiden synteettisten voiteluaineiden ominaisuuksia verrattuna mineraaliöljyyn.



Taulukko 5. Eräiden synteettisten voiteluaineiden ominaisuuksia verrattuna mineraaliöljyyn (Mobil 1986, 35).

Ominaisuudet	Mineraali- öljy	Polyalfa- olefiini	Alkyyli- bentseeni	Diesteri	Polyolies- teri	Polygly- koli	Fosfaatti- esteri	Silikoni- öljy
1. Viskositeetti- lämpötilariippuvuus	4	3	4	2	2	2	5	1
2. Juoksevuus alhaisissa lämpötiloissa	4	3	3	3	2	3	4	3
3. Kulumissuoja	4	4	4	4	4	1	2	5
4. Kitkaominaisuudet	3	3	3	3	2	1	2	5
5. Hapettumiskestävyys (lisäaineistettuna)	4	2	4	3	1	1	4	3
6. Veden erottuminen	4	2	2	2	2	5	2	5
7. Ilman erottuminen	3	2	2	2	2	4	2	
8. Ruosteenesto	1	1	1	3	3	3	3	4
9. Sekoitettavuus mineraaliöljyyn	-	1	1	3	4	5	5	5
10. Vaikutus maaleihin	1	1	1	5	5	3	5	2
11. Vaikutus tiivisteisiin	1	1	1	4	4	3	4	1
12. Hydrolyyttinen kestävyys	1	1	1	4	4	2	4	3
13. Pieni haihtuvuus	4	1	4	1	1	3	3	3
1 = erinomainen, 2 = erittäin hyvä, 3 = hyvä, 4 = tyydyttävä, 5 = huono								

**Synteettiset hiilivedyt.** Synteettisiä hiilivetyjä ovat polyalfaolefiini sekä alkyylibentseenit. Lisäaineistettuna Polyalfaolefiinillä (PAO) on hyvä hapettumisenkestävyys ja sen viskositeetin ominaisuudet ovat hyvät niin kuumassa kuin kylmässäkin. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 59.) Kyseisillä aineilla on myös korkea viskositeettiindeksin arvo, joka on normaalisti yli 135 (Mobil 1986, 37). Polyalfaolefiiniin perustuvat tuotteet sopivat todella hyvin melkein kaikkien voiteluaineiden valmistukseen, joista esimerkkinä mainittakoon kiertovoiteluöljyt, kompressorioöljyt, vaihteistoöljyt, voitelurasvojen perusöljyt sekä hydraulioöljyt. Alkyylibentseenejä käytetään tietyissä kohteissa niiden hyvän liukoisuusominaisuuden johdosta. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sähköeristeet, jäähdytyskompressorit sekä värimetallien valssausprosessit. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 59.)

**Esterit.** Käytettyjä estereitä ovat diesterit ja polyoliesterit. Yhteistä näille estereille on, että ne sopivat huonosti yhteen lakkojen, maalien sekä tiivisteaineiden kanssa.

Lisäksi näitä molempia aineita käytetään ilmailussa suihkumoottorien voiteluaineena. Diestereillä on hyvät viskositeettiominaisuudet matalissa ja korkeissa lämpötiloissa, ja lisäksi niillä ei ole taipumusta höyrystyä. Diestereitä on myös tietyissä tapauksissa sekoitettu bensiinimoottorien öljyyn, kun on haettu todella hyviä lämpötila- ja viskositeettiominaisuuksia, hyvää leikkautumiskestävyyttä sekä vähäistä taipumusta höyrystymiselle. Suihkumoottorien lisäksi diestereitä käytetään kompressori- ja instrumenttiöljyinä sekä korkeisiin lämpötiloihin suunniteltujen, litiumpohjaisten voitelurasvojen nestefaasina. Diestereihin verrattuna polyoliesterien rajavoiteluominaisuudet ovat paremmat ja niiden hajaantumislämpötila on korkeampi. Käyttökohteita suihkumoottorien lisäksi ovat esimerkiksi lämmönsiirtonesteet sekä korkeisiin lämpötiloihin suunnitellut voitelurasvat. (Kara 1989, 108.) Polyoliestereitä käytetään myös biohajoavissa hydraulioöljyissä (Luukkainen & Vihersalo 2006, 60).

**Polyglykolit.** Riippuen koostumuksesta polyglykoleja on kahta tyyppiä, vesiliukoisia ja veteenliukenemattomia. Näillä aineilla on todella hyvät viskositeettilämpötilaominaisuudet. Mineraaliöljyihin verrattuna polyglykolit sopivat huomattavasti yhteen lakkojen, maalien sekä tiivisteaineiden kanssa, mikä saattaa monissa tapauksissa johtaa erityistoimenpiteisiin. (Kara 1989, 109.) Vesiliukoisten polyglykolin käyttökohteita ovat esimerkiksi vaikeasti syttyvät hydraulinesteet sekä jäähdytysnestekompressorit. Hyvien kitka- ja viskositeettiominaisuuksien vuoksi veteenliukenemattomien polyglykolin käyttökohteita ovat muun muassa hiilivetykompressorit ja kierukkavaihteet. Lisäksi niitä käytetään erikoisrasvojen perusöljynä ja kuumien laakerien voitelussa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 60.)

**Fosforihappoesterit.** Fosforihappoesterit reagoivat hapen kanssa heikosti, jolloin reaktion tuottama energia ei kykene pitämään yllä palamisreaktiota. Tästä syystä kyseiset aineet soveltuvakin hyvin vaikeasti syttyviksi hydraulinesteiksi. Fosforihappoestereitä käytetään myös ilmailussa, höyryturbiinien säätäjien kiertoöljynä sekä kulumissuojana, joka muodostuu, kun fosforihappoesterit reagoivat metallipinnan kanssa. Myös nämä aineet vaikuttavat lakkoihin, maaleihin sekä tiivisteaineisiin, jolloin joudutaan käyttämään erikoistoimenpiteitä. (Kara 1989, 109.) Kuumennettaessa fosforihappoestereitä ne muodostavat myrkyllisiä yhdisteitä, mikä

tulee ottaa huomioon käytettäessä näitä aineita (Luukkainen & Vihersalo 2006, 60).

**Silikoniöljyt.** Silikoniöljyllä on useita hyviä ominaisuuksia, kuten erittäin hyvä termien kestävyys, hyvät kostutusominaisuudet, erittäin hyvän hapettumiskestävyyden sekä erittäin korkea viskositeetti-indeksi. Kemiallisesta rakenteesta riippuen niiden käyttölämpötila-alue on laaja, se ulottuuikin -70 celsiusasteesta aina +300 celsiusasteeseen. Silikoniöljyjen käyttökohteita ovat kemiallisessa teollisuudessa vedenhylkimiskäsittely sekä liuku- ja erotteluaineet. Muita käyttökohteita ovat hydraulikkaöljyt, vaikeasti syttyvät erityisnesteet, hanarasvojen sekä korkeille lämpötiloille altistuvien voitelurasvojen nestekomponentit. Elintarviketeollisuudessa silikoniöljyä käytetään niiden hyvien fysiologisten ominaisuuksien vuoksi, esimerkiksi niitä käytetään mineraaliöljyissä vaahdonvaimentimina. (Kara 1989, 110.) Kaikkien näiden lisäksi silikoniöljyä käytetään ilmailutuotteissa käytettävien voitelurasvojen perusöljyssä, lämmönsiirrossa, muovien voitelussa sekä hydraulisissa erikoisjärjestelmissä (Luukkainen & Vihersalo 2006, 60).

**Kasviöljyt perusöljynä.** Kasviöljyt ovat luonnon estereitä sekä tryglyseridejä, jotka kylmissä olosuhteissa eivät sellaisenaan sovi käytettäväksi. Niistä on kuitenkin mahdollista valmistaa estereitä, jotka ovat kylmäominaisuuksiltaan alkuperäisiä öljyjä parempia. Rapsi- ja rypsiöljyt ovat biohajoavien voiteluaineiden raaka-aineita, jotka ovatkin pääasialliset käyttökohteet kasviöljyille. Kasviöljyjen etuja ovat biohajoavuus, hyvät kitkaominaisuudet sekä korkea leimahduspiste. Kasviöljyjen haittapuolia ovat taas käyttöiän lyhyys, käyttölämpötila-alueen rajoittuneisuus, hartsintuminen koneiden pinnoille, heikko hapettumisenkesto sekä pysyvä jähmettyminen kylmissä olosuhteissa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 61.)

### 3.2.5 Lisäaineet

Kuten on jo aiemmin mainittu, moderneihin voiteluaineisiin lisätään erityyppisiä kemiallisia aineita, joiden tarkoituksena on muuttaa perusvoiteluaineen toimintaa paremmaksi tietyillä osa-alueilla. Tällaisia osa-alueiden parannuksia ovat muun muassa voiteluaineen eliniän jatkaminen ja suorituskyvyn parantaminen, voiteluaineeseen päätyvien epäpuhtauksien jakauttaminen sekä voideltavien pintojen suo-

jeleminen reaktioilta, jotka tapahtuvat yhdessä ympäristön kanssa. Monet lisäaineista ovat vaikutuksiltaan monitoimisia, ja ne voivat vaikuttaa, joko fysikaalisesti tarttumalla voitelua vaativiin pintoihin tai kemiallisesti reaktiossa muodostamalla uuden yhdisteen pintojen kanssa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 61.)

Opinnäytetyön aiemmassa vaiheessa lisäaineista on jo käsitelty kulumisenesto-, paineenkesto- sekä kitkanalentajalisäaineita. Voiteluaineisiin lisätään kuitenkin myös monia muita aineita, esimerkiksi väriaineita, vaahtoamisenesto- sekä hapettumisenestolisäaineita. Seuraavaksi esitellään lyhyesti muita voiteluaineisiin lisättäviä lisäaineita.

**Viskositeetti-indeksin parantajat.** Näillä lisäaineilla pyritään vähentämään voiteluaineen viskositeetin riippuvuutta lämpötilasta. Voiteluaineilla saadaan tällä tavoin hyvät kitka- ja käynnistysominaisuudet kylmissä olosuhteissa ja korkeissa lämpötiloissa hyvä voitelukalvonmuodostumiskyky. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 64.)

**Detergentit.** Detergenttien tarkoituksena on pitää koneenosien pinnat puhtaina. Nämä lisäaineet estävät likahiukkasten tarttumisen kyseisiin pintoihin. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 65.)

**Dispersantit.** Dispersantit ovat jakauttaja-aineita, jotka muodostavat kerroksen epäpuhtauksien ympärille. Tällä estetään likahiukkasten tarttuminen toisiinsa, joka johtaisi haitallisen sakan muodostumiseen. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 65.)

**Hapettumisenesto- ja korroosionestolisäaineet.** Hapettumisenestolisäaineiden tehtävänä on kasvattaa voiteluaineen elinikää, joka on mahdollista hidastamalla kemiallista vanhenemista. Korroosionestolisäaineilla taas suojataan metallipintoja korroosiolta, joka aiheutuu kosteudesta sekä hapestä. Korroosionestolisäaineet tarttuvat metallin pintaan samalla muodostaen siihen kalvon, joka ei päästä kosteutta ja happea kosketuksiin metallipinnan kanssa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 66.)

**Jähmepisteenalentajat.** Jähmepisteenalentajia tarvitaan, kun lämpötila laskee tietyn raja-arvon alle, jolloin parafiiniset hiilivedyt kiteytyvät voiteluaineessa. Näillä lisäaineilla parannetaan voiteluöljyn juoksevuutta kylmissä olosuhteissa estämällä kiteiden kasvua ja takertumista toisiinsa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 67.)

**Vaahtoamisenestolisäaineet.** Vaahtoamisenestolisäaineiden tarkoituksena on hajottaa muodostuneet vaahtokuplat öljyn pintajännitystä pienentämällä. Näitä lisäaineita käytetään, koska voiteluaineen vaahdotessa se vaikuttaa heikentävästi voiteluominaisuuksiin. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 67.)

**Emulgaattorit.** Emulgaattoreiden käyttökohteita ovat etenkin lastuamismesteet. Tämän lisäksi niitä käytetään myös korroosionestossa vesihydrauliikan yhteydessä. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 67.)

