

# **Voimalaitoksen voitelun ennakkohuolto**

Aku Pouttu

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2016  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Pouttu Aku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2016
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Voimalaitoksen voitelun ennakkohuolto</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Kari, Niininen Kirsi		
Toimeksiantaja(t) Vaskiluodon Voima Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Vaskiluodon Voima Oy. Työn taustalla oli tarve päivittää yhtiön Vaasan Vaskiluodon voimalaitoksen voiteluhuolto ja voitelun seurannan parantaminen. Voimalaitoksen aiempi voitelujärjestelmä oli Shell-yhtiön tarjoama palvelu, jonka Shell on sittemmin lopettanut. Ennen toimeksiantoa voimalaitoksen voitelu ja voitelun toteutumisen seuranta ei ollut kunnossapitojärjestelmän piirissä. Opinnäytetyön tehtävänä ja tavoitteena oli tuoda laitoksen voitelu ennakkohuoltojärjestelmän piiriin.</p> <p>Opinnäyteytötä varten kerättiin tietoa laitoksen voitelukohteista sen omista laitekohtaisista huoltodokumenteista, henkilöstöltä ja vanhoista voitelu- ja rasvauslistoista. Kaikista laitoksen voitelukohteista ei ollut dokumentaatiota. Puuttuva tieto hankittiin käymällä voitelukohteissa paikan päällä ja kiertämällä laitosta, sekä kyselemällä henkilökunnalta ja erityisesti rasvausta hoitavalta henkilöltä. Tieto voitelukohteiden AKS-numerosta, voiteluväleistä ja voiteluaineista kerättiin Excel-taulukkoon, joka voitiin ajaa voimalaitoksen kunnossapitojärjestelmään. Materiaalia raporttia varten saatiin alan kirjallisuudesta ja internetlähteistä.</p> <p>Tuloksena saatiin taulukko laitoksen voitelukohteista, niiden positiosta, voiteluvälistä ja voiteluaineesta. Taulukko voitiin ajaa voimalaitoksen kunnossapitojärjestelmään, jossa ennakkohuoltotyöt voitiin luoda. Kunnossapitojärjestelmästä voitelua hoitava henkilö sai työt voiteluvälin mukaan.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Voimalaitos, voitelu, huolto		
Muut tiedot		

Author(s) Pouttu Aku	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 48	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Power plant's lubrications advance maintenance</b>		
Degree programme Energy technology		
Supervisor(s) Hytönen Kari, Niininen Kirsi		
Assigned by Vaskiluodon Voima Oy		
Abstract  <p>The thesis was assigned by Vaskiluodon Voima Oy. The motivation for the thesis was a need to update the company's lubrication maintenance and to improve its follow-up at Vaskiluoto power plant in Vaasa. The earlier lubrication system at the power plant was provided by Shell corporation, which Shell has later discontinued. Before the assignment the power plant's lubrication and its follow-up was not under the domain of the plant's maintenance system. The assignment of the thesis was to bring the plant's lubrications under the domain of the plant's own maintenance software.</p> <p>Information about the lubrication objects at the plant was collected from the plant's own maintenance documents, the staff and the old lubrication and greasing lists. Not all the lubrication objects had documentation of them. The missing information was gathered by interviewing the staff, especially the person doing the lubrication work and by physically going to the devices that needed lubrication to check them. The information of the objects' AKS-number, lubrication intervals and used lubricants was gathered into an excel file that could be run into the plant's maintenance software. Material for the thesis was gathered from the field's literature and internet sources.</p> <p>As a result, a worksheet containing the information of the plant's lubrication objects, their position, lubrication intervals and lubricants was created. The worksheet could be run into the power plant's maintenance software where advance maintenance tasks could be created. The person doing the lubrication maintenance got assignments from the maintenance software following the lubrication interval set for the objects.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Power plant, lubrication, maintenance		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Voitelun merkitys .....	4
2	Voitelun perusteet .....	5
	2.1 Pintojen välinen kosketus ja kuluminen.....	6
	2.2 Viskositeetti .....	8
	2.3 Voitelumekanismit .....	11
	2.3.1 Hydrodynaaminen voitelu .....	13
	2.3.2 Elastohydrodynaaminen voitelu (EHD) .....	15
	2.3.3 Hydrostaattinen voitelu.....	16
	2.3.4 Raja- ja sekavoitelu .....	17
	2.4 Rasvavoitelu .....	19
3	Voiteluaineet .....	20
	3.1 Voiteluöljyt .....	22
	3.1.1 Mineraaliöljyt.....	23
	3.1.2 Synteettiset nesteet .....	25
	3.1.3 Kasviöljyt.....	28
	3.2 Voitelurasvat .....	28
	3.3 Voiteluaineiden lisäaineet.....	31
4	Voitelusuunnitelma .....	33
5	Pohdinta .....	37
	Lähteet.....	39
	Liitteet .....	40
	Liite 1. Kattilalaitoksen voitelutöitä 1. ....	40
	Liite 2. Kattilalaitoksen voitelutöitä 2. ....	41
	Liite 3. Kattilalaitoksen voitelutöitä 3. ....	42
	Liite 4. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 1.....	43
	Liite 5. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 2.....	44
	Liite 6. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 3.....	45

Liite 7.	Rikinpoistolaitoksen voitelutöitä 1.....	46
Liite 8.	Rikinpoistolaitoksen voitelutöitä 2.....	47
Liite 9.	Turbiinilaitoksen voitelukohteita. ....	48

## Kuviot

Kuvio 1. Adhesiivinen kuluminen (van Beek, n.d.) .....	7
Kuvio 2. Kulumismekanismit (Kopeliovich, 2016) .....	8
Kuvio 3. ISO VG ja SAE vertailu. (ISO and SAE Viscosity Classes: A Comparison, n.d.)	10
Kuvio 4. Voitelumekanismien ja kitkakertoimen riippuvuus $\eta_{UI}/WL$ -parametrissa (Teollisuusvoitelu, 2013, 20.) .....	13
Kuvio 5. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate (Teollisuusvoitelu, 2013, 21)..	14
Kuvio 6. Kahden kitkattoman lieriön välisen voitelukalvon paksuus EHD-voiteluissa. (Teollisuusvoitelu 2013, 25.) .....	16
Kuvio 7. Aktiivisen lisäaineen aiheuttama korroosio (Teollisuusvoitelu, 36) .....	18
Kuvio 8. Kaavio voiteluaineen valmistamisesta raakaöljystä. (Teollisuusvoitelu 2013, 56.).....	23
Kuvio 9. Perusöljyjen valmistusmenetelmät. (Teollisuusvoitelu 2013, 57.) .....	25

## Taulukot

Taulukko 1. ISO 3448 -standardin mukaiset ISO VG -luokat. ....	11
Taulukko 2. Eri tekijöiden vaikutus laakerin toimintaan hydrodynaamisessa laakerissa. .....	15
Taulukko 3. Rasvavoitelun hyviä ja huonoja puolia verrattuna öljyvoiteluun. ....	19
Taulukko 4. Parafiini- ja nafteenipohjaisten öljyjen ominaisuuksia.....	24
Taulukko 5. Perusöljyjen ominaisuuksien vertailu (Teollisuusvoitelu 2013, 58) .....	26

## 1 Voitelun merkitys

Kunnollisella voitelulla on hyvin tärkeä osa voimalaitoksen kunnossapidossa. Ilman kunnollista voitelua laitteiden ja koneiden käyttöikä on lyhyempi ja pahimmassa tapauksessa huonosta tai olemattomasta voitelusta saattaa aiheutua laiterikkoja, joilla voi olla merkittäviä tuotannollisia ja taloudellisia vaikutuksia. Tätä kirjoittaessa sähkön Suomen aluehinta oli 41,31 €/MWh ja Vaskiluodon voimalaitos tuottaa sähköä noin 240 MW:n teholla. Esimerkkitalanteessa huonosta voitelusta johtuva laiterikko ja siitä aiheutuva 10 tunnin ylimääräinen seisakki tarkoittaisi, että sähköä jäisi tuottamatta noin 99 000 euron arvosta. Tähän kun lisätään muut laiterikosta aiheutuvat materiaali- ja henkilöstökulut, saadaan hyvä käsitys kunnollisen voitelun merkityksestä laitoksen toiminnalle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Vaskiluodon Voima Oy:n Vaskiluodon voimalaitokselle voitelusuunnitelma. Voitelusuunnitelmalla pyritään varmistamaan voiteluhuollon toteutuminen. Monissa laitoksissa voitelun toteutuminen saattaa olla yhden tai useamman työntekijän ammattitaidon ja tiedon varassa. Kun nykyaikaiseen kunnossapitojärjestelmään kerätään tieto voitelutöitä varten, varmistetaan tiedon pysyminen talon sisällä. Tämä tieto saattaisi muussa tapauksessa lähteä yrityksestä henkilöstön mukana esimerkiksi sen eläköityessä tai ulkoistamisien seurauksena. Voitelusuunnitelmaa varten kerättiin tarvittava tieto laitoksen voitelukohteista, niiden positiosta, voiteluaineesta, sekä voiteluväleistä.

### Vaskiluodon Voima

Vaskiluodon Voima Oy on EPV Energia Oy:n ja Pohjolan Voima Oy:n yhdessä tasosuukin omistama yhtiö. Yhtiöllä on voimalaitokset Vaasassa ja Seinäjoella. Yhtiöllä oli vuoden 2015 tilinpäätöksen mukaan vuoden 2015 aikana palveluksessaan keskimäärin 95 henkilöä, joista Vaasan voimalaitoksella työskenteli 51 (Vaskiluodon Voima Oy tilinpäätös 2015, 5). Yhtiö toimii Mankalaperiaatteella, eli yritys myy tuottamansa sähkön omakustannushintaan osakkailleen ja osakkaat maksavat yrityksen kulut omistussuosituksensa mukaan. Mankalaperiaatteella toimiva yritys ei tuota voittoa tai jaa osinkoa. Laitosten tuottama kaukolämpö menee Vaasan ja Seinäjoen kaupunkien

käyttöön. Vaskiluodon voimalaitoksella Vaasassa tuotetaan vuosittain 0,9-1,7 TWh sähköenergiaa ja 450 GWh edestä kaukolämpöä. (Vaskiluodon voimalaitos n.d.)

Vaskiluodon voimalaitosalueella on tuotettu sähköä jo 1950-luvulta lähtien ja nykyään alue koostuu eri aikoina rakennetuista laitoksista ja osista. Tällä hetkellä sähköä ja kaukolämpöä tuotetaan VL2-laitoksella. VL2-laitokseen kuuluu vuonna 1982 käyttöön otettu Tampellan kivihiilikattila, joka vuoden 1998 tehonkorotuksen jälkeen tuottaa 560 MW:n tehon. Uusin muutos on syksyllä 2012 valmistunut Metso Powerin toimittama hakkeen ja turpeen kaasutuslaitos, jonka tuottama kaasu poltetaan kivihiilikattilassa. Kaasutuslaitos oli valmistuessaan maailman suurin ja sen polttoainetehto on noin 140 MW. Kattilan tuottamasta höyrystä tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä vuonna 1998 valmistuneessa turpiinilaitoksessa, joka on CEG Alstomin toimittama. VL2:n sähköteho on 230 MW ja kaukolämpöteho 170 MW. Lisäksi VL2:en kuuluu vuonna 1993 valmistunut rikonpoistolaitos. VL2:n lisäksi alueella on 1950-luvulla valmistunut VL1, jolla tuotettiin sähköä kivihiilestä ja VL3, johon kuului raskasöljykattila ja turpiinilaitos. VL3:n kattila oli säilöttynä 1982-1998, jolloin sen turbiinia ajettiin VL2: kivihiilikattilalla. Uuden turpiinilaitoksen valmistuttua VL3 kytkettiin takaisin omaan turpiiniinsa ja se toimi huippuvoimalaitoksena aina vuoden 2015 loppuun saakka.

## 2 Voitelun perusteet

Voitelu on tärkeä osa kunnossapitoa kaikessa teollisuudessa. Voitelulla on monta tehtävää, joista tärkeimpinä voi pitää seuraavia:

- erottaa pinnat toisistaan
- pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa häviötehoa
- vähentää kulumista
- jäähdyttää kosketusta
- estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kohteeseen
- kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois
- vaimentaa värähtelyjä
- suojata osia korroosiolta



Voitelun tärkeyttä on hyvä perustella siitä saatavalla taloudellisilla hyödyillä. Kitkan vähentäminen säästää energiaa ja minimoimalla kulumista saadaan parannettua kohteiden elinikää ja käyttövarmutta. (Teollisuusvoitelu 2013, 11.)

## 2.1 Pintojen välinen kosketus ja kuluminen

Kahden pinnan välillä tapahtuva kosketus voidaan eritellä kolmeen muotoon: vierintä- ja liukukosketukseen, sekä niiden yhdistelmään. Todellinen kosketus ei tapahdu koko näennäisellä kosketusalueella, vaan pinnankarheuksien huippukohdissa. Ja aina, missä on kosketusta, tapahtuu kulumista ja syntyy kitkaa. Pintojen välinen todellinen kosketuspinta-ala on vain pieni osa näennäisestä kosketuspinta-alasta. Todellisen kosketuspinnan ala kasvaa materiaalin myötölujuuden pienetessä ja normaaliavoiman suurentuessa.

Vierintävastukseen vaikuttaa vastinpintojen materiaali. Vastuksen aiheuttaa vastinpintojen elastinen hystereesi ja mahdollisesti myös materiaalissa tapahtuva plastinen muodonmuutos. Esimerkiksi jos pysytään materiaalin elastisella alueella, saadaan metallisilla vastinpinnoilla aikaan pieni vierintävastus, kun taas muoveilla, jotka ovat viskoelastisia materiaaleja, korostuvat elastisesta hystereesistä aiheutuvat vierintävastus ja kitka vierivässä ja liukuvassa kosketuksessa.

Stick-slip eli suomeksi tihkomisvärähtely on vastinpintojen välillä tapahtuva nykivä liike, jota syntyy siitä huolimatta, että pintoja liikutetaan tasaisella nopeudella. Tihkomisvärähtelyä syntyy pienillä nopeuksilla ja se johtuu muun muassa rakenteiden kitkakertoimen vaihtelusta. Stick-slip -ilmiötä esiintyy myös hydrodynaamisessa voitelussa, vaikka voitelukalvo erottaa pinnat toisistaan. Kitkavoimat syntyvät tällöin voiteluaineen sisäisestä kitkasta, mutta se on alhainen verrattuna kuivakitkaan. (Teollisuusvoitelu 2013, 15.)

