

Alisa Isometsä

VOITELUHUOLLON KEHITTÄMINEN

Öljylaatujen valinta ja vaihtovälien optimointi

VOITELUHUOLLON KEHITTÄMINEN

Öljylaatujen valinta ja vaihtovälien optimointi

Alisa Isometsä
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, Tuotantotekniikka

Tekijä: Alisa Isometsä

Opinnäytetyön nimi: Voiteluhuollon kehittäminen – öljylaatujen valinta ja vaihtovälien optimointi

Työn ohjaaja: Ville Keinänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 48 + 1 liite

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enso Oy:n Oulun-tehtaalle. Työssä kehitettiin voiteluhuoltoa voimalaitoksella ja talteenottolinjalla. Työssä keskityttiin valitsemaan alueella oleviin laitteisiin mineraaliöljyjen tilalle ominaisuuksiltaan sopivat synteettiset öljyt sekä optimoimaan niiden vaihtovälit. Vaihtovälien pidentämisen ja synteettisten öljyjen kalliimman hinnan myötä öljyjen vaihtamisen kannattavuutta tarkasteltiin myös kustannuslaskelmien avulla. Tässä työssä keskityttiin vain tietojen keräämiseen eivätkä varsinaiset vaihtotyöt kuuluneet työn piiriin. Öljyjen vaihdot tullaan suorittamaan vaihtovälien mukaan Stora Enson henkilöstön toimesta.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin voiteluaineen ominaisuuksiin ja voiteluun vaikuttavia tribologisia tekijöitä, kuten öljyjen käyttölämpötiloja, viskositeettia, lisäaineita ja kitkaa. Lisäksi tarkasteltiin öljyjen käyttöolosuhteita ja käyttöasteita. Työssä pyrittiin myös optimoimaan öljynvaihtovälit jokaiselle laitteelle sopiviksi.

Työ toteutettiin kirjaamalla Excel-tiedostoon laitteissa käytetyt öljyt sekä niiden käyttöolosuhteet ja käyttöasteet. Öljymuutokset tehtiin tarvittaville koneille etsimällä laitevalmistajan suosituksiin sopivat vaihtoehdot voiteluöljyjen toimittajan valikoimasta ja rajaamalla ne optimaalisimpiin vaihtoehtoihin kerättyjen tietojen avulla. Öljynimikkeitä haluttiin tehtaalle mahdollisimman vähän, joten se otettiin myös huomioon voiteluöljyä valittaessa. Öljynvaihtovälit oli merkitty tietyille aikaväleille ja työssä selvitettiin, olivatko asetetut välit sopivat, vai oliko ne asetettu turhan tiheiksi. Taloudellisin ja kustannustehokkain tapa vaihtaa voiteluöljyä on odottaa, kunnes öljyn laatu on huonontunut tarpeeksi, jolloin se ei enää toimi oikealla tavalla. Öljyjen laatua seurataan öljynäytteiden avulla.

Öljynvaihtoa kaipaavia laitteita löytyi 137 ja eri öljynimikkeitä 21 kappaletta. Laitteille löydettiin uudet korvaavat öljyt ja öljynimikkeitä saatiin vähennettyä seitsemän, eli öljylaatuja on nykyisin enää 14. Vaihtovälejä pidennettiin lähes jokaiselle laitteelle huomattavasti ja öljyvaihtojen määrää saatiin näin pudotettua 55 prosentilla kymmenen vuoden aikana. Kustannuslaskelmien avulla saatiin selville, että säästöä kertyy huomattavan paljon kymmenen vuoden aikana, joten voiteluöljyjen ja vaihtovälien muuttaminen on kannattavaa. Opinnäytetyön toteutustapaa voi hyödyntää tulevaisuudessa myös muilla alueilla ja tehtailla, jolloin säästöjä saadaan kerrytettyä entistä enemmän.

Asiasanat: voiteluhuolto, voitelu, voiteluaine, öljylaatut

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option Production Engineering

Author: Alisa Isometsä

Title of thesis: Development of lubrication maintenance – selection of oil grades and optimization of exchange intervals

Supervisors: Anu Tammela, Ville Keinänen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 48 + 1 appendix

The thesis was written for the Stora Enso Oulu mill. The purpose of the thesis was to improve the lubrication maintenance in the factory's power plant and recovery line. The project was focused on replacing mineral oils with synthetic oils and optimizing oil change intervals. Due to the higher cost of synthetic oils and longer oil change intervals the profitability of the changes was also reviewed with maintenance cost evaluations. The scope of this thesis was limited to only gathering information and implementing the changes was left to the mill personnel.

This thesis studied the tribological properties of lubricants such as operating temperatures, viscosity, additives, and coefficient of friction as well as the operating conditions and utilization rates of the lubrication oils. The project aimed to optimize oil change intervals for every machine.

The thesis was executed by documenting to Excel the lubricative oils currently in use and their operating conditions and temperatures. The oil changes were made by gathering information of the machinery and determining which machines to include in the project. The selection of new oils was made by limiting the options from the manufacturers catalogue to the most optimal ones. The mill wanted to limit the amount of different oil types so that had to be considered. The project also studied whether the set oil change intervals were ideal or could they be optimized. The most cost-efficient way to change oils is to wait until their lubricative properties start to deteriorate and fail to function as intended. The quality of the lubricants is regulated by analyzing oil samples.

There were 137 machines that would benefit from oil changes and 21 different types of oil in use. New oil types were determined to replace the old ones and the amount of different oils was reduced to 14. By increasing the interval between oil changes, the amount of oil changes in a ten-year period was reduced by 55 percent. By projecting the cost estimates it was found that the changes would bring significant savings for the mill and by implementing the findings of this thesis in other sites it would be possible to achieve even greater savings.

Keywords: lubrication maintenance, lubrication, lubricant, oil grades

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TRIBOLOGIA.....	8
2.1	Voiteluaineiden ominaisuudet.....	8
2.1.1	Viskositeetti.....	8
2.1.2	Viskositeetti-indeksi	10
2.1.3	Jähmepiste.....	11
2.1.4	Leimahduspiste.....	11
2.2	Kitka	11
2.3	Kuluminen	12
3	VOITELU	13
3.1	Raja-, seka- ja nestevoitelu	13
3.1.1	Rajavoitelu	14
3.1.2	Sekavoitelu	15
3.1.3	Nestevoitelu	15
3.2	Käyttölämpötila.....	18
3.3	Käyttöolosuhteet.....	20
3.4	Voiteluaineet.....	21
3.4.1	Mineraaliöljyt.....	22
3.4.2	Synteettiset öljyt.....	24
3.4.3	Voitelurasvat	26
3.4.4	Kiinteät voiteluaineet ja kasviöljyt.....	28
3.5	Lisäaineet.....	29
3.5.1	Kulumisenestolisäaineet	29
3.5.2	Paineenkestolisäaineet	29
3.5.3	Viskositeetti-indeksin parantajat.....	30
3.5.4	Detergentit	31
3.5.5	Dispersantit.....	31
3.5.6	Hapettumisenestolisäaineet	32
3.5.7	Korroosionestoaineet	32
3.5.8	Kitkanalentajat	33
3.5.9	Jähmepisteenalentajat	33

3.5.10	Vaahtoamisenestolisäaineet	33
3.5.11	Emulgaattorit.....	34
3.5.12	Biosidit	34
3.5.13	Väriaineet.....	34
3.6	Öljynäytteet	35
3.7	Öljynvaihto ja vaihtovälin määrittely	35
3.8	Voiteluaineen valinta	36
4	VOITELUHUOLLON OPTIMOINTI STORA ENSOLLA	40
4.1	Alkukartoitus.....	40
4.2	Käytössä olevat öljyt.....	40
4.3	Tehdaskierrokset.....	41
4.4	Uudet öljyt ja vaihtovälit.....	41
4.5	Kustannuslaskenta	43
5	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49

1 JOHDANTO

Voiteluhuolto on tärkeässä osassa parantamassa koneiden ja laitteiden toimintaa ja kestävyyttä. Voiteluhuolto on pysynyt teoreettiselta pohjaltaan hyvin samanlaisena jo vuosikymmenten ajan, ja se on yksi ennakkohuollon vanhimmista ja yleisimmistä muodoista. Vaikka voitelun tärkeys varmasti tunnustetaan aina, jää sen kehittäminen tuotannossa yleensä taka-alalle. Oikein toteutettuna voitelulla pienennetään liikkuvien osien välistä kitkaa, jolloin myös siitä aiheutuvia vaurioita ja kulumisia esiintyy vähemmän. Voitelulla saadaan lisättyä koneen käyttöikää, parannettua tehokkuutta sekä vähennettyä energiankulutusta. Ennakoivalla voiteluhuollolla voidaan lisäksi alentaa öljynhuolto-, öljynvaihto-, konerikko- sekä käyttövarmuuskustannuksia.

Tässä opinnäytetyössä kehitetään voiteluhuoltoa Stora Enson Oulun-tehtaalla. Opinnäytetyössä pyritään valitsemaan sopivimmat öljyt eri koneille sekä optimoimaan niiden vaihtovälit. Stora Enso Oy on suomalais-ruotsalainen metsäteollisuusyrittäjä, joka on perustettu vuonna 1998. Stora Enso on pakkaus-, biomateriaali- ja puutuoteteollisuuden uusiutuvien tuotteiden maailmanlaajuinen toimittaja sekä yksi maailman suurimmista yksityisistä metsänomistajista. Stora Enson Oulun-tehdas on perustettu vuonna 1935. Se koostuu puutavaran vastaanotosta, sellutehtaasta, kraftlainer-linjasta sekä satamatoiminnoista. Oulun-tehtaan vuotuinen kapasiteetti on 450 000 tonnia pakkauskartonkia ja 530 000 tonnia sellua. Henkilöstöä tehdasalueella on noin 400. (Stora Enso Oy a; Stora Enso Oy b.)

Tällä hetkellä Stora Enson tehtaalla voiteluun käytetään mineraaliöljyjä sekä synteettisiä öljyjä. Öljyjen toimittajina toimivat Neste ja Mobil. Opinnäytetyön tavoitteena on saada vaihdettua mineraaliöljyjen tilalle synteettiset öljyt Mobilin valikoimasta ja näin vähentää toimittajien määrää yhteen, sekä saada optimoitua jokaiselle koneelle sopivat öljynvaihtovälit. Tämänhetkiset vaihtovälit vaihtelevat kuuden kuukauden ja kymmenen vuoden välillä. (Keinänen 2023.)

Opinnäytetyössä käsitellään voiteluöljyn valintaan vaikuttavia tekijöitä kuten eri öljyalaatua, käyttöolosuhteita, käyttölämpötiloja, käyttöasteita, viskositeettia sekä muita tribologian osa-alueita. Opinnäytetyössä käydään läpi myös öljyjen vaihtovälien optimointiin tarvittavia tietoja sekä tutkitaan miten vaihtovälit ja öljyalaadut vaikuttavat taloudellisiin tekijöihin.

2 TRIBOLOGIA

Tribologiaksi kutsutaan tieteenalaa, joka tutkii ja käsittelee toisiinsa nähden liikkuvien pintojen vuorovaikutuksia. Tutkittavat ilmiöt liittyvät lähinnä kitkaan, kulumiseen ja voiteluun. Tribologiset ongelmat vaativat fysiikan, kemian, materiaalitekniikan, kone-elinopin sekä tuotekehityksen hyödyntämistä. Tribologin on osattava hallita laajaa kokonaisuutta, mutta myös kyettävä yksityiskohtaisesti jakamaan kokonaissysteemit osasysteemeihin. (Kivioja, Kivivuori & Salonen 2007, 11.)

Tribologisia kosketuksia esiintyy, kun kappaleen liikerataa ohjataan mekaanisesti, voimaa siirretään kappaleesta toiseen ja kun kappaleen muotoa muutetaan. Tribologisella suunnittelulla pyritään pitämään kitkasta ja kulumisesta aiheutuvat haitalliset vaikutukset mahdollisimman pieninä joko voitelua käyttäen tai ilman sitä. Oikealla tribologian soveltamisella voidaan saavuttaa suuria säästöjä vähentämällä kunnossapitoon kuluvia kustannuksia esimerkiksi vähentämällä kuluneiden osien vaihto- tai korjaustarvetta, sekä seisakkien keston ja määrän tarvetta. (Kivioja ym. 2007, 11–17.)

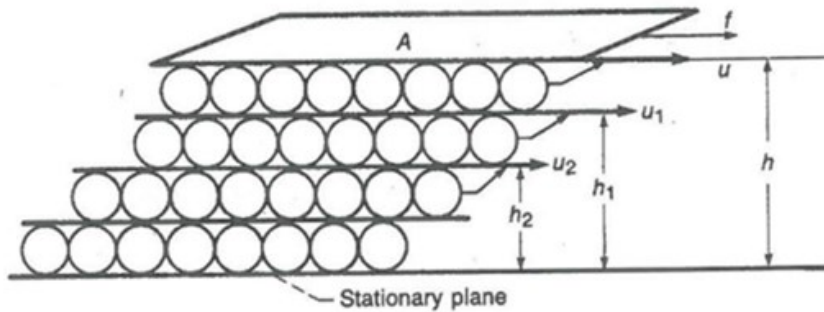
2.1 Voiteluaineiden ominaisuudet

2.1.1 Viskositeetti

Viskositeetti kuvaa voiteluaineen kykyä vastustaa voiteluaineen sisäisten kitkojen aiheuttamaa liikettä eli sisäisen kitkan suuruutta. Alhaisen viskositeetin voiteluaineet omaavat pienen sisäisen kitkan ja ne ovat ohuita ja helposti juoksevia kun taas korkean viskositeetin voiteluaineet omaavat suuremman sisäisen kitkan ja ovat paksumpia ja hitaasti juoksevia. Nesteen viskositeettiin vaikuttaa sen lämpötila sekä paine. Mitä lämpimämpi neste, sitä pienempi sen viskositeetti ja mitä korkeampi paine, sitä korkeampi sen viskositeetti. (Kivioja ym. 2007, 172; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 17; Mobil Oil 1997, 6; Elert 1998–2024.)