**Biologisten kasvustojen torjunta-aineet.** Biologisten kasvustojen, kuten bakteerien, sieni- ja homekasvustojen, muodostuminen saattaa olla ongelmallista voiteluaineille, jotka sisältävät paljon vettä. Kyseisillä lisäaineilla pyritään ehkäisemään näitä ongelmia aiheuttavia tekijöitä. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 68.)

**Väri- ja vuodonetsintäaineet.** Voiteluaineiden yhteydessä väriaineilla pyritään erottamaan eri käyttöön tarkoitettut voiteluaineet toisistaan. Tarkoituksena on pyrkiä välttämään sekaannukset eri voiteluaineiden kesken. Vuodonetsintäaineita lisätään voiteluöljyyn jälkikäteen, jotta voitaisiin havaita vuotoja. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 68.)

### 3.2.6 Voiteluaineiden sekoitettavuus

Kuten jo aiemmin on todettu, voiteluaine koostuu perusöljystä sekä lisäaineista. Näistä kahdesta komponentista valmistetaan kokonaisuus, joka täyttää määritetyt vaatimukset voiteluaineen toimivuudelle. Tämän lisäksi kokonaisuuden eri ominaisuuksien tulee olla tasapainossa keskenään. Edellytys kyseiselle tasapainolle on, että voiteluaineen sisältämät ainesosat ovat yhteensopivia toisiinsa nähden ja että niiden keskinäiset sekoitussuhteet ovat oikeat. Lisäksi lisäaineistuksen täytyy pysyä toimimaan koko käyttölämpötila-alueen laajuudella, joka vallitsee voideltavassa kohteessa. Kokonaisuuden toimivuuden kannalta lisäaineiden tulee toimia oikein myös yhdessä perusöljyjen kanssa. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 61–62.)

Omatoimisia voiteluaineiden sekoituksia sekä lisäaineiden lisäyksiä jälkikäteen voiteluaineen joukkoon ei lähtökohtaisesti ole järkevää tehdä. On mahdollista, että jokin yhteensopimaton aine voi toimia hyvin joissain testeissä, mutta reagoides-

saan se saattaa heikentää muita ominaisuuksia voiteluaineessa. Voiteluaineiden ja lisäaineiden huolimattomat lisäykset ja sekoitukset saattavat ratkaisevasti muuttaa voiteluaineen toimimattomaksi. Tällaisten sekoitusten muodostaminen vaatii ammattitaitoa sekä erityistä tietoa käytössä olevasta voiteluaineesta, kuten tietoa sen kokonaisuudesta sekä siitä, mihin kyseessä olevan voiteluaineen ominaisuudet ja toiminta perustuvat. (Luukkainen & Vihersalo 2006, 62.)

Edellä käsiteltyjen asioiden lisäksi teollisuusvoiteluun kuuluu myös monia muita aiheita. Tällaisia ovat muun muassa erilaiset voiteluaineluokitukset, voiteluaineiden käsittely ja hävittäminen, voiteluaineen valinta sekä voiteluaineiden puhtaus. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä näitä aiheita, mutta alan kirjallisuudesta sekä voiteluöljyvalmistajien internet-sivuilta löytyy lisätietoa kyseisistä aihealueista.

## 4 ENNAKKOHUOLTOLISTOJEN DOKUMENTOINTI SEVOLLA

Tämä opinnäytetyön kappale käsittelee dokumentointiprosessin eri vaiheita. Siinä tutustutaan opinnäytetyön lähtötilanteeseen, senaikaisiin ennakkohuoltolistoisiin sekä listoissa huomattuihin puutteisiin. Tämän jälkeen siirrytään dokumentoinnin suunnitteluun sekä valmiiden tuotoksien esittelyyn. Kyseisissä esittelyissä on tekstissä viitattu liitteisiin, joissa on esitetty esimerkkikuvia uusista ennakkohuoltolistoista. Nämä kuvat kattavat vain pienen osan kokonaisista ennakkohuoltolistoista, ja ne toimivatkin lähinnä havaintokuvina. Viimeiseksi tutustutaan ennakkohuoltolistojen testausprosessiin ja sen tuloksiin, opinnäytetyön ongelmakohtiin sekä havaittuihin kehityskohteisiin.

Vaikka työn teoriaosuus ei suoraan linkity ennakkohuoltolistojen dokumentointiin, on sillä tietty taustavaikutus. Kuluminen ja teollisuusvoitelu ovat pohjatietoa, joita tarvitaan kunnossapidon ymmärtämiseen ja sen suunnittelemiseen. Näiden teoriaosuuksien pohjalta muodostuu siis merkittävä taloudellinen vaikutus yrityksen kannattavaan toimintaan, joka ilmenee esimerkiksi laitteiden toimintavarmuudessa sekä käytetyssä voiteluainemäärässä. Teoriaosuuksien tietoja hyödynnettiin ennakkohuoltolistojen laadinnassa, joissa painotettiin oikeaa voiteluainelaatua ja sen määrää. Tällöin voitaisiin minimoida voiteluainehävikki sekä taata laitteiden toimintavarmuus, oli huoltotyön suorittaja kuka tahansa.

### 4.1 Lähtötilanne

Opinnäytetyöprosessin lähtötilanteessa senhetkiset ennakkohuoltolistat olivat luotu noin 10 vuotta sitten, jolloin voimalaitoksella oli henkilökuntaa huomattavasti enemmän. Myös ennakkohuoltotöitä, kuten tarkistuksia ja rasvauksia, suoritti vakiuinen henkilö. (Vaskiluodon Voima Oy 2017.) Lähtötilanteen 4 viikon ennakkohuoltolistan työn kuvaus on esitetty kuviossa 17. Vastaava työn kuvaus 12 viikon ennakkohuoltolistasta on esitetty kuvioissa 18 ja 19.

<b>Työn kuvaus</b>	<p>RASVA ON AINA GADUS S3 V220C 2 ELLEI TOISIN MÄÄRÄTÄ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- kattilahuoimien tarkastus ja rasvaus</li><li>- primääri-ilmapuhaltimet 1 ja 2 laakeri tiivistyksen rasvaus 10g.</li><li>- luvon pyörityksen (vapaakytkin) laakerien rasvaus 20g/laakeri, sekä nuohoushöyryn sulkuventtiilit</li><li>- tuhkalavahuone, kolakuljettimen, jakoruuvien, jäädytetyn pohjatuhkaruuvien tarkistus ja rasvaus</li><li>- kattilasiilot rasvakaukaloitten sekä polttoainesiiilojen rasvakaukaloitten tyhjitys</li><li>- kattilahuone, kaikkien ruiskutusventtiilien rasvaus 8-kerros</li><li>- sähkösuodattimen katolla olevien kolistimien laakerien rasvaus, sekä seinällä olevien vaihteistojen tarkastus</li><li>- sulkusyöttimien voimansiirtoketjun rasvaus</li><li>- kp-puhaltimien sähkömoottorien rasvaus 7g</li><li>- vuotohöyrymurin rasvaus 3g</li><li>-1k kaukolämmön lauhdeoumpujen 1/2 laakerien tiivisteiden rasvaus 6g</li><li>-Valmet traktorin rasvaus 3g HUOM! moottoriöljy Shel Rimula R3 Multi 10W-30, vaihto 200h välein (vanha öljy universal Enigine oil 10W-30)</li></ul>
--------------------	--

Kuvio 17. Työn kuvaus lähtötilanteen 4 viikon ennakkohuoltolistasta.



<b>Työn kuvaus</b>	<p>HUOM! RASVA ON AINA GADUS S3 V220C 2, ELLEI TOISIN MAARATA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- öljyasemahuone, rakosuodatinpumppujen SM:5g ja säätöventtiilien rasvaus</li> <li>- jv- pumppaamo, pumppujen laakerien rasvaus 20g SM: 60 g</li> <li>- jv- pumppaamo, koriketjusuodattimen ja välpän laakerien sekä vaijerin tarkastus ja rasvaus</li> <li>- kattilahuone SM: rasvaus</li> <li>- paineilmakompressorin Atlas copcon laakerien rasvaus 5g (imusuodattimen vaihto 1/2 vuoden päästä isosta huollosta)</li> <li>- polttoainesiiot kolakuljettimien SM: rasvaus 10g / ruuvit15g</li> <li>- jakokolakuljettimen SM: rasvaus 5g</li> <li>- pitkänkuljettimen SM: rasvaus 10g</li> <li>- varastosiilon yläkerrasta aina vastaanottoon asti ,SM: rasvaus, molemmat linjat</li> <li>- 1 Murskan SM 25g (Kuulakytkin vain 1krt/VUOSI ALBIDA EP 2 tai 25:n laukauksen välein. (Kuulakytkimeen joka nippaan 4g rasvaa)</li> <li>- Keskuspölynimuri GADUS S3 V220C 2</li> <li>- Huoltorakennuksen hitsausimuri 5g ( RASVATAAN VAIN 1/2 vuoden välein)</li> <li>- Luvon keskusvoitelun suodattimen puhdistus</li> <li>- Säätöpeltien laakerien rasvaus kattila sekä savukaasu-puhaltimet myös ulkoa GADUS S3 V550L 1</li> <li>- Kattilahuone, kaikkien venttiilien rasvaus, karat ja laakerit</li> <li>- Öljyn esilämmitysuhuone säätöventtiilien tarkastus ja rasvaus</li> <li>- Turbiinihuone kaikkien venttiilien rasvaus, karat ja laakerit</li> <li>- Traktorin kytkimen puhdistus. (Soitetaan Nurmon Traktoriinhuoltoon ja tilataan miehet puhdistamaan kytkintä (Avataan pellejä ja puhdistetaan paikkoja paineilmalla samalla kun toinen painelee kytkintä)</li> </ul>
--------------------	--

Kuvio 18. Työn kuvauksen ensimmäinen osa lähtötilanteen 12 viikon ennakkohuoltolistasta.

<b>Työn kuvaus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1k.kattila lisävesipumput 1/2, sekä apulisävesipumppun laakeri AEROSHELL GREASE 22 4g</li> <li>- 1k.kattila tuhkankestotuspumpput AEROSHELL GREASE 22 4g</li> <li>- 1k.kattila sek-höyryluvon lauhdepumpun laakeri 4g</li> <li>- 1k.kattila prim.-höyryluvon lauhdepumpun laakeri 4g</li> <li>- 4k.kattila Luvon ytimen jäähdytyspuhaltimen SM laakerit 4g</li> <li>- 1k pääluhdepumput 1ja 2 SM. 30g</li> <li>- 1k generaattorin jäähdytysvesipumput 1ja 2 SM: 5g</li> <li>- 1k sivulauhdepumput 1ja 2 SM: 10g</li> <li>- 1k kaukolämmön lauhdepumput 1ja 2 SM: 30g</li> <li>- 1k kaukolämmön kiertopumput 1ja 2 SM 60g jos käy jatkuvasti, pumpun laakerit 10g</li> <li>- 1k suljetun jäähdytysveden kiertopumput 1ja 2 SM:15g, pumpun laakerit 4g</li> <li>- 1k poistovesipumput 1ja 2 SM. 10g, pumpun laakerit 4g</li> <li>- 1k palovesipumppun SM: 5g, pumpunlaakeri AEROSHELL GREASE 22 4g</li> <li>- 1k paloveden paineenkorotuspumpun SM 4g</li> <li>- turbiinisali SM: rasvaus, kahdennetut laitteet on huomiotava koska laite on käynnistetty</li> <li>- öljysuimurien laakereiden tarkastus ja rasvaus AEROSHELL GREASE 4g</li> <li>- vedenkäsittely suolaliuospumpun laakeri 4g</li> <li>- vedenkäsittely neutralointipumpun laakeri 4g SM: 5g</li> <li>- 1K turbiini jäähdytysveden paineenkorotuspumppu laakeri 4 g</li> <li>- 1K kattila sekundääri/ primääri/ savukaasupuhaltimet 40 g</li> <li>- Generaattorin tiivistöljyn pumppu SM 5g</li> <li>- Generaattorin tiivisteöljyn ejektoripumppu SM 5g</li> </ul>
--------------------	---

Kuvio 19. Työn kuvauksen toinen osa lähtötilanteen 12 viikon ennakkohuoltolistasta.