### Kulumismekanismit

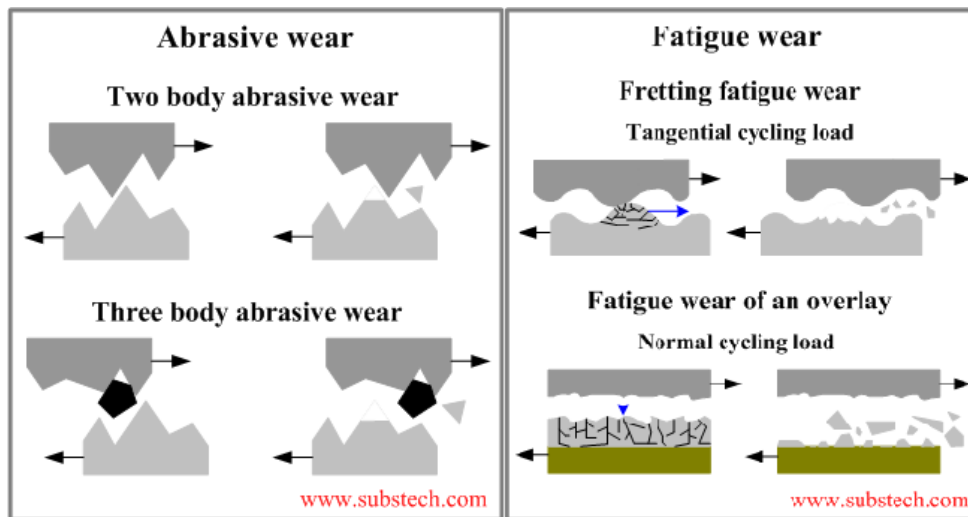
Yksi kulumistapa on adhesiivinen kuluminen. Adhesiivista kulumista tapahtuu, kun pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan ja syntyy adhesiivinen liitos, joka repeää

muualta, kuin pintojen rajapinnasta. Raskaalla kuormalla ja huonolla voitelulla saadaan aikaan vahvoja liitoksia ja erittäin voimakasta kulumista. Kuviossa 1 on havainnollistettu adhesiivisen kulumisen aiheuttamat vauriot eri materiaaleilla laakerite-  
rästä vasten. (Teollisuusvoitelu 2013, 15 - 16.)



Kuvio 1. Adhesiivinen kuluminen (van Beek, n.d.)

Toinen yleinen kulumistapa on abrasiivinen kuluminen. Kahden kappaleen abrasiivinen kuluminen on pinnankarheushuippujen kyntämistä toisiaan vastaan. Kun kahden luikuvan pinnan välissä on kovia hiukkasia, kuten irronneita kulumishiukkasia, jotka kuluttavat molempia pintoja, on kyseessä kolmen kappaleen abrasiivinen kuluminen. Abrasiivista kulumista tapahtuu kyntämällä, leikkaamalla ja hauraasti murtumalla. Abrasiivisen kulumisen periaate on esitetty kuviossa 2. (Teollisuusvoitelu 2013, 15 - 16.)



Kuvio 2. Kulumismekanismit (Kopeliovich, 2016)

Tribokemiallinen kuluminen tapahtuu pääasiassa pintojen pintakalvossa, kuten esimerkiksi metallipintojen oksidikerroksessa. Kuluminen on yleensä hyvin vähäistä, koska se tapahtuu vain pintakalvossa ja sen uusiutuessa, kuten kuviossa 2 on havainnollistettu. (Teollisuusvoitelu 2013, 16.)

Kuviossa 2 on esimerkki väsymiskulumisesta. Väsymiskulumisessa kulumishiukkanen saa alkunsa väsymismurtumasta, joka on seurausta kosketuspintojen väsymisrasituksesta. Kuluminen vaatii pitkäaikaista ja vaihtelevaa kuormitusta sekä alkusärön.

Muun muassa vierintälaakerien laskennallinen kestoaika perustuu vierintäpinnan väsymiseen. (Teollisuusvoitelu 2013, 16.)

## 2.2 Viskositeetti

Viskositeettia voidaan pitää voiteluaineen yhtenä tärkeimmistä ominaisuuksista ja se kuvaa nesteen, tässä tapauksessa voiteluaineen sisäisen kitkan suuruutta (Teollisuusvoitelu, 2013, 17). Esimerkiksi hydraulikassa nesteen oikealla viskositeetilla on suuri merkitys, kun halutaan pitää tehohäviöt pieninä ja saavuttaa samalla paras mahdollinen voitelukyky. Liian pienellä viskositeetilla ei saavuteta tarvittavan hyvää voitelu-

kalvoa ja voidaan kärsiä lisääntyneistä vuotohäviöistä, kun taas liian suuren viskositeetin omaavalla nesteellä voi syntyä pumpun vaurioitumista. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 121.)

Voiteluaineen viskositeetti ei ole vakio, vaan vaihtelee lämpötilan ja paineen mukaan. Mitä suurempi lämpötila ja mitä pienempi paine, sitä pienempi on myös viskositeetti. Edeltävistä muuttujista lämpötilalla on huomattavasti suurempi merkitys viskositeetille, kuin paineella. (Kauranne ym., 2013, 121.) Tämä tulee ottaa huomioon kylmissä olosuhteissa, kuten talvella, jolloin esimerkiksi öljy voi olla liian jäykkää laitteen kylmäkäynnistykseen. Sama toimii myös toisin päin, kun kylmäkäynnistykseen sopiva öljy ei enää annakaan tarvittavaa voiteluainekalvoa laitteen käydessä lämpimänä. (Teollisuusvoitelu 2013, 17.)

Voitelutekniikassa käytetään dynaamista eli absoluuttista viskositeettia  $\eta$ , jonka yksikkö on  $\text{Ns/m}^2$ :

$$\eta = \frac{\tau}{du/dy}$$

jossa  $\tau$  on leikkausjännitys ja  $du/dy$  leikkausnopeus,

ja kinemaattista viskositeettia  $\nu$ , jonka yksikkö on  $\text{m}^2/\text{s}$ :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

jossa  $\rho$  on voiteluaineen tiheys.

Voiteluaineen dynaaminen viskositeetti [ $\text{Ns/m}^2$ ] saadaan mittaamalla voiteluaineessa pyörivään roottoriin kohdistuva vastus. Menetelmä toimii paksuilla nesteillä, jotka eivät virtaa kylmässä kapillaarisesti. Brookfield- menetelmä on tavallisin ja sitä käytetään muun muassa SAE-luokituksessa (Society of Automotive Engineers). Kinemaattista viskositeettia mitataan kapillaariviskometrillä, ja sitä käytetään myös esimerkiksi

ISO VG -luokan määrittämiseen. Teollisuusöljyt on ISO 3448 -standardissa jaoteltu eri viskositeettiluokkiin niiden kinemaattisen viskositeetin mukaan 40°C:ssa. Jokaisessa viskositeettiluokassa sallitaan  $\pm 10\%$  vaihtelu keskiviskositeetissa ks. Taulukko 1. Kuviossa 3 taas nähdään SAE- ja ISO VG -luokitusten rinnastettavuus toisistaan. (Teollisuusvoitelu 2013, 50 - 53.)

ISO-VG Industrieöle	SAE-Klassen	
	Motorenöle	Getriebeöle
5	0 W	
7		
10		
15	5 W	70 W 75 W
22	10 W	
32	15 W 20 W	80 W
46		
68		
100	30	85 W
150	40	90
220	50	
320	60	140
460		
680		
1000		
1500		250

Kuvio 3. ISO VG ja SAE vertailu. (ISO and SAE Viscosity Classes: A Comparison, n.d.)

Voiteluaineen viskositeetin muutosta lämpötilan muutoksen suhteen kuvataan viskositeetti-indeksillä (VI). Mitä suurempi viskositeetti-indeksi, sitä vähemmän voiteluaineen viskositeetti muuttuu lämpötilan mukaan. Tämä tarkoittaa, että suuremman VI:n omaava voiteluaine toimii paremmin laajemmalla lämpötila-alueella ja säilyttää siltä vaadittavat voiteluominaisuudet pidempään. (Kauranne ym. 2013, 123.)

Taulukko 1. ISO 3448 -standardin mukaiset ISO VG -luokat.

ISO 3448	Kin. Viscosity	Kin. Viscosity	Kin. Viscosity
Viscosity	[mm <sup>2</sup> /s]	[mm <sup>2</sup> /s]	[mm <sup>2</sup> /s]
Class[°C]	Mid-point	Minimum	Maximum
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,84
ISO VG 10	10	9	11
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

### 2.3 Voitelumekanismit

Kulumista ja kitkaa pyritään eliminoimaan voitelulla siellä missä se on sallittua. Tapahtuva voitelu riippuu suunnittelu- ja käyttöarvoista ja voidaan jakaa kolmeen eri voitelumekanismiin. Nämä kolme mekanismia ovat rajavoitelu, sekavoitelu ja nestevoitelu. Yksi näitä kolmea erottava tekijä on voitelukalvon ominaispaksuus, mikä ei kuitenkaan määrittele voitelun toimivuutta yksiselitteisesti erityisesti sen pienemmillä arvoilla ( $\lambda < 1$ ). Voitelukalvon ominaispaksuus  $\lambda$  saadaan kaavalla:

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

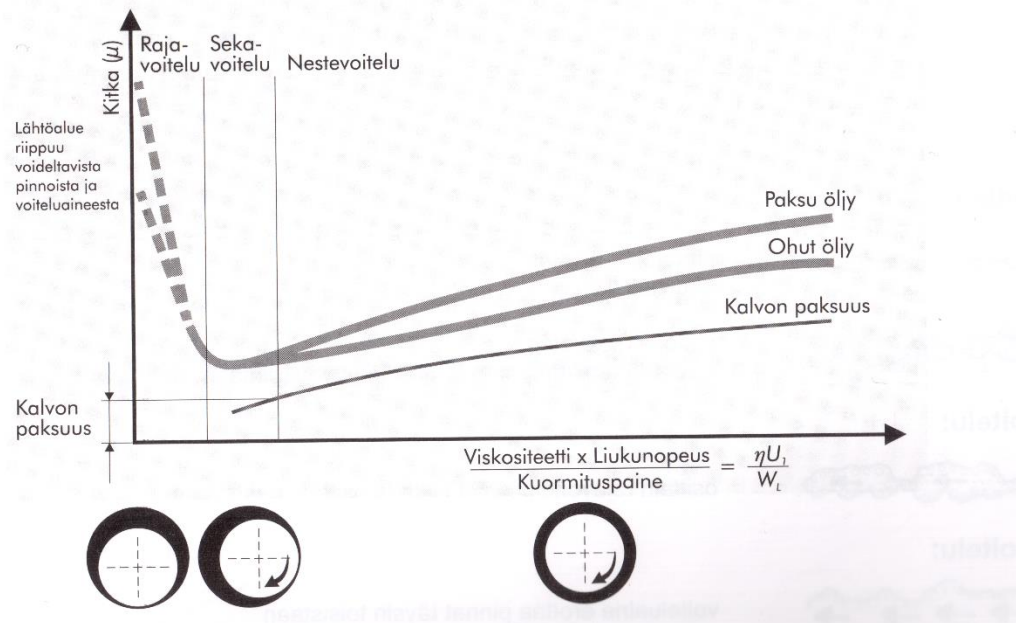
jossa  $h_{min}$  on voiteluainekalvon minimipaksuus ja  $\sigma_1$  ja  $\sigma_2$  ovat vastinpintojen pinnan-  
karheuksien rms-arvot.

Voiteluaineella on liian alhainen viskositeetti, sitä on liian vähän, pintojen välinen nopeus on liian pieni tai kuorma on liian suuri. Mikäli jokin edeltävistä tilanteista tai niiden yhdistelmästä toteutuu, voidaan päätyä tilanteeseen, josta käytetään rajavoitelu-nimitystä. Rajavoitelussa vastinpintojen karheushuiput pääsevät selvästi kosketamaan toisiaan, jolloin voitelukalvoa ei ole. Tällöin voitelu perustuu pintakalvojen muodostusnopeuteen ja niiden tarttuvuuteen toisiinsa. Näitä pintakalvoja muodostavat voiteluaineiden EP, eli paineenkestolisäaineiden ja AW, eli kulumisenestoaineiden reagointi kosketuspinnan kanssa. Hallitussa rajavoitelutilanteessa kitkakerroin on noin 0,1 ja pintakalvon paksuus 1-10 nm välillä, mikä on huomattavasti pinnankarheusarvoa pienempi. Mikäli pintakalvot pääsevät rikkoontumaan, voi kitkakerroin nousta kuivakitkan tasolle. Pintojen väliseen kulumiseen ja kitkaan vaikuttavat myös materiaaliparien tribologiset ominaisuudet. (Teollisuusvoitelu 2013, 19 - 20.)

Sekavoitelu sijoittuu rajavoitelun ja nestevoitelun väliin ja kuten nimi antaa ymmärtää, sekavoitelu on näiden kahden yhdistelmä. Sekavoitelussa kuorman kantaa matalakitkainen voiteluainekalvo ja loput kuormasta välittyy pinnankarheushuippujen kautta. Mitä suurempi on voiteluainekalvon paksuus, sitä pienempi kuorma välittyy pinnankarheushuippujen kautta, jolloin myös kokonaiskitka pienenee. Sekavoitelun olemuksesta johtuen kitkakerroin voi vaihdella olosuhteiden muutosten takia ja johtaa huomattaviin lämpötilan vaihteluihin kosketuksessa. Muutosten takia syntyvästä lämmönkehityksestä johtuen voidaan joissain tilanteissa siirtyä sekavoitelutilanteesta rajavoitelutilanteeseen. Metallikosketukset, joita syntyy raja- ja sekavoitelutilanteissa aiheuttavat paikallisia pintakerrosten hitsaamia. Nämä virheet aiheuttavat lisää kulumista, kitkaa, lämpenemistä ja pintojen väsymistä. (Teollisuusvoitelu 2013, 20.)

Kun voitelukalvo on niin paksu, että se erottaa vastinpinnat toisistaan täydellisesti, puhutaan puhtaasta nestevoitelusta ( $\lambda > 4$ ). Puhtaassa nestevoitelussa kitka on hyvin alhainen, eikä kulumista tai väsymistä materiaalissa juurikaan esiinny. Myös nestevoitelu voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, jotka ovat hydrodynaaminen (HD), elasto-hydrodynaaminen (EHD) ja hydrostaattinen voitelu. Kuviossa 4 on Stribeckin käyrän avulla kuvattu kitkakertoimen ja voitelumekanismien välistä yhteyttä hydrodynaami-

sessä voitelussa. Kuviossa näkyvä Stribeckin parametri  $\eta U_L/W_L$  kuvaa voiteluainekalvon paksuutta, joten sen tilalla voidaan yleisemmin ottaen käyttää voitelukalvon ominaispaksuutta  $\lambda$ . (Teollisuusvoitelu 2013, 20.)



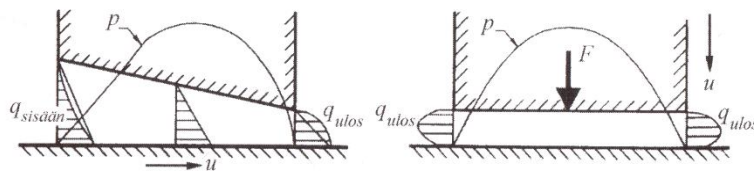
Kuvio 4. Voitelumekanismien ja kitkakertoimen riippuvuus  $\eta U_L/W_L$ -parametrilla (Teollisuusvoitelu, 2013, 20.)

### 2.3.1 Hydrodynaaminen voitelu

Hydrostaattisten ja hydrodynaamisten laakereiden kuormitusalueella on pienempi paine verrattuna elastohydrodynaamiseen kosketukseen. Sen ansiosta niissä ei tapahdu elastisesta muodonmuutoksesta johtuvaa väsymistä, jota vierintälaakereissa esiintyy. Edellytyksinä hydrodynaamiselle voitelutilanteelle ovat toisiaan vastakkain liukuvien pintojen välinen nopeusero, sekä kiilamainen rakenne, jolla aikaansaadaan suppeneva voitelukalvo. Suppenevaan voitelukalvoon syntyy ylipaine. Tämä ylipaine tasaa sisään ja ulos virtaavan voiteluaineen määrän, sekä kantaa laakerin kuorman.