Newtonin määritelmän mukaan voiteluaineen molekyylikerrosten voidaan ajatella liikkuvan toistensa suhteen äärettömän ohuin kerroksin $d_y (= h_i - h_{i+1})$ siten, että ylin kerros liikkuu

vastapinnan nopeudella u ja alin kerros pysyy paikallaan. Jokainen molekyylikerros näiden välillä liikkuu nopeudella u_i ja sijaitsee korkeudella h_i . Kuva yksi havainnollistaa viskositeetin toimintaa. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 17.)



KUVA 1. Voiteluaineen viskositeetin määrittäminen (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 17.)

Dynaaminen eli absoluuttinen viskositeetti määritellään kaavalla

$$\eta = \frac{\tau}{du/dy} \quad (\text{KAAVA 1})$$

jossa η on absoluuttinen viskositeetti [N s/m^2], τ on leikkausjännitys [N/m^2] ja du/dy on leikkausnopeus [$1/\text{s}$]. Leikkausjännitys τ on suoraan verrannollinen kerrosten väliseen leikkausnopeuteen du/dy sekä dynaamiseen viskositeettiin η . (Kivioja ym. 2007, 172; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 17.)

Kinemaattinen viskositeetti määritellään kaavalla

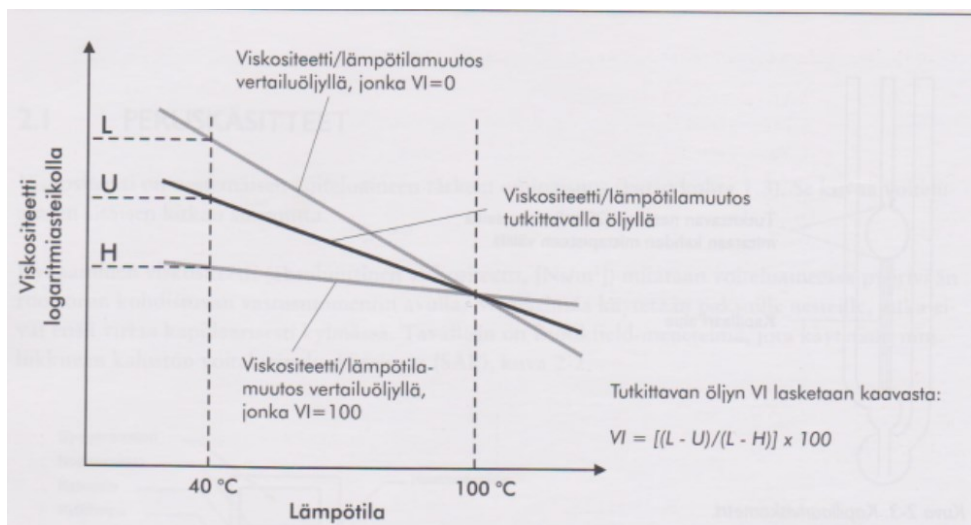
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa ν on kinemaattinen viskositeetti [m^2/s], η on absoluuttinen viskositeetti [N s/m^2] ja ρ on voiteluaineen tiheys. Kinemaattista viskositeettia suositetaan usein laskuissa absoluuttisen viskositeetin sijaan, sillä se on näistä kahdesta käytännöllisempi. (Kivioja ym. 2007, 172; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 17.)

Viskositeettia mitataan määrättyssä lämpötilassa viskosimetrillä, mittaamalla öljynäytteen valumisaika tietyn kokoisen suuttimen läpi. Saatu aika muutetaan öljyn kinemaattisen viskositeetin mittayksikön stoken sadasosaksi eli senttistokeksi ($1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$.) Alhaisissa lämpötiloissa viskosimetrillä ei saada luotettavia tuloksia ja öljyn viskositeettia siirrytään mittaamaan kylmäkäynnistyssimulaattorilla (CCS = Cold Cranking Simulator) joka jäljittelee voiteluolosuhteita liukulaakerissa. Laite mittaa öljyn viskositeetista riippuvan tehohäviön, jonka jälkeen mittatulos muutetaan öljyn dynaamisen viskositeetin mittayksikön poisen sadasosaksi senttipoiseksi ($1 \text{ cP} = \text{mPas.}$) Moottoriöljyistä mitataan lisäksi pumpattavuuden raja-arvo minirotaaryskosimetrillä (MRV.) Tällä varmistetaan öljyn toimivuus kylmissä olosuhteissa siten, ettei se jähmety heti mittaustemperatuurin alapuolella. Öljyt luokitellaan käytäntöä varten viskositeetin perusteella SAE-luokittelun mukaan. (Mobil Oil 1997, 6.)

2.1.2 Viskositeetti-indeksi

Viskositeetti-indeksi (VI) osoittaa viskositeetin muuttumisen lämpötilan muuttuessa. Lämpötilan kohotessa viskositeetti laskee ja öljy ohenee ja lämpötilan laskiessa viskositeetti kasvaa ja öljy paksunee. Kaikkien öljyjen viskositeetti ei muutu yhtä voimakkaasti, vaan muutoksen aste riippuu öljyn viskositeetti-indeksistä. Viskositeetti-indeksi määritellään $+40^\circ\text{C}$:n ja $+100^\circ\text{C}$:n lämpötiloissa kahden eri VI-ominaisuuksien omaavan öljyn viskositeettiarvojen mukaan. Mitä korkeampi viskositeetti-indeksi on, sitä pienempi vaikutus lämpötilalla on viskositeettiin. Viskositeetti-indeksi voidaan määritellä riittävällä käytännön tarkkuudella myös erilaisten viskositeettidiagrammien avulla. VI voi olla myös negatiivinen. (Mobil oil 1997, 6; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 51.)



KUVA 2. Viskositeetti-indeksin (VI) määrittely vertailuöljyjen avulla. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 52.)

2.1.3 Jähmepiste

Jähmepisteeksi kutsutaan lämpötilaa, jossa voiteluaine lakkaa virtaamasta omalla painollaan laboratorio-olosuhteissa niin, ettei se enää liiku koeputkea kallistaessa viiden sekunnin aikana. Jähmepiste määritellään siten, että voiteluainetta kylmennetään kolmen asteen välein. Kun voiteluaine ei enää heilahda, katsotaan edellinen kolmen asteen kohta, joka merkitään jähmepisteeksi. Jos voiteluaine jähmettyy esimerkiksi 30 asteessa, on sen jähmepiste 27 astetta. Jähmepiste ei ole kuitenkaan alin käyttölämpötila. Esimerkiksi moottoriöljy voi käynnistyksessä olla juoksevaa jähmepisteen alapuolellakin olevissa olosuhteissa, sillä voitelu moottorissa ei toimi sen omalla painolla. (Kivioja ym. 2007, 176; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 54; Mobil Oil 1997,7; Vihersalo 2023.)

2.1.4 Leimahduspiste

Leimahduspiste on alin lämpötila, jossa öljystä haihtuu normaalipaineessa niin paljon höyryjä, että ne muodostavat ilman kanssa syttymiskelpoisen seoksen, joka leimahtaa pienen liekin vaikutuksesta, mutta ei jää palamaan. Moottoriöljyn leimahduspiste halutaan mahdollisimman korkeaksi, sillä se vaikuttaa öljynkulutukseen, kun taas kaksitahtiöljyjen leimahduspisteen tulee olla riittävän alhainen, jotta öljy palaisi moottorissa mahdollisimman tarkkaan. Leimahduspiste ei ole korkein käyttölämpötila. (Kivioja ym. 2007, 176; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 54; Mobil Oil 1997, 7; Vihersalo 2023.)

2.2 Kitka

Kitkavoima on kahden toisiaan vasten liikkuvan kappaleen välillä oleva liikettä vastustava voima. Kitka voidaan erottaa lepo- ja liikekitkaksi sekä ulkoiseksi- ja sisäiseksi kitkaksi. Lepokitka vaikuttaa liikkeelle lähdössä ja liikekitka liukumistilanteessa. Ulkoinen kitka taas on pintakerrosten vuorovaikutuksesta johtuvaa ja sisäinen kitka muodostuu, kun materiaalin sisällä tarvitaan voimaa molekyylien siirtämiseen pois tasapainoasemasta. Nesteiden ja kaasujen sisäistä kitkaa ilmaistaan viskositeetilla. Vaikka kitkaa tarvitaan jokapäiväisessä elämässä, aiheuttaa se voideltavissa kohteissa esimerkiksi kulumaa sekä energiahäviöitä. Kitkan aiheuttamia ongelmia pyritään

vähentämään materiaalivalinnoilla, voiteluaineilla, pinnoitteilla sekä lisäaineilla. (Kivioja ym. 2007, 63; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 15.)

2.3 Kuluminen

Kuluminen on seurausta toisiaan vastaan liikkuvien pintojen keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Kuluminen ilmenee materiaalihäviönä kappaleen tai kappaleiden pinnalta ja kuluminen mielletäänkin useimmiten vain haitalliseksi ilmiöksi. Joissain tapauksissa hallittu kuluminen kuitenkin edesauttaa konstruktion toimintaa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi liukulaakereiden ja hammaspyörien sisäänajokuluminen, mikä voi auttaa esimerkiksi pinnankarheuksia kulumaan haluttuun käyttökarheuteen. (Kivioja ym. 2007, 97; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 15.)

Kulumismekanismit jaotellaan adhesiiviseen, abrasiiviseen, tribokemialliseen ja väsymiskulumiseen. Adhesiivisessä kulumisessa vastinpintojen pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan ja luovat adhesiivisia liitoksia, jotka leikkautuvat, kunhan liitos ei repeä alkuperäisten pintojen rajapinnasta. Abrasiivista kulumista syntyy, kun pintojen pinnankarheushuiput kyntävät toisiaan normaalivoiman vaikutuksesta tai kun kolmen kappaleen vastinpintojen välissä on kovia hiukkasia, jotka uurtavat pintoja. Tribokemiallista kulumista tapahtuu pääasiassa kosketuspintojen pintakalvoissa ja väsymiskulumista kun kulumishiukkanen syntyy väsymismurtuman seurauksena kosketuspinnolle. Pintojen kulumista pyritään vähentämään voiteluaineiden avulla. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 15–16.)

3 VOITELU

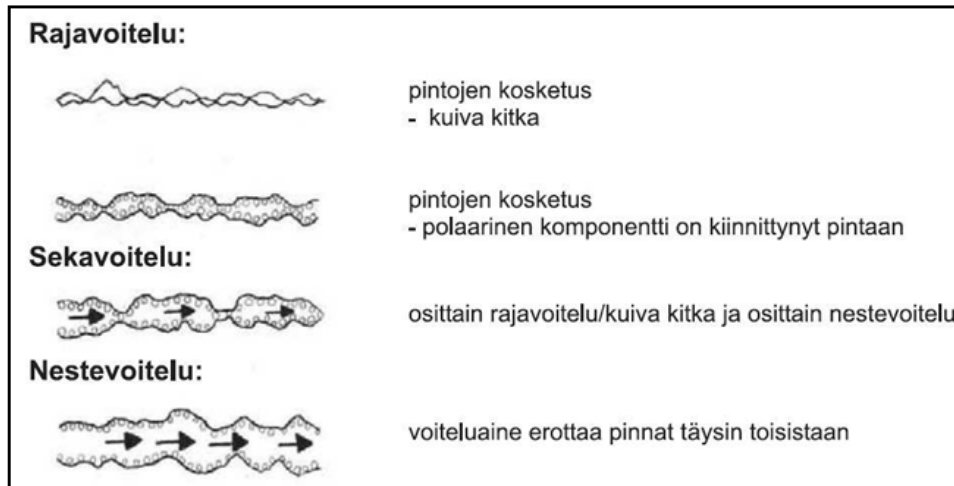
Voitelun tarkoituksena on pienentää toistensa suhteen liikkuvien koneenosien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista voiteluainekalvon avulla. Voitelulla voidaan lisäksi jäähdyttää kosketuksissa olevia pintoja, estää epäpuhtauksien pääsyä voideltavaan pintaan, kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois, vaimentaa värähtelyä, siirtää tehoa sekä suojata osia korroosiolta. Voiteluaineet voivat olla kiinteitä, kaasumaisia tai nestemäisiä. Tehokkaalla voitelulla saadaan aikaan huomattavaa taloudellista säästöä. Kitkan alentamisella säästetään energiaa ja kohotetaan suoritustehokkuutta ja kulumisen vähenemisellä pidennetään koneiden elinikää. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 12; Kivioja ym. 2007, 129.)

3.1 Raja-, seka- ja nestevoitelu

Voitelu jaotellaan rajavoiteluun, sekavoiteluun ja nestevoiteluun. Voitelumekanismia sekä osittain myös voitelun toimivuutta arvioidaan voitelukalvon ominaisuuspaksuudella λ , joka voidaan laskea kaavalla

$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad \text{(KAAVA 3)}$$

Jossa h_{min} on voiteluainekalvon minimipaksuus ja σ_1 ja σ_2 vastinpintojen pinnankarheuksien rms-arvot. Rms-arvo tarkoittaa pinnanprofiilin neliöllistä keskipoikkeamaa. Yleensä pinnoista on saatavilla vain profiilin aritmeettinen keskipoikkeama R_a ; jolloin $\sigma \approx 1,3 R_a$. Ominaiskalvonpaksuus ei yksiselitteisesti määrittele voitelun toimivuutta varsinkaan sen pienillä arvoilla, ja sitä onkin käsiteltävä suuntaa antavana parametrinä. Kuvassa kolme havainnollistetaan eri voitelumekanismia (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 20–21; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 19.)