4 viikon ennakkohuoltolista oli kokonaispituudeltaan kahden A4-paperiarkin pituinen, josta tietoa ennakkohuoltotoimenpiteistä oli noin kolmasosa yhdestä sivusta. Vastaavasti 12 viikon ennakkohuoltolistassa oli yhteensä neljä paperiarkkia pitkä, joista itse asiaa ennakkohuoltotoimenpiteistä oli noin yhden sivun verran. Listojen huoltokohteet sekä tiedot oli niputettu hyvin tiiviiseen kokoon. Yksi syy tiiviiseen kokoon olivat tietyissä kohteissa pelkistetyt työn kuvaukset. Tästä esimerkkinä mainittakoon 12 viikon listassa oleva huoltotyö, jonka mukaan turbiinihuoneen kaikkien venttiilien karat ja laakerit tulee rasvata.

Sisällöltään molemmat ennakkohuoltolistat olivat samanlaisia. Molemmissa listoissa ensimmäisenä kohtana oli huomautus, jossa muistutettiin, että käytettävä voitelurasva on aina Gadus S3 V220C 2, ellei listassa toisin määrätä. Tämän jälkeen listoissa alettiin luetella suoraan allekkain ranskalaisin viivoin huoltokohteita.

Huoltokohteita ei ollut lainkaan sisennetty, mikä aiheutti aluksi hieman hämmennystä. Esimerkiksi kattilahuoneen sähkömoottorien rasvaus on yksi 12 viikon välein suoritettavista huoltotoimenpiteistä. Ennakkohuoltolistassa kuitenkin tästä työstä mainittiin vain ”kattilahuone SM rasvaus”. Kyseistä toimenpidettä oli kuitenkin avattu hieman enemmän, sillä kyseisiä sähkömoottoreita oli lueteltu myöhemässä vaiheessa listan kahdelle eri sivulle, mutta kuitenkin samaan sisennystasoon kuin tämä alkuperäinen tehtävänanto.

Molemmissa listoissa oli vaihtelevin tuloksin listattu erinäisiä tarpeellisia tietoja huoltotoimenpiteistä. Yksi parhaiten listatuista tiedoista oli kuitenkin voiteluaineen määrä, joka oli ilmoitettu grammoina. Osassa huoltokohteissa määrää ei kuitenkaan ollut määritetty lainkaan, mikä joissakin tapauksista johtui sen määrittämisen vaikeudesta. Tällaisia tapauksia olivat kohteet, joissa voitelu saatettiin suorittaa pensselillä, josta esimerkkinä mainittakoon sulkusyöttimien voimansiirtoketjut. Listat kuitenkin sisälsivät joitain huoltokohteita, joihin ei ollut merkitty lainkaan voiteluainemääriä, vaikka niissä puhuttiin nimenomaan rasvaamisesta.

Käytettävä voiteluaine oli myös kohtuullisen hyvin listattu tieto. Kuten jo aiemmin mainittiin, molemmat listat alkoivat muistutuksella voiteluaineesta Gadus S3 V220C 2, jota tulisi käyttää, ellei toisin määrättäisi. Tämä tieto piti kohtuullisen hyvin paikkansa ja poikkeavat voiteluaineen käytöt olivat listattuna kyseisten laittei-

den kohdalle. Muutamaa huoltokohdetta lukuun ottamatta tiedot pitivät täysin paikkansa. Näissä muutamassa tapauksessa oli jostain syystä jäänyt toinen voitelurasvalaatu mainitsematta.

Hämmennystä aiheutti myös huoltokohteiden lukumäärä. Suuressa osassa enakkohuoltokohteista ei ollut minkäänlaista mainintaa, montako kyseessä olevaa laitetta on. Esimerkiksi 4 viikon enakkohuoltolistassa heti ensimmäinen kohde on kattilanuohoimien tarkastus ja rasvaus. Kyseinen tehtävänanto ei siis kerro tarkasti, montako näitä nuohointa on. Todellisuudessa nuohoimien lukumäärä on 28, joiden tarkastukset ja rasvaukset ovat monivaiheinen ja paljon aikaa vaativa työ. Työntekijän kannaltahan tämä on huono asia, sillä hän ei osaa arvioida, paljonko työhön kuluu aikaa, paljonko tulisi varata tarvikkeita mukaan sekä kuinka monta huollettavaa kohdetta oikeastaan on. Työnjohdon kannalta tämä vaikuttaa vuositasolla myös työsuunnitteluun.

Lähtötilanteen enakkohuoltolistojen perusteella voitelunippojen lukumäärä oli täysin tuntematon, koska yhteenkään huoltokohteeseen ei ollut lisätty kyseistä tietoa. Likaisten ja pölyisten olosuhteiden takia voitelunippoja ei välttämättä löytäisi, vaikka tietäisi, missä huollettava kohde sijaitsee. Ainoastaan, jos henkilö on työskennellyt kyseisten tai vastaavanlaisten huollettavien laitteiden parissa, voi hän tietää, mistä lähteä etsimään voitelunippoja. Kuten edellä jo mainittiin, oman haasteensa työhön tuo se, että tarkkaa laitemäärää huoltokohteessa ei ole välttämättä mainittu. Voiteluainemäärän tiedon perusteellakaan ei tiennyt, kuinka monta voitelunippaa tulisi olla. Ongelmia aiheutui myös siitä, kuinka moneen voitelunippaan ilmoitettu voiteluainemäärä pitäisi jakaa. Esimerkiksi 4 viikon enakkohuoltolistassa yhtenä huoltokohteena on vuotohöyryimurin rasvaus. Voiteluainemääräksi oli ilmoitettu kolme grammaa ja voitelunippojen lukumäärästä ei ollut mitään tietoa. Kyseisessä kohteessa on kuitenkin kaksi voitelunippaa, johon kumpaankin tulee lisätä tämä kolmen gramman annos voiteluainetta. Erittäin tärkeää olisi lisätä oikeanlaatuista voiteluainetta oikea määrä kaikkiin tehtävänannossa tarkoitettuihin voitelunippoihin, jotta laitteet toimisivat niin kuin on suunniteltu.

Monissa listojen huoltokohteissa niiden sijainti jäi epäselväksi. Joissakin kohteissa oli selvästi mainittuna, missä rakennuksessa huollettava kohde on. Tämä ei kuitenkaan aina riitä, sillä rakennukset ja alueet saattavat olla kohtuullisen kookkaita,

jolloin aikaa kuluu kohteen etsimiseen silti, vaikka tietäisi oikean rakennuksen. Osassa kohteista taas ei ollut edes mainintaa rakennuksesta, mistä voisi löytää kyseisen kohteen.

Koska lähtötilanteen ennakkohuoltolistat olivat listaus huollettavista kohteista, ne eivät sisältäneet minkäänlaisia kuvia tai kuvauksia huollettavista kohteista. Kaikki oli oikeastaan sen varassa, että huoltoa suorittava henkilö tuntee huollettavan kohteen tai edes tietää, miltä sen kuuluisi näyttää. Henkilön tulee kuitenkin olla jollain asteella perehtynyt tällaisiin laitteisiin, jotta hän voisi tunnistaa kohteen ilman kuvausta tai kuvaa.

Listoissa ei myöskään kerrottu mitään vaadittavista työvälineistä. Näiden listojen työvälineet olivat pitkälti samat, mutta pieniä muutoksia varustukseen tarvittiin välillä. Lisäksi mitään erikoistyökaluja ei vaadittu näiden listojen huoltokohteisiin. Yhteistä huoltokohteen sijainnin ja vaadittavien työvälineiden tiedoissa on, että jos nämä tiedot puuttuvat ohjeistuksesta, siitä aiheutuu turha ajankäyttöä. Aikaa kuluu tällöin huollettavien kohteiden etsimiseen ja erilaisten työvälineiden sekä tarvikkeiden noutamiseen. Jotta voitaisiin tehokkaasti suorittaa huoltotoimenpiteet, tulisi minimoida tällainen turha ajankäyttö, joka kuluu etsiessä kohteita ja noutaessa tarvikkeita.

Nykypäivänä turvallisuus on erittäin tärkeä asia yrityksen toiminnassa. Lähtötilanteen ennakkohuoltolistoissa ei ollut myöskään mitään mainintaa turvallisuusnäkökohdista, kuten tiettyjen kohteiden vaarallisuudesta. Voimalaitoksella on myös tiettyissä paikoissa erittäin pölyistä, jolloin joudutaan käyttämään hengityssuojaimia. Näiden seikkojen lisäksi voimalaitoksella on käytössä tietyt turvallisuusmääräykset. Esimerkiksi murskaamorakennukseen ei saa astua sisään, mikäli murskaimeen syötetään polttoainetta. Kummastakaan näistä turvallisuuteen liittyvästä asiasta ei ollut mainintaa listoissa, mutta toisaalta tämänkaltaiset asiat käsitellään yleensä perehdytyksen yhteydessä.

Aikanaan lähtötilanteen ennakkohuoltolistat toimivat käytännössä riittävän hyvin. Listat toimivat oikeastaan muistilistana, eivätkä sen vuoksi sisältäneet niin paljoa tietoa. Listoja tulkitsivat henkilöt, jotka tunsivat huollettavat kohteet ja suoritettavat toimenpiteet, mikä vaikutti listojen tietojen niukkuuteen. Kuitenkin vuosien kulu-

sa osa listojen tiedoista vanheni ja niitä käyttävät henkilöt vaihtuivat. Näiden asioiden lisäksi suullinen tieto ei välttämättä siirtynyt riittävän hyvin seuraaville henkilöille. Tulevaisuutta ajatellen ja edeltävien syiden vuoksi tarvittiin dokumentointia ja ohjeistusta selittämään lähtötilanteen ennakkohuoltolistojen huoltotoimenpiteitä tarkemmin.

## 4.2 Suunnittelu ja dokumentointi

Hyvin varhaisessa vaiheessa opinnäytetyössä tuli selväksi, mitä tietoja kerätään ja listataan uusiin ennakkohuoltolistoihin. Tavoitteena oli tietojen listaamisen yhteydessä korjata edellä mainitut ongelmat, joita muodostui lähtötilanteen ennakkohuoltolistojen tietojen puutteesta. Yhdessä työn tilaajan kanssa määritettiin, että seuraavat tiedot tulee kirjata ylös huollettavista kohteista:

- huoltokohde
- huoltokohteen sijainti (rakennus + kerros)
- voitelunippojen lukumäärä
- käytettävä voiteluaine
- voiteluainemäärä
- tarvittavat työvälineet
- kuva huoltokohteesta
- huoltokohteen sijainti kartalla
- normaalin suojaruustuksen lisäksi tarvittavat suojavälineet
- turvallisuusnäkökohdat ja toimintakäytännöt vaarallisissa huoltokohteissa.

Suunnitteluvaiheessa mietittiin yhdessä työn tilaajan kanssa, mille pohjalle alettaisiin rakentaa uusia ennakkohuoltolistoja. Mahdollisia alustoja uusille listoille olivat Word, Excel sekä PowerPoint. Näistä vaihtoehtoista pikaisesti valittiin käytettäväksi alustaksi PowerPoint, jotta voitaisiin aloittaa ennakkohuoltolistojen runkojen suunnittelu. Kyseisen alustan valintaa puolsi myös se, että tulevaisuudessa en-

nakkohuoltajalla olisi mahdollisesti käytettävissä tabletti, jolla pystyttäisiin selaamaan ja käymään läpi ennakkohuoltolistoja. Tabletti olisi myös kohtuullisen helppo ottaa mukaan huoltotoimenpiteiden suorituspaikalle, jolloin tarvittava ohjeistus ja tieto olisivat aina käden ulottuvilla. Tabletin lisäksi ennakkohuoltolistoja olisi helppo käyttää myös tehokkaalla älypuhelimella.

### 4.3 Tuotokset

Seuraavaksi esitellään opinnäytetyöstä syntyneet tuotokset. Ne on jaoteltu ennakkohuoltolistoihin sekä esiselvityslomakkeeseen. Tuotoksista esitellään tiivistetysti niiden sisältöä, rakennetta sekä muita niihin liittyviä huomioita.

#### 4.3.1 4 ja 12 viikon ennakkohuoltolistat

Tästä opinnäytetyöstä tuotoksena syntyi siis kaksi uutta ennakkohuoltolistaa, joihin kirjattiin listojen huoltokohteiden tiedot. Molemmat listat muodostettiin PowerPointin pohjalle. Ennakkohuoltolistoihin laadittiin aktiivinen sisällysluettelo, joka tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että jokaisesta huoltokohdeluettelon kohteesta on hyperlinkki, joka ohjaa lukijan haluttuun kohteeseen ennakkohuoltolistassa. Hyperlinkitykset jatkuvat myös huoltokohteiden sisällä, jolloin kaikki siirtymiset ennakkohuoltolistoissa voidaan hoitaa hyperlinkityksien välityksellä. Valmiit listat käännettiin PDF-tiedostomuotoon, jotta niiden tiedostokoko keventyisi hieman. 4 viikon ennakkohuoltolistasta muodostui yhteensä 76 dian pituinen esitys. 12 viikon listasta muodostui huomattavasti kookkaampi esitys, joka on pituudeltaan yhteensä 279 diaa.