Yleisenä esimerkkinä hydrodynaamisesta voitelutilanteesta on auton renkaan meneminen vesiliirtoon. Hydrodynaamisessa voitelutilanteessa ainoa voiteluaineen viskositeettiin vaikuttava tekijä on lämpötila. Niin sanottu puserrusvaikutus hydrodynaamisessa laakerissa syntyy, kun vastakkaiset pinnat liikkuvat kohtisuoraan toisiaan vasten. Kohtisuoran liikkeen johdosta liukukosketukseen syntyy painejakauma, mikä lisää kuormankantokykyä laakerin voiteluainekalvossa. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate on esitetty kuviossa 5, vasemmalla suppeneva ja oikealla oheneva voitelukalvo. (Teollisuusvoitelu 2013, 21.)



Kuvio 5. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate (Teollisuusvoitelu, 2013, 21)

Voiteluainekalvolla on vaimennus- ja jousto-ominaisuudet ja voiteluainekalvo yhdessä akselin kanssa muodostaa värähtelysteemin. Tässä vaarana on voiteluainekalvon värähtely, mikäli akselin epätasapainovoiman taajuus on lähellä systeemin ominaistaajuutta. Värähtelyä kutsutaan öljykalvon ominaispyörteilyksi ja se on vaarallisimmillaan silloin, kun akseli pyörii noin kaksinkertaisella taajuudella systeemin ominaistaajuuteen nähden. Ilmiötä voidaan pyrkiä eliminoimaan lisäämällä tai vähentämällä voiteluaineen viskositeettia. Korkeampi viskositeetti lisää vaimennusta, kun taas matalampi viskositeetti lisää epäkeskisyyttä, millä värähtely saatetaan pystyä poistamaan. (Teollisuusvoitelu 2013, 23.)

Hydrodynaamisen laakerin voitelu mitoitetaan niin, että laakerissa syntyvä lämpöenergia on yhtä suuri, kuin virtaavan öljyn poiskuljettama lämpöenergia. Laakerin voitelun toimintaan voidaan vaikuttaa muutamilla tavoilla, joita on esitetty alla ole-

vassa taulukossa 2. Taulukon selite: L=lisääntyy, V=vähenee, 0=ei muutosta, \*=riippuen syöttötaskujen sijainnista.  $h_{\min}$  on voitelukalvon minimipaksuus,  $T_u$  on voiteluaineen suurin lämpötila, P on laakerin kitkateho ja Q on voiteluaineen tilavuusvirta. (Teollisuusvoitelu 2013, 23 - 24.)

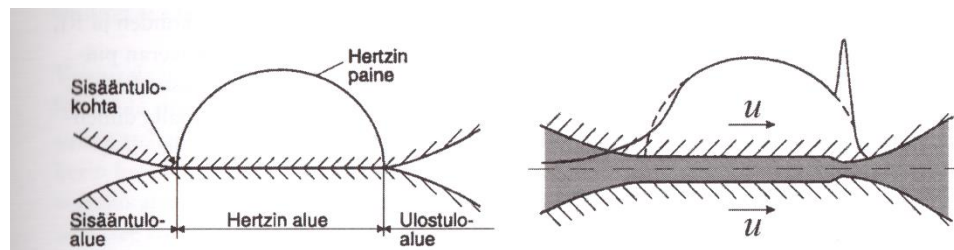
Taulukko 2. Eri tekijöiden vaikutus laakerin toimintaan hydrodynaamisessa laakerissa.

Tehty muutos	$h_{\min}$	$T_u$	$T_m$	P	Q
Pieni halkaisijan lisäys	L	L	L	L	L
Pieni leveyden lisäys	L	L	L	L	V
Pieni välyksen lisäys	L/V	V	V	0	L
Pieni kuormituksen lisäys	V	L*	L	L	L*
Pieni kehänopeuden lisäys	L	L	L	L	L
Voiteluaineen syöttöpaineen lisäys	0	0	0	0	L
Voiteluaineen syöttölämpötilan lisäys	V	L	L	V	L
Vaihto suurempaan viskositeettiin	L	L	L	L	V

### 2.3.2 Elastohydrodynaaminen voitelu (EHD)

Elastohydrodynaamisen voitelun sovellusalueisiin kuuluvat muun muassa suuria kuormituksia pienen kosketuspinta-alan kautta välittävät hammaspyörät ja vierintälaakerit. Hydrodynaamiseen voiteluun verrattuna edeltävissä sovelluksissa muodostuu korkean kosketuspaineen johdosta merkittävää elastista muodonmuutosta, sekä voimakasta viskositeetin nousua paineen nousun vuoksi. Voitelukalvo ei pääse kuitenkaan rikkoontumaan, koska kosketuskohdan pinta-ala kasvaa elastisessa muodonmuutoksessa, eikä korkean paineen alla jäykäksi muuttunut voiteluaine ehdi karkaamaan kosketuskohdasta. Suurimmat Hertzin kosketuspaineet elastohydrodynaamisessa voitelussa liikkuvat 0,5 - 3 GPa:n välillä voitelukalvon minimipaksuuden ollessa

noin 0,1-2 $\mu$ m välillä. Kuviossa 6. on havainnollistettu painejakauma ja voiteluainekalvon paksuus kahden lieriön viivakosketuksessa. Vasemmalla kuivakosketus ja oikealla elastohydrodynaaminen voitelu. Kuviossa nähdään EHD:n painejakauman eroavan kuivakosketuksesta sille tunnuksenomaisesti siten, että voitelukalvon minimipaksuus sijaitsee kosketuksen ulostulon puolella ja voiteluaineen pakkautuminen sisääntulo-puolella, sekä näistä johtuvat painepiikki, sekä paineen lasku. (Teollisuusvoitelu 2013, 25.)



Kuvio 6. Kahden kitkattoman lieriön välisen voitelukalvon paksuus EHD-voiteluissa. (Teollisuusvoitelu 2013, 25.)

Koska EHD-voitelussa voiteluainekalvojen paksuudet ovat ohuita, vaaditaan siinä si-  
leitä kosketuspintoja. Muutoin voiteluainekalvo ei pysty erottamaan pintoja toisis-  
taan riittävän tehokkaasti. Erityisen haitallisia ovat terävät pinnankarheushuiput. Voi-  
teluaineen puhtaus nousee huollon ja suodatuksen yhteydessä suureen merkityk-  
seen, sillä ohut voitelukalvo on herkkä epäpuhtauksille ja irronneille kulumishiukka-  
sille. Jopa pienet, muutaman mikrometrin huikkaset voivat aiheuttaa paineennousun  
kosketuskohdassa, ja siitä seuraavaa pintojen väsymistä ja kohteen eliniän heikkene-  
mistä. (Teollisuusvoitelu 2013, 27.)

### 2.3.3 Hydrostaattinen voitelu

Hydrostaattisessa voitelussa voiteluaine pumpataan liukupintojen välissä olevaan  
taskuun, jossa voiteluaineen hydrostaattisen paineen ansiosta pinnat pysyvät erillä

toisistaan. Tämä tapahtuu siitä huolimatta, että pintojen välistä suhteellista liikettä ei olekaan. Hydrostaattinen laakerointijärjestely on erittäin jäykkä ja sen kitkateho on pieni. Nopeakäyntisillä koneilla on edullista käyttää alhaisen matalaviskositeettista voiteluainetta, kuten ilma. Tällaisia aerostaattisia laakerointeja käytetään esimerkiksi työstökoneiden luisteissa ja karoissa, sekä prosessilaitteissa ja instrumenteissa. (Teollisuusvoitelu 2013, 33.)

#### 2.3.4 Raja- ja sekavoitelu

Pieninopeuksiset liuku- ja vierintälaakerit, murrosnivelet ja hammaspyörät ja -kytkimet toimivat raja- ja sekavoitelualueella. Rasvavoitelu on yleinen edeltävillä sovelluksilla ja se asettaa voitelurasvojen ja -öljyjen lisäaineistukselle korkeat vaatimukset. Myös normaalisti nestevoitelumekanismilla (EHD) toimivat laakerit, kuten pyörivien työstökarojen esijännitetyt laakerit saattavat kulua usein tapahtuvien käynnistysten johdosta seuraavista raja- ja sekavoitelutilanteista. Erityisesti näitä tilanteita esiintyy öljyvoidelluissa kohteissa käynnistysten ja pysäytysten yhteydessä. Esimerkkinä paperikoneen märän pään telojen laakereissa toiminta on voiteluaineen viskositeetista riippuen elastohydrodynaamista tai sekavoitelua. Kun taas kuivatusosan kuivatussylinderien laakerit voivat toimia jopa rajavoitelulla riippuen laakereiden läpi kulkevien höyryputkien eristyksen laadusta ja koneen käyttönopeudesta. Esimerkiksi ryömintänopeudella ajettaessa laakerit toimivat usein epäedullisesti rajavoitelualueella. Raja- ja sekavoitelussa syntyvien pintakosketusten aiheuttamiin vaurioihin voidaan vaikuttaa voiteluaineen oikeanlaisella lisäaineistuksella, käyttämällä kiinteitä voiteluaineita, pinnoitteita, pintakäsittelyä ja tehokkaalla voiteluaineen kohteeseen tuonnilla. (Teollisuusvoitelu 2013, 34.)

Rajavoitelua voidaan hallita lisäaineistamalla käytettävä voiteluaine. Lisäaineiden tarkoituksena on kiinnittyä metallipintaan ja/tai reagoida pinnan kanssa niin, että liikepintojen väliin muodostuu helposti leikkautuva rajakerros. Lisäaineet estävät metallipintojen kosketuksen, pienentävät kitkaa, sekä vähentävät kulumista rajavoitelutilanteissa. Erityyppisiä lisäaineita ovat esimerkiksi kitkanalentajat (FM), kulumisenestolisäaineet (AW), paineenkestolisäaineet (EP) ja kiinteät lisäaineet, kuten molybdeenisulfidi (MoS<sub>2</sub>), teflon (PTFE) ja grafiitti. (Teollisuusvoitelu 2013, 34.)

Lisäaineet ovat erilaisia niin kestävyydeltään, kuin vaikutusmekanismeiltaan ja ne voivat reagoida eri tavoilla metallipinnan kanssa eri olosuhteissa. Vaikutukset riippuvat esimerkiksi lämpötilasta, kuormituksesta, epäpuhtauksien määrästä ja tyypistä, reagoinnista voiteluaineen eri komponenttien kanssa ja metallipinnan ominaisuuksista. Kitkanalentajat kiinnittyvät metallin pintaan fysikaalisesti, esimerkiksi sähköisesti ja ne menettävät ominaisuutensa korkeissa lämpötiloissa. Paineenkesto- ja kulumisenestolisäaineet reagoivat metallipinnan kanssa kemiallisesti ja niiden ero on toiminta-alueessa. Paineenkestolisäaineistusta (EP) tarvitaan silloin kulumisenestolisäaineistuksen (AW) lisänä, silloin kun raja- ja sekavoitelutilanteessa syntyy korkea kuormitus kosketuskohtaan. Nämä paineenkestolisäaineet sisältävät reaktiivisia ainesosia, kuten rikkiyhdisteitä ja fosforiyhdisteitä, jotka korkeassa lämpötilassa reagoivat nopeasti metallipinnan kanssa muodostaen suojaavan rajakerroksen. Paineenkestolisäaineet voidaan jakaa aktiivisiin ja ei-aktiivisiin aineisiin niiden reaktioherkkyyden mukaan. Tämä tulee ottaa huomioon erityisesti keltametallien kanssa, sillä voimakkaasti reagoivat yhdisteet voivat syövyttää näitä metallipintoja. Kuvio 7 nähdään erittäin selvästi aktiivisten ainesosien aiheuttamasta korroosiosta metallipintaan. (Teollisuusvoitelu 2013, 34 - 35.)



Kuvio 7. Aktiivisen lisäaineen aiheuttama korrosio (Teollisuusvoitelu, 36)

Kiinteät lisäaineet ( $\text{MoS}_2$ , PTFE, grafiitti) ovat stabiileja epäorgaanisia yhdisteitä ja niiden tehtävänä on kerrostua metallin pinnalle korkeassa paineessa paljon ennen kuin saavutetaan AW- ja EP-lisäaineiden vaatima reagoitilämpötila. Ne eivät reagoi metallipinnan kanssa kemiallisesti, kuten AW- ja EP-lisäaineet tekevät. (Teollisuusvoitelu 2013, 36.)

## 2.4 Rasvavoitelu

Yleisin tapa toteuttaa voitelu vierintälaakereissa on rasvavoitelu. Teollisuudessa paljon käytettyjä kohteita ovat keskipakopumput, sähkömoottorit, kuljettimet ja rullarat. Rasvavoitelua voidaan käyttää myös joissain hitaissa kohteissa, kuten pyörivissä luikulaakereissa ja hammaskosketuksissa. Voiteluaine voidaan tuoda kohteeseen joko keskusvoitelun avulla, manuaalisena kertavoiteluna tai käyttämällä kestovoidel- tuja laakereita. Koska voitelurasvoissa öljy on sidottu saentimen avulla rasvaan, ei se pääse virtaamaan voitelukohteessa, kuten öljyvoitelussa. Tämän takia rasvavoite- lussa ei päästä täydelliseen nestevoitelutilanteeseen, vaan toimitaan sekavoitelualu- eella. Rasvavoidelluissa kohteissa lämpö ei pääse siirtymään öljyn kuljettamana pois voitelukohteesta, vaan lämpö siirtyy johtumalla akselin kautta tai säteilemällä il- maan. Tästä johtuen rasvavoitelun käyttäminen korkeissa lämpötiloissa vaatii erikois- järjestelyjä. Liian kuumaksi lämmennyt voitelurasva muuttuu niin lieväksi, että se ei pysy laakerissa. Taulukossa 3. on esitetty rasvavoitelun hyviä ja huonoja ominaisuuksia verrattuna öljyvoiteluun. (Teollisuusvoitelu 2013, 43.)

Taulukko 3. Rasvavoitelun hyviä ja huonoja puolia verrattuna öljyvoiteluun.

<b>Rasvavoitelun hyviä ominaisuuksia.</b>	<b>Rasvavoitelun huonoja ominaisuuksia.</b>
Yksinkertainen ja halvempi rakenne.	Siirtää huonosti lämpöä pois laakerista.
Tiivistäminen vettä, epäpuhtauksia ja poisvalumista vastaan on yksinkertaista.	Suurin sallittu pyörintänopeus on yleensä alhaisempi.
Jälkivoitelua ei vaadita vähemmän vaati- vissa kohteissa.	Sallittu käyttölämpötila-alue on ka- peampi.
Yleensä alhaisempi kitka ja käyttöläm- pötila.	Epäpuhtauksia ei voida suodattaa pois.
Soveltuu hyvin pystyssä olevien, sekä kaltevien akselien laakerointeihin	Voiteluaineen syötön toimivuutta on vaikea todentaa.