KUVA 3. Voitelumekanismit (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 20)

3.1.1 Rajavoitelu

Rajavoitelussa laakeripinnat ovat niin lähellä toisiaan, että vastinpintojen pinnankarheushuippujen välille tulee selvää kosketusta, jolloin vastinpintoja erottavaa voitelukalvoa ei ole. Liukupinnoille muodostuu kuitenkin hyvin ohut voiteluainekerros voiteluaineen lisäaineiden, erityisesti paineenkesto- ja kulumisenestolisäaineiden reagoitessa pinnan kanssa, jolloin pintojen kuluminen jää huomattavasti pienemmäksi kuin voitelemattomassa kosketuksessa. Kosketuksessa olevan materiaaliparin tribologiset kitkaan ja kulumiseen vaikuttavat ominaisuudet riippuvat materiaalien fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 20–21; Kivioja ym. 2007, 167.)

Rajavoitelussa kitkakerroin on suuruusluokaltaan 0,1 ja kalvonpaksuus $\lambda = 1 \dots 10 \text{ nm}$ ($\lambda < 1$). Pintakalvojen paksuus on siis hyvin pieni pintojen karheuteen verrattuna. Voitelukalvon muodostumismekanismi voi olla fysikaalinen tai kemiallinen adsorptio tai kemiallinen reaktio. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 21.)

Fysikaalisessa adsorptiossa voiteluainemolekyylit kiinnittyvät heikosti pintoihin van der Waals-voimalla ja näin voivat irrota ja kiinnittyä uudelleen liikkeen aikana. Polaariset molekyylit kuten pitkäketjuiset hiilivedyt kiinnittyvät pintoihin pystyasentoon ja kiinnittyvät toisiinsa. Näin syntyneet kalvot ovat lämpötilaherkkiä ja antavat hyvän voitelun vain liukunopeuksien ja kuormitusten ollessa pieniä. (Kivioja ym. 2007, 167.)

Kemiallisessa adsorptiossa van der Waals-voimien sijaan adsorboitunut aine reagoi pinnan molekyylien kanssa. Yhdistyneet molekyylit luovat uuden pintakerroksen, joka kestää suurempaa kuormaa ja liukunopeutta kuin fysikaalisella adsorptiolla saavutettu pinta. Kiinnittyneet molekyylit eivät kuitenkaan voi kiinnittyä uudelleen irtautumisen jälkeen. (Sinivuori ym.1990,189; Kivioja ym. 2007,168.)

Kemiallisessa reaktiossa molekyylikalvo voi muodostua useamman molekyylikerroksen paksuiseksi. Voitelukalvon muodostuminen kemiallisella reaktiolla vaatii usein 150–180 °C:n minimilämpötilan. Reaktio kiihtyy suurilla kuormituksilla ja nopeuksilla kosketuspintojen kuumenemisen takia. Kemiallisesti syntynyt voitelukalvo on hyvin stabiili ja se syntyy EP-lisäaineiden (extreme pressure) avulla. Kalvonmuodostajina toimivat esimerkiksi rikki, kloori ja fosfori. Kulumisenestolisäaineet (AW- lisäaineet) perustuvat myös kemialliseen reaktioon. (Kivioja ym. 2007,168–169.)

3.1.2 Sekavoitelu

Sekavoitelu on rajavoitelun ja nestevoitelun voitelukalvon ominaispaksuuksien väliin jäävä alue. Kuormitusta kantaa niin pieni kitkainen voiteluainekalvo kuin pinnankarheushuiput. Pinnankarheushuippujen kantama kuormitus sekä kosketuksen kokonaiskitkakertoimet alenevat voiteluainekalvonpaksuuden kasvaessa ja näin alueella vallitseva kitkakerroin voi vaihdella huomattavasti pienienkin olosuhdemuutosten vuoksi. Lämmönkehityksen kasvaessa sekavoitelutilanne voi vaihtua rajavoitelutilanteeksi. Niin seka- kuin rajavoitelutilanteet voivat aiheuttaa paikallisia hitsautumia metallikosketuksien kautta, jotka lisäävät kitkaa, lämpöä, kulumista ja pintojen väsymistä. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 21.)

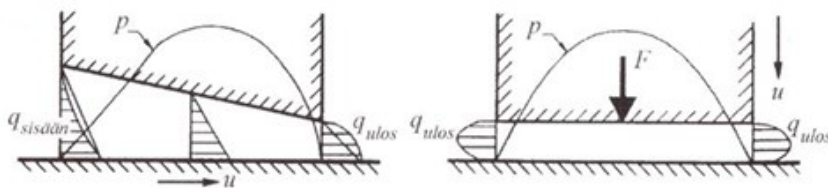
3.1.3 Nestevoitelu

Nestevoitelussa voitelukalvo erottaa pinnat täysin toisistaan, jolloin kitka on pieni ja materiaalin kulumista sekä ennen aikaista väsymistä ei juurikaan esiinny. Materiaaliparin valintaan vaikuttaa lähinnä niiden paineensietokyky. Nestevoitelussa voitelukalvon paksuus $\lambda > 4$. Nestevoitelumekanismi voi olla hydrodynaaminen (hydrodynamic lubrication),

elastohydrodynaaminen (elasto-hydrodynamic lubrication) tai hydrostaattinen voitelu. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 21; Kivioja ym. 2007,130.)

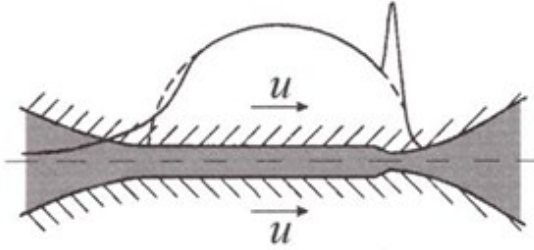
Hydrodynaamisessa voitelussa pintojen välissä olevaan nesteeseen syntyy kuormaa kantava hydrodynaaminen paine, kun neste joutuu kapenevaan, kiilamaiseen rakoon, jonka rajapinnat liikkuvat toisiinsa nähden tangentialisesti. Ylipaine kantaa laakeriin kohdistuvan kuormituksen sekä tasaa kiilaan tulevan ja sieltä lähtevän voiteluaineen määrän. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 22; Kivioja ym. 2007,131.)

Kun pinnat liikkuvat toisiaan kohden, syntyy puserrusvaikutus, jossa neste pusertuu pintojen välistä ulos. Puserrusvaikutus aiheuttaa liukukosketuksen painejakauman, joka puolestaan lisää hydrodynaamisen kalvon kuormankantokykyä. Kuvassa neljä nähdään hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate. (Kunnossapitoyhdistys ja Antila 2006, 22.)



KUVA 4. Hydrodynaamisen laakerin toimintaperiaate (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 21)

Elastohydrodynaamista voitelua esiintyy yleisimmin viivamaisissa ja pistemäisissä kosketuksissa. Kun pienen kosketuspinta-alan kautta kulkee suuria kuormituksia, syntyy merkittävää elastista muodonmuutosta. Voiteluaine ei pääse helposti puristumaan pois kosketuskohdasta sillä kova paine kasvattaa viskositeettia, minkä lisäksi koskettava pinta-ala suurenee kimmoisten muodonmuutosten seurauksena. Elastohydrodynaamisessa voitelussa voiteluainekalvon minimipaksuus on $\lambda = 0,1 \dots 1 \mu\text{m}$. Kuva viisi havainnollistaa elastohydrodynaamisen voitelun periaatetta. (Kivioja ym. 2007,147; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 25.)



KUVA 5. Elastohydrodynaaminen voitelu (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 25.)

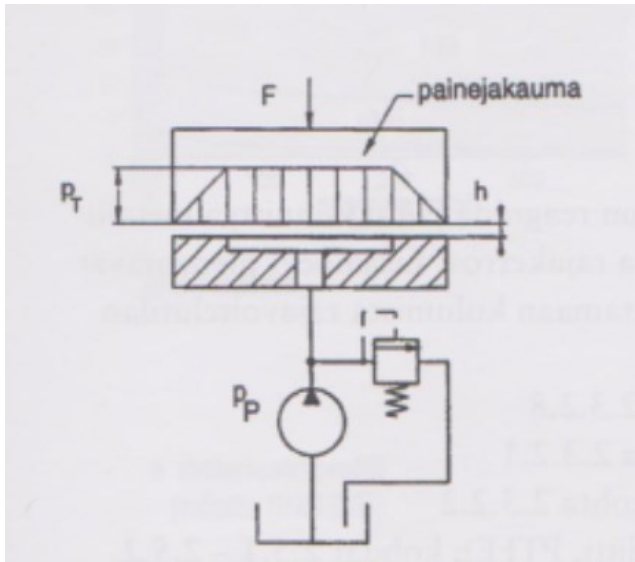
Hydrostaattisessa voitelussa voiteluaine tuodaan liukupintojen välissä olevaan voiteluainetaskuun pumpun avulla. Öljyn hydrostaattinen paine erottaa liukupinnat toisistaan, vaikka suhteellista liikettä pintojen välillä ei olekaan. Kitkateho on myös pieni, vaikka pumpun tehontarve otetaan huomioon. Laakerointijärjestelmän etu on myös jäykkyys, johon voidaan vaikuttaa käyttämällä tuloputkissa kapillaariputkia. (Kivioja ym. 2007,157; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 33.)

Nopeakäyntisissä laitteissa on edullista käyttää voiteluainetta, jonka viskositeetti on alhaista. Ilma sekä kaasut täyttävät tämän vaatimuksen. Aerostaattisia laakereita käytetään tietyissä prosessilaitteissa, instrumenteissa sekä työstökairojen nopeakäyntisissä kairoissa ja luisteissa. (Kivioja ym. 2007,157; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 33.)

Kun kuvassa kuusi esitettävän hydrostaattiseen liukukengän laakerin taskuun johdetaan paineöljyä, virtaa se ulos raosta ylipaineen vaikutuksesta. Ulosvirtaavan öljyn tilavuusvirta Q voidaan laskea kaavalla

$$Q = \frac{P_T b h^3}{12 \eta l} \quad (\text{KAAVA 4})$$

Missä P_T on paine taskussa, b on raon leveys, h on raon korkeus, l on raon pituus virtaussuunnassa ja η on dynaaminen viskositeetti. (Kivioja ym. 2007,157; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 33.)

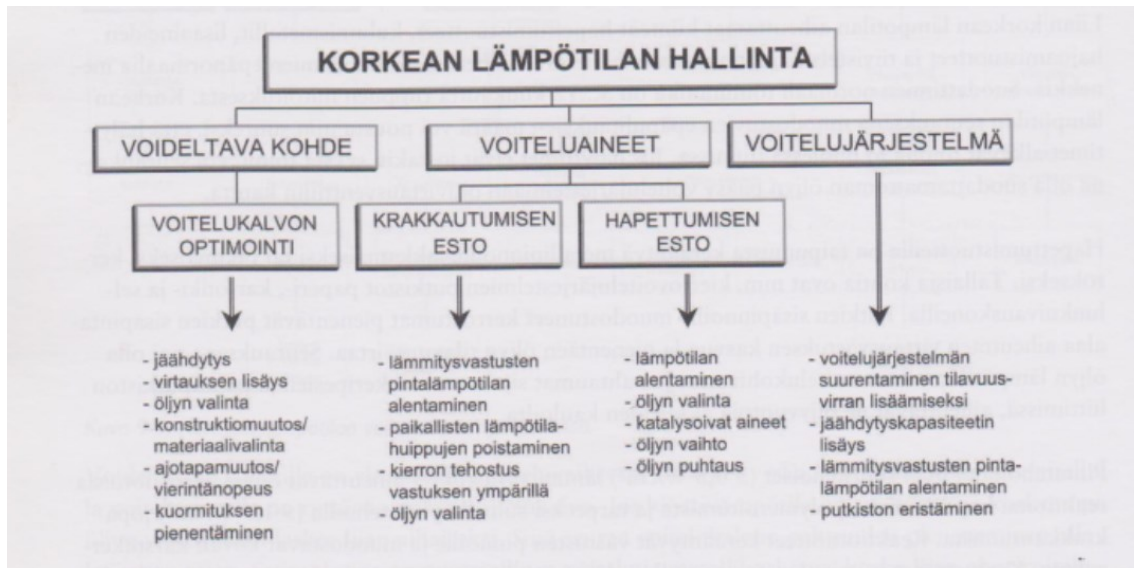


KUVA 6. Hydrostaattinen liukukenkä (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 33.)