**Perusrakenne.** Uusien ennakkohuoltolistojen perusrakenne on samanlainen. Molempien listojen ensimmäinen dia kertoo, monenko viikon välein kyseisen listan sisältämät työt suoritetaan. Liitteessä 1 on esitetty 12 viikon ennakkohuoltolistan ensimmäinen dia.

Seuraavana listoissa esitetään asemapiirros voimalaitosalueesta. Piirroksesta voidaan nähdä rakennuksien sijainnit, jotta ennakkohuoltaja pystyisi hahmottamaan

paremmin liikkumistaan voimalaitosalueella. Piirrokseseen on myös lisätty karkeasti arvioiden voiteluöljyvaraston sekä tavarahissin sijainnit, joita ennakkohuoltaja tarvitsee suorittaakseen työnsä. Liitteessä 2 on esitetty kyseinen asemapiirros, joka löytyy molemmista ennakkohuoltolistoista heti toisesta diasta.

Asemapiirroksen jälkeen ennakkohuoltolistoissa siirrytään diaan, jossa on listattuna osa huoltokohteista. Tästä diasta voidaan valita hyperlinkki, joka siirtää lukijan seuraavaan diaan, jossa on lisää huoltokohteita listattuna. Diassa on myös listattuna ensimmäiset kahdeksan huoltokohdetta, joissa on hyperlinkit suoraan valitun kohteen ensimmäiseen diaan. Syy, miksi huoltokohteet on jaettu kahteen eri diaan, on selkeä. Mikäli kaikki huoltokohteet olisi laitettu yhteen diaan, olisivat kohteet olleet liian lähellä toisiaan, lisäksi hyperlinkit olisivat olleet hyvin pieniä ja vaikeasti käytettäviä. Tätä testattiin tabletilla, jonka jälkeen huomattiin, että sormikosketuksella tapahtui usein virheellisiä hyperlinkin avauksia. Liitteissä 3 ja 4 on esitetty 4 viikon ennakkohuoltolistojen huoltokohteet. Liitteissä 5 ja 6 on taas esitetty 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet.

Seuraava dia pitää sisällään loput huoltokohteet listattuna. Samoin kuin edellisessä diassa, myös tässä on muodostettu hyperlinkit huoltokohteisiin sekä linkki edelliseen diaan, jossa oli ensimmäiset kahdeksan huoltokohdetta. Periaatteena linkityksessä on, että hyperlinkin välityksellä pääsee eteenpäin listassa, mutta jokaisen hyperlinkin jälkeen on diaan luotuna hyperlinkki, josta pääsee myös takaisinpäin.

Tästä eteenpäin listojen diat koostuvat huollettavien kohteiden dioista, jotka pitävät sisällään tarvittavan tiedon huoltotoimenpiteiden suorittamiseksi. Huoltokohteista kertovista dioista muodostui kaksi eri tyyppiä. Diat, joista siirryttiin suoraan huoltokohteeseen, ja diat, joista siirryttiin ensin tiettyyn rakennukseen, joka piti sisällään huollettavat kohteet. Dioista, joissa ensiksi siirryttiin rakennukseen, esimerkkinä mainittakoon JV-pumppaamo, joka on rakennuksena hieman erossa muusta voimalaitosalueesta. Tällaisissa tapauksissa on järkevämpää koota huollettavat laitteet tietyn rakennuksen yhteyteen, kun huoltotoimenpiteitä ei ole kovin montaa, eikä niihin kuluisi paljon aikaa. Liitteessä 7 on esitetty JV-pumppaamon ensimmäinen dia, josta voidaan nähdä, kuinka huoltokohteet on sisällytetty tietyn rakennuksen alle. Vastakohtana tälle toimivat sellaiset huoltokohteet, joiden huoltotöihin kuluu paljon aikaa. Tällaisia huoltokohteita ei nähty tarpeelliseksi kerätä tietyn ra-

kennuksen alle, sillä niitä ei kuitenkaan pystyttäisi hoitamaan samalla kertaa kovin montaa.

Huoltokohteista kertovat diat ovat perusrakenteeltaan vakiot. Esimerkkinä esitellään 4 viikon ennakkohuoltolistasta primääri-ilmapuhaltimet, jotka edustavat tätä toista dia-tyyppiä huoltokohteista kertovista dioista. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, tämän tyyppin dioissa siirryttiin suoraan huoltokohteeseen rakennuksen sijaan. Liitteessä 8 on esitetty primääri-ilmapuhaltimien ensimmäinen dia. Seuraavaksi käydään läpi huoltokohteesta kertovien diojen perusrakenne, esimerkkitilanteena käytetään edelleen primääri-ilmapuhaltimia.

Ensimmäisessä diassa lähdetään liikkeelle perusasioista. Useissa huoltokohteissa ensimmäisessä diassa on kokonaiskuva huollettavasta kohteesta. Ensimmäisenä tietona kerrotaan, mikä huoltokohde on kyseessä. Tämän jälkeen tulee lyhyt selvitys suoritettavasta toimenpiteestä sekä tieto, missä rakennuksessa huollettava kohde sijaitsee. Joissakin tapauksissa rakennustiedosta muodostettiin hyperlinkki karttakuvaan, jos kyseinen rakennus oli erillään muista yleisimmistä paikoista. Ideana on tällä tavoin pyrkiä helpottamaan oikean rakennuksen löytämistä. Seuraava tieto rakennuksen jälkeen on luontevasti se, missä rakennuksen kerroksessa kyseinen kohde on. Pääsääntöisesti tähän kerrostietoon luotiin hyperlinkki, joka ohjaa lukijan diaan, jossa esitellään kyseisen kerroksen pohjapiirroskuva. Liitteestä 8 voidaan tulkita edeltäviä tietoja. Tähän pohjapiirroskuvaan merkittiin huoltokohteiden sijainnit sekä tavarahissi, mikäli kohteet olivat kattila- tai turbiinirakennuksessa, joiden välissä tavarahissi sijaitsee. Lisäksi pohjapiirroskuvan otsikossa on maininta rakennuksesta sekä kerroksesta, jossa huoltokohteet sijaitsevat. Rakennusten kerroksien pohjapiirroskuvia ei kuitenkaan turvallisuussyistä julkaista tässä opinnäytetyössä.

Seuraava listattu tieto kerroksen jälkeen on voitelunippojen määrä. Riippuen huoltokohteesta voitelunippojen määrään listattiin niiden yhteismäärä sekä tarvittavat tarkennukset. Liitteestä 8 voidaan nähdä, kuinka esimerkkitilanteessa tarkennettiin vielä puhallinkohtaiset sekä laakerikohtaiset voitelunippomäärät. Pääsääntöisesti voitelunippojen määrän luotiin hyperlinkki, joka siirtää lukijan diaan, jossa on esitetty tarkemmat kuvat huoltokohteista. Esimerkkikohteessa tarkemmat kuvat liitty-



vät laakerien ja voitelunippojen lukumäärään ja sijaintiin. Liitteessä 9 on esitetty tarkemmat kuvat primääri-ilmapuhaltimien voitelukohteista.

Voitelunippatietojen jälkeen on listattuna tieto käytettävästä/käytettävistä voiteluaineista. Mikäli huoltokohteessa joudutaan käyttämään useita eri voiteluaineita, on ne kirjattu käyttökohteittain tähän kohtaan diassa. Esimerkkikohteessa voiteluaineksi on määritetty vain Gadus S3 V220C 2. Luontevasti seuraava listattu tieto on voiteluainemäärä, johon on listattu voiteluainemäärät voiteluaineittain. Kyseisessä tiedossa on ilmoitettu, montako grammaa määrättyä voiteluainetta lisätään yhteen voitelunippaan. Esimerkkikohteessa määräksi on ilmoitettu 10 grammaa voiteluainetta yhtä voitelunippaa kohti.

Tämän jälkeen on tietoihin listattu kaikki ne tarpeelliset työvälineet, jotka tarvitaan huoltotyön suorittamiseen. Esimerkkikohteen työvälineisiin on kirjattuna ainoana välineenä akkukäyttöinen rasvaprässi. Rasvaprässi on ammattikielen nimitys rasvapuristimelle. Akkukäyttöinen rasvaprässi on ylivoimaisesti eniten käytetty työväline näissä listoissa. Sen ylivoimaisuus johtuu siitä, että suurin osa ennakkohuolto-tehtävistä näissä ennakkohuoltolistoissa koostui juurikin voitelutehtävistä. Liitteestä 8 voidaan tarkastella edellä mainittuja tietoja.

Huoltokohteista kertovien diojen perusrakenne on nyt esitelty. Edellä mainittujen tietojen lisäksi diat voivat sisältää myös muita tarpeellisia tietoja. Tällaisia ovat muun muassa erilaiset lisäohjeistukset suoritettavaan työhön, kulkuohjeita hankalasti päästäviin kohteisiin sekä erilaisten ohessa suoritettavien tarkastuksien ohjeistuksia. Pohjapiirroskuviin sekä tiettyihin kohteisiin lisättiin huomioita selvistä kiintopisteistä, jotka voivat helpottaa suunnistamista voimalaitoksen rakennuksissa. Esimerkiksi turbiinirakennuksen pohjapiirroskuviin lisättiin huomioita nostoaukon sijainnista, joka on selvä kiintopiste kyseisessä rakennuksessa. Tiettyihin kohteisiin lisättiin myös tietoja Kyrkösjärven sekä voimalaitoksen eri rakennuksien sijainneista, jotta tiettyjen kuvien tulkitseminen olisi helpompaa. Nämä tilanteet yleensä liittyivät tapauksiin, jossa ennakkohuoltolistaan oli liitetty läpileikkauskuva rakennuksesta. Tämä taas johti siihen, ettei pelkästä läpileikkauskuvasta pystynyt tunnistamaan, kummasta suuntaan rakennus oli kuvattuna.

Dioihin lisättiin myös tärkeitä tietoja turvallisuuteen liittyvistä asioista. Yksi näistä lisätyistä huomioista liittyy huoltokohteisiin, jossa joudutaan suorittamaan huolto-toimenpide erittäin lähellä avoimesti pyöriviä komponentteja. Esimerkkinä tästä mainittakoon sulkusyöttimien voimansiirtoketjujen rasvaus 4 viikon ennakkohuolto-listasta. Toinen erittäin tärkeä asia liittyy 12 viikon ennakkohuoltolistan työhön, jossa tehtävänä on rasvata kaikki sähkömoottorit vastaanottorakennuksen sekä varastosiilojen yläkerran välillä. Jotta kyseinen työ voidaan suorittaa, joudutaan käyttämään kuljetintunneleita sekä suorittamaan huoltotoimenpiteitä murskaamo-rakennuksessa. Voimalaitoksen turvallisuusmääräyksen mukaan murskaamora-kennuksen linjalle ei saa mennä, mikäli kyseiselle linjalle syötetään polttoainetta. Tämä johtuu siitä, että polttoaineen syötön aikana kyseisessä tilassa vallitsee pö-lyräjähdysvaara. Liitteessä 10 on esitetty edellä mainitun sähkömoottorien ras-vaustyön ensimmäinen dia, josta voidaan nähdä turvallisuushuomiot alimmaisena kohtana. Kyseisen työn yhteyteen liitettiin myös kuvia varoituksista ja huomioista, joita on murskaamorakennuksen kulkuovissa ja seinällä. Liitteessä 11 on esitetty kokonaiskuva murskaamorakennuksesta, josta voidaan nähdä punaisella suora-kaiteella huomioidut varoitukset ja huomiot. Lisäksi kyseisestä liitteestä nähdään alhaalla olevat hyperlinkit, jotka ohjaavat lukijan tarkempiin kuviin näistä varoituk-sista ja ohjeista. Nämä tarkemmat kuvat on esitetty liitteissä 12 ja 13.