Rasvavoitelussa on kolme hallitsevaa mekanismia, jotka vaikuttavat voiteluun. Ne ovat perusöljyn erottuminen sideaineesta, rasvan kulkeutuminen pidikkeestä kosketuskohtaan vierintäelimen avulla, sekä tärinästä aiheutuva rasvan liike laakerissa. Kun laakeria voidellaan, se täytetään kokonaan rasvalla, joka käynnistettäessä työntyy laakerin ympärillä olevaan tilaan vierintäelimien avulla. Tästä johtuen laakerin lämpötila ja kitka ovat kohonneella tasolla käynnin alkuvaiheessa. Täytettäessä laakeripesää rasvalla, se täytetään 30-50 % rasvalla, jolloin tilaa jää rasvan siirtymiselle ja lämpölaajenemiselle. Näin vältetään laakerin liiallinen lämpiäminen. (Teollisuusvoitelu 2013, 43.)

Kun rasva on alkuvaiheen jälkeen siirtynyt laakeria ympäröivään tilaan, vallitseviksi voitelumekanismeiksi tulevat perusöljyn erottuminen rasvasta, sekä rasvan kulkeutuminen pidikkeestä kosketuskohtaan. Öljyn erottumiseen vaikuttaa kohteen lämpötila, sekä käyntijaksojen pituus kohteessa. Öljyn erotus lisääntyy pidempien pysäytysjaksojen aikana ja korkeammissa lämpötiloissa. Tärinän vaikutus voiteluun on erilainen riippuen tilanteesta. Tärinätason ollessa matalalla tasolla, ei rasva liiku laakerissa ja voitelutilanne huonontuu, koska uutta rasvaa ei tule kosketuskohtaan. Parannusta tilanteeseen voidaan saada käyttämällä säännöllistä voitelua. Todella korkealla tärinätasolla saattaa aiheutua rasvan pehmenemistä ja sen ennenaikainen tuhoutuminen perusöljyn erotessa sideaineesta. Pelkällä tärinätasolla ei ole merkitystä edeltävien tilanteiden syntyyn, vaan siihen vaikuttaa myös rasvan kiinteys. Litiumsaippualla saennettu rasva on mekaanisesti kestävä ja sitä on käytettävä voimakkaasti tärisevissä kohteissa. (Teollisuusvoitelu 2013, 44.)

### 3 Voiteluaineet

Voiteluaine on kahden kiinteän pinnan väliaine, joka voi olla kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta. Tärkeitä voiteluaineen ominaisuuksia ovat:

- kulumisen vähentäminen
- kitkan vähentäminen
- kitkalämmön poiskuljetus
- vanhenemisen- ja hapettumisenkestävyys
- hyvä ilmanerotuskyky ja vaahtoamiskäyttäytyminen
- soveltuvuus korkeisiin ja/tai mataliin lämpötiloihin

- hyvä huuhtelukyky epäpuhtauksien poistamista varten
- soveltuvuus tribologisen järjestelmän muihin aineisiin
- soveltuvuus kosteuteen ja veteen
- saatavuus
- hinta

Joitain voiteluaineisiin liittyviä peruskäsitteitä on aiemmin jo käsitelty, kuten viskositeettia ja siihen liittyviä käsitteitä. Muita voiteluaineiden peruskäsitteitä ovat muun muassa:

### Ominaispaino

Ominaispaino on voiteluaineen ja veden tiheyden suhde. Vertailulämpötilana öljyteollisuudessa käytetään + 15°C (Teollisuusvoitelu 2013, 53).

### Leimahduspiste (°C)

Leimahduspisteessä voiteluaineesta höyrystyvät kaasut leimahtavat pienen liekin vaikutuksesta jatkamatta kuitenkaan palamista. Leimahduspisteen määrittämiseen käytetään avoimen ja suljetun upokkaan menetelmiä, joista avoimen upokkaan arvot ovat joitain asteita suljetun upokkaan arvoja korkeampia. (Teollisuusvoitelu 2013, 53.)

### Samepiste (°C)

Samepisteessä kiteytyvät parafiiniset hiilivedyt alkavat näkyä sameutena (Teollisuusvoitelu 2013, 54).

### Jähmepiste (°C)

Jähmepiste on ylin lämpötila, jossa koeputkessa oleva voiteluaine oleva voiteluaine ei enää kallistettaessa liiku viiden sekunnin aikana (Teollisuusvoitelu 2013, 54).

### Pumpattavuus (°C)

Pumpattavuus kertoo voiteluaineen juoksevuudesta alhaisissa lämpötiloissa. Se on alin lämpötila, jossa voiteluaine saadaan testilaitteessa virtaamaan riittävästi. Pumpattavuuden raja riippuu järjestelmästä ja rasvoille ja öljyille on erilaisia testilaitteita (Teollisuusvoitelu 2013, 54.)



## Tunkeuma

Tunkeumalla kuvataan rasvan kovuutta ja se muuttuu lämpötilan mukaan ja kun rasvaa vatkataan. Tunkeumalla ei ole suhdetta rasvan juoksevuuteen tai pumpattavuuteen. Tunkeuma mitataan vatkatun rasvan kartiotunkeumakokeella DIN 51804 mukaan +25°C:ssa ja se määritetään sekä vatkatusta, että vatkaamattomasta rasvasta. Tunkeuma ilmoitetaan yhdeksänä NLGI-luokkana 000-6, jotka on määritetty DIN 51818:ssa. NLGI 2 edustaa keskijäykkää rasvaa. (Teollisuusvoitelu, 2013 66 - 67.)

## Tippumispiste

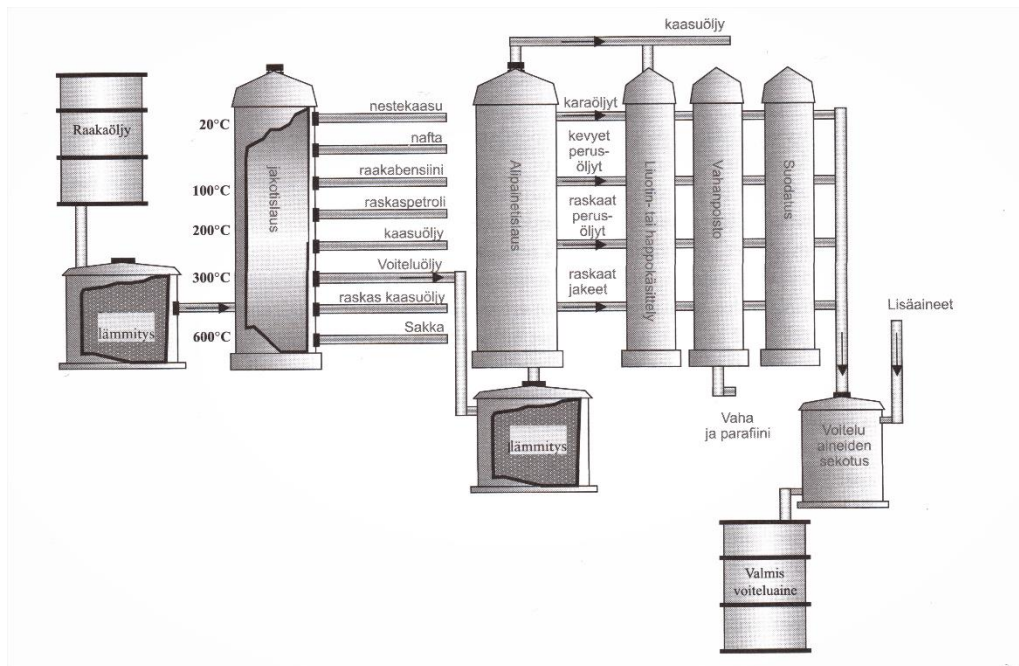
Tippumispiste on lämpötila, jossa rasvasta erottu ensimmäinen öljypisara, kun sitä kuumennetaan testitilanteessa (Teollisuusvoitelu 2013, 54).

## Neutraloimiskyky

Neutraloimiskyky kertoo voiteluaineessa olevien hapanten (TAN) ja emäksisten (TBN) aineiden määrän (Teollisuusvoitelu 2013, 54).

## 3.1 Voiteluöljyt

Suurin osa voiteluainesta on nestemäisessä muodossa, ja useimmin öljypohjaisina. Perusöljyinä voiteluöljyissä käytetään mineraali- ja kasviöljyjen lisäksi synteettisiä öljyjä. Kaikkiin eri perusöljyihin liittyvä niiden omat jalostusprosessit, sekä niiden edulliset ja epäedulliset ominaisuudet. Kuviossa 8 on kaavion avulla esitetty voiteluöljyn valmistus raakaöljystä tislaamalla. (Teollisuusvoitelu 2013, 55.)



Kuvio 8. Kaavio voiteluaineen valmistamisesta raakaöljystä. (Teollisuusvoitelu 2013, 56.)

### 3.1.1 Mineraaliöljyt

Mineraaliöljyjä saadaan raakaöljystä tyhjötislaamalla ja puhdistamalla. Raakaöljyjen koostumukset vaihtelevat laadun mukaan. Kun halutaan jalostaa raakaöljystä voiteluaineiden perusöljyjä, halutaan siltä siihen sopivia kemiallisia ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat pieni aromaattipitoisuus, pieni rikkipitoisuus ja stabiilius (esim. kemiallinen kestävyys hapettumista vastaan). Voiteluöljyn hiilivetykoostumuksella taas on vaikutus öljyn viskositeettilämpötilariippuvuuteen (VI), sekä leimahdus- ja jähmepisteeseen. Tärkeimmät hiilivetytyypit ovat parafiiniset (tydydytetyt ketjumaiset ( $C_P$ ), nafteeniset (tydydytetyt rengasrakenteiset ( $C_N$ ), sekä aromaattiset (tydyttämättömät rengasrakenteiset ( $C_A$ ) hiilivedyt. Hiilivetyjen eroavuudet niiden nafteenisuudessa ja parafiinisuudessa johtavat lopputuotteisiin, joilla on erilaiset ominaisuudet. Näitä eri ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4. (Teollisuusvoitelu 2013, 55.)

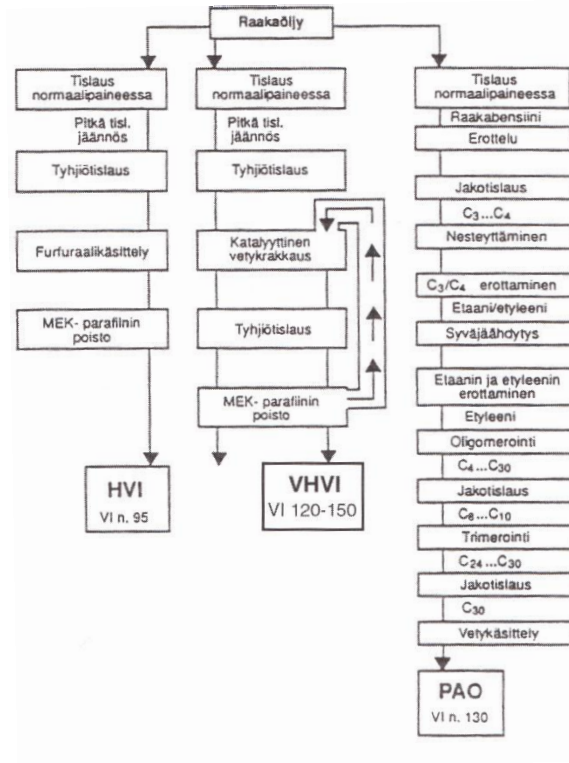
Perusöljyn parafiinipohjaisuus ei kuitenkaan tarkoita, että öljy sisältäisi pelkästään parafiinisia hiilivetyjä. Se tarkoittaa vain, että öljy sisältää merkittävän paljon para-

fiinejä ja sama koskee myös nafteenisia öljyjä. (Kara, W. H., 1989, 27.) Valtaosalla mineraalipohjaisista voiteluöljyistä on parafiininen perusöljy ja koska aromaattiset hiilivedyt ovat suurina pitoisuuksina haitallisia, niitä on perusöljyssä tyypillisesti alle 10 %. Valittava perusöljytyyppi valitaan voiteluaineen käyttökohteen ja tuotteelta haluttujen ominaisuuksien mukaan. Perusöljyjen jalostus on monivaiheinen prosessi, jonka tavoitteena on parantaa öljyjen fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. Jalostuksella tavoiteltavia hyvää perusöljyn ominaisuuksia ovat parempi viskositeetin lämpötilariippuvuus, sekä parempi hapettumisenkesto ja pumpattavuus. (Teollisuusvoitelu 2013, 55.)

Taulukko 4. Parafiini- ja nafteenipohjaisten öljyjen ominaisuuksia

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

Mineraaliöljypohjaisten ja synteettisten nesteiden lisäksi uutena ryhmänä ovat tulleet VHVI eli Very High Viscosity Index -tyypin tuotteet. VHVI-tyypin tuotteet sijoittuvat ominaisuuksiltaan synteettisten ja mineraaliöljyjen väliin. Teollisuusvoiteluaineet ovat eri perusöljyjen ja lisäaineiden sekoituksia. Suurin osa näistä teollisuusvoiteluaineista on yhä mineraaliöljypohjaisia aineita. Teollisuusvoiteluaineilta vaaditaan käyttötarkoituksen mukaan tiettyjä eri ominaisuuksia kuten: viskositeettia, viskositeetti-indeksiä, kylmäominaisuuksia, hapettumisen estoa, lisäaineliukoisuutta ja hallittua karstanmuodostusta. Kuviossa 9 on kuvattu eri perusöljyjen valmistusmenetelmät. (Teollisuusvoitelu 2013, 56 - 57.)



Kuvio 9. Perusöljyjen valmistusmenetelmät. (Teollisuusvoitelu 2013, 57.)

### 3.1.2 Synteettiset nesteet

Voiteluaineiden valmistuksessa voidaan käyttää raakaöljypohjaisia mineraaliperusöljyjä tai kemiallisen prosessin avulla valmistettuja synteettisiä nesteitä. Mineraaliöljypohjaiset voiteluaineet ovat hyvä kompromissi, kun haetaan hyviä perusominaisuuksia. Synteettisille voiteluaineille on tarvetta erikoistapauksissa esimerkiksi, kun vaaditaan suorituskykyä poikkeuksellisissa lämpötiloissa, korkeaa viskositeetti-indeksiä tai vaaditaan alhaista syttymisherkkyttä. Parhaiden tulosten saavuttamiseksi myös synteettiset nesteet voidaan lisääntiä. Taulukossa 5 on vertailtu eri perusöljyjen ominaisuuksia. (Kara, W. H. 1989, 106 - 107.)

Taulukko 5. Perusöljyjen ominaisuuksien vertailu (Teollisuusvoitelu 2013, 58)

	Viskositeetti-lämpötila-käyttäytyminen	Kulumissuoja	Kitkäkäyttäytyminen	Vaikutus maaleihin	Vaikutus tiiviste-materiaaleihin	Sekoittuvuus mineraaliöljyyn	Kylmäkäyttäytyminen	Hapettumiskestävyys korkeissa lämpötiloissa	Syttyvyys	Suhteellinen hinta
Mineraaliöljy	0	0	+	+++	+++		0	0	-	1
VHVI	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	-	4
Polyalfaoleiinit	++	0	+	+++	++	+++	++	++	-	5
Alkylibentseenit	0	0	+	+++	+++	+++	+	0	-	4
Diesterit	++	0	+	-	0	+	+	+	0	5
Polyoliesterit	++	0	++	-	0	0	++	+++	0	5
Polyglykolit	++	+++	+++	+	+	-	+	+++	0	6
Fosforihappoesterit	-	++	++	-	0	-	0	+	++	6
Silikonijölyt	+++	-	-	++	+++	-	+	+	+	40

+++ eriomainen, ++ erittäin hyvä, + hyvä, 0 välttävä, - huono

### Synteettiset hiilivedyt

Polyalfaolefiini (PAO), alkylibentseenit. Polyalfaolefiineilla on suhteellisen korkea viskositeetti-indeksi (>130), hyvät kylmä- ja kuumaominaisuudet ja lisäaineistettuna hyvä hapettumisenestokyky. PAO-pohjaiset voiteluaineet toimivat maalien, lakkojen ja tiivisteaineiden kanssa samalla tavalla kuin mineraaliöljyt, mikä vähentää erikoisjärjestelyiden tarvetta. PAO-perusteisia tuotteita voidaan käyttää lähes kaikkien voiteluaineiden valmistukseen ja niitä käytetään esimerkiksi kompressori-, moottori-, hydraulivaihteisto- ja kiertovoiteluöljyihin, sekä rasvojen perusöljyihin. (Kara H. 1989, 106-107; Teollisuusvoitelu 2013, 57 - 58.)