3.2 Käyttölämpötila

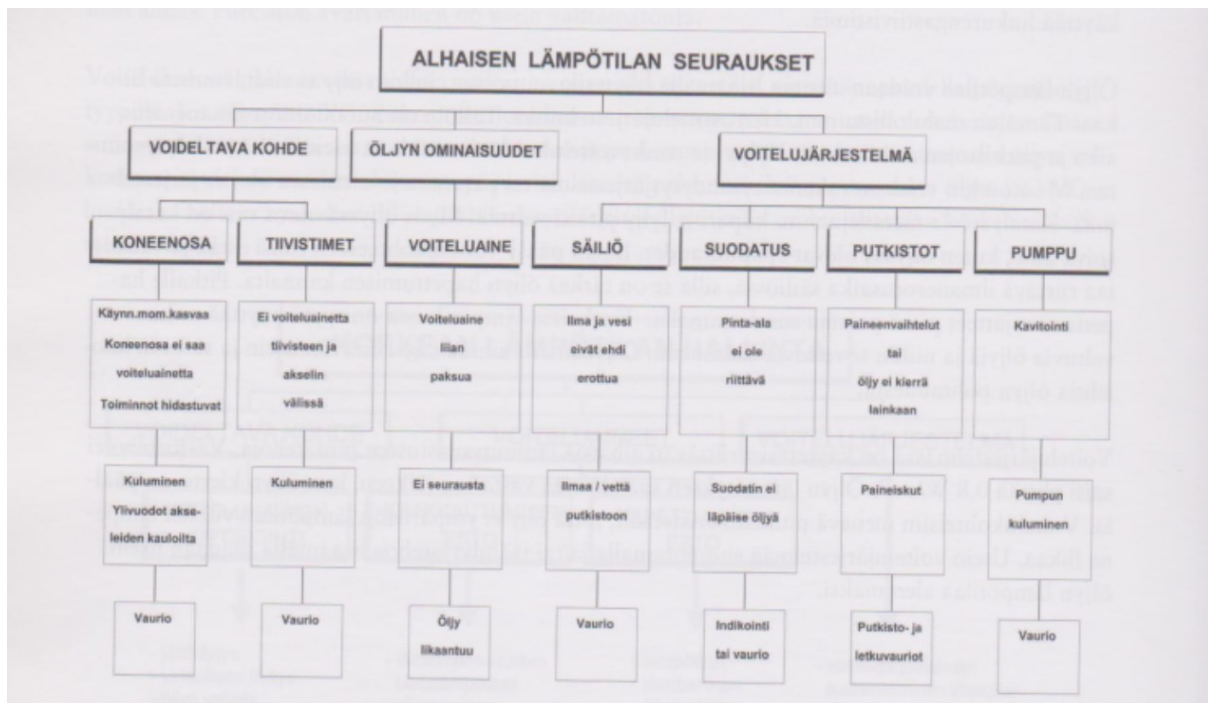
Lämpötila vaikuttaa suoraan öljyn viskositeettiin. Siksi onkin tärkeää valita voiteluaine, joka säilyttää ominaisuutensa käyttökohteen lämpötiloissa. Valinnan kannalta kohteen korkein käyttölämpötila on oleellisin, sillä se vaikuttaa voiteluainekalvon muodostumiseen ja voiteluaineen käyttöikään huomattavasti. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 239–240.)

Voideltaville kohteille määritetään yleensä suunnitteluvaiheessa ylin lämpötila, jossa suunnitellulla voiteluaineella on riittävän paksu voiteluainekalvo. Jos käyttölämpötila on suunniteltua korkeampi, öljyn viskositeetti laskee liian alhaiseksi. Siitä seuraa voiteluainekalvon paksuuden pieneneminen alle kriittisen rajan, jonka seurauksena kohteeseen syntyy riittämätön voitelu, joka johtaa metallikosketukseen. Tästä seurauksena on kohteen ennenaikainen kuluminen ja lopulta vauriot. Korkea lämpötila voi myös aiheuttaa öljyssä hapettumista, polymeroitumista ja krakkautumista. Mineraaliöljyt ovat synteettisiä öljyjä alttiimpia korkeille lämpötiloille. Korkeaa lämpötilaa voi hallita kuvan seitsemän osoittamilla tavoilla. (Blom ym. 2001, 167; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 239–240.)



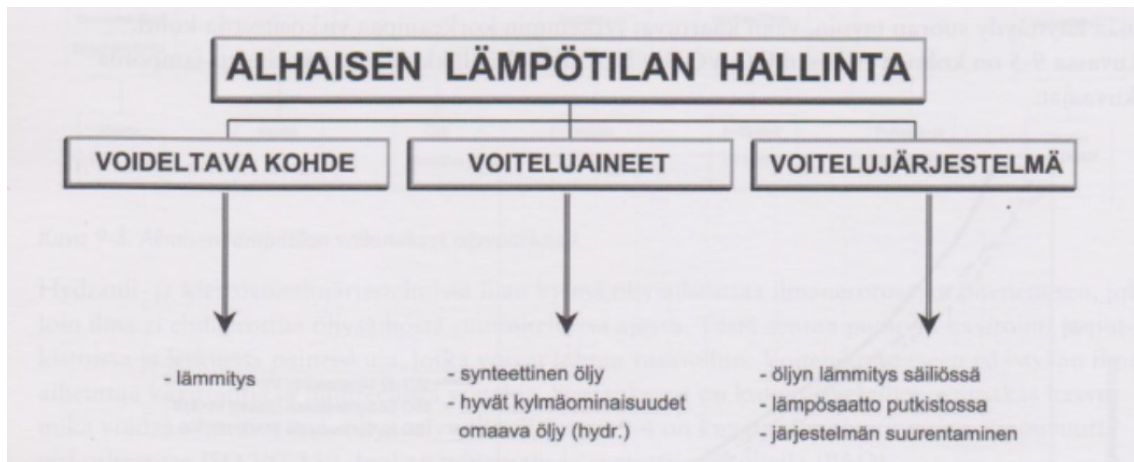
KUVA 7. Korkean lämpötilan hallinta öljyvoitelussa (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 242.)

Alhaisessa lämpötilassa ongelmaksi muodostuu yleensä öljyn saanti voitelukohteeseen korkean viskositeetin vuoksi. Viskositeetin kasvaessa voideltavaan kohteeseen syntyy kulumista, sillä öljyn paksuuntuminen aiheuttaa virtausongelmia. Myös ilman- ja vedenerottuminen vaikeutuvat viskositeetin noustessa. Kuvassa kahdeksan esitetään alhaisen lämpötilan seurauksia öljyyn, voideltaviin kohteisiin ja voitelujärjestelmään. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 244.)



KUVA 8. Alhaisen lämpötilan vaikutukset öljyvoitelussa (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 244.)

Myös alhaista lämpötilaa on mahdollista hallita kuvan yhdeksän osoittamalla tavalla. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 246.)



KUVA 9. Alhaisen lämpötilan hallinta öljyvoitelussa (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 246.)

3.3 Käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteet vaikuttavat suuresti voiteluaineilta vaadittaviin ominaisuuksiin. Käyttölämpötilojen lisäksi tulee huomioida kuormitus, pyörimis- ja liukumisnopeudet, värähtelyt, mahdolliset epäpuhtaudet kuten pöly ja lika, käytössä olevat kemikaalit, nesteet, kaasut, elintarvikevaatimukset, voiteluaineen syttymisvaara ja ympäristövaatimukset. Esimerkiksi hyvin likaisissa kohteissa on syytä estää likaa pääsemästä voiteluaineen sekaan, jotta se ei aiheuttaisi voitelujärjestelmässä ongelmia, kuten kulumaa. Lian pääsyä voitelujärjestelmään voi estää esimerkiksi suodattimilla sekä oikeanlaisten lisäaineiden avulla. Kuvassa 10 on listattuna yleisiä vaatimuksia, joita erityyppisillä voitelukohteilla on voiteluaineille. (Blom ym. 2001, 166; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 200; Vihersalo 2023.)

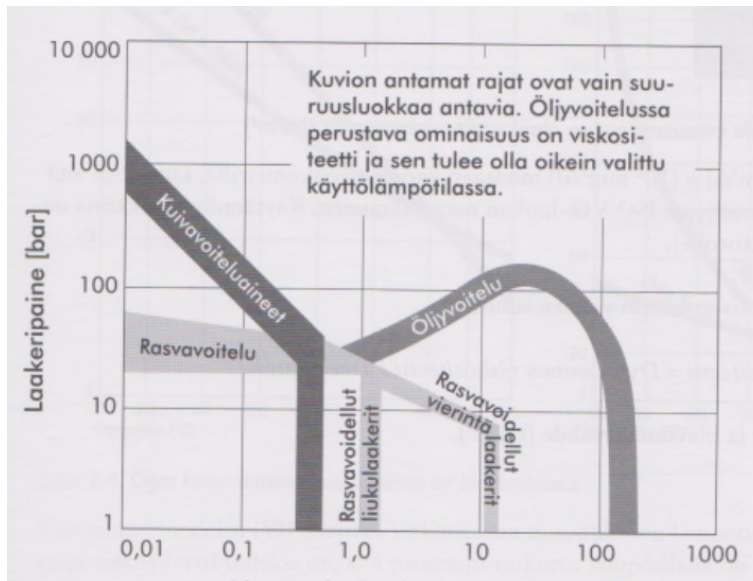
Voiteluaineen ominaisuus	Erilaisia käyttökohteita					
	Liuku-laakerit	Vierintä-laakerit	Suljetut vaihteistot	Avoimet vaihteistot, ketjut, köydet	Kellot, instrumentit	Saranat, luistit
1. Rajavoitelu	+	++	+++	++	++	+
2. Jäähdytys	++	++	+++	--	--	--
3. Kitka	+	++	++	--	++	+
4. Kyky pysyä kohteessa	+	++	--	+	+++	+
5. Tiivistäminen	--	++	--	+	--	+
6. Lämpötila-alue	+	++	++	+	--	+
7. Korroosionesto	+	++	--	++	--	+
8. Haihtuvuus	+	+	--	++	++	+
+++ = hyvin tärkeä ominaisuus, ++ = tärkeä ominaisuus, + = hyvä ominaisuus, -- = merkityksetön ominaisuus						

KUVA 10. Voiteluaineen tehtäviä erityyppisissä voitelukohteissa (Blom ym. 2001, 167.)

Voiteluaineiden yhteensopivuutta voitelukohteessa käytettävien materiaalien kanssa on myös syytä tarkastella, sillä jotkin öljyt tai lisäaineet eivät sovi tiettyjen materiaalien kanssa yhteen. (Vihersalo 2023.)

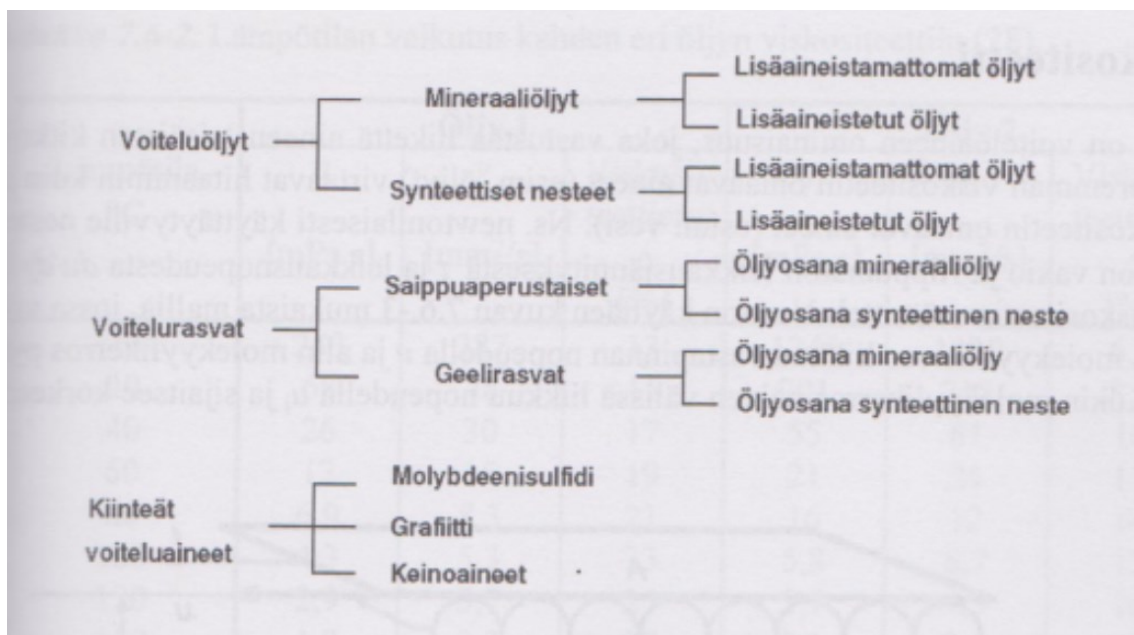
3.4 Voiteluaineet

Voiteluaine on olennainen osa laitteen toiminnassa. Voiteluaineeksi sopii lähes mikä tahansa kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa olomuodossa oleva juokseva materiaali. Voiteluaineen tehtävänä on muodostaa voiteluainekalvo kahden toisiaan vastaan liikkuvien pintojen välille, pienentää kitkaa, vähentää kulumista, jäähdyttää, estää korroosiota, tiivistää sekä poistaa ei-toivottuja partikkeleita. Voitelukohteessa vallitsevat olosuhteet, kuormitukset sekä liukunopeudet määrittelevät voiteluaineiden sopivuuden. (Kivioja ym. 2007, 170; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 49.)



KUVA 11. Eri voiteluainetyyppien soveltuvuus liuku- ja vierintälaakereiden nopuden ja kuormituksen suhteen (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 49.)

Voiteluainetarkoituksiin yleisesti käytettävät aineet jaotellaan kuvan 12 mukaisesti.



KUVA 12. Voiteluaineiden ryhmittely (Kivioja ym. 2007, 171.)

3.4.1 Mineraaliöljyt

Mineraaliöljyt ovat monimutkaisia hiilivetyjä ja ne valmistetaan raakaöljyistä. Maaperästä porattava raakaöljy ei ole sellaisenaan käyttökelpoinen tuote, vaan sitä pitää jalostaa. Öljynjalostamossa

raakaöljy puhdistetaan, kuumennetaan kaasuuntumislämpötilaan ja johdetaan jakotislaustorniin. Tornissa oleva öljykaasu jäähdytetään, jolloin öljyssä olevat jakeet tiivistyvät kiehumispisteiden mukaisessa järjestyksessä alhaalta ylöspäin:

- -raskas polttoöljy
- -kevyt polttoöljy
- -petroli
- -bensiini
- -nestekaasu.