4 viikon ennakkohuoltolistassa on kaksi huoltokohdetta, joiden yhteyteen lisättiin tietoa jätteiden käsittelystä. Huoltotoimenpiteet liittyvät varastosiilojen sekä kattila-siilojen rasvakaukaloiden tyhjentämiseen. Rasvakaukalot tyhjennetään neljän viikon välein erilliseen jäteastiaan, joka tulee toimittaa ongelmajätekatokseen, kun se on täynnä. Lisäksi tulee kirjata jäteöljyjen sekä jäterasvojen varastokirjanpitolis-taan tämä ongelmajätekatokseen suoritettu siirto. Näihin kahteen huoltokohtee-seen siis lisättiin tietoa jätteiden käsittelystä, jätteiden varastokirjanpitolistasta se-kä ongelmajätekatoksesta ja sen sijainnista.

Edellä mainitun ennakkohuoltolistojen perusrakenteeseen jouduttiin kuitenkin te-kemään muutoksia eräissä kohteissa. Kyseiset kohteet ovat 12 viikon ennako-huoltolistassa olevat kattila- ja turbiinirakennuksen venttiilit. Lähtötilanteen listojen mukaan tehtävänä oli suorittaa kattila- ja turbiinihuoneiden kaikkien venttiilien ras-vaukset, sisältäen laakerit ja karat. Tästä aiheutui kuitenkin ongelmia, sillä edellä

mainittujen kaikkien venttiilien dokumentointi kuvineen olisi ollut erittäin paljon aikaa vievä ja uusi ennakkohuoltolista olisi paisunut liian massiiviseksi. Aikataulun ja ennakkohuoltolistan koon puitteissa päädyttiin keventämään juuri näitä osioita.

Molempien rakennusten voitelunipalliset venttiilit laskettiin kerroksittain, joista muodostettiin Excel-taulukot. Kattilarakennuksen venttiilien rasvauksien ensimmäinen dia on esitetty liitteessä 14, josta voidaan nähdä perusrakenteen mukaiset tiedot sekä listaukset venttiileiden lukumääristä kerroksittain. Jokaisesta kerroksesta on luotu hyperlinkki diaan, johon on lisätty kyseisen kerroksen Excel-taulukko voideltavien venttiilien lukumäärästä. Liitteessä 15 on esitetty kattilarakennuksen viidennen kerroksen Excel-taulukko. Taulukosta voidaan siis nähdä jaoteltuna venttiilityyppien määrät kyseisessä kerroksessa sekä venttiilien voitelunippojen lukumäärät. Tämän lisäksi taulukoihin luotiin huomioita sisältävä sarakke, johon pääsääntöisesti kirjattiin huomioita eräiden venttiilien sijaintien tarkennuksesta tai hankalasti löydettävien venttiilien sijainneista. Liitteen 15 taulukossa on esimerkki juuri tällaisesta kohteesta, jossa on tarkennettu venttiilien sijaintia. Merkittävin muutos perusrakenteeseen on siis se, että kattila- ja turbiinirakennuksien venttiilien rasvauksissa ei ole kuvia huoltokohteista eikä pohjapiirroksuvia kerroksista.

#### **4.3.2 Esiselvityslomake**

Uusien ennakkohuoltolistojen lisäksi tuotoksena syntyi esiselvityslomake. Lomake luotiin 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteeseen, jossa tehtävänä on huoltaa turbiinirakennuksen sähkömoottorit ja pumput. Esiselvityslomakkeen tarkoituksena on toimia muistilistana rasvattavista kohteista. Liitteessä 16 on esitetty turbiinirakennuksen sähkömoottorien ja pumppujen rasvauksien ensimmäinen dia, jossa lisäohjeistuksena on määrätty selvittämään yhdessä konekunnossapidontyönjohdon sekä valvomon henkilökunnan kanssa rasvattavat laitteet.

Esiselvityslomake luotiin, koska rasvattavia laitteita on paljon, ja lisäksi osa näistä laitteista on kahdennettu, mikä tarkoittaa sitä, että tällä kahdennetulla laitteella on parina toinen samanlainen laite, vähän kuin varalaitteena. Kuitenkin tämä niin sanottu varalaitte on myös käytössä, sillä nämä kahdennetut laitteet käyvät vuorotel-

len ja niiden välisen käytön vaihto tapahtuu tietyn väliajoin. Tästä syystä joudutaan selvittämään näiden laitteiden käyttöhistoria, jotta tiedetään, mitkä laitteista huolletaan.

Esiselvityslomake sisältää siis turbiinisalin huollettavat sähkömoottorit ja pumput sekä niiden KKS-koodit. Näillä koodeilla voidaan tunnistaa voimalaitoksen laitteet ja järjestelmät. Näiden asioiden lisäksi jokaisen laitteen perään on lisätty vaihtoehdot kyllä ja ei, johon voidaan merkitä selvityksessä ilmenneet rasvattavat laitteet. Liitteessä 17 on esitetty esiselvityslomake ilman KKS-koodeja.

#### **4.4 Testaus**

Uusia ennakkohuoltolistoja päätettiin testata vuoden 2017 kesän vuosihuollossa. Testaukseen valittiin yhteensä viisi huoltokohdetta uusista ennakkohuoltolistoista, jotka olivat silloin valmiita sekä kohtuullisen yksinkertaisia. Testaukseen valitut huoltokohteet olivat 4 viikon ennakkohuoltolistasta vuotohöyryimuri, luvo sekä sulkusyöttimet. 12 viikon ennakkohuoltolistasta valittiin testaukseen keskuspölynimuri sekä paineilmakompressorin Atlas Copco.

Testauksessa testiryhmien tehtävänä oli löytää ja tunnistaa edellisessä kappaleessa määritetyt huoltokohteet. Testauksen tarkoituksena oli siis selvittää, voiko uusien ennakkohuoltolistojen avulla löytää huollettavat kohteet. Tästä syystä testauksessa ei suoritettu lainkaan itse huoltoja, vaan keskityttiin pelkästään huoltokohteiden etsimiseen. Huoltotöihin tarvittavia työvälineitä ja tarvikkeita ei myöskään etsitty ja otettu mukaan testaukseen. Testauksen kulku oli seuraavanlainen:

1. Testiryhmä tutustuu ennakkohuoltolistan yhteen ennakkoon valittuun huoltokohteeseen voiteluöljyvarastossa olevalla tietokoneella.
2. Testiryhmä lähtee voimalaitokselle etsimään huollettavaa kohdetta. Tällöin käynnistettiin ajanotto.
3. Testiryhmä löytää ja tunnistaa huoltokohteen sekä siihen kuuluvat voideltavat voitelunipat.

4. Mikäli testiryhmä ei jostain syystä löytänyt huollettavaa kohdetta ja/tai voitelunippoja, ohjattiin se oikeaan paikkaan.
5. Testiryhmä palaa takaisin voiteluöljyvarastoon, kun edellä mainitut kohteet ovat löytyneet. Tällöin pysäytettiin ajanotto.

Tämän mukainen testaus suoritettiin kaikille viidelle ennakkoon valituille huolto-kohteille. Tilanteissa, joissa testiryhmät eivät löytäneet joitain huoltokohteita ja/tai voitelunippoja, kirjattiin huomio, mistä syystä näin tapahtui. Näistä huomioista saatiin hyviä kehitysehdotuksia ennakkohuoltolistoihin. Lisäksi saatiin myös muutamia kehityskohteita voimalaitokselle. Jokaisen testiryhmän kanssa käytiin testin jälkeen lyhyt palautekeskustelu. Tavoitteena oli keskustella ja pohtia ennakkohuoltolistojen kehittämisestä sekä muista ongelmakohtista testauksen aikana.

Testin suoritti yhteensä viisi testiryhmää, joilla jokaisella oli vaihteleva kokemus kyseisestä voimalaitoksesta. Ryhmän nro. 1 kokemus laitoksesta oli noin kolme viikkoa, jonka aikana ryhmä oli suorittanut huoltotöitä voimalaitoksella vuosihuollon aikana. Ryhmä nro. 2 oli työskennellyt voimalaitoksella noin kaksi vuotta, mutta sillä ei ollut kokemusta tämäntyyppisistä huoltotöistä eikä kattila- ja turbiinirakennuksesta, joissa testattavat huoltokohteet sijaitsivat. Ryhmällä nro. 3 oli kertynyt kokemusta voimalaitoksesta noin puolitoista kuukautta, joka piti sisällään erilaisia yleisiä huoltotöitä voimalaitoksella. Ryhmän nro. 4 kokemus voimalaitoksesta oli noin kolme kuukautta, jonka aikana ryhmä oli toiminut pääsääntöisesti konepajalla. Lisäksi tällä ryhmällä oli ollut muutama huoltotehtävä voimalaitoksen puolella. Viimeisellä, eli ryhmällä nro. 5 ei ollut lainkaan kokemusta kyseisestä voimalaitoksesta eikä tämäntyyppisistä huoltotöistä. Liitteessä 18 on esitetty taulukot testiryhmien testaustuloksista. Taulukoihin on listattuna testauskohteet, kohteissa vierailuun kuluneet ajat, kohteiden sijaintien tuntemattomuus testiryhmälle testin alussa sekä tieto siitä, löydettiinkö kaikki huoltokohteet.

Yleisesti ottaen uudet ennakkohuoltolistat toimivat hyvin, kun huomioidaan testiryhmien kokemukset voimalaitoksesta ennen testauksen alkua. Voidaankin todeta, että ryhmät suoriutuivat tehtävästä hyvin, ja he olivat myös itse tyytyväisiä suorituksiinsa. Testiryhmät löysivät huoltokohteet yllättävänkin nopeasti. Yleisimmät syyt siihen, että huoltokohteita ei löydetty, olivat erittäin likaiset olosuhteet. Tästä

syystä esimerkiksi voitelunipat olivat todella haasteellisia löytää. Myös inhimillinen unohtaminen oli yksi syy, kun huoltokohteita ei löydetty. Tämä myös osittain johtui siitä, että etsinnöissä toimittiin pelkästään ihmismuistin varassa. Ongelmia aiheutti myös opasteiden puute rakennusten sisällä. Esimerkiksi tavarahissistä on pääsy kattila- sekä valvomo/turbiinirakennukseen, mutta kokematon työntekijä ei tiedä, mistä ovesta pääsee mihinkin rakennukseen. Lisäksi vastaavanlaisia ongelmia löytyi myös muualta kattila- ja turbiinirakennuksesta.

Pienistä ongelmista huolimatta kohteet löytyivät pääsääntöisesti hyvin, ja kohteissa vierailuun kuluneet ajat olivat kohtuullisia. Kyseiset ajat vaihtelivat muutamista minuuteista noin 10 minuuttiin. Tällaiset ajat ovat melko hyvä suoritus, jos verrataan niitä tilanteeseen, jossa uusi työntekijä ei välttämättä löytäisi kaikkia huolettavia kohteita laisinkaan. Vierailuun kuluneeseen aikaan vaikutti myös se, että vuosihuollon aikana tavarahissin käyttöaste on erittäin korkea. Tämä johti siihen, että vierailuun kului aikaa normaalia enemmän, koska testiryhmät joutuivat odottamaan tavarahissia tavanomaista kauemmin. Lisäämällä opasteita rakennuksiin sekä saamalla ennakkohuoltolistat mukaan etsintään päästäisiin vieläkin parempiin tuloksiin.

Kuten jo edellä mainittiin, jokaisen testiryhmän kanssa pidettiin palautekeskustelu, jossa ryhmät saivat vapaasti antaa palautetta sekä kehitysehdotuksia ennakkohuoltolistoihin. Palautteen johdosta listoihin tehtiin muutamia muutoksia, jotta ne toimisivat paremmin. Esimerkiksi erääseen listan huoltokohteeseen lisättiin tarkempia kuvia, joissa näkyi selvemmin voitelunipat. Tämän lisäksi yhden huoltokohteen yhteyteen lisättiin opastava nuoli pohjapiirroskuvaan, joka ohjaisi oikean reitin kyseiseen kohteeseen. Testiryhmien palautteissa esiintyi usein kommentteja, joissa mainittiin positiivisena asiana pohjapiirroskuvat, kuvat huoltokohteista ja voitelunipoista. Näiden kuvien avulla testiryhmät löysivät huoltokohteet ja voitelunipat helposti. Palautteissa toistui myös kommentit siitä, että ennakkohuoltolistat olisi hyvä saada mukaan etsintään, sillä pelkästään ihmismuistin varassa saattaa unohtaa huoltokohteesta jotain oleellista. Palautteissa otettiin myös esille opasteet, joita saisi olla enemmän. Ne myös helpottaisivat kulkemista voimalaitoksella ja auttaisivat huoltokohteiden löytämisessä. Nämä opasteet siis helpottaisivat henkilöitä, joilla ei ole juurikaan kokemusta kyseisestä voimalaitoksesta. Opasteista

olisi hyötyä ennakkohuoltajien lisäksi myös kaikille muille kokemattomille henkilöille, jotka työskentelevät voimalaitoksella. Hyvänä esimerkkinä on voimalaitoksen vuosihuollot, jolloin voimalaitoksella on töissä paljon henkilöitä.