Alkylibentseeneillä on todettu olevan hyvä liukoisuus esimerkiksi kylmäaineisiin ja siksi niitä käytetään esimerkiksi jäähdytyskompressoreiden ja kompressoreiden voiteluun, värimetallien valssausöljynä, sekä sähköneristysnesteinä kaapeleissa. (Kara, W. H. 1989, 107.)

## Diesterit ja polyoliesterit

Diestereiden hyödyllisimpinä ominaisuuksina pidetään niiden hyviä viskositeettiominaisuuksia korkeissa ja matalissa lämpötilaolosuhteissa, sekä vähäistä höyrystymistä. Nämä ominaisuudet ovat haluttuja suihkumoottoreiden voiteluaineilta ja siksi niitä on pitkään käytetty suihkuturbiinien voitelussa. Diestereitä on joissain tapauksissa sekoitettu bensiinimoottoreiden öljyyn, kun on haluttu parantaa öljyn viskositeetti- ja lämpötilaominaisuuksia. Muita diestereiden käyttösovellutuksia on kompressori- ja instrumenttiöljyt. Polyoliesterit eroavat diestereistä korkeammalla hajaantumislämpötilallaan ja paremmilla rajavoiteluominaisuuksillaan ja myös niitä käytetään suihkumoottoreiden voiteluun. Polyoliestereitä käytetään myös lämmönsiirtonesteinä hyvien lämpöominaisuuksiensa takia, korkeiden lämpötilojen voitelurasvojen perusöljynä ja biohajoavina hydraulioöljyinä. Diesterit ja polyoliesterit sopivat huonosti yhteen tiivisteaineiden ja maalien kanssa verrattuna mineraaliöljyihin. (Kara H. 1989, 108; Teollisuusvoitelu 2013, 58.)

## Polyglykolit

Polyglykoleista löytyy koostumuksiltaan erilaisia vesiliukoisia, sekä veteen liukenevattomia tuotteita. Polyglykoleilla erittäin hyvät viskositeettiominaisuudet. Vesiliukoisten polyglykolin käyttökohteita ovat pakkas- ja jarrunesteet, vaikeasti syttyvät hydraulikkaneesteet ja jäähdytyskompressorit. Ei-vesiliukoisten polyglykolin hyviä kitka- ja viskositeettiominaisuuksia käytetään hyödyksi hiilivetykompressoreissa, erikoisrasvojen perusöljyinä, kierukkavaihteiden öljynä ja esimerkiksi kalantereiden laakerien voiteluun. Polyglykoleilla myös on huonompi yhteensopivuus tiivisteaineiden, maalien ja lakkojen kanssa kuin mineraaliöljyillä. (Kara H. 1989, 109.)

## Fosforihappoesterit

Fosforihappoestereillä on pahalta kalskahtava nimi ja ne tuottavatkin myrkyllisiä yhdisteitä, kun niitä kuumennetaan. Niillä on kuitenkin hyviäkin ominaisuuksia ja ne soveltuvat käytettäväksi esimerkiksi vaikeasti syttyvinä hydraulinesteinä. Fosforihappoesterit reagoivat hapen kanssa niin heikosti, ettei reaktion tuottama energiamäärä riitä ylläpitämään palamisprosessia. Fosforihappoestereitä käytetään myös höyrytur-

piinien säätö-öljyinä ja ilmailussa. Fosforihappestereiden käyttö vaatii erikoistointimenpiteitä niiden tiivisteaineille ja maaleille aiheuttamien vaikutusten vuoksi. (Kara H. 1989, 109.)

### Silikoniöljyt

Silikoniöljyillä on monia huippuominaisuuksia kuten erittäin korkea viskositeetti-indeksi, erittäin hyvä termien kestävyys ja hapettumisenkestävyys ja hyvät kostutusominaisuudet. Silikoniöljyillä on todella laaja käyttölämpötila-alue: jopa  $-70^{\circ}\text{C}$ :sta  $+300^{\circ}\text{C}$ :en riippuen sen kemiallisesta rakenteesta. Ne ovat myös kalliita verrattuna mineraaliöljyihin. Silikoniöljyillä on monia käyttötarkoituksia kemianteollisuudessa erottelu- ja liukuaineina, mutta niitä käytetään myös hydraulioöljyinä, vaikeasti syttyvinä nesteinä, muoviosien voitelussa ja lämmönsiirtoaineina. Lisäksi niitä käytetään elintarviketeollisuudessa fysiologisten ominaisuuksiensa takia ja mineraaliöljyissä vaahdonvaimentajana. (Kara H. 1989, 109.)

#### 3.1.3 Kasviöljyt

Kasviöljyt ovat triglyseridejä ja luonnon estereitä, jotka eivät sovellu käytettäväksi kylmissä olosuhteissa sellaisenaan. Niistä voidaan valmistaa kylmäominaisuuksiltaan alkuperäisiä öljyjä parempia estereitä. Kasviöljyjen pääkäyttökohteita ovat lähinnä biohajoavat voiteluaineet ja niiden etuina ovat korkea leimahduspiste, hyvät kitkaominaisuudet ja biohajoavuus. Haitallisina ominaisuuksina voidaan mainita huono hapettumisenkesto, pysyvä jähmettyminen kylmässä, lyhyt käyttöikä, rajoitettu käyttölämpötila-alue ja hartsin muodostuminen koneiden pinnoille. (Teollisuusvoitelu 2013, 59.)

### 3.2 Voitelurasvat

Voitelurasvojen käytöllä ei saada hyötyjä öljyvoiteluun verrattuna, kun voitelua tarkastellaan voitelukohteen tribologisesta näkökulmasta. Voitelurasvat ovat kuitenkin toiseksi käytetyin voiteluainetyyppi öljyvoitelun jälkeen ja siihen verrattuna voitelurasvoilla on omat etunsa. Voitelurasvat toimivat tiivisteinä voitelukohteessa epäpuhtauksia vastaan ja ne myös pysyvät voitelukohteessa öljyjä pidempään. Öljyvoiteluun verrattuna voitelurasvoilla on usein ohuempi voitelukalvo vierintälaakereissa, eivätkä

voitelumekanismit ole yhtä hyvin toteutettuja johtuen rasvojen jäykkyyden aiheuttamista virtausteknisistä rajoituksista. Rasvoilta vaadittavien termisten ja mekaanisten ominaisuuksien ja vedenkestävyyden kasvu on johtanut monien erityyppisten voitelurasvojen kehittämiseen. Yhtenäistä rasvoille on kuitenkin niiden koostuminen kahdesta faasista: perusöljystä ja saentimesta. Saennin on perusöljyyn huonosti liukeneva komponentti, joka voidaan rinnastaa epäpuhtauksiin, mutta se osallistuu voiteluun perusöljyn kanssa. Useimmissa perusrasvat koostuvat mineraaliperusöljystä, saippuasaentimesta ja mahdollisista lisäaineista, joilla parannetaan rasvan ominaisuuksia. Voitelurasvojen kulutus on pientä verrattuna voiteluöljyjen kulutukseen johtuen laakereiden pienemmistä täyttömääristä ja pidemmistä voiteluväleistä. Voitelurasvojen pääkäyttökohde on vierintälaakerit, joista maailmalla suurin osa on rasva-voideltuja. (Kara H. 1989, 111; Teollisuusvoitelu 2013, 68.)

Voitelurasvan perustan muodostaa nimensä mukaisesti sen perusöljy. Perusöljyn osuus rasvan koostumuksesta on tyypillisesti noin 90 prosentin luokkaa ja sillä on iso merkitys rasvan voiteluominaisuuksille. Rasvan perustyyppiä valitessa valitaan sellainen perusöljy, joka on viskositeetiltaan sama, kuin vastaavan öljyvoidellun laakerin öljy. Rasvan jäykkyys valitaan voitelukohteen geometrian, lämpötilan, värinän ja toteutustavan mukaan. Perusöljyn viskositeetin lisäksi rasvan jäykkyyteen vaikuttaa saentimen tyyppi ja määrä. Rasvaksi valitaan käyttötarkoituksen ja olosuhteiden perusteella synteettinen tai mineraaliöljypohjainen rasva. Suurin osa teollisuuden perusrasvoista on mineraaliöljypohjaisia, mutta erityisissä lämpötiloissa käytettävät rasvat voivat olla usein synteettisiä. Polyalfaolefiini- ja esteripohjaiset rasvat antavat paremman suorituskyvyn kylmissä ja kuumissa olosuhteissa mineraalipohjaisiin rasvoihin verrattuna. Silikoni- ja fluoripohjaiset perusöljyt toimivat jopa yli 200 °C lämpötiloissa, mutta niiden käytössä on otettava huomioon tiettyjä erikoisvaatimuksia. Silikonirasvat ehkäisevät maalin tarttumista, joten niitä tulee välttää maalaamoissa. Fluorirasvojen voitelukohteiden tulee olla puhtaita muista aineista, koska muuten rasva ei tartu voideltaville pinnoille. (Teollisuusvoitelu 2013, 68.)

Voitelurasvojen saentimina käytetään metallisaippuoita, metallikompleksisaippuoita, orgaanisia ei-saippuayhdisteitä ja epäorgaanisia yhdisteitä. Saennintyyppit eroavat



ominaisuuksiensa puolesta ja se valitaan rasvan käyttötarkoituksen mukaan. Eri saennintyyppisiä rasvoja voidaan joissain tapauksissa sekoittaa keskenään, mutta pääsääntönä voidaan pitää, että rasvoja ei koskaan sekoiteta.

### Litiumrasvat

Litiumrasvat kattavat suurimman osan nykyään käytettävistä rasvoista. Litiumrasvojen hyviä ominaisuuksia ovat muun muassa hyvä lämpötilankesto ja vedenerotuskyky. Litiumrasvoja voidaan myös helposti parantaa lisääineistamalla.

### Kalsiumrasvat

Kalsiumrasvojen vahvuutena voidaan pitää erinomaista vedenkestävyyttä. Ne toimivat hyvin myös kylmissä olosuhteissa, mutta niiden korkeimmat käyttölämpötilat ovat 90 °C tasolla.

### Kompleksisaippuarasvat

Kompleksisaippuarasvat kestävät tavanomaisia saippuarasvoja korkeampia lämpötiloja ja ne kestävät niitä paremmin vettä. Kompleksirasvojen saentimet ovat kalsium-, alumiini- ja litiumkomplekseja ja niiden maksimikäyttölämpötilat keikkuvat 150 °C ja 170 °C paikkeilla.

### Orgaaniset saentimet

Orgaaniset ei-saippuasaentimet ovat usein hienojakoista teflonia (PTFE) tai polyureakuituja. Nämä rasvat ovat pitkäikäisiä myös korkeissa lämpötiloissa ja niitä käytetäänkin paljon kertavoidelluissa laakereissa.

### Polyurearasvat

Saippuarasvoja huonompien pumpattavuusominaisuuksiensa takia polyurearasvojen käyttö on rajoitettua keskusrasvausjärjestelmissä, mutta ne kestävät korkeita, jopa 250 °C lämpötiloja. Huonon pumpattavuuden lisäksi polyurearasvojen käyttöä raskauttaa niiden erittäin kallis hinta.

## Epäorgaaniset saentimet

Yleisin epäorgaaninen saennin on bentoniittisavi tai lyhyesti savi. Savirasvat kestävät korkeita lämpötiloja, sillä ne eivät sula. Savisaenteisten rasvojen lisäksi on erityisiä silikoniöljypohjaisia silikonirasvoja, joiden saentimena käytetään silikageeliä. (Teollisuusvoitelu 2013, 68 - 69.)

### 3.3 Voiteluaineiden lisäaineet

Lisäaineistuksella pyritään parantamaan voiteluaineiden eri ominaisuuksia. Lisäaineet ovat kemiallisia aineita ja niillä pyritään:

- parantamaan voiteluaineen suorituskykyä
- jakauttamaan voiteluaineeseen joutuneet epäpuhtaudet
- suojaamaan pintoja ympäristön kanssa tapahtuvilta reaktioilta
- jatkamaan voiteluaineen elinikää.

Monet lisäaineet ovat toiminnaltaan monitoimisia ja ne voivat tarttua fysikaalisesti voideltaviin pintoihin tai reagoida pinnan kanssa muodostaen uuden yhdisteen. Lisäaineet muodostavat perusöljyjen kanssa kokonaisuuden, jossa kaikki ominaisuudet ja suhteet ovat tasapainossa. Omatoiminen lisäaineiden lisäys voi johtaa aineiden yhteensopimattomuuteen ja huonoihin lopputuloksiin. (Teollisuusvoitelu 2013, 68 - 69.)

#### Kulumisenestolisäaineet

Kulumisenesto- eli AW-lisäaineet (anti-wear) vähentävät toisiaan koskettavien liikkuvien pintojen kulumista. AW-lisäaineet muodostavat metallipinnoille niitä helpommin leikkautuvan kerroksen, joka poistuu pinnalta leikkaantuessaan. Tämä poistuminen johtaa myös voiteluaineiden vanhenemiseen ajan myötä. Vanhan kerroksen poistussa uusi kerros syntyy välittömästi. AW-lisäaineita lisätään lähes kaikkiin hydrodynaamisen voitelun ulkopuolella toimiviin voiteluaineisiin. Tyypillisimmät AW-lisäaineet ovat rikkiyhdisteet, fosforyhdisteet ja amiinit. (Teollisuusvoitelu 2013, 60 - 61.)

## Paineenkestolisäaineet

EP- eli paineenkestolisäaineet muodostavat metallipinnan kanssa kitkaa vähentävän kerroksen, kun ne reagoivat sen kanssa pintapaineen aiheuttamassa korkeassa lämpötilassa. EP-lisäaineita tarvitaan korkeakuormitteisissa paikoissa ja niitä lisätään esimerkiksi vaihteistoöljyihin ja työstönesteisiin. EP-lisäaineilla parannetaan voiteluaineen kuormankantokykyä, mutta samalla huononnetaan sen muita ominaisuuksia. EP-lisäaineita on lisättävä harkiten, sillä ne huonontavat esimerkiksi voiteluaineen lämmönkestoa, vaahtoamisen estoa, suodatettavuutta ja sen yhteensopivuutta keltametallien kanssa. Eri EP-lisäaineet reagoivat eri lämpötiloissa. Erilaisia EP-lisäaineita ovat metallisaippuat, -kloridit, -fosfidit ja -sulfidit. (Teollisuusvoitelu 2013, 61 - 62.)