Tornin pohjalle jäävät raskaat jakeet, jotka eivät höyrysty tislauslämpötilassa. Nämä jakeet ohjataan alipainetislaukseen, jossa voiteluöljyjen perusöljyt erottuvat. Perusöljyt johdetaan lopuksi erityisjalostukseen, johon kuuluu esimerkiksi vahanpoisto, liuotinkäsittely sekä kemiallinen puhdistus. Lopuksi perusöljyihin sekoitetaan lisäaineita, joilla luodaan voiteluöljyille käyttötarkoitusten edeltämät ominaisuudet. Perusöljyjen jalostusta on pyritty kehittämään siten, että öljyillä olisi suppeampi viskositeetin lämpötilariippuvuus ja parempi hapettumisenkesto sekä pumpattavuus. (Kivioja ym. 2007, 176; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 55; Mobil Oil 1997, 4–5.)

Raakaöljyjen koostumukset voivat vaihdella lähdekohtaisesti. Perusöljyjen jalostukseen pyritään valitsemaan kemiallisesti sopivimmat ominaisuudet omaavat raakaöljyt. Hyviä ominaisuuksia ovat pieni aromaattipitoisuus, pieni rikkipitoisuus sekä stabiilisuus. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 55.)

Mineraaliöljyn hiilivetykoostumus vaikuttaa mm. tiheyteen, viskositeettilämpötilariippuvuuteen sekä jähme- ja leimahduspisteeseen. Tärkeimmät hiilivetytyypit ovat

- parafiiniset (tyydytettyjä ketjumaisia), (C_P)
- nafteeniset (tyydytettyjä rengasrakenteisia), (C_N)
- aromaattiset (tyydyttämättömiä rengasrakenteisia), (C_A)

Perusöljytyypin valintaan vaikuttaa voiteluaineen käyttökohde sekä tuotteelle haluttavat ominaisuudet. Valtaosa mineraaliöljyistä on tehty parafiinisista perusöljyistä. Hiilivetyjen parafiinisuuden ja nafteenisuuden eroavaisuudet aiheuttavat lopputuotteelle erilaisia ominaisuuksia. Niiden eroavaisuuksia voi nähdä kuvassa 13. Aromaattisia hiilivetyjä on yleisesti

perusöljyissä alle 10 % sillä suurina pitoisuuksina ne ovat haitallisia. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 55.)

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

KUVA 13. Parafiini- ja nafteenipohjaisten öljyjen ominaisuuksia (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 55.)

Hyvällä mineraaliöljyllä on tasapainoiset ominaisuudet, kuten lisäaineiden liukenevuus sekä niiden vaikutuksen tehokkuus sekä sopivuus laitteessa käytettäviin materiaaleihin, kuten tiivisteisiin. Mineraaliöljyjen voiteluominaisuudet ovat riittävät normaaleissa käyttölämpötiloissa, mutta kylmät sekä kuumat olosuhteet luovat haasteita sillä mineraaliöljyjä on haastavaa valmistaa siten, että voiteluominaisuudet pysyisivät riittävinä molemmissa ääripäissä. (Sorsa 2015, 233.)

3.4.2 Synteettiset öljyt

Synteettiset voiteluaineet on kehitetty toimimaan olosuhteissa, joissa mineraalipohjaiset voiteluaineet eivät enää selviydy voitelukohteen asettamista vaatimuksista halutulla tavalla. Synteettiset voiteluaineet ovat hyvä valinta kohteisiin, joissa on esimerkiksi erittäin korkeat tai matalat lämpötilat, raskaat kuormitukset ja tiukat ympäristövaatimukset. Synteettiset perusöljyt valmistetaan tarkoin valvotun kemiallisen menetelmän avulla raakaöljyistä ja luonnonkaasuista lämpökrakkauksen avulla saaduista perusaineista. Tämän ansiosta synteettisillä perusaineilla on täysin hallittu molekyyli rakenne ja ennalta määrätyt voiteluominaisuudet. (Blom ym. 2001, 165; Kivioja ym. 2007, 179; Mobil Oil 1997,6; Schmidt ym. 1985, 13.)

Voiteluominaisuudet juontuvat perusöljyn fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista sekä käytettävistä lisäaineista. Perusöljyn ominaisuudet määräävät suurelta osin valmiin voiteluaineen viskositeetti ja lämpötilakäyttytymisen, jähmepisteen, kiehumispisteen, juoksevuuden alhaisissa lämpötiloissa, lisäaineiden liukenevuuden, sekoitettavuuden mineraaliöljyihin sekä vaikutuksen

maaleihin ja tiivisteisiin. Lisäaineilla taas vaikutetaan korroosionestoon, hapettumisenkestävyyteen, kuormankantokykyyn ja haihtuvuuteen. (Kivioja ym. 2007,182.)

Synteettiset perusöljyt voidaan luokitella seuraavasti:

Synteettiset hiilivedyt

- polyalfaolefiinit
- alkyloidut aromaattit

Orgaaniset esterit

- kaksiarvoiset happoesterit
- polyoliesterit

Muut

- polyglykolit
- fosfaattiesterit
- silikaatit
- silikonit
- polyfenyylietterit
- fluorihilivedyt

Seokset

- Edellä mainittujen nesteiden seoksia, jotka saattavat sisältää pieniä määriä mineraaliöljyä. (Mobil Oil 1997, 6.)

Polyalfaolefiinit soveltuvat hyvin lähes kaikkien voiteluaineiden valmistukseen, sillä niillä on hyvät viskositeettiominaisuudet kylmissä ja kuumissa olosuhteissa sekä hyvä hapettumisenestokyky lisäaineistettuna. Yleisimpiä käyttökohteita ovat hydraulioöljyt, kompressorioöljyt, rasvojen perusöljyt ja kiertovoiteluöljyt. Alkyylibentseenejä taas käytetään jäähdytyskompressoreissa, värimetallien valssauksessa sekä sähköneristeinä niiden hyvän liukoisuuden vuoksi. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013,58.)

Suihkuturbiineissa suositaan diestereitä, sillä niillä on hyvät lämpötila-viskositeetti ominaisuudet ja vähäinen höyrystyminen. Polyoliestereitä käytetään suihkuturbiinien lisäksi lämmönsiirtonesteinä, biohajoavina hydraulioöljyinä sekä korkeita lämpötiloja sietävien rasvojen perusöljyinä. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013,58.)

Fosforihappoja käytetään vaikeasti syttyvinä hydraulinesteinä, höyryturbiinien säätäjien kiertoöljyinä ja ilmailussa, sillä ne reagoivat heikosti hapen kanssa. Fosforihappoja käytettäessä tulee ottaa huomioon, että ne muodostavat myrkyllisiä yhdisteitä kuumetessaan. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 58.)

Polyglykoleja on vesiliukoisia sekä veteenliukenemattomia. Vesiliukoisia polyglykoleja käytetään esimerkiksi jäähdytysnestekompressoreissa ja vaikeasti syttyvinä hydraulinesteinä. Veteenliukenemattomia polyglykoleja käytetään esimerkiksi hiilivetykompressoreissa, kuumien laakereiden voiteluissa ja erikoisrasvojen perusöljyinä, sillä niillä on hyvät viskositeetti- ja kitkaominaisuudet. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 59.)

Silikoniöljyjä käytetään esimerkiksi lämmönsiirtoon, muovien voiteluun, hydraulisiin erikoisjärjestelmiin sekä rasvojen perusöljyinä ilmailutuotteissa. Polyalfaolefiinit, alkyloidut aromaattit, polyolierit, polyglykolit, kaksiarvoiset happoesterit ja fosfaattierit muodostavat yli 90 % osuuden kaikista maailman voiteluöljyistä. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 59; Mobil Oil 1997, 6.)

3.4.3 Voitelurasvat

Voitelurasvat koostuvat perusöljystä sekä siihen huonosti liukenevasta saentimesta sekä lisäaineista. Lisäaineilla pyritään parantamaan voitelurasvan voiteluominaisuuksia, suorituskykyä sekä kestoikää. Voitelurasvat saennetaan kiinteiksi tai puolijukseviksi. Voitelurasvoilla on paremmat tiivistysominaisuudet kuin voiteluöljyillä kiinteytensä ansiosta. Voitelurasvojen voitelumekanismit ovat kuitenkin huomommin tunnettuja kuin voiteluöljyjen. (Kunnossapitoyhdistys, kunnossapitoyhdistys Promaint ja voitelutekniikan toimikunta 2010, 5, 9; Sorsa 2015, 241.)

Suurin osa voitelurasvoista valmistetaan saippuointiprosessin avulla. Prosessissa perusöljyihin lisätään rasvahappoja sekä metallihydroksideja, jonka jälkeen seoksesta poistetaan vesi ja lämpötilaa nostetaan reaktion aikaansaamiseksi. Lopuksi massa jäähdytetään tarkkaan määrätetyissä lämpötilasykleissä. Kun massa on jäähtynyt haluttuun lämpötilaan, lisätään siihen perusöljyjä sekä tarvittavia lisäaineita. Kovuus säädetään haluttuun NLGI-luokkaan (National Lubricating Grease Institute) jonka jälkeen tuote homogoidaan ja suodatetaan ja siitä poistetaan ilma. Lopuksi tuote pakataan. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010,35.)

Perusöljy muodostaa yleensä noin 90 % rasvan koostumuksesta. Perusöljyllä on suuri merkitys rasvan voiteluominaisuuksiin ja rasvaa lähdetäänkin usein valitsemaan etsimällä perusöljytyyppi, jonka viskositeetti on yhtä suuri kuin vastaavaan öljyvoideltuun kohteeseen valittavan voiteluöljyn viskositeetti. Rasvan jäykkyys valitaan voitelukohteen perusolosuhteiden mukaan. Valintaan vaikuttavat kohteen lämpötila, voitelun toteutustapa, geometria sekä värähtelyt. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010,6.)

Voitelurasvoja on mineraali- synteettis- silikoni- ja fluoriöljyperusteisia. Taloudessa käytetään yleisimmin mineraaliöljyperusteisia rasvoja. Synteettisöljyperusteiset rasvat omaavat korkeamman viskositeetti-indeksin kuin mineraaliöljypohjaiset. Synteettisiä rasvoja käytetään, kun halutaan käyttää rasvoja kylmissä sekä kuumissa olosuhteissa, sillä ne takaavat kylmissä olosuhteissa voitelurasvalle alhaisemman kitkan ja lämpimissä olosuhteissa paremman suorituskyvyn. Silikoni- ja fluoriöljypohjaisia voitelurasvoja käytetään, kun halutaan voidella yli 200 °C:n lämpötiloissa olevia laitteita. Niiden käytössä tulee kuitenkin huomioida niihin liittyviä erikoisvaatimuksia. Silikoniöljypohjaiset rasvat muun muassa heikentävät maalien tarttumista ja fluoriöljypohjaiset voiteluaineet vaativat voideltavien pintojen erityistä puhtautta, jotta rasva tarttuu voideltaville pinnoille. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 6.)

Saentimet muodostavat toisen puolen voitelurasvan koostumuksesta. Saentimina käytetään metallisaippuuita, jotka ovat emäksen muodostamia suolia, metallikompleksisaippuuita, jotka ovat emäksen ja kahden tai useamman rasvahapon yhteisiä tuotteita, orgaanisia ei-saippuayhdisteitä, jotka ovat usein polyureakuituja tai hienojakoisia polytetrafluorietylenejä sekä epäorgaanisia yhdisteitä kuten bentoniittisavea. Saennintyyppit ovat toiminnoiltaan sekä ominaisuuksiltaan erilaisia, joten saennintyyppi valitaan rasvan käyttötarkoituksen mukaan. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 6.)

Litiumrasvoilla on erinomainen leikkautumisenkestävyys, tiivistymisominaisuudet, hyvä lämpötilankesto, vedensieto- ja korroosionestokyky. Niitä käytetäänkin valtaosassa öljyvoideltavissa kohteissa laajan käyttölämpötila-alueen sekä lisäaineistuksen mahdollisuuden takia. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 6.)

Kalsiumrasvat eivät emulgoidu helposti veden kanssa sekä kestävät suhteellisen hyvin kylmissä olosuhteissa. Maksimikäyttölämpötila niille on 90 °C:n tasolla. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 7.)

Kompleksisaentimiin perustuvat rasvat kestävät korkeampia toimintalämpötiloja sekä vettä kuin perinteiset saippuarasvat. Näillä rasvoilla päästään noin 150...170°C:een käyttölämpötiloihin. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 7.)

Orgaanisia saentimia käytetään, kun voitelurasvalta vaaditaan hyviä veden- ja lämmönkestomaisuuksia. Näin voiteluaineelle saadaan taattua pitkä elinikä vaativissakin käyttöolosuhteissa. Pitkää elinikää hyödynnetään esimerkiksi kertavoidelluissa laakereissa, joihin ei lisätä voiteluainetta sen eliniän aikana. Polyurearasvojen pumpattavuus on usein huonompaa kuin saippuarasvojen, minkä vuoksi niiden hyödyntäminen keskusvoitelujärjestelmissä on rajoitettua. Fluoriöljyillä voidaan saavuttaa jopa 250 °C:n käyttölämpötila, mutta niiden käyttöä rajoittaa erittäin korkea hinta. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 7.)