#### **4.5 Ongelmat**

Uusien ennakkohuoltolistojen laatimisen aikana kohdattiin muutamia ongelmia. Ensimmäinen niistä liittyy voimalaitoksen henkilökunnan rajalliseen aikaan, joka voitiin valjastaa ennakkohuoltolistojen työstämiseen. Tämä tarkoitti sitä, että viikossa saattoi olla vain yksi päivä, kun voitiin tutustua huoltokohteisiin sekä työstää uusia listoja.

Henkilökunnan käytettävissä olevan ajan rajallisuuden lisäksi ongelmia aiheutui tiedon puutteesta, joka suuremmalta osin johtui tämän työn tekijän pohjatietojen puutteesta. Vaikka kokemusta on kertynyt jo neljän vuosihuollon ajalta, se ei silti kata kaikkia asioita ennakkohuoltotehtävistä. Tästä johtuen kuvaamiset ja tiedon keruut jouduttiin tekemään yhdessä voimalaitoksen henkilökunnan kanssa, jotta saataisiin luotua kattavat ja tiedoiltaan tarkat sekä päivitettyt ennakkohuoltolistat.

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi luultavasti suurin ongelma oli työn paisuminen liian suureksi. Ennakkohuoltolistat pitivät sisällään niin paljon asiaa, jolloin aikaa kului huomattavasti tiedon muokkaamiseen ja järjestämiseen. Tätä ongelmaa korostivat merkittävästi myös edellä mainitut ongelmat.

#### **4.6 Kehityskohteet**

Opinnäytetyöprosessin ja ennakkohuoltolistojen päivityksien yhteydessä huomattiin erilaisia kehityskohteita. Muutamissa listojen huoltokohteissa nähtiin huoltotyön suorittamisen kannalta tarpeelliseksi putkittaa voitelunippoja parempiin paikkoihin. Näissä kohteissa voitelunipat olivat osittain erittäin hankalissa paikoissa, mikä aiheutti työtä suorittaessa ylimääräistä vaivaa sekä työturvallisuusriskin. Tästä kehitysehdotuksesta tehtiin alustavat muutossuunnitelmat tulevaisuutta varten.

Ennakkohuoltotöissä käytetään erilaisia voitelurasvoja, ja niitä varten on varattu käyttöön rasvapuristimia. Yksi kehitysehdotus liittyy juuri näihin puristimiin sekä niiden säilytykseen. Osassa puristimissa on merkittynä, mille rasvalaadulle se on varattuna, mutta kaikissa tätä merkkausta ei ole. Eli kaikkiin puristimiin tulisi merkitä yhtenevällä ja selvällä tyylillä käytetty rasvalaatu. Tämän lisäksi puristimille olisi hyvä rakentaa teline, jossa jokaiselle puristimelle olisi varattuna oma nimetty paikkansa. Tällöin säästyisi aikaa, joka kuluu etsiessä oikeaa rasvapuristinta.

Kolmas kehitysehdotus liittyy laitteisiin, jotka ovat melukopan sisällä. Tyypillisesti tällaisessa kopassa on useampi ovi huoltoon varten, ja tietyt huollot voidaan suorittaa vain tietyn oven kautta. Kehitysehdotuksessa ideana on merkitä tavalla tai toisella juuri se melukopan ovi, jonka kautta voidaan suorittaa näiden ennakkohuoltolistojen työt. Tällöin välttyttäisiin turhilta ovien availulta ja huoltokohteiden etsimiseltä, kun tiedettäisiin jo valmiiksi oikea ovi. Tätä ehdotusta alettiin jo osittain toteuttaa merkitsemällä tarroilla kaksi korkeapainepuhaltimen melukopan ovea.

Viimeinen kehitysehdotus liittyy lähtötilanteen ennakkohuoltolistoihin. Tällä hetkellä ennakkohuoltajalla ei vielä ole käytettävissä tablettia ennakkohuoltotöiden suorittamisessa, joten päätettiin siirtymäkauden ajan käyttämään myös näitä lähtötilanteen ennakkohuoltolistoja. Tässä ehdotuksessa luotiin esimerkkimallit lähtötilanteen ennakkohuoltolistoista, jotka muotoilultaan ja tiedoiltaan vastaisivat vanhaa, niukkatietoista kaavaa, mutta olisivat samalla yhteneväisiä uusien ennakkohuoltolistojen kanssa. Käytännössä erona lähtötilanteen listoihin olisi se, että huoltokohteita olisi sisennetty ja että listoja olisi vähän selkeytetty. Kehitysehdotuksen mukaiset listat toimisivat muistilistana niille henkilöille, jotka jo kokeneita kyseisissä huoltotöissä. Lisäksi näihin listoihin voidaan pitää kirjaa jo suoritetuista töistä.



## 5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella ja luoda korvaavat ennakkohuoltolistat vanhojen 4 ja 12 viikon ennakkohuoltolistojen tilalle. Tavoitteena oli dokumentoida mahdollisimman tarkasti ennakkohuoltolistoissa olevien huoltokohteiden tiedot. Opinnäytetyö eteni johdonmukaisesti tutustumalla ensin kunnossapidon teoriaan, jonka jälkeen perehdyttiin pintojen väliseen kosketukseen, kitkaan, kulumiseen, teollisuusvoitelun perusteisiin sekä voiteluaineisiin. Tämän jälkeen edettiin ennakkohuoltolistojen dokumentoinnin suunnitteluun ja itse dokumentointiin.

Työssä kohdatut ongelmat liittyivät aikatauluihin, tiedon puutteeseen sekä ennakkohuoltolistoissa olevien tietomäärien massiivisuuteen. Aikatauluongelmat liittyivät lähinnä rajalliseen aikaan, joka voitiin yrityksen puolesta järjestää opinnäytetyötä varten. Tiedon puute taas liittyi opinnäytetyön tekijän pohjatietojen puutteeseen kyseisistä ennakkohuoltolistoista.

Lopputuloksena työstä saatiin kaksi kappaletta kattavia ennakkohuoltolistoja. Näiden listojen lisäksi saatiin aikaiseksi esiselvityslomake sekä opinnäytetyöraportti. Yrityksestä annetulta erittäin hyvällä ohjauksella oli merkittävä vaikutus työn lopputuloksiin.

Toimeksiantajan palautteessa korostuivat muutamat seikat. Yleisesti ottaen työosuus onnistui hyvin, koska uusien ennakkohuoltolistojen avulla pystytään tarvittaessa perehdyttämään erittäin hyvin uusia henkilöitä suorittamaan 4 ja 12 viikon huoltoja. Työn ansiosta ei tarvitse myöskään sitoa niin paljon resursseja perehdytykseen, joita muutenkin on vähän käytettävissä nykypäivänä. Uudet ennakkohuoltolistat toimivat myös hyvänä muisti- ja tarkastuslistana tämänhetkiselle henkilöstölle. Hyvänä ominaisuutena pidettiin myös tabletin käytön mahdollisuutta, jolloin listat kulkevat kätevästi mukana voimalaitoksella.

Opinnäytetyössä oli muutama asia, jonka olisi voinut tehdä toisin. Työn aikataulutusta, ennakkohuoltolistojen suunnittelua sekä dokumentointia olisi voinut tehostaa. Työn rajausta olisi myös voinut tarkentaa koskemaan kahden ennakkohuoltolistan sijasta vain yhtä ennakkohuoltolistaa. Tämä helpottaisi myös aikataulutusta. Näiden asioiden lisäksi tiettyjä osia raportin teoriaosuudesta voitaisiin rajat-

ta pois. Opinnäytetyön puitteissa olisi voinut tehdä vielä lisäksi muutamia asioita. Esimerkiksi ennakkohuoltolistoihin olisi voinut vielä lisätä huollettavien laitteiden positionumerot, jolloin laitteiden erottelu selventyisi. Tämän lisäksi olisi voitu dokumentoida paremmin voideltavat säätöventtiilit, mikäli se olisi ollut mahdollista aikataulun puitteissa. Tämä dokumentointi voitaisiin mahdollisesti toteuttaa tulevaisuudessa projektipajaopintona.

Opinnäytetyöstä on helppo jatkaa eteenpäin dokumentoimalla myös muut ennakkohuoltolistat vastaavanlaisiksi. Jatkossa on myös erittäin tärkeää pitää ennakkohuoltolistat ajan tasalla muutoksien ja lisäyksien johdosta. Jatkossa voidaan myös toteuttaa työssä ilmenneitä kehityskohteita sekä suorittaa voiteluvälilien uudelleen arviointeja.

Uusista ennakkohuoltolistoista huolimatta väistämättä uudella työntekijällä kuluu enemmän aikaa suorittaessaan huoltotehtäviä kuin kokeneella työntekijällä. Uusi en ennakkohuoltolistojen lisäksi merkittävässä roolissa on perehdytys työtehtävään sekä voimalaitokseen. Kun ennakkohuoltolista on asianmukainen ja perehdytys on hyvä, jää vaikuttavaksi tekijäksi enää työntekijän suoritus.

Vaikka aikataulullisesti opinnäytetyö hieman epäonnistui, saatiin siitä kuitenkin valmiiksi halutut uudet ennakkohuoltolistat. Tämän lisäksi voimalaitoksella huomattiin puutteita sekä kehitysehdotuksia, jotka huomioimalla voisivat voimalaitos sekä sen työntekijät suoriutua tehtävistään entistäkin tehokkaammin ja turvallisemmin. Opinnäytetyöprosessin aikana huomattiin myös huoltokohteita, jotka eivät olleet kuuluneet huollonpiiriin. Kyseiset kohteet dokumentoitiin ja lisättiin ennakkohuoltolistoihin, näin ollen myös ne kuuluvat huollon ja tarkkailun piiriin. Ennakkohuoltolistojen kehitystyössä oli mukana voimalaitoksen eri osastojen henkilökuntaa. Opinnäytetyön aihe on erittäin ajankohtainen voimalaitoksen tulevaisuudelle, ja sitä tuleekin tutkia sekä kehittää jatkossa.

## LÄHTEET

- Bosch. 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Autoalan koulutuskeskus Oy.
- Czichos, H. & Habig K-H. 1992. Tribologie Handbuch. Reibung und Verschleiß. Braunschweig/Wiesbaden.
- EPV Energia Oy. 2018. EPV Energia osti Seinäjoen voimalaitoksen Vaskiluodon Voimalta. [Verkkosivu]. Vaasa: EPV Energia Oy. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: <https://www.epv.fi/ajankohtaista/epv-energia-osti-seinajoen-voimalaitoksen-vaskiluodon-voimalta>
- Godfrey, D. 1980. Wear Control Handbook. ASME Publication.
- Helle, A. (toim.). 2006. Prognostics for industrial machinery availability Final seminar. [PDF-tiedosto]. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2006/S243.pdf>
- Holmberg, K. 1984. Friction in low speed lubricated rolling and sliding contacts. Technical Research Centre of Finland, Publications 16. Espoo.
- Holmberg, K. & Holvio, V. 1983. Vierintälaakereiden ja hammaspyörien EHD-voitelukalvon laskeminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 188.
- Holmberg, K., Komonen, K., Oedewald, P., Peltonen, M., Reiman, T., Rouhiainen, V., Tervo, J. & Heino, P. 2004. Safety and Reliability - Technology Review. Research Report BTUO43-031209. Espoo: VTT Industrial Systems.
- ISO 3448. 1992. Industrial liquid lubricants. ISO viscosity classification. Sveitsi: International Organization for Standardization
- Järviö, J. 2004a. Mitä on kunnossapito. Teoksessa: Kunnossapito. 2. täyd. painos. Rajamäki: KP-Media Oy, 9–19.
- Järviö, J. 2004b. Kunnossapito Suomessa. Teoksessa: Kunnossapito. 2. täyd. painos. Rajamäki: KP-Media Oy. 20.
- Järviö, J. 2004c. Termit ja käsitteet. Teoksessa: Kunnossapito. 2. täyd. painos. Rajamäki: KP-Media Oy, 24–42.
- Järviö, J. 2004d. Ehkäisevä kunnossapito. Teoksessa: Kunnossapito. 2. täyd. painos. Rajamäki: KP-Media Oy, 59–69.