## Detergentit ja dispersantit

Detergentit ja dispersantit auttavat voiteluainetta epäpuhtauksien hallinnassa. Detergentit estävät epäpuhtauksien tarttumisen pintoihin ja ne ovat yleisiä moottoriöljyissä. Detergentit ovat yleensä natrium-, magnesium tai kalsiumyhdisteitä. Dispersantit peittävät likapartikkelit kerroksella, joka pitää ne erillään. Näin voiteluaineeseen ei pääse syntymään likasakkaumia. Dispersantit ovat pitkäketjuisia polaarisia yhdisteitä ja ne ovat moottoriöljyjen lisäksi yleisiä teollisuusvoiteluaineissa. (Teollisuusvoitelu 2013, 62.)

## Hapettumisen- ja korroosionestoaineet

Hapettumisenestoaineet hidastavat voiteluaineen kemiallista vanhenemista erityisesti korkeissa lämpötiloissa toimivilla laitteilla, kuten polttomoottoreissa ja kaasuturbiineissa. Erityisen perusteltua hapettumisenestoaineiden käyttö on suurilla öljytaluvuuksilla. Korroosionestoaineet suojaavat metallipintoja hapelta ja kosteudelta muodostamalla sen pintaan kalvon. (Teollisuusvoitelu 2013, 62.)

## Muita lisäainetyyppejä

Muita eri lisäainetyyppejä ovat kitkan- jähmepisteenalentajat, vaahtoamisenestolisäaineet, emulgaattorit ja väriaineet, joilla havaitaan vuotoja.

## 4 Voitelusuunnitelma

Työn tavoitteena oli luoda voitelusuunnitelma voimalaitokselle. Suurin osa työstä oli tiedonkeruuta. Voitelukohteista tarvittiin kunnossapitojärjestelmää varten kohteen nimi, AKS-tunnus, käytettävät voiteluaineet ja mahdollisesti voiteluaineen määrä, voiteluväli ja mahdollinen voiteluohje. Nämä tiedot kirjattiin Excel-työkirjaan, jossa oli laitoksen ennakkohuoltotyöt. Työn ulkopuolelle jätettiin hiilen vastaanotto ja kuljetus laitokselle, koska sitä hoiti ulkopuolinen yritys, sekä sähkömuuntajat. Pois jäi myös uusi käyttöpaikkamurskain, jolle ei oltu määritetty AKS-tunnuksia. Myös käytössä poistetussa VL3-laitoksessa toimivat laitteet jätettiin pois, koska vanhan laitoksen AKS-tunnukset eivät enää toimineet nykyisessä kunnossapito-ohjelmassa.

Tiedonkeruuta hankaloitti se, ettei kattilalaitoksesta ollut huoltodokumentteja muutamaa koneikkoa lukuun ottamatta. Vanhoja dokumentteja koskien vanhempia laitoksen osia oli myös ajan myötä hävitetty. Kattilalaitoksen ainoat huoltodokumentit olivat savukaasu- ja pääilmapuhaltimien huoltodokumentit, sekä vanha Shellin voitelulista, joka oli monelta osin vanhentunut laitoksessa tehtyjen muutosten vuoksi. Myös muut laitoksella vuosien aikana tehdyt muutostyöt aiheuttivat välillä hämmennystä. Epäselvissä tilanteissa paras tapa selvittää asia oli kysellä laitoksen henkilökunnalta ja erityisen tärkeää oli myös käydä fyysisesti paikan päällä katsomassa. Paikan päällä käyminen oli välttämätöntä kokonaiskuvan muodostamisen helpottamiseksi. Uudemmissa laitoksen osista, kuten rikinpoisto-, turpiini- ja kaasutinlaitoksesta oli olemassa laitostoimittajan huoltodokumentit, mutta nekin eivät aina olleet täydellisiä. Suuri osa ajasta kului selaillessa mappeja, joista osasta tarvittiin ne muutamat rivit tietoa Excel-taulukkoa varten. Tiedot kerättiin erilliseen Excel-työkirjaan. Liitteessä 1, 2 ja 3 on esimerkki Exceliin kerätystä datasta kattilalaitokselta. Liitteissä 4, 5 ja 6 on listattu kaasutinlaitoksen voitelukohteita ja liitteissä 7 ja 8 on rikinpoistolaitoksen voitelutöitä. Lisäksi liitteessä 9 on turbiinilaitoksen voitelutöitä. Näissä listoissa ei ole täydellinen data, sillä näitä listoja täydennettiin paljon käsin, kun kohteita käytiin tarkastelemassa paikan päällä. Täydelliset tiedot, jotka sisältävät mm. AKS-koodin, lisättiin varsinaiseen ennakkohuoltotyökirjaan. Valtavan kokonsa vuoksi varsinaista ennakkohuoltotyökirjaa ei pystynyt mahduttamaan tähän työhön.

Voimalaitoksen voiteluhuolto oli aiemmin perustunut Shell yhtiön laatimaan voitelusuunnitelmaan. Siinä oli määritetty voitelukohteet, tarvittavat voiteluaineet, jotka olivat luonnollisesti Shellin tuotteita ja tarkistus, lisäys- ja vaihtovälit. Jotkin kohteet olivat sittemmin muuttuneet. Kohteita oli joko kokonaan poistettu, korvattu uusilla, tai voitelun toteutustapaa oli muutettu. St1 Oy osti suuren osan Shell yhtiön toiminnasta Suomessa ja Ruotsissa lukuun ottamatta Shell ilmailuhuoltoa vuonna 2010 (Shell Suomessa n.d.). Nykyisin Shellin voiteluaineiden pääjakelija pohjoismaiden alueella on Univar. Vanhoissa Shellin voitelulistoissa, joita käytin pääasiallisena perustana määrittäessäni voitelutöitä, olivat monet voiteluaineet muuttuneet nimeltään ja joidenkin valmistus oli kokonaan lopetettu. Tästä johtuen paljon aikaa kului etsiessä vastaavia voiteluaineita internetistä Shellin ja muiden valmistajien sivuilta. Shellin omien sivujen kautta voiteluaineiden etsiminen tuskastuttavan hankalaa ja jotkin palvelut vaativat tunnukset sisäänkirjautumiselle. Voiteluaineiden valintatyökalu oli myös jokseenkin turha, sillä se kattoi eri laitevalmistajia ja laitteita vain pieneltä alalta.

Tämän lisäksi laitoksella on paljon laitoskohtaisia koneita ja laitteita, joita ei minkään valmistajan listoilta löydy. Joitain Shellin vanhoja voiteluaineita myydään samoilla nimillä vielä ulkomailla, mutta siitä ei ollut hyötyä tätä työtä tehdessä. Käytettyäni useita tunteja etsiessäni vastaavia voiteluaineita internetistä löysin kuitenkin joltain meksikolaiselta sivulta Shellin oman listan, jossa se oli listannut vanhat voiteluaineensa ja antanut niiden nykyiset vastaavat nimet tai suositellut vastaavat tuotteet. Tämä lista osoittautui todella arvokkaaksi työkaluksi työtä tehdessä.

Shellin omien toimintojen loppuminen Suomessa aiheutti omat hankaluutensa tiedonkeruulle, mutta se ei ollut ainoa voiteluainevalmistaja, jolla oli parantamisen varaa. Monilla valmistajilla, esimerkiksi Castrolilla, internetsivuilta saattoi löytyä vastaavia aineita Shellin aineille. Välttämättä aineet eivät kuitenkaan olleet saatavilla, mikäli maavalintana oli Suomi. Tietoa kerätessä vastaan tuli myös tiettyjä erikoisvoiteluaineita, joita ei löytynyt kuin tietyiltä valmistajilta. Näissä erityistapauksissa ei kuitenkaan ollut kyse jatkuvaan voiteluhuoltoon kuuluvista voiteluaineista, vaan niitä tarvittiin esimerkiksi laitteiden erityishuolloissa, korjauksissa tai asennustöissä.

Voimalaitoksella oli pitkä historia Shellin voiteluaineiden käytöstä. Tämän vuoksi, ja koska voimalaitoksen nykyinen voiteluainevarasto oli hyvin Shell-perustainen, päädyin käyttämään pääasiassa Shellin voiteluaineita. Laitoksella käytettiin myös muiden valmistajien voiteluaineita. Esimerkiksi rikinpoistolaitoksen GAVO:n eli kaasunlämmittimen (Gasvorwärmer) vaihteistossa käytettiin Mobilin synteettistä ISO VG1000 vaihteistoöljyä, koska vastaavaa voiteluöljyä ei Shelliltä siihen aikaan ollut saatavilla. Laitostoimittajien huoltodokumenteissa saatettiin suositella jonkin tietyn tai useiden voiteluainevalmistajien aineita, tai laitteelle oli määritelty voiteluaineelta vaadittavat ominaisuudet. Esimerkiksi vaihdevalmistaja saattoi suositella ISO VG 220 -luokan mineraaliöljyä tai laakerille suositeltiin litiumsaippuarasvaa. Lähes kaikkiin laitoksella käytössä oleviin vaihteistoihin suositeltiin ISO VG 220 -luokan öljyä. Keskusteltuani laitoksen voitelua hoitavan henkilön kanssa päädyin määrittämään kaikille ulkona sijaitseville vaihdelaatikoille synteettisen ISO VG 150 -luokan öljyn, sillä 220-luokan öljyjen oli todettu olevan liian jäykkiä kylmissä olosuhteissa. Valitsin synteettisen öljyn myös niiden parempien kylmäominaisuuksien ja pidempien vaihtovälien takia, joka voi olla kaksin- tai kolminkertainen vastaavaan mineraaliöljyyn verrattuna. Monet ulkona sijainneista vaihdelaatikoista olivat suuria ja tarvitsivat suuren voiteluöljymäärän ja ne sijaittivat hankalissa tai korkeissa paikoissa, jolloin synteettisen öljyn pidemmästä vaihtovälistä saatiin suurempi hyöty.

Työssä oli tarkoituksena myös karsia turhia aineita yhtenäistämällä voitelua. Tämän takia oli helppo pyrkiä valitsemaan yhden valmistajan tuotteita. Voitelurasvoja valitessa päädyin kovuudeltaan eli NLGI-luokaltaan 2-tason rasvoihin. Se on yleinen perusrasvoissa, eikä rasvan NLGI-luokitus ota kantaa rasvan suorituskykyyn. Pääasialliset rasvauskohteet voimalaitoksella olivat pumppujen, puhaltimien, kuljettimien ja sähkömoottorien laakerit. Nopeasti pyöriviin laakereihin, niin laite-, kuin voiteluainevalmistajat suosittelivat pääasiallisesti VG 100 -luokan rasvaa. Nopeasti pyöriviä laakereita on puhaltimissa, pumpuissa ja sähkömoottoreissa. Näihin kohteisiin valittiin Shellin Gadus S2 V100 2 -rasva, joka on monikäyttöinen mineraalipohjainen litiumrasva EP-lisäaineilla. Raskaammin kuormitetuille laakereille, kuten kuljettimille valitsin saman luokan hieman jäykemmän S2 V220 2 -rasvan, jolla suurempi viskositeetti ja joka hyvä yleisrasva. Kuumien olosuhteiden rasvavoiteluun, kuten kattilan höyrynuohoimiin valittiin Shell Gadus S2 U460L 2 rasva. Tämä rasva on tarkoitettu

käytettäväksi korkeammissa lämpötiloissa ja sillä on parempi lämmönkesto, koska siinä käytetään saentimena litiumin sijaan epäorgaanista savea, joka ei sula korkeissa lämpötiloissa. Nämä olivat yleisimmin käytettävät perusrasvat laitoksella ja vaikka muitakin eri rasvoja käytetään, en lähde niitä kaikkia tässä työssä esittelemään.

Raskaammin kuormitetuilla ja kriittisemmällä puhaltimilla ja pumpuilla käytettiin laakereilla joko öljykylpy- tai kiertovoitelua. Pääilma- ja savukaasupuhaltimilla käytettiin öljykylpyvoitelua ja syöttövesipumpuilla kiertovoitelua. Näille laitteille en nähnyt syytä poiketa nykyisestä voiteluaineesta. Syöttövesipumpuilla oli molemmilla 1000 litran öljysäiliön tilavuudet ja öljynvaihdon sijaan määritin öljystä otettavaksi vuosittain näytteet valmistajalle analysoitavaksi. Muut kiertovoitelujärjestelmät, josta otettiin vuosittaiset näytteet, olivat turpiinin voiteluöljy ja savukaasupesurin turbopuhaltimien voiteluöljy. Öljyn vaihtotarve määrittyi analyysin tuloksen perusteella. Laitoksen hydraulikka- ja kiertovoitelujärjestelmissä oli suodattimet, jotka vaihdettiin joko kunnossapitosuunnitelman mukaan, tai suodattimen yli menevän paine-eron noustessa, kun käytössä on kahdennettu suodatus.

Tarvittavan voiteluaineen määrä lisättiin voiteluohjeeseen, mikäli se oli määritetty huoltodokumenteissa tai rasvauslistoissa. Öljyvaihdetuissa vaihdelaatikoissa osan voiteluainemäärä oli ilmoitettu. Laitoksella oli kuitenkin paljon vaihdelaatikoita, joiden öljymäärä on riippuvainen laitteen asennosta. Tällöin öljynvaihdon suorittava henkilö määrittää tarvittavan öljymäärän joko vaihteen kyljessä olevasta kyltistä, tai laitevalmistajan ohjeiden mukaan. Laitteesta ulos otetun vanhan öljyn määrästä ei voida päätellä vaihdettavan öljyn määrää, koska laitteessa on voinut tapahtua öljyvuotoa tai aiempi öljymäärä on voinut olla väärä. Vanhan öljyn määrästä voidaan kuitenkin saada vihjeitä mahdollisesta öljyvuodon suuruudesta. Voitelurasvan määrä vaihtelee voiteluvälin mukaan ja siinä rasvauksen suorittavan henkilön ammattitaidolla on suuri merkitys. Monet sähkömoottorivalmistajat ilmoittavat moottorin kyljessä olevassa kyltissä voiteluvälin ja voiteluaineen määrän laakeria kohden. Oikean grammamäärän puristaminen laakerille vaatii rasvaajalta lujaa ammattitaitoa. Ongelmana rasvavoidelluissa laakereissa onkin, että voitelun onnistumista ei voida varmistaa laitteen käydessä.

Voiteluvälit määrittelin laitetoimittajan tai -valmistajan ohjeiden mukaan. Öljynvaihdot suoritettaisiin mineraaliöljyillä vuosittain ja synteettisillä öljyillä täytetyillä ja harvakseltaan käytettävien laitteiden kohdalla kahden tai kolmen vuoden välein. Poikkeuksena tästä oli laitteet, joista otettiin vuosittaiset näytteet. Rasvavoidelluissa laakereissa käytetään joko kestovoideltuja laakereita, rasvausautomaatteja tai jälkivoitelua. Rasvausautomaattien rasvatilanne tarkistetaan viikoittain ja rasvaa lisätään tarpeen mukaan. Jälkivoitelussa voiteluväli riippuu ympäristön olosuhteista ja laitteen käyttöasteesta. Voiteluvälit vaihtelevat viikosta vuoteen. Kaikkein hankalimmissa olosuhteissa oleville ja kovimmin kuormitetuille laakereille määritettiin lyhyimmät voiteluvälit. Tällaisia laakereita oli esimerkiksi kattilan pohjakuonan kuljettimilla, jotka toimivat jatkuvasti kosteissa olosuhteissa. Pisimmät rasvausvälit olivat jälkivoitelluilla sisätilojen sähkömoottoreilla.