Epäorgaanisten saentimien paras ominaisuus on niiden kyky vastustaa olomuutoksia ja kestää laajoja lämpötila-alueita. Tämä johtuu siitä, että niiltä puuttuu kokonaan sulamispiste. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 7.)

3.4.4 Kiinteät voiteluaineet ja kasviöljyt

Kiinteitä voiteluaineita kuten molybdeenidisulfidia, grafiittia, polytetrafluorietyleenä, polyetyleenä sekä jotain keinoaineita käytetään äärimmäisissä käyttöolosuhteissa, joissa nestemäisillä voiteluaineilla ei enää päästä tyydyttäviin tuloksiin. Tällaisia käyttöolosuhteita ovat esimerkiksi hyvin korkeat sekä alhaiset käyttölämpötilat, suuret ominaiskuormitukset, hyvin pienet liukunopeudet sekä syövyttävät tai säteilyalaiset olosuhteet. Myös hygieniavaatimukset voivat olla määräävänä tekijänä kiinteiden voiteluaineiden käytössä. (Blom ym. 2001, 166; Kivioja 1994, 83–84.)

Kasviöljyt ovat triglyseridejä ja luonnon estereitä ja niitä käytetään raaka-aineina biohajoavissa voiteluaineissa. Kasviöljyt valmistetaan yleisesti rypsiöljystä, mutta myös esimerkiksi rapsiöljyä käytetään. Kasviöljyn hyviä ominaisuuksia ovat hyvä voitelukyky, korkea viskositeetti-indeksi, hyvä leikkautumisenkestävyys, korkea leimahduspiste, hyvät kitkaominaisuudet sekä biohajoavuus. Rypsiöljyt sopivat lisäksi usein käytettäväksi mineraaliöljyjen kanssa, jolloin niitä voidaan sekoittaa tarvittaessa keskenään, jolloin järjestelmää ei yleensä tarvitse huuhdella siirryttäessä

mineraaliöljystä rypsiöljyyn. Kasviöljyjen huonoja ominaisuuksia taas ovat heikko hapettumisenkesto, pysyvä jähmettyminen kylmässä, käyttöiän lyhyys, käyttölämpötilojen rajoittuneisuus ja hartsintuminen koneiden pinnoille. (Blom ym. 2001, 164–165; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 59.)

3.5 Lisäaineet

Lisäaineiden tehtävänä on parantaa voiteluaineen toimintaa. Parannettavia kohteita ovat esimerkiksi suorituskyvyn parantaminen, epäpuhtauksien jakauttaminen, voideltavien pintojen suojeleminen ympäristön kanssa tapahtuvilta reaktioilta sekä voiteluaineen eliniän jatkaminen. Lisäaineet toimivat fysikaalisesti tarttumalla voideltaviin pintoihin tai kemiallisesti reagoimalla pintojen kanssa ja luoden näin uuden yhdisteen. Useilla lisäaineilla on monia eri ominaisuuksia, jolloin ne voivat auttaa useammissa tilanteissa. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 60.)

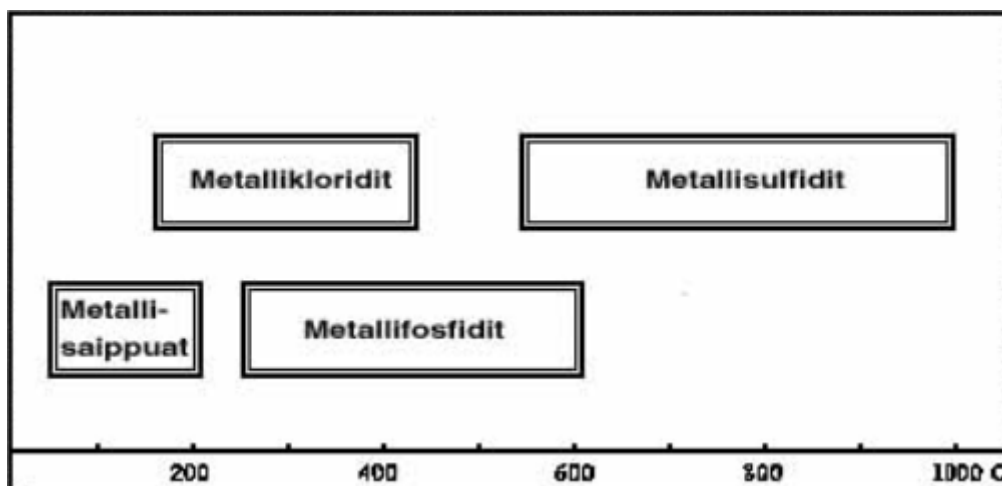
3.5.1 Kulumisenestolisäaineet

Kulumisenestolisäaineita (AW, anti wear) lisätään lähes jokaiseen voiteluaineeseen, jotka tulevat toimimaan puhtaan hydrodynaamisen voitelun alueen ulkopuolella. Yleisimmin käytettäviä aineita ovat sinkkiditiofosfaatit, rikki- ja fosforiyhdisteet sekä amiinit. AW-lisäaineet toimivat reagoimalla paljastuneen metallipinnan kanssa ja luomalla pinnoille kemiallisia kerroksia, jotka leikkautuvat itse metallia helpommin. Näin saadaan vähennettyä kosketuksissa olevien liikkuvien pintojen kulumista. Koska kerrokset poistuvat leikkautuessaan, on AW-lisäaineiden häviäminen yksi voiteluaineen vanhenemisen syistä. (Kivioja ym. 2007, 176; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 60.)

3.5.2 Paineenkestolisäaineet

Paineenkestolisäaineita (EP, extreme pressure) tarvitaan rajusti kuormitettaville kohteille tarkoitetuissa voiteluaineissa. Yleisimmin käytettäviä aineita ovat rikki-, fosfori- ja typpiyhdisteet sekä orgaaniset yhdisteet. Myös monilla kulumisenestolisäaineilla kuten sinkkiditiofosfaatilla on EP-ominaisuuksia. Lisäaine toimii muodostamalla metallipinnan kanssa kerroksen, joka pienentää kitkaa ja vähentää metallipintojen kulumista pintojen ollessa suurien paikallisten pintapaineiden

muodostamassa korkeassa lämpötilassa. Näin saadaan kasvatettua voiteluaineen kuormankantokykyä. Koska EP-lisäaine aktivoituu sille ominaisessa lämpötilassa, on kosketuskohdan lämpötilan noustava tähän, jotta reaktio käynnistyy ja voiteluainekalvo muodostuu. Paineenkestolisäaineiden toimintalämpötiloja on esitetty kuvassa 14. (Kivioja ym. 2007,177; Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 61.)



KUVA 14. Paineenkestolisäaineet ja niiden toimintalämpötilat °C (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 62.)

3.5.3 Viskositeetti-indeksin parantajat

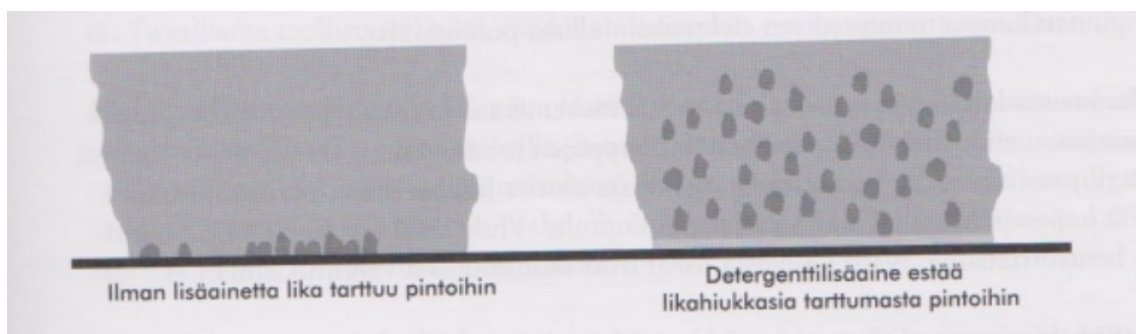
Viskositeetti-indeksin parantajat (VI-lisäaineet) ovat öljyyn liukenevia polymeerimolekyylejä, jotka ”avautuvat” ja hidastavat öljyn ohenemista lämpötilan kasvaessa estämällä öljymolekyylien vapaan liikkumisen kyseisessä tilanteessa. Näin saadaan voiteluaineita, joiden viskositeetti ei ole niin riippuvainen lämpötilasta. Tällaisia voiteluaineita tarvitaan, kun halutaan hyvät käynnistys- ja kitkaominaisuudet kylmissä olosuhteissa sekä hyvä voiteluainekalvon muodostuskyky korkeissa lämpötiloissa. Polymeerin käyttäytymistä lämpötilan kasvaessa on havainnollistettu kuvassa 15. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 62.)



KUVA 15. Polymeerin käyttäytyminen lämpötilan muuttuessa (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 63.)

3.5.4 Detergentit

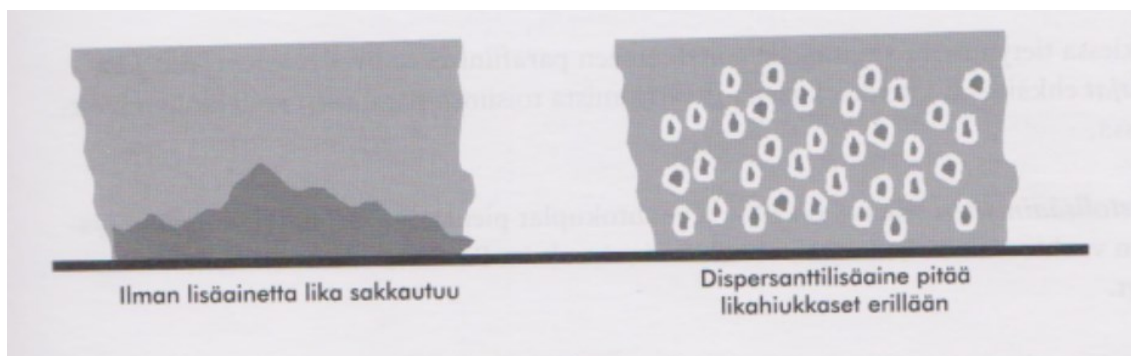
Detergentit ovat yleensä natriumin, kalsiumin tai magnesiumin yhdisteitä ja niitä käytetään erityisesti moottori- ja hydraulikkaöljyjen lisäaineina. Detergentit ovat pinta-aktiivisia ja niiden tehtävänä on pitää koneenosien pinnat puhtaina. Detergenttien toimintaa on kuvattu kuvassa 16. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 63.)



KUVA 16. Detergenttilisäaineen toimintaperiaatteet. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 63.)

3.5.5 Dispersantit

Dispersantit eli jakauttaja-aineet toimivat muodostamalla öljyyn seonneiden partikkeleiden ympärille kalvoja, jotka estävät partikkeleita tarttumasta toisiinsa. Näin öljyn seassa oleva lika pysyy pieninä hiukkasina eikä aiheuta sakkaumia tai kerrostumia koneenosien pintaan. Dispersantteja käytetään erityisesti moottoriöljyissä, mutta myös teollisuusvoiteluaineissa. Dispersanttien toimintaa on kuvattu kuvassa 17. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 63.)



KUVA 17. Dispersanttilisäaineen toimintaperiaate. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 63.)

3.5.6 Hapettumisenestolisäaineet

Hapettumisenestolisäaineet ovat yleisesti rikkiä ja fosforia sisältäviä yhdisteitä sekä amiineja ja fenolijohdannaisia. Hapettumisenestolisäaineilla pyritään hidastamaan voiteluaineen kemiallista vanhenemista estämällä happojen sekä liukenemattomien hapettumistuotteiden muodostumista voiteluöljyyn. Näin öljyn elinikää saadaan pidennettyä. Hapettumislisäaineiden merkitys on suurimmillaan korkeasti kuormitetuissa sekä korkeissa lämpötiloissa toimivissa koneissa, sillä korkea lämpötila on kriittisin olosuhde hapettumisen kannalta. Hapettumisenestolisäaineita käytetään polttomoottoreissa, kaasuturbiineissa, kompressoreissa, hammasvaihteissa sekä laitteissa, joiden öljytilavuudet ovat suuria. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 64.)

3.5.7 Korroosionestoaineet

Korroosionestoaineet suojaavat metallipintoja hapen ja kosteuden aiheuttamalta korroosiolta tarttumalla metallipintaan ja muodostamalla siihen kalvon, joka estää hapen ja kosteuden pääsyn kosketuksiin metallipinnan kanssa. Korroosiota muodostuu niin laitteen ollessa käynnissä kuin pysähdyksissäkin. Korroosiota voidaan estää fysikaalisesti sekä kemiallisesti. Fysikaaliset korroosionestoaineet tarttuvat polaarisisinä molekyyleinä metallipintaan, kun taas kemialliset reagoivat metallipinnan kanssa muuttaen sen elektrokemiallista potentiaalia.

Tyypillisiä korroosionestokemikaaleja ovat rikki- ja typpiyhdisteet sekä fosfori- ja karboksyylihappojen johdannaiset. Lisäksi voidaan käyttää metallipassivaattoreita kuten sinkkiditiofosfaatteja ja bentsotriatsolia, jotka estävät metallisten aineiden liukenemisen perusöljyyn sekä samalla hapen ja kosteuden pääsyn metallipinnoille. Useat pintojen kanssa reagoivat

lisäaineet saattavat toimia korroosion katalyytteinä, minkä takia korroosionestolisäaineet ovat tärkeitä lisäaineistuksen tasapainottamisessa. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 64.)