- Kara, W. H. 1989. Voiteluaineet. Suomentaja Yrjö Huuskonen. Espoo: Otakustantamo.
- Kivioja, S. 2007a. Tihkomisvärähtely. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 74–75.
- Kivioja, S. 2007b. Voitelumekanismit. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 129–130.
- Kivioja, S. 2007c. Elastohydrodynaaminen voitelu. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 147–156.
- Kivioja, S. 2007d. Hydrostaattinen voitelu. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 157–166.
- Lehtovaara, A. 1998. Development of the Numerical Solver for EHL Line Contact Problems, Tribologia – Finnish Journal of Tribology, Vol. 17. 3–14.
- Luukkainen, T. & Vihersalo, J. 2006. Voiteluaineet. Teoksessa: Kunnossapitoyhdistys ry. Teollisuusvoitelu. 4. täyd. painos. Helsinki: KP-media Oy, 48–89.
- Luukkainen, T. Teollisuusvoiteluaineiden luokitukset. 2006. Teoksessa: Kunnossapitoyhdistys ry. Teollisuusvoitelu. 4. täyd. painos. Helsinki: KP-media Oy, 90–113.
- Miettinen, J. & Lehtovaara, A. 2006. Voitelun perusteet. Teoksessa: Kunnossapitoyhdistys ry. Teollisuusvoitelu. 4. täyd. painos. Helsinki: KP-Media Oy, 12–47.
- Mobil. 1986. Täyssynteettiset voiteluaineet. Suomi: Mobil Oil oy ab
- Parikka, R. & Lehtonen, J. 2000. Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintälaakereiden eliniälle. [www-lähde]. Valtion tekninen tutkimuskeskus. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/kulumismekf.pdf>
- Salonen, P. 2007a. Kahden pinnan vuorovaikutus. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 20–21.
- Salonen, P. 2007b. Kulumistyytit. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 100–101.
- Salonen, P. 2007c. Kulumismekanismit. Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 104–113.

- Salonen, P. 2007d. Kulumiseen vaikuttavat tekijät. Teoksessa: Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 120–124.
- Salonen, P. 2007e. Voiteluaineet. Teoksessa: Teoksessa: Tribologia – Kitka, Kuluminen Ja Voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatiето, 170–184.
- Sevo -esite. 2017. Vaskiluodon Voima Oy. Seinäjoen voimalaitos.
- SFS-EN 13306. 2017. Maintenance. Maintenance terminology. Espoo: Suomen Standardisoimisliitto.
- Siekkinen, V. 1998. Tuotantolaitoksen Kunnossapito. TTKK. Opintojakson 2485 oppimateriaali.
- Stecki, J. 2009. Contamination Control and Failure Analysis. Teoksessa: R. M. Gresham & G. E. Totten (toim.) Lubrication and Maintenance of Industrial Machinery. Best Practices and Reliability. New York: Taylor & Francis Group. (4/1 – 4/58).
- Tiilikka, P. 2001. Materiaalien käyttöominaisuudet. Teoksessa: K. Koivisto, E. Laitinen, M. Niinimäki, T. Tiainen, P. Tiilikka, J. Tuomikoski Konetekniikan materiaalioppi. 9. painos. Helsinki: Edita
- Vaskiluodon Voima -esite. 2017. Vaskiluodon Voima Oy. Seinäjoen voimalaitos.
- Vaskiluodon Voima Oy. 2017. Keskustelu 13.3.2017.
- Vaskiluodon Voima Oy. 2018. Seinäjoen voimalaitokselle haetaan kesätyöntekijöitä. [Verkkosivu]. Vaasa: Vaskiluodon Voima Oy. [Viitattu 7.3.2018]. Saatavissa: <https://www.vv.fi/2018/02/06/seinajoen-voimalaitokselle-haetaan-kesatyontekijoita/>

## LIITTEET

Liite 1: 12 viikon ennakkohuoltolistan ensimmäinen dia.

Liite 2: Sevo asemapiirros.

Liite 3: 4 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 1-8.

Liite 4: 4 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 9-14.

Liite 5: 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 1-8.

Liite 6: 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 9-14.

Liite 7: JV-pumppaamon ensimmäinen dia.

Liite 8: Primääri-ilmapuhaltimien ensimmäinen dia.

Liite 9: Tarkemmat kuvat primääri-ilmapuhaltimien voitelukohteista.

Liite 10: Sähkömoottorien rasvaus (vastaanotto – varastosiilon yläkerta) ensimmäinen dia.

Liite 11: Kokonaiskuva murskaamorakennuksesta.

Liite 12: Tarkempi kuva merkkivalosta.

Liite 13: Tarkempi kuva varoituskyltistä.

Liite 14: Kattilarakennuksen venttiilien rasvauksien ensimmäinen dia.

Liite 15: Kattilarakennuksen venttiilit, kerros 5.

Liite 16: Turbiinirakennuksen sähkömoottorien ja pumppujen rasvauksien ensimmäinen dia.

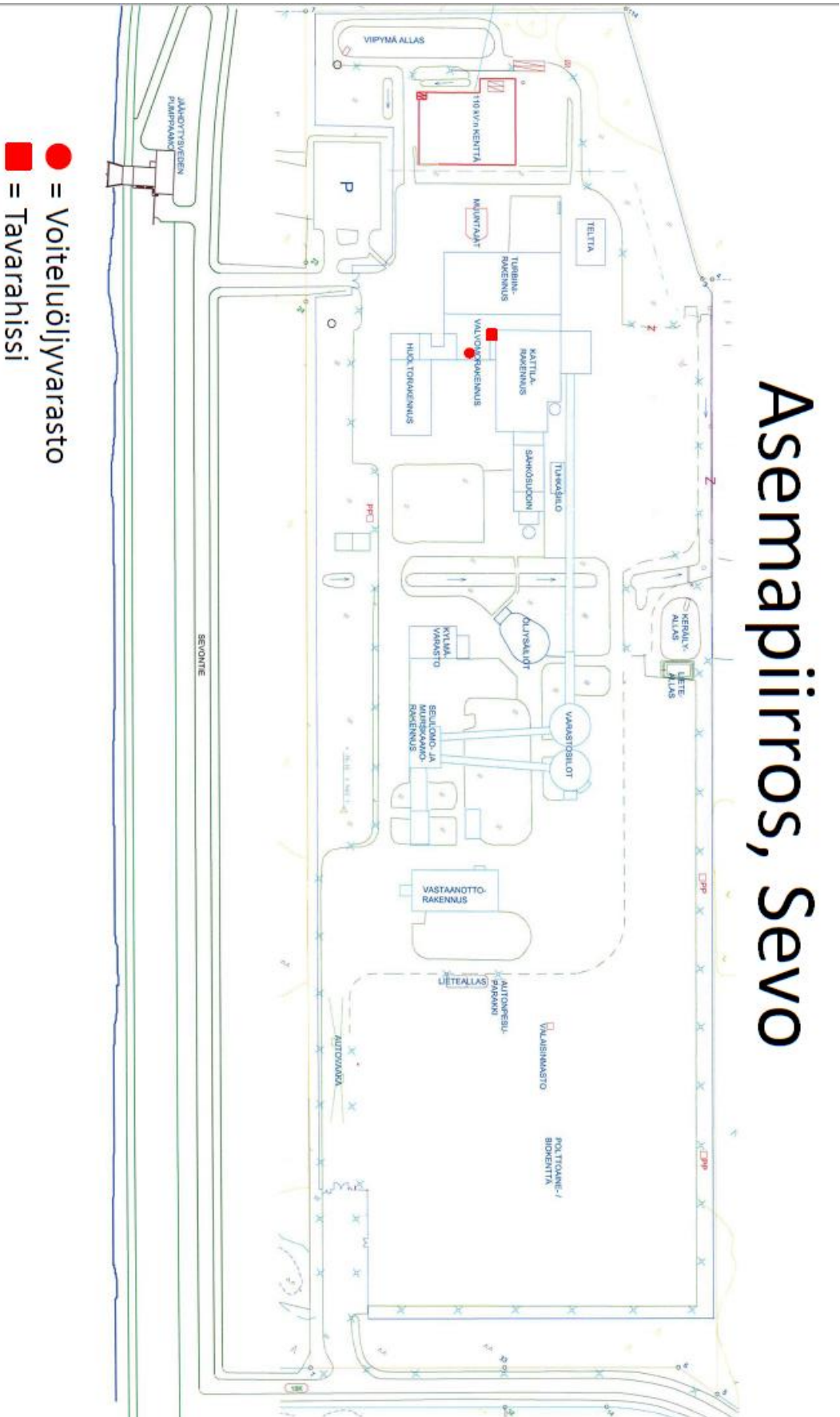
Liite 17: Esiselvityslomake ilman KKS-koodeja.

Liite 18: Testauksen tulokset.

Liite 1: 12 viikon ennakkohuoltolistan ensimmäinen dia.



Liite 2: Sevo asemapiirros.





Liite 3: 4 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 1-8.

[Huoltokohteet 9 - 14](#)

## Huoltokohteet 1 - 8

1. [Kattilanuohoimet](#)
2. [Primääri-ilmapuhaltimet](#)
3. [Luvo](#)
4. [Jäähdytetyt pohjatuhkaruuvit](#)
5. [Pohjatuhkakolakuuljetin](#)
6. [Tuhkalavahuone](#)
7. [Kattilasiilot/polttoainesiilot](#)
8. [Varastosiilot](#)

Liite 4: 4 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 9-14.

[Huoltokohteet 1 - 8](#)

## Huoltokohteet 9 - 14

9. [Ruiskutusventtiilit](#)
10. [Sähkösuodatin](#)
11. [Sulkusyöttimet](#)
12. [Korkeapainepuhaltimet](#)
13. [Vuotohöyryimuri](#)
14. [Kaukolämmön lauhdepumput](#)

Liite 5: 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 1-8.

[Huoltokohteet 9 - 14](#)

## Huoltokohteet

1. [Öljyasemahuone](#)
2. [JV-pumppaamo](#)
3. [Kattilarakennuksen sähkömoottorit](#)
4. [Paineilmakompressori Atlas Copco](#)
5. [Sähkömoottorit välillä vastaanotto – varastosiilon yläkerta, linjat 1 & 2](#)
6. [Keskuspölynimuri](#)
7. [Huoltorakennuksen hitsausimuri](#)
8. [Ilmakanavien säätöpellit](#)

Liite 6: 12 viikon ennakkohuoltolistan huoltokohteet 9-14.