## 5 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda voimalaitoksen voitelusuunnitelma. Suunnitelma luotiin keräämällä tietoa voitelutöistä Excel-työkirjaan. Työkirjaan kerättiin voitelukohteiden AKS-tunnukset, tarvittavat voiteluaineet, voiteluainemäärät, sekä voiteluvälit. Excel-työkirjasta tiedot voitiin ajaa laitoksen kunnossapitojärjestelmään, jossa voitelutyöt ja tarkastuslistat voitiin tehdä. Tiedot perustuivat laitos- ja laitetoimittajien huoltodokumentteihin, laitoksen henkilöstöltä saatuun tietoon, sekä vanhoihin voitelulistoihin. Laitoksen henkilökunnalta saatu tieto oli tärkeää monen kohteen osalla, mutta jokaisen laitteen kohdalla ei henkilökunnalta kysytty.

Voideltavia kohteita oli satoja, eikä kaikkia laitoksen voitelukohteita listaan saatu. Joko en ollut niistä tietoinen, en niitä löytänyt tai ne olivat saattaneet kokonaan unohtua. Tulevaisuudessa olisikin hyvä pitää silmällä mahdollisesti voitelusuunnitelmasta puuttuvia laitteita ja lisätä ne siihen. Myös vaihdelaatikon öljynvaihdon yhteydessä kannattaa ottaa ylös vaihdetun öljyn määrä ja jos sitä ei ole järjestelmässä, päivittää se siihen. Puuttuvien kohteiden lisäksi listassa saattaa olla turhia kohteita, joita ei ole joko olemassa, tai ne ovat muuttuneet. Tällöin listaa on syytä päivittää. Esi-



merkkinä tästä voisi olla sähkömoottorin uusiminen sellaiseen malliin, jossa on jälki-voideltujen laakereiden asemesta kestavoidellut laakerit. Laitoksella tehtävät päivitykset tulisi pyrkiä mahdollisimman hyvin dokumentoimaan ja mahdollisesti vanhentuneet asiakirjat kannattaa poistaa huoltodokumentaatiosta. Samasta kohteesta saattaa muuten olla kahta eri tietoa, josta oikean määrittäminen aiheuttaa lisätyötä.

Voitelusuunnitelmaan määritettyjä voiteluvälejä kannattaa ottaa myös tarkkailla, sillä suunnitelmassa määritetty väli ei ole absoluuttinen totuus. Joissain kohteissa voidaan tarvita tiheämpää voiteluväliä ja toisissa sitä tulee harventaa. Kaikki riippuu olosuhteista. Kunnossapitojärjestelmä antaa mahdollisuuden tarkastella voitelun toteutumista ja laitteen vikaantumista. Jos huomataan jonkin laitteen vikaantuvan usein, voidaan voiteluväliä mahdollisesti lyhentää. Rasvavoidelluissa laakereissa vauriot huomataan vasta kun se on purettu. Samoin myös liiallinen rasvaus ilmenee usein vasta, kun laite on avattu. Rasvan määrä laakeria kohden voidaan ilmoittaa laitteen kilvessä ja se kannattaa päivittää järjestelmään. Rasvan määrän arvioiminen on hankalaa ja vaatii rasvaajalta hyvää ammattitaitoa. Rasvan määrä voi esimerkiksi olla 10 grammaa per laakeri. Rasvaaja voi puntarin avulla tai rasvatuubin tilavuuden perusteella päätellä rasvan määrän.

Voiteluöljyä vaihdettaessa vanhan öljyn kunto kannattaa tarkistaa silmämääräisesti ja mikäli se on todella likaista, pohtia öljynvaihtovälin tihentämistä. Mikäli jonkin laitteen öljynvaihtoväli tuntuu liian lyhyeltä ja sen pidentämisellä uskotaan olevan taloudellista hyötyä, kannattaa voiteluöljystä teettää analyysi. Voimalaitoksen voitelun kehittäminen on jatkuva prosessi, eikä se tule yhden voitelusuunnitelman avulla kerralla kuntoon. Voitelusuunnitelman ja kunnossapitojärjestelmän avulla voitelua voidaan seurata ja kehittää paremmaksi ja laitoksen toiminnan kannalta tärkeä tieto saadaan pidettyä tallessa. Tulevaisuuden voiteluhuollon varmistamiseksi muiden valmistajien vastaavat voiteluaineet kannattaa selvittää. Tällöin kiireellisessä tilanteessa ei tarvitse nojata vain yhteen voiteluainetoimittajaan, vaan vastaavat aineet voidaan saada nopeammalla aikataululla käyttöön. Eri voiteluainevalmistajien aineita on Suomen markkinoilla runsaasti ja asialla olevan edustajan luulisi mielellään antavan vastaavat oman yrityksensä voiteluainevaihtoehdot laitoksen tietoon.

## Lähteet

- ISO and SAE Viscosity Classes: A Comparison, N.d. Koulutusmateriaali Liqui Moly verkkosivuilla, viitattu 21.11.2016. [http://www.liqui-moly.eu/liquimoly/mediendb.nsf/gfx/7B0498A05B66E5E1C12573B000545988/\\$file/TI%20viscosity%20ISO%20vs%20SAE.pdf](http://www.liqui-moly.eu/liquimoly/mediendb.nsf/gfx/7B0498A05B66E5E1C12573B000545988/$file/TI%20viscosity%20ISO%20vs%20SAE.pdf)
- Kara, W. H. 1989. Voiteluaineet. Valmistus, ominaisuudet, käyttö. Hämeenlinna: Karisto.
- Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. 2., uud. painos, Helsinki: Sanoma Pro.
- Kopielovich, D. 2016. Mechanisms of wear. Viitattu 2.11.2016. [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms\\_of\\_wear](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear)
- Shell Suomessa. N.d. Shellin suomenkieliset verkkosivut. Viitattu 27.11.2016. <http://www.shell.fi/aboutshell.html>
- Teollisuusvoitelu. 2013. 5. uud. p. KP-Media. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 8.
- van Beek. A. N.d. Rubbing metal - metal combinations. Viitattu 2.11.2016. <http://www.tribology-abc.com/sub15.htm>
- Vaskiluodon voimalaitos N.d. Vaskiluodon voimalaitoksen esittelysivu Vaskiluodon Voima Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 27.11.2016. <http://www.vv.fi/vaasan-voimalaitos>
- Vaskiluodon Voima Oy tilinpäätös. 2015. Yhtiön vuoden 2015 tilinpäätös. Viitattu 27.11.2016. <http://www.vv.fi/wp-content/uploads/sites/7/Vaskiluodon-Voiman-tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s-2015.pdf>

## Liitteet

### Liite 1. Kattilalaitoksen voitelutöitä 1.

Hiilimyllyjen tiivistysilmapuhallin			
Laakerit	Shell Tellus S2 M 46	5L	T 1vk, V 12kk
Moottorin laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Säätöpeltien laakerit ja säätövarsien palloniv	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Hiilimyllyjen kantoilmapuhaltimet 4KPL			
Laakerointi	Shell Tellus S3 M 100	18,1L	T 1vk, V 12kk
Hiilenjakajat 4KPL			
Kuljettimen laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Käyttövaihe kumera	Shell Omala S2 G 150	90L	T 2vk, V12kk
Säätövaraattori PIV	Tegula V32	5,5L	T 2kv, V 3kk
Poksin Voitelu	Shell Gadus S2 V100 2		T 2vk, V12kk
Nuohoimet pitkät 12 kpl taso 37.70			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150		T 1kk, V24kk
Avohammaspyörä ja ketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
	Shell Gadus S5 U150X 1.5		L 1kk
Nuohoimet pitkät 6 kpl taso 31.5			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150		T 1kk, V24kk
Avohammaspyörä ja ketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
	Shell Gadus S5 U150X 1.5		L 1kk
Nuohoimet pitkät 11 kpl taso 34.0			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150		T 1kk, V24kk
Avohammaspyörä ja ketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
	Shell Gadus S5 U150X 1.5		L 1kk
Nuohoimet (seinä) 12 kpl taso 27.7			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150		T 1kk, V24kk
Nuohoimet (seinä) 12 kpl taso 23.2			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150		T 1kk, V24kk
Ilmansäätöpellit (luvun jälkeen) taso 18.90			
Laakerit	Shell Gadus S5 V100 2		L 24kk
LUVOn nuohoin taso 14.70, 15.00			
Kierukkavaihdemoottori	Shell Gadus S5 V142W 00		T 12kk, V 36kk
LUVOn tiivistetoimilaitt. Rotork, taso 14.7, 15.0			
Vaihe	Shell Omala S2 G 150		T 1kk, V 12kk
LUVOn käyttökoneisto taso 14.7, 15.0			
Tukivarret rasvanipat	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk
Päälaakeri rasvanipat	Shell Gadus S2 V100 2		L1kk
HV-moottori	Shell Omala S2 G 220		T 2vk, V12kk
Päälaakeri	Shell Omala S2 G 320	160L	T 2vk, V12kk
Kierukkavaihteet	Shell Omala S4 WE 150		T2vk, V24kk
Päävaihe	Shell Omala S4 WE 150		T2vk, V24kk
Vapaakytkimet	Shell Spirax S5 ATE 75W-90		T2vk, V24kk

## Liite 2. Kattilalaitoksen voitelutöitä 2.

LUVOn Nuohoin taso 12.7			
Kierukkavaihdemoottori	Shell Gadus S5 V142W 00		T 12kk, V 36kk
Päähöyryventtiili taso 30.5			
Rasvanipat	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk
Pystypuhaltimet 2kpl taso 27.7			
Puhaltimen laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk
Ilmansäätöpellit taso 12.7			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Takavedon sulkusyötin taso 12.7			
Rasvavoitelu	Shell Gadus S2 V100 2		L 3kk
Käyttöketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
Vaihdemoottori	Shell Omala S2 G 320		T 1kk V 24kk
Tiivisteilmapuhaltimet 1 ja 2, taso 12.7			
Moottorin laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Pystypuhallin (KA 1200-45) taso 12.70			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk
Varailmakompressori Biab taso 8.50			
Öljytila	Shel Helix ultra		T 1kk, V 36kk
Kuonasiilot taso 1.70			
Luukkujen hydrauliiikka	Shell Tellus S2 V32		T 2vk, V 36kk
Kuonan sammutuskuljetin			
Käyttöketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
Tappivaihde	Shell Omala S2 G 150	33L	T 1vk, V 24kk
Laakerit	Shell Gadus S2 V220D 2		L 1vk
Kuonan murskain			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 1vk
Kourun akselin laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk
Käyttöketju	Univar chain lubricant/ketjurasva		L 1kk
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 WE 150	18L	T 1kk, V 24kk
Kuonan lokerokuljetin			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 3kk
Tappivaihde	Shell Omala S2 G 150		T 1kk, V 24kk
Ilmansäätöpellit taso 1.70			
Laakeri	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk

## Liite 3. Kattilalaitoksen voitelutöitä 3.

Höyryluvon lauhdepumput taso 1.7			
Pumpun laakerit	Shell Tellus S2 V 32		T 2vk, V 24kk
LUVOn päälaakerien kiertovoitelujärjestelmä taso 1.70			
Öljysäiliö	Shell Omala S2 G 320	160L	T 1kk, V 12kk
Suodattimet			T 1kk
Tukiöljypumput öljypumppuhuoneessa			
Moottorin Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk
Tuhkanlähettimet			
Keskusvoitelu	Shell Gadus S2 V220 1		Tarkista päivittäin
Käsisulkupellit	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk
Sulkuläpän puslat 1-5/6 ja 2-5/6	Shell Gadus S2 V100 2		L 3kk
Tulppaventtiili	Shell Gadus S2 V100 2		L 2vk
Tuhkamittari			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Vaihdemoottori	Shell Gadus S1 Low speed coupling gre		T 6kk
Variaattori Lenze	Tegula V32		T 2vk, V 6kk (1000h)
Hiilimyllyt			
V-öljypumpun laakeri	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk
Kuormitusylinterin laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 1vk
Luukut	Shell Gadus S2 V100 2		L 3kk
Sähkömoottorit	Shell Gadus S2 V100 2	ks. Moot.	L 6kk
Jauhinrenkaiden hydraulikka	Shell Omala S2 G 100	30L	T 1vk, V 12kk
Käyttövaihe	Shell Omala S2 G 220	400L	T 1vk, V 24kk
Sähkösuodattimen Lankakolistajat 6KPL			
Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 GX 150		T 1kk, V 24kk
Sähkösuodattimen levykolistajat 6KPL			
Vaihdemoottori	Shell Omala S4 GX 150		T 1kk, V 24kk

## Liite 4. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 1.

KVV=kylypyvoitelu, RP=rasvapuriistin, K=keskusvoitelu, L=lisäys, T=tarkistus, PV= puhdistus ja vaihto H=harjasiively		KOLAKUULETTIMET		KOLAKUULETTIMET		KOLAKUULETTIMET		KOLAKUULETTIMET	
LAITE	VOITTELUVAINE	TAPA	TOIMENPIDE	VÄLI					
HAMMASVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	T	1 vk					
HAMMASVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	PV	1 v (2v)					
VIERINTÄLAAKERIT	Shell Gadus S2 V220 2	RP	T	1 vk					
VIERINTÄLAAKERIT	Shell Gadus S2 V220 2	RP	L	1 vk					
ILMANVAIHTOTULPPA	Jokaisen öljynvaihdon yhteydessä								
POSITIO	KOKOONPANO	LAITE	VAIHDE	MÄÄRÄ	LAAKERI	ANNOSTIN	MÄÄRÄ		
2K1PH50D001	2-10	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4400	180 L	23148 CCK/W33	SGA-22	2 KPL		
2K1PH60D010	2-100	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4315	78 L	23140 CCK/W33	SGA-22	2 KPL		
2K1PH60D013	2-103	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4355	115 L					
2K1PH60D015	2-110	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4315	78 L					
2K1PH65D008	3-60	KOLAKUULETTIN	KUMERA RFM4200	15 L					
2K1P120D003	4-50	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4225	30 L					
2K1P120D004	4-52	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4315	78 L					
2K1P120D005	4-54	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4280	56 L					
2K1P120D006	4-56	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4280	56 L					
2K1P140D001	4-60	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4315	78 L					
2K1P140D003	4-70	KOLAKUULETTIN	KUMERA RGM4225	30 L					