3.5.8 Kitkanalentajat

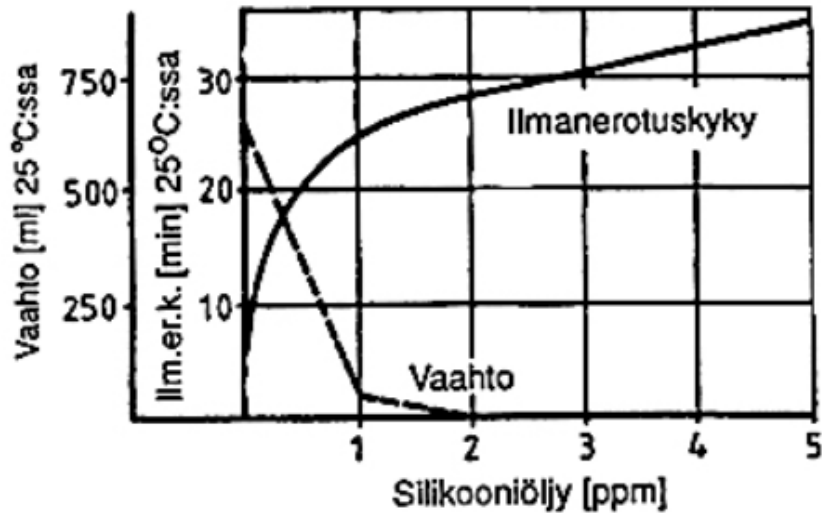
Kitkanalentajat (FM, friction modifier) kuten alkoholit, amiinit, amidit sekä hiilihapot alentavat kitkaa liikkuvien pintojen välillä etenkin, kun liikenopeudet ovat alhaisia, kuten käynnistys- ja pysäytysvaiheissa. Kitkanalentajien molekyyli rakenne koostuu yleensä polaarista ryhmistä sekä pitkistä suorista hiilivetyketjuista, jotka ovat vastakkaisissa päissä molekyyliä. Polaariset ryhmät adsorboituvat metallin pintaan ja hiilivetyketjut muodostavat kitkaa alentavan kalvon. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 64.)

3.5.9 Jähmepisteenalentajat

Jähmepisteenalentajat parantavat voiteluöljyn juoksevuutta kylmässä luomalla jäähtyneestä öljystä muodostuvien parafiinisten hiilivetykiteiden ympärille liukkaita kalvoja. Kalvot estävät kiteitä kasvamasta ja tarttumasta toisiinsa, jolloin öljyn juoksevuus pysyy ennallaan. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 64.)

3.5.10 Vaahtoamisenestolisäaineet

Vaahtoamisenestolisäaineilla pyritään rikkomaan voiteluöljyyn tulleita vaahtokuplia. Vaahtoaminen heikentää voiteluaineominaisuuksia, mutta vaahtonestolisäaineita ei silti tulisi lisätä jälkikäteen ilman öljyanalyysyä ja voiteluainevalmistajan lupaa. Vaahtoamisenesto sekä ilmanpoistokyky sekoitetaan usein toisiinsa. Vaahtoamisenestossa voiteluaineen vaahtoamisesta syntyneet kuplat eivät rikkoudu pintaan noustessaan, sillä öljykalvon pintajännitys on liian suuri, kun taas ilmanerotuksessa kuplat rikkoutuvat. Silikoniöljyt toimivat parhaiten vaahtoamisenestolisäaineina. Ilmanerotuskyvyn ja vaahtoamiskäyttämisen riippuvuussuhteita on kuvattu kuvassa 18. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 64–65.)



KUVA 18. Ilmanerotuskyvyn ja vaahtoamiskäyttäytymisen riippuvuussuhteet (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 65.)

3.5.11 Emulgaattorit

Emulgaattoreita käytetään erityisesti lastuamismestoinä käytettävissä voiteluaineissa sekä vesihydrauliikan korroosionestossa. Tavallisilta voiteluaineilta vaaditaan emulgoitumattomuutta, jolloin erikseen lisättäviä emulgaattoreita ei tarvita. Emulgaattoreina voidaan käyttää lukuisia eri kemiallisia yhdistelmiä. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 65.)

3.5.12 Biosidit

Biosidejä käytetään runsaasti vettä sisältävissä voiteluaineissa estämään elävien organismien kuten bakteerien, home- sekä sienikasvustojen syntymistä ja lisääntymistä. Bakterisideillä torjutaan bakteerien aiheuttamia mahdollisia terveysongelmia sekä ehkäistään bakteerien, hiivojen ja sienien aiheuttamaa korroosiota. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 65.)

3.5.13 Väriaineet

Väriaineita käytetään erottamaan eri tarkoituksiin käytettäviä voiteluaineita toisistaan, jolloin välttyään ylimääräisiltä sekaannuksilta. Väriaineiden lisäämisestä jälkikäteen voiteluaineisiin on syytä kysyä voiteluainetoimittajalta sekä laitevalmistajalta. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 65.)

3.6 Öljynäytteet

Öljynäytteillä saadaan tietoa öljyn kunnosta ja epäpuhtauksien määrästä. Näin tiedetään, mitä ennakoivia toimenpiteitä kannattaa suorittaa koneiden parhaan suorituskyvyn, luotettavuuden ja alhaisten käyttökustannuksien takaamiseksi. Öljynäytteitä käytetään varsinkin, kun halutaan saada tietoa suurien öljytilavuuksien kunnosta. Öljyn kuntoa tutkitaan joko aistinvaraisesti katsomalla, näkyykö öljyssä selviä epäpuhtauksia tai muutoksia, öljyn online-valvonnalla, kannettavalla hiukkaslaskimella käsiteltävillä öljynäytteillä tai laboratoriossa tehtävällä öljyanalyysillä. Käytettävä tapa riippuu esimerkiksi testattavien koneiden määrästä, näytteenottotiheydestä, näytteenottoyksikölle käytettävissä olevasta tilasta, näytteenoton kokonaiskustannuksista sekä järjestelmän kriittisyydestä. (Filtterteknik 2022.)

Onnistuneen öljynäytteen kannalta tulee tietää, kuinka näyte otetaan. Mahdollisimman luotettavan kuvan järjestelmän öljystä saa, jos näyte otetaan järjestelmän ollessa päällä, koneen ollessa käynnissä ja öljyn ollessa normaalissa käyttölämpötilassa. Mikäli se ei ole mahdollista, tulee näyte ottaa 20 minuutin sisällä laitteen pysähtymisestä. Paras paikka ottaa näyte on riittävän virtauksen omaavasta kohdasta, mielellään paluulinjasta, mutta kuitenkin ennen suodatinta. Lämmintä öljynäytettä siirretään puhtailla välineillä noin 150–230 ml hiukkasvapaaseen näytepulloon. Erikoisanalyysit saattavat tarvita enemmän näytettä, joten näytemäärä on hyvä tarkistaa laboratorion. (Fluidlab 2011.)

Öljynäytteen voi ottaa painelinjojen nipoista minimess-letkulla, säiliöstä imupumpulla tai suoraan paluulinjasta tai paluulinjan venttiilistä pulloon. Näyte tulisi ottaa jokaisella kerralla samalla tavalla, jotta tulokset olisivat mahdollisimman totuudenmukaisia. Näytettä ei tule ottaa pohjaventtiilistä tai kauhomalla säiliöstä, jotta vältetään likaisilta näytteiltä ja turhilta riskeiltä. Öljyanalyysin tulee sisältää vähintään öljyn hiukkasten määrän, vesipitoisuuden (ppm), viskositeetin, happamuusasteen (TAN) sekä spektrianalyysin, missä näkyvät kuluvat metallit ja lisäaineet. (Fluidlab 2011; Triple R 2024.)

3.7 Öljynvaihto ja vaihtovälin määrittely

Öljynvaihto kuuluu säännölliseen huoltoon. Käytössä öljyssä tapahtuu kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia ja sen sekaan pääsee epäpuhtauksia, mitkä heikentävät öljyn ominaisuuksia. Jotta

epäpuhtauksien haittavaikutuksilta välttyään, laitteissa käytetään korkealaatuisia niihin sopivia öljyjä, minkä lisäksi vaihtovälit pyritään pitämään optimaalisina. (Mobil Oil 1997, 22–24.)

Vaihtovälien määrittelyyn vaikuttavat öljyanalysien tulokset, voiteluaineen laatu, öljytilavuus, käyttöolosuhteet sekä voiteluainevalmistajan antamat suositukset. Suositukset annetaan yleisesti ihanneolosuhteille, jolloin ne eivät päde erikoisolosuhteissa. Mineraaliöljyillä on yleisesti lyhyemmät vaihtovälisuositukset kuin synteettisillä öljyillä, sillä synteettisillä öljyillä on korkealuokkaisempi perusöljy sekä lisäaineistus. Pienillä öljytilavuuksilla on usein pienemmät öljynvaihtovälit kuin suurilla öljytilavuuksilla, sillä epäpuhtaudet vaikuttavat pienessä volyymissä nopeammin kuin suuressa. (Mobil Oil 1997, 22–24.)

Vaihtovälejä pyritään pidentämään laadukkailla voiteluaineilla, oikeanlaisella öljyn käsittelyllä ja varastoinnilla, öljyn puhtaanapidolla, öljyanalyseillä, tilastanalyseillä sekä kokemusperäisen tiedon avulla. (Vihersalo 2023.)

3.8 Voiteluaineen valinta

Voiteluaineen valinta aloitetaan käyttökohteen vaatimusten kartoittamisella. Ensiksi tulee tietää, mitä laitteessa voidellaan, laitteen tehot, kuormitus ja sen luonne, käyttöikä, laitteen mahdollinen lämmitys tai jäähdytys, käytetyt materiaalit, tiivisteet, suodatus, voitelutilanne eli onko kyseessä raja-, neste- vai sekavoitelu sekä voitelutapa eli voidellaanko käsivoitelulla, automaattisella voitelujärjestelmällä vai jollain muulla tavalla. Ongelmallisimpia kohteita ovat vaihtelevat kuormitukset, jolloin samalla laitteella voidaan ajaa erilaisilla käyttömomenteilla ja nopeuksilla. Laitteen ollessa vanha tulee tarkistaa, ovatko sen geometriset mitat ja kunto muuttuneet käytön aikana. Voiteluaineen kulku kosketusalueelle on myös tärkeä tieto. Mikäli käytetään painevoitelua, tulee selvittää voiteluaineen paine-, virtaus- ja lämpötilatarpeet. Koneenosien ja tiivisteiden materiaalit voivat aiheuttaa yhteensopivuusongelmia käytettävien voiteluaineiden kanssa. Raja- ja sekavoitelutilanteissa voiteluaineelta vaaditaan hyviä kulumisenesto-ominaisuuksia. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 200; Vihersalo 2023.)

Seuraavaksi tutkitaan käyttöolosuhteita eli lämpötiloja, jähme- ja leimahduspistettä, tiheyttä, värähtelyitä, ympäristön puhtautta, kemikaaleja, nesteitä, kaasuja, elintarvike- ja ympäristövaatimuksia sekä voiteluaineen syttymisvaaraa. Lämpötila vaikuttaa suoraan

voiteluaineen viskositeettiin. Etenkin korkea lämpötila on kalvonmuodostumisen ja voiteluaineen käyttöiän kannalta oleellinen tekijä. Korkeat lämpötilat yhdessä kipinälähteen kanssa voivat aiheuttaa myös voiteluaineen syttymisvaaran. Vesi, ilma ja muut epäpuhtaudet aiheuttavat suuria ongelmia kuten korroosiota, vaahtoamista, hapettumista ja kulumista päästessään voiteluaineen joukkoon. Öljyllä tulee olla siis hyvä suodatettavuus tällaisissa olosuhteissa. Rasvavoitelun yhtenä ongelmana onkin epäpuhtauksien pysyminen järjestelmässä. Mikäli voideltava kohde on paikassa, jossa vuodon sattuessa voiteluainetta voi päästä luontoon, on syytä harkita biohajoavia voiteluaineita. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 200; Vihersalo 2023.)

Hyvältä voiteluaineelta vaaditaan oikeaa viskositeettia, viskositeetin pysymistä, hyviä kulumisenesto- ja korroosionesto-ominaisuuksia, hyvää vedenerottuvuutta, vaahtoamattomuutta sekä hyvää ilmanerottumista, hapettumisenkestävyyttä ja sopivuutta tiivisteiden kanssa. Oikean viskositeetin valintaan vaikuttaa voitelukohde, voitelukohteen geometriset mitat, liuku- tai pyörimisnopeudet, kuormitus, kuormituksen luonne, käynnistyslämpötila, käyttölämpötila ja maksimilämpötila. Käynnistysviskositeetti riippuu pumpputyypistä. Pumpunvalmistajat ovat antaneet eri pumpputyypeille ohjearvoja: mäntäpumput $200\text{--}800\text{ mm}^2/\text{s}$, siipipumput $500\text{--}1000\text{ mm}^2/\text{s}$ ja hammaspyöräpumput $800\text{--}1600\text{ mm}^2/\text{s}$. Viskositeetin valinnassa pyritään optimiviskositeettiin, jossa viskositeetti on mahdollisimman pieni pienen virtausvastuksen aikaansaamiseksi, mutta samalla riittävän suuri pumpun voitelun varmistamiseksi. Minimiviskositeettia taas pyritään välttämään, sillä siinä liikkuvien pintojen välille muodostuu niin pieni öljykalvo, että voitelukohteessa alkaa tapahtua metallin välisiä kosketuksia ja kulumisen nopeutuu. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 200; Sorsa 2015, 244; Vihersalo 2023.)