[Huoltokohteet 1 - 8](#)

## Huoltokohteet

9. [Kattilarakennuksen venttiilit](#)
10. [Öljynesilämmityshuone](#)
11. [Turbiinirakennuksen venttiilit](#)
12. [Kattilarakennuksen pohjakerroksen pumput](#)
13. [Turbiinirakennuksen sähkömoottorit ja pumput](#)
14. [Vedenkäsittelyn pumput](#)

## Liite 7: JV-pumppaamon ensimmäinen dia.

### Huoltokohteet

#### **JV-pumppaamo**

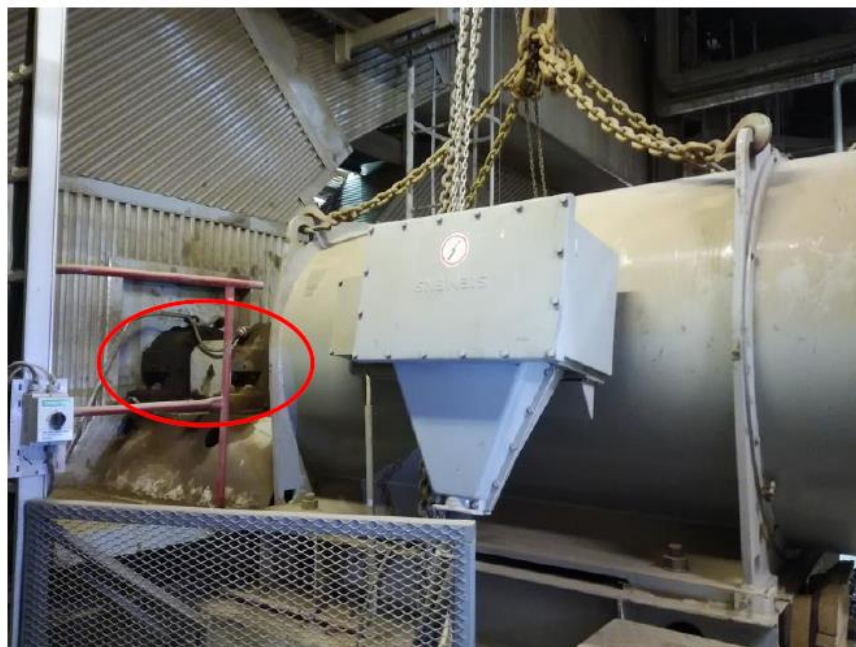
- Pumppujen laakerien ja sähkömoottoreiden rasvaus
- Koriketjusuodattimen tarkastus ja rasvaus
- Välpän laakerien rasvaus ja vaijerin tarkastus
- [JV-pumppaamo](#)
- Kerrokset:
  - 1
  - 2
- JV-pumppaamon huoltokohteet:
  - [Jäähdytysvesipumput](#)
  - [Koriketjusuodatin](#)
  - [Välpä](#)
- JV-pumppaamon ovet lukossa, avaimen saa henkilökunnalta



## Liite 8: Primääri-ilmapuhaltimien ensimmäinen dia.

Huoltokohteet**Primääri-ilmapuhaltimet**

- Primääri-ilmapuhaltimien 1 ja 2 laakeri tiivistyksien rasvaus
- Kattilarakennus
- [Kerros: 1](#)
- Voitelunippoja:
  - Yhteensä 8 kpl
  - [4/puhallin](#)
  - [2/laakeri](#)
- Voiteluaine: Gadus S3 V220C 2
- Voiteluainemäärä: 10g/nippa
- Työvälineet: Akkukäyttöinen rasvaprässi



Liite 9: Tarkemmat kuvat primääri-ilmapuhaltimien voitelukohteista.

[Primääri-ilmapuhaltimet](#)

## Voitelukohteet

**Laakerit (2 kpl)**



**Laakerin nipat (2 kpl)**



Liite 10: Sähkömoottorien rasvaus (vastaanotto – varastosiilon yläkerta) ensimmäinen dia.

## Huoltokohteet

# Sähkömoottorit välillä vastaanotto – varastosiilon yläkerta, linjat 1 & 2

- Sähkömoottorien rasvaus välillä vastaanottorakennus – varastosiilon yläkerta, linjat 1 & 2
- Rasvattavat sähkömoottorit:
  - Vastaanottorakennus
    - [Ovipuhaltimien sähkömoottorit ja laakerit](#)
  - Vastaanottorakennuksen kellari
    - [Repijätelojen sähkömoottorit](#)
    - [Taskupurkaimien sähkömoottorit](#)
  - Murskaamo, linja 1
    - [Murskaamolle nousevan hihnakuljettimen sähkömoottori](#)
    - [Murskaimen sähkömoottorit](#)
  - Varastosiilon yläkerta, linja 1
    - [Varastosiilolle nousevan hihnakuljettimen sähkömoottori](#)
    - [Varastosiilojen välisen jakohihnakuljettimen sähkömoottori](#)
  - Varastosiilon yläkerta, linja 2
    - [Varastosiilojen välisen jakohihnakuljettimen sähkömoottori](#)
    - [Varastosiilolle nousevan hihnakuljettimen sähkömoottori](#)
  - Murskaamo, linja 2
    - [Murskaimen sähkömoottorit](#)
    - [Murskaamolle nousevan hihnakuljettimen sähkömoottori](#)
- **Tämä huoltotyö on yleensä suoritettu viikkorasvauskierroksen yhteydessä**
- **Työstä sovittava erikseen valvomon henkilökunnan kanssa, koska linjoille meno on kielletty polttoaineen syötön aikana!**  
**Kielto sisältää: Kuljetintunnelit ja murskaamot → Tiloissa vallitsee pölyräjähdysvaara!**



Liite 11: Kokonaiskuva murskaamorakennuksesta.

[Murskaamo linja 1, murskaamolle nousevan hihnakujujettimen sähkömoottori](#)

[Murskaamo linja 1, murskaimen sähkömoottorit](#)

[Murskaamo linja 2, murskaimen sähkömoottorit](#)

[Murskaamo linja 2, murskaamolle nousevan hihnakujujettimen sähkömoottori](#)

## Merkkivalot ja varoituskyltit



[Tarkempi kuva merkkivalosta](#)

[Tarkempi kuva varoituskyltistä](#)

Liite 12: Tarkempi kuva merkkivalosta.

[Merkkivalot ja varoituskyltit](#)

## Tarkempi kuva merkkivalosta



Liite 13: Tarkempi kuva varoituskyltistä.

[Merkkivalot ja varoituskyltit](#)

# Tarkempi kuva varoituskyltistä



Liite 14: Kattilarakennuksen venttiilien rasvauksien ensimmäinen dia.

### Huoltokohteet

#### **Kattilarakennuksen venttiilit**

- Kattilarakennuksen venttiilien rasvaus (voitelunipalliset)
- Kattilarakennus
- Voiteluaine: Gadus S3 V220C 2
- Voiteluainemäärä: 2-3g/nippa
- Työvälineet: Akkukäyttöinen rasvaprässi
- Rasvattavia venttiileitä yhteensä 94 kpl

#### **Venttiileiden lukumäärät kerroksittain**

##### **Kattila**

Kerros 9

Kerros 8,5

Kerros 7,5

Kerros 6

Kerros 5

Kerros 4

Kerros 3

Kerros 2

Kerros 1,5

Kerros 1

##### **Apukattila**

Ylin kerros

Kerros 2

Kerros 1

Liite 15: Kattilarakennuksen venttiilit, kerros 5.

[Kattilahuoneen venttiilit](#)

## Kattilarakennuksen venttiilit krs. 5

Venttiilityyppi	Kpl	Huomiot
Käsiventtiilit, joissa 1 voitelunippa	0	-
Moottoriventtiilit, joissa 1 voitelunippa	6	Sammutushöyry
Moottoriventtiilit, joissa 2 voitelunippaa	3	-
Yhteensä:	9	

Liite 16: Turbiinirakennuksen sähkömoottorien ja pumppujen rasvauksien ensimmäinen dia.

## Huoltokohteet

# Turbiinirakennuksen sähkömoottorit ja pumput

- Turbiinirakennuksen sähkömoottorien ja pumppujen laakerien rasvaus
- Rasvattavat sähkömoottorit ja pumput:
  - [Päälauhdepumppujen sähkömoottorit](#)
  - [Generaattorin jäähdytysvesipumppujen sähkömoottorit](#)
  - [Sivulauhdepumppujen sähkömoottorit](#)
  - [Kaukolämmön lauhdepumppujen sähkömoottorit](#)
  - [Kaukolämmön kiertopumppujen sähkömoottorit ja laakerit](#)
  - [Suljetun jäähdytysveden kiertopumppujen sähkömoottorit ja laakerit](#)
  - [Poistovesipumppujen sähkömoottorit ja laakerit](#)
  - [Palovesipumpun sähkömoottori ja laakeri](#)
  - [Generaattorin tiivisteöljyn ejektoripumpun sähkömoottori](#)
  - [Generaattorin tiivisteöljypumpun sähkömoottori](#)
  - [Jäähdytysveden paineenkorotuspumpun laakeri](#)
  - [Paloveden paineenylläpito-pumppujen sähkömoottorit](#)
  - [Öljysumuimurin laakerit](#)
  - [KL-sivuvirtapehmennyksen kiertovesipumpun sähkömoottori](#)
- HUOM! Ennen tämän huoltotyön aloittamista tulisi selvittää, yhdessä konekunnossapidontyönjohdon sekä valvomon henkilökunnan kanssa, mitkä laitteista rasvataan (käyttöhistoria).
- Kahdennetuissa laitteissa huomioitava, **molempien** laitteiden käyttöhistoria.
- Selvitystä varten luotu [esiselvityslomake](#), johon voidaan merkitä rasvattavat sähkömoottorit/pumput. Lomakkeita löytyy [kansiosta](#), voiteluöljyvarastosta.

## Liite 17: Esiselvityslomake ilman KKS-koodeja.

Esiselvityslomake turbiinirakennuksen rasvattaville sähkömoottoreille ja pumpuille

Päivitetty 9.11.2017 Uimonen Erkki

Rasvattava sähkömoottori/pumppu	KKS-koodi	Rasvataanko?	
		Kyllä	Ei
Päälauhepumppu 1			
Päälauhepumppu 2			
Generaattorin jäähdytysvesipumppu 1			
Generaattorin jäähdytysvesipumppu 2			
Sivulauhepumppu 1			
Sivulauhepumppu 2			
Kaukolämmön lauhdepumppu 1			
Kaukolämmön lauhdepumppu 2			
Kaukolämmön kiertopumppu 1			
Kaukolämmön kiertopumppu 2			
Suljetun jäähdytysveden kiertopumppu 1			
Suljetun jäähdytysveden kiertopumppu 2			
Poistovesipumppu 1			
Poistovesipumppu 2			
Palovesipumppu			
Generaattorin tiivisteöljyn ejektoripumppu			
Generaattorin tiivisteöljypumppu			
Jäähdytysveden paineenkorotuspumppu			
Paloveden paineenylläpityspumppu (pääpumppu)			
Paloveden paineenylläpityspumppu (varapumppu)			
Öljysuimuri			
KL-sivuvirtapehmennyksen kiertovesipumppu			

## Liite 18: Testauksen tulokset.

Ryhmä 1			
Testauskohde:	Kohteessa vierailuun kulunut aika (min)	Kohteen sijainti testin alkaessa tuntematon	Kaikki huoltokohteet löydettiin
Vuotohöyryimuri	4	Kyllä	Kyllä
Luvo	13	Ei	Ei
Sulkusyöttimet	5	Kyllä	Kyllä
Keskuspölynimuri	3	Kyllä	Kyllä
Atlas Copco	4	Ei	Kyllä
Yhteensä (min):	29		

Ryhmä 2			
Testauskohde:	Kohteessa vierailuun kulunut aika (min)	Kohteen sijainti testin alkaessa tuntematon	Kaikki huoltokohteet löydettiin
Vuotohöyryimuri	4	Kyllä	Kyllä
Luvo	10	Kyllä	Ei
Sulkusyöttimet	4	Kyllä	Kyllä
Keskuspölynimuri	4	Kyllä	Kyllä
Atlas Copco	5	Kyllä	Kyllä
Yhteensä (min):	27		

Ryhmä 3			
Testauskohde:	Kohteessa vierailuun kulunut aika (min)	Kohteen sijainti testin alkaessa tuntematon	Kaikki huoltokohteet löydettiin
Vuotohöyryimuri	3	Kyllä	Ei
Luvo	9	Kyllä	Kyllä
Sulkusyöttimet	5	Kyllä	Kyllä
Keskuspölynimuri	3	Ei	Kyllä
Atlas Copco	4	Ei	Kyllä
Yhteensä (min):	24		

Ryhmä 4			
Testauskohde:	Kohteessa vierailuun kulunut aika (min)	Kohteen sijainti testin alkaessa tuntematon	Kaikki huoltokohteet löydettiin
Vuotohöyryimuri	4	Kyllä	Kyllä
Luvo	8	Kyllä	Kyllä
Sulkusyöttimet	4	Ei	Kyllä
Keskuspölynimuri	8	Kyllä	Kyllä
Atlas Copco	4	Kyllä	Kyllä
Yhteensä (min):	28		



Ryhmä 5			
Testauskohde:	Kohteessa vierailuun kulunut aika (min)	Kohteen sijainti testin alkaessa tuntematon	Kaikki huoltokohteet löydettiin
Vuotohöyryimuri	8	Kyllä	Ei
Luvo	8	Kyllä	Ei
Sulkusyöttimet	4	Kyllä	Kyllä
Keskuspölynimuri	4	Kyllä	Ei
Atlas Copco	3	Kyllä	Kyllä
Yhteensä (min):	27		