## Liite 5. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 2.

KIEKKOSEULAT									
KIEKKOSEULA KUORELLE DCB									
POSITIO	KOKOONPANO		VAIHDE		MÄÄRÄ	LAAKERI			
2K1PH60D001	2-15		KUMERA RFM3140		5,3 L	SV170TF	SGA-12, SGA-011		14 KPL
2K1PH60D005	2-40					SV170TF	SGA-12, SGA-011		36 KPL
LAITE	VOITTEUAINE	TAPA	TOIMENPIDE	VÄLI					
TAPPIVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	T	1vk					
TAPPIVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	PV	1v (2v)					
VIERINTÄLAAKERIT (KIEKKOAKSEULT)	Shell Gadus S2 V220 2	RP	T	1vk					
VIERINTÄLAAKERIT (KIEKKOAKSEULT)	Shell Gadus S2 V220 2	RP	L	1vk					
RUULAKETJUT (KÄYTTÖ)	Shell Tonna S3 M 220	K							
RUULAKETJUT (KÄYTTÖ)	Shell Tonna S3 M 220	K							
KARKEAJAKEEN KIEKKOSEULA DCC									
LAITE	VOITTEUAINE	TAPA	TOIMENPIDE	VÄLI					
TAPPIVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	T	1vk					
TAPPIVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KVV	PV	1v (2v)					
VIERINTÄLAAKERIT (KIEKKOAKSEULT)	Shell Gadus S2 V220 2	RP	T						
VIERINTÄLAAKERIT (KIEKKOAKSEULT)	Shell Gadus S2 V220 2	RP	L	1v					
RUULAKETJUT (KÄYTTÖ)	Shell Tonna S3 M 220	K							
RUULAKETJUT (KÄYTTÖ)	Shell Tonna S3 M 220	K							

## Liite 6. Kaasutinlaitoksen voitelutöitä 3.

HIHNAKULJETIN					
POSITIO	KOKOONPANO				
2K1PH60D003	2-20	KUMERA RFM3140	5,3 L		1222K
LAITE					
VOITELUVAIHE	VOITELUVAIHE	TAPA	TOIMENPIDE	VÄLI	
HIHNAKULJETIN	Shell Gadus S2 V220 2	RP	L	6 vk	
HAMMASVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KYV	PV	1 v (2v)	
HAMMASVAIHDE	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KYV	T	1 vk	
VIERINTÄLAAKERIT (KÄYTTÖRUMPU)	Shell Gadus S2 V220 1 (V220 2)	K (RP)	T (L)	1 vk	
VIERINTÄLAAKERIT (TAITTORUMPU)	Shell Gadus S2 V220 1 (V220 2)	K (RP)	T (L)	1 vk	
JAKOLÄPÄT					
POSITIO	KOKOONPANO				
2K1PH60D006	2-50	KUMERA LGM4250	40,5 L		
2K1PH60D014	2-105				
2K1PJ40D002	4-65				
SIILON SYÖTTÖLAITE					
POSITIO					
2K1PH60D027	4-20.1	SEW KF67			
2K1PH60D028	4-20.2	SKF SYSTEM 24 LAGD 60/LAGD 125			
PURKAIMET					
POSITIO	KOKOONPANO				
2K1PJ20D001	4-30.1				
2K1PJ20D002	4-30.2				
Vaihde	MOVENTAS D3PSF50RPL	Shell Omala S4 GX 460			
RUUVISYÖTIN					
POSITIO	Laitex				
2K1PJ30D002	KOKOONPANO				
Vaihde	5-40	SEW FA127 G 3kpl			
Laakerit	vetopää	Shell Gadus S2 V220 2	53 g	1 kk	
Laakerit	Vapaa pää	Shell Gadus S2 V220 2	41 g	1 kk	
RUUVIKULJETIN					
POSITIO	KOKOONPANO				
2K1PJ30D011	6-40				
Laite	Voiteluaine	Tapa	toimenpide		Määrä
vaihde KUMERA RFM3125	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KYV	PV	1v (2)v	3,7 L
vaihde KUMERA RFM3126	Shell Omala S2 G 220/(S4 GX 220)	KYV	T	1vk	
vierintälaakerit	Shell Gadus S2 V220 1 (V220 2)	K (RP)	T (L)	1vk (1k)	
Luukkujen säätöruuvit	Malleus Grease GL	H	T	1 kk	
MURSKAIN					
POSITIO	KOKOONPANO				
2K1PH60D007	2-60				
VAIHDE 2KPL	KUMERA TGM3355				118 L
LAAKERIT	24040 CC/W33 4 KPL				
KESKUSVOITELU					



## Liite 7. Rikinpoistolaitoksen voitelutöitä 1.

KIPSIKULJETTIMET ELMOMET				
RAAPPAKULJETIN L=34200 PITKÄ KULJETIN				
VAIHDELAATIKKO SEW FA 107/G R77	Shell Omala S2 G 220	27L	V 12kk	
LAAKEROINTI				
KÄYTTÖPÄÄTY UCFC 218 2KPL	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
VAPAA PÄÄTY UCFC 218 2KPL	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
POKSIT	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
RAAPPAKULJETIN L=3600				
VAIHDELAATIKKO SEW FA77/G	Shell Omala S2 G 220	6L	V 12kk	
LAAKEROINTI				
KÄYTTÖPÄÄTY UCFC 218 2KPL	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
VAPAA PÄÄTY UCFC 214 2KPL	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
POKSIT	Shell Gadus S2 V220 2		1kk	
SAVUKAASUPELLIT	EI VOITELUTARVETTA TARKASTA			
OHITUSPELTI ULOSTULO				
OHITUSPELTI SISÄÄNTULO				
SULKUPELTI ULOSTULO				
SULKUPELTI SISÄÄNTULO				
TIIVISTYSILMAPUHALLIN MT500/250				
LAAKERIT SNH2509, 2209-K	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk	
SAVUKAASUPELLTIEN HÄTÄKÄYTTÖ				
HYDRAULIÖLJY	Shell Tellus S2 M 46	80L	T 2vk, V 12kk	
SUODATIN	1 457 431 604 BOSCH		T 2vk, V 12kk	
HYDRAULISYLINTERIN PALLONIVELET	Shell Gadus S2 V220 2		L 6kk	
<b>GAVO</b>	29 GVN 700			
<b>ROOTTORILAAKERIT</b>				
YLÄLAAKERI SKF 23972/CC/W33	Mobil SHC 639 (UNIVAR GE/	16L	T 1kk V12kk/24kk	
ALALAAKERI SKF 29452E	Mobil SHC 639	18L	T 1kk V12kk/24kk	
<b>ALENNUSVAIHTTEET</b>	YHTEINEN ÖLJYILAVUUS KIERTOVOIT		10 000h/3V	
PÄÄKÄYTTÖYKSIKKÖ	Mobil SHC 639	10L	T 1kk V12kk/24kk	
VARAYSIKKÖ C2DA250	Mobil SHC 639	14,5L	T 1kk V12kk/24kk	
APUKIERUKKAVAIHDELAATIKKO	Mobil SHC 639	47L	T 1kk V12kk/24kk	
PESUYKSIKÖN LAATIKKO	Shell Omala S2 G 220	0,8L	T 1kk V12kk/24kk	
APUVAIHTEEN YLÄLAAKERI	Shell Gadus S2 V100 3		TÄY 18kk	
<b>TIIVISTYSILMAPUHALLIN A.D.C.HD 64H</b>				
MOOTTORIN LAAKERIT	Shell Gadus S2 V100 2		katso	
PUHALTIMEN LAAKERIT	Shell Gadus S2 V100 3		L 4kk	
KYTKIN	Shell Gadus S2 V100 3		12kk SEISAKKI	
<b>VUOTOILMAPUHALLIN HOWDEN SIROCCO L4</b>				
LAAKERIT	Shell Gadus S2 V100 3	400g	V 12kk SEISAKKI	
KIINTOLAAKERI	Shell Gadus S2 V100 3	2 painallu	L 1kk	
VAPAA LAAKERI	Shell Gadus S2 V100 3	2 painallu	L 1kk	
KYTKIN	Shell Gadus S2 V100 3	660ml	12kk SEISAKKI	
MOOTTORIN LAAKERIT	Shell Gadus S2 V100 3		12kk SEISAKKI	

## Liite 8. Rikinpoistolaitoksen voitelutöitä 2.

	<b>PUMPUT</b>		määrä	väli		
2WE21D001, 2WE22	Pesurin sumpkipumput (uppopumppu) KRTUK 100-315/154as 2KPL					
	Laakeit	ei huoltoa			ei huoltoa	
2WL01D001, 2WL02	Kierrätyspumput KWP 500-637 6KPL					
	Laakerikannatin	Shell Tellus S2 M 46, tai Rinn	4,0L, öljysä	T 1kk, V 24kk		
	Moottorit	Shell Gadus S2 V100 2	40g	L 6kk		
2WE51D001, 2WE52	Varastosäiliön pumput KWP 80-250 2KPL					
	Laakerikannatin	Shell Tellus S2 M 46, tai Rinn	0,5L öljysä	T 1kk, V 24kk		
	Moottorit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		
2WL21D001, 2WL22	pesurin poistopumput 50-400 2KPL					
	Laakerikannatin	Shell Tellus S2 M 46, tai Rinn	0,6L öljysä	T 1kk, V 24kk		
	Moottorit	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		
2WE30D001	GAVOn sumpun tyhjennyspumppu VKPF 65-250	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		
2WC30D001	JÄVEKÄ sumpin tyhjennyspumppu VKPF 32-200S	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		
2WB61D001	Hydroforin ruuvipumppu Wangen 60					
	Laakerit	Shell Gadus S2 V220 2	1/2 täytee	Vaihto öljynvaihdon yhteydessä		
	vaihdelaatikko Nord B200/91	Shell Omala S2 G 220		T 2kk, V 24kk		
! Katso	moottori	Shell Gadus S2 V220 2	1/3 täytee	Vaihto öljynvaihdon yhteydessä		
	VARI:n raakaveden p.korotuspumppu KSB Movichrom 15/3			kestovoitelu		
2WB61D001	Merivesipumppu					
	Laakeri	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk		
	Vaihdemoottori	Shell Omala S2 G 220		V 12kk		
	<b>SEKOITTIMET</b>					
2WQ01D002, 2WQ0	HWL 060 R Pesurin neutralontisäiliön sekoitin 2KPL					
	Sekoittimen laakeri	Shell Gadus S2 V100 3	12g (1/3)	L 6kk, V 48kk		
	Sekoittimen laatikko sew	Shell Omala S2 G 220 (Omala)	5,3L	T 2kk, V 24kk (48kk)		
2WQ01D001	HWL 200H Pesurin hapetussäiliön sekoitin	Shell Gadus S2 V100 2				
	alennusplaneettavaihte flender	Shell Omala S2 G 220 (Omala)	n. 33L	T 2kk, V 12kk (24kk)		
!katso onko	öljynsuodatin			T 2kk, Puhdistus tarvittaessa ja öljyn		
! Huom. Ras.aut.	Sekoittimen laakeri	Shell Gadus S2 V100 3	7g (1/3)	L 6kk, V 48kk		
2WE10D001	EM 080 Pesurin sumpisäiliön sekoitin					
	Sekoittimen laakeri	Shell Gadus S2 V100 3	18g (1/3)	L 6kk, V 48kk		
	Sekoittimen laatikko sew	Shell Omala S2 G 220 (Omala)	n. 13L	T 2kk, V 24kk (48kk)		
2WE40D001	HWL 200 H Varastosäiliön sekoitin					
	alennusplaneettavaihte flender	Shell Omala S2 G 220 (Omala)	n. 33L	T 2kk, V 12kk (24kk)		
	Sekoittimen laakeri	Shell Gadus S2 V100 3	7g (1/3)	L 6kk, V 48kk		
	<b>BOOSTER PUHALLIN</b>					
2WR40B022	<b>Hydrauliysikkö</b>	Shell Tellus S2 M 32	200L	T 1vk, V 12kk Vaihto tai labrakoe		
	Suodatin		10µm	T 1vk, V 12kk tai paine-eron ollessa l		
	Pumpun moottorin laakerirasvan vaihto	Shell Gadus S2 V100 3		V 48kk		
	Jäähdytyspuhaltimen moottori laakerirasva	Shell Gadus S2 V100 3		V 48kk		
	Jäähdytysilman suodatin			T 1vk		
	<b>Voiteluysikkö</b>	Shell Tellus S2 M 46	200L	T 1vk, V 12kk Vaihto tai labrakoe		
	Suodatin		10µm	T 1vk, V 12kk tai paine-eron ollessa l		
	Pumpun moottorin laakerirasvan vaihto	Shell Gadus S2 V100 3		V 48kk		
	Jäähdytyspuhaltimen moottori laakerirasva	Shell Gadus S2 V100 3		V 48kk		
	Jäähdytysilman suodatin			T 1vk		
	Navan voiteluöljy	Mobil SHC 634, Shell Omala	11L	V 12kk		
2WR40D001	Moottori	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		
	Säätövarren nipat	Shell Gadus S2 V100 2		L 6kk		

## Liite 9. Turbiinilaitoksen voitelukohteita.

	JÄÄHDYTYSVESI				
2VC01D001, 2VC02D001	Pääpumput 1 ja 2				
	Laakeri	Shell Omala S2 G 68	30L	V 12kk	
	Moottori	Shell Gadus S2 V100 2	ks. Kilpi	L 12kk	
2VF01D001, 2VF02D001	Apupumput 1 ja 2				
	Laakeri	Shell Gadus S2 V100 2	60g(1500g)	L 3kk,	
	Moottori	Shell Gadus S2 V100 2		L 12kk	
2RN20D001	MPE2 lauhdepumppu				
	Laakeri	Shell Gadus S2 V100 2		L 4kk, PV 24kk	
	Moottori				
2UN11D001, 2UN12D001	KLV 1 ja 2 Lauhdepumput				
	Laakeri	Shell Gadus S2 V100 2		L 4kk, PV 24kk	
	Moottori	Shell Gadus S2 V100 2	25g	L 12kk	
2UN16S001	KLV 1 pinnansäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	V 5v 60kk	
2RN30S001	MP-esilämmitin 3 Pinnansäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	V 5v 60kk	
2VG01D0001, 2VG02D001	Suljetun jäve kierron pumput 1 ja 2				
	Laakeri käytönpuoli	Shell Gadus S2 V100 2	40g	L 3kk	
	Laakeri Pumpunpuoli	Shell Gadus S2 V100 2	25g	L 3kk	
	Moottori	Shell Gadus S2 V100 2	25g	L 12kk	
2SF11D001	MP-reduktio öljysäiliö	Shell Tellus S3 M 46	250L	V 5v 60kk	
2SC10B001	TURBIININ VOITELUÖLJYSÄILIÖ				
	Voiteluöljy	Shell Turbo T 46	Näytteet j	Lisäys tarpeen muka	
	Voiteluöljyn suodatin duplex				
	Säätö-öljyn suodatin duplex				
	Puhdistuskierto				
	Mikrosuodatin				
	Coalescing-suodatin				
2RF50S001	Kylmä-vt syvesäiliöön moottorisulkuventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RP10S001	KP-esilämmitin 1 pinnansäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RP20S001	KP-esilämmitin 2 pinnansäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2SG20S002	Tiivistehöyryn ylivirtaussäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RQS21S001	10/5 bar tukin paineensäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RQS01S001	Kylmä-vt 10 bar apuhöyrytukin paineensäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RQ03S001	Kylmä-vt 5 bar apuhöyrytukin paineensäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2RQ05S001	Väliotto 5-5 bar apuhöyrytukki paineensäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2SG20S001	Tiivistehöyryn paineensäätöventtiili	Shell Omala S2 G 220	3,8L	T 1v, V 5v	
2WB01D001	Väljän pyörät	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk	
2WB01D002	Väljän vaihde	Shell Omala S2 G 150	12L	V12kk	
2WB01D001	Ketjukorisuotimen				
	Laakerit	Shell Gadus S2 V100 2		L 1kk	
	Vaihde	Shell Omala S2 G 150	38L	V 12kk	
2WB01D001	Ketjukorisuotimen puhdistuspumppu	Shell Gadus S2 V100 2		L 3kk	