Kun vaatimukset ja olosuhteet on saatu kartoitettua, voidaan alkaa valitsemaan eri voiteluaineiden väliltä kohteelle sopivinta vaihtoehtoa. Voiteluaineen valinnan apuna voidaan käyttää voiteluteorioita ja laskea minimikalvonpaksuus, jolla haluttu voitelutilanne saavutetaan. Usein laitevalmistajat ovat kuitenkin antaneet omat vaatimuksensa ja jopa vaihtoehdot voiteluaineille. Ensimmäisenä valitaan voiteluainetyyppi, jonka jälkeen tarkastetaan, löytyisikö sopivaa voiteluainetta jo valmiiksi tehtaan tuotevalikoimasta. Öljy- ja rasvanimikkeiden pitäminen alhaisena on kannattavaa, sillä näin saadaan tehostettua voiteluaineiden kunnossapitoa. Mikäli valikoimasta löytyy sopiva, mutta kallis voiteluaine, katsotaan, voidaanko uuden öljynimikkeen lisäämistä listaan

rationalisoida. Lopullisen valinnan yhteydessä harkitaan, käytetäänkö rasva- vai öljyvoitelua, perusöljyn tyyppiä, viskositeettiluokkaa, tarvittavia lisäaineita, voitelutapaa sekä voiteluväliä. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2013, 201; Vihersalo 2023.)

Voiteluöljyä käytetään, kun halutaan hyvät jäähdytysominaisuudet, pienemmät energiankulutukset, helposti kontrolloitavat voiteluainemäärät, helpot öljynvaihdot, pitkää käyttöikää ja kykyä johtaa epäpuhtauksia pois järjestelmästä. Voiteluöljy on rasvaa yleisimmin käytössä tuotantolaitteissa. Sitä suositaan korkeille lämpötiloille sekä koneille, joissa on suuret nopeudet ja kitkat. Koska voiteluöljyä on useampaa, on tärkeää valita niistäkin sopivin vaihtoehto. (Castrol 2024; Vihersalo 2023.)

Mineraaliöljy on hyvä valinta kun:

- Lämpötila-alue on sopiva, eli noin $<70^{\circ}\text{C}$, jonka jälkeen käyttöikä lyhenee huomattavasti.
- Olosuhteet ovat stabiilit.
- Edullinen litrahinta parantaa kokonaistaloudellisuutta.

(Vihersalo 2023.)

Synteettinen öljy on hyvä valinta kun:

- Tarvitaan parempaa kestävyyttä korkeissa lämpötiloissa.
- Laitteet ovat ulkotiloissa.
- Haetaan pidempää elinikää laitteelle.
- Haetaan pienempää energiankulutusta.
- Haetaan säästöjä pitkällä aikavälillä.
- Haetaan pidempiä öljynvaihtovälejä.

(Vihersalo 2023.)

Biohajoavat öljyt ovat hyvä valinta kun:

- On vaarana, että öljyä pääsee luontoon.
- Halutaan pienentää CO₂-päästöjä.

(Jokela & Jokela 2023.)

Kovat voiteluöljyt ovat hyvä valinta kun:

- Nestemäisillä voiteluaineilla ei enää päästä tyydyttäviin tuloksiin.

- Käyttölämpötilat ovat erittäin korkeita tai matalia.
- Liukunopeudet ovat hyvin pieniä.
- Olosuhteet ovat syövyttäviä tai säteilyn alaisina.

(Blom ym. 2001, 166.)

Voitelurasvoja käytetään, kun halutaan voiteluaine, jolla on laaja käyttölämpötila-alue öljyihin verrattuna, hyvät käynnistys- ja pysäytysominaisuudet, määräänsä nähden pitkät voiteluvälit, voideltavassa kohteessa pysyminen ja hyvä tiivistyskyky. Voitelurasvoja hyödynnetään esimerkiksi vierintälaakereissa ja laitteissa, joiden elinikä alittaa rasvan eliniän, jolloin voiteluhuollolta vältytään kokonaan. (Vihersalo 2023.)

Toimivan voitelurasvan valinta vaatii käyttöolosuhteiden sekä voitelukohteen erikoisvaatimusten huomioimista. Rasvan perusöljyn viskositeettiluokan sekä tyyppin, lisäaineistuksen, voitelutavan ja määrän sekä voiteluvälin tulee sopia voitelukohteen vaatimuksiin. Rasvaa valittaessa katsotaan käyttölämpötilaa, pyörimisnopeutta, kuormitusta sekä muita ympäristöolosuhteita. Lisäksi tulee tarkistaa voitelurasvan yhteensopivuus tiivisteiden kanssa sekä ensitäyttörasvojen ja jälkivoitelurasvojen yhteensopivuus. Rasvan valintaan voi vaikuttaa myös esimerkiksi tehdasstandardit ja käytettävissä olevat resurssit. Lopulliseen rasvan ja jälkivoitelun valintaan vaikuttavat voideltavan kohteen poikkeusolosuhteet kuten korkea tai matala lämpötila, voimakas värähtely, pöly, roiske-, pesu- ja kondensiovesi, aggressiiviset prosessinesteet, alipainekohde, pysty akselikone, pyörivä ulkorengas ja keskipakovoimakuormitus, alhainen käyntivastusvaade sekä säteislaakeriin kohdistuva aksiaalikuormitus. (Kunnossapitoyhdistys ym. 2010, 13–14.)

4 VOITELUHUOLLON OPTIMOINTI STORA ENSOLLA

4.1 Alkukartoitus

Työ aloitettiin rajaamalla tutkittava alue voimalaitokseen sekä talteenottolinjaan. Alueilla olevista laitteista haluttiin selkeä lista, jonka avulla tehdaskierrokset sekä öljynvalinnat saatiin tehtyä tehokkaasti ja järjestelmällisesti. Alueilla olevat laitteet löytyivät SAP-järjestelmästä, josta otettiin muistiin niiden SAP-nimikkeet, käytössä olevat öljyt, öljyalaadut, öljymäärät sekä niiden vaihtovälit. Kerätyt tiedot kirjattiin Exceliin alueittain omille välilehdilleen. Työstä päätettiin jättää pois rasvavoideltavat laitteet, sillä niihin ei ollut tarvetta vaihtaa voiteluaineita.

Excel-tiedoston tarkoituksena oli luoda selkeä visuaalinen luettelo kaikista läpikäytävistä laitteista. Tehdaskierroksilla löydetyt tiedot haluttiin saada liitettyä SAP-järjestelmästä saatujen tietojen kanssa mahdollisimman helposti luettaviksi, jotta öljynvalintoja tehdessä ei tarvittavia tietoja tarvitse etsiä useasta paikasta. Eri toimenpiteitä tarvitsevat laitteet haluttiin myös pystyä erottelamaan ryhmiä siten, että niiden toimintopaikat olivat silti helposti löydettävissä.

4.2 Käytössä olevat öljyt

SAP Logoniin kirjattujen tietojen perusteella selvitettiin, olivatko laitteissa käytetyt öljyt mineraaliöljyjä vai synteettisiä öljyjä. Koska mineraaliöljyt haluttiin korvata ominaisuuksiltaan niitä vastaavilla synteettisillä öljyillä, oli niiden erittelyminen Excelillä erityisen tärkeää.

Tehtaan SAP-järjestelmän kirjanpito oli osittain puutteellista eikä kaikkiin laitteisiin ollut merkitty niissä käytettäviä öljyalaatuja tai määriä. Näistä laitteista tehtiin kysely kunnossapidolle ja he täyttivät puuttuvat tiedot Exceliin, mikäli se oli mahdollista. Lopuille laitteille pyrittiin etsimään puuttuvat tiedot arkistosta.

Laitteissa oli käytössä useita eri öljyjä niin Nesteen kuin Mobilinkin tuotevalikoimista. Yleisimmät käytössä olevat öljyt olivat Mobil SHC 630, Mobilgear 600 XP 220 ja Neste Industrial Gear S 220 EP. Toisena tavoitteena oli vaihtaa Nesteen öljyt Mobil-öljyiksi sekä vähentää öljynimikkeiden määrää. (SAP-järjestelmä 2023.)

Öljyjen vaihtovälit vaihtelivat kuudesta kuukaudesta kymmeneen vuoteen. Laitteille, joilla oli suuri öljytilavuus, ei ollut merkitty tarkkoja vaihtovälejä, vaan ne määräytyivät öljynäytteiden avulla. Vaihtovälejä haluttiin pidentää synteettisten öljyjen avulla sekä tutkimalla, olivatko nykyiset vaihtovälit turhan tiheitä. (SAP-järjestelmä 2023.)

4.3 Tehdaskierrokset

Tehdaskierroksilla pyrittiin selvittämään laitteissa olevien öljyjen käyttöolosuhteet sekä käyttölämpötilat ja vaihteiden käyttöasteet, jotta uusien öljylaatujen valitseminen olisi mahdollisimman optimaalista. Tehdaskierrokset suoritettiin osastoittain ja tulokset kirjattiin Exceliin. Kierroksilla löydettiin hitaasti pyöriviä vaihteita, raskaasti kuormitettuja vaihteita ja vaihteita, jotka olivat ulkona joko suojattuina tai ilman suojaa, sekä pölyisissä ympäristöissä olevia vaihteita. Kaikki nämä olosuhteet oli otettava huomioon uusien öljyjen valinnoissa, sillä ne vaikuttivat öljyiltä vaadittuihin ominaisuuksiin.

Kierroksilla löydettiin myös monta vaihdetta, joiden käyttöaste ei ollut selkeä. Näistä laitteista kysyttiin tarkennuksia kunnossapidon työntekijöiltä ja he merkitsivät puuttuvat tiedot Exceliin. Tehdaskierrosten jälkeen Mobilin yhteyshenkilö piti voiteluainekoulutuksen, josta sai hyvän käsityksen voiteluaineiden käytöstä sekä niiden vaikutuksista laitteen toimintoihin.

4.4 Uudet öljyt ja vaihtovälit

Uusia öljyjä lähdettiin valitsemaan kaikille laitteille, joissa oli joko mineraaliöljyä tai Nesteen öljyä. Laitteita, joille lähdettiin etsimään uutta öljyä, löytyi 137 kappaletta. Uusia öljyjä päädyttiin vertailemaan jo käytössä oleviin öljyihin, sillä jokaisen laitteen käyttöohjeen tutkiminen olisi ollut liian työlästä ja tiedettiin, että nykyiset öljyt olivat laitevalmistajan hyväksymiä. Öljylaatuja, jotka haluttiin vaihtaa toiseen, löytyi yhteensä 15 kappaletta. Eri öljynimikkeitä oli yhteensä 21 kappaletta. Käytössä olevista öljyistä kirjattiin ylös niiden ISO VG -luokitukset, viskositeetit 100 asteen sekä 40 asteen lämpötiloissa, leimahduspiste sekä jähmepiste. Näiden tietojen pohjalta lähdettiin etsimään samoja ominaisuuksia omaavia synteettisiä öljyjä Mobilin tuotevalikoimasta. Öljyn valintaan vaikuttivat myös öljyjen käyttöolosuhteet, kuten käyttöaste, lämpötila, vaiheen kuormitus sekä käyttökohteen pölyisyys.

Mobilin yhteyshenkilön avulla vanhoille öljyille saatiin rajattua alustavasti korvaavat öljyt vertaamalla öljyjen ominaisuuksia. Kun rajaukset oli tehty, lähdettiin laitelistaa läpikäymään järjestelmällisesti laitteiden käyttöolosuhteet huomioiden. Erityistä huomiota kiinnitettiin likaisiin, kylmiin ja kuumiin olosuhteisiin sekä kuormituksiin. Lähes jokaiseen laitteeseen sopi suoraan vanhaa öljylaatua vastaava uusi öljylaatu, mutta muutamaankin hankalammissa olosuhteissa olevaan laitteeseen valittiin ominaisuuksiltaan parempi öljy, jotta öljyn toimivuus oli taattu. Laitteissa eniten käytetty vaihdettava öljylaatu oli Neste Industrial Gear S220. Se korvattiin suurimmaksi osaksi Mobilin SHC 630:lla. Näiden kahden ominaisuudet ovat hyvin lähellä toisiaan:

ISO VG:

Neste Industrial Gear S220 = 220

Mobil SHC 630 = 220

Leimahduspiste:

Neste Industrial Gear S220 = 238°C

Mobil SHC 630 = 220°C

Jähmepiste:

Neste Industrial Gear S220 = -48°C

Mobil SHC 630 = -48°C

Viskositeetti-indeksi:

Neste Industrial Gear S220 = 158

Mobil SHC 630 = 169

Viskositeetti 40°C:ssa:

Neste Industrial Gear S220 = 220mm²/s

Mobil SHC 630 = 220mm²/s

Viskositeetti 100°C:ssa:

Neste Industrial Gear S220 = 26,5mm²/s

Mobil SHC 630 = 28,5mm²/s (Mobil Oil 2024; Neste Oil 2024.)

Uusia öljyjä valittaessa myös jo ennestään Mobilin synteettistä öljyä sisältävät laitteet käytiin läpi, sillä haluttiin tarkistaa voisiko öljynimikkeitä vähentää vaihtamalla myös niihin yleisimmin käytettävä öljy. Öljyvalintojen jälkeen 21 eri öljyalaadusta jäljelle jäi 14, mikä on huomattava parannus. Listasta löytyi myös muutama vanha laite, jotka poistettiin SAP-järjestelmästä.

Lopuksi laitteille määritettiin uudet vaihtovälit. Mikäli laitteessa oli yli kaksi litraa öljyä ja se oli alle 10 % vuodesta käynnissä, asetettiin sille 10 vuoden vaihtovälit. Alle kahden litran tilavuuksille asetettiin vaihtoväliksi viisi vuotta. Normaaliolosuhteissa oleville laitteille, joissa oli yli kaksi litraa öljyä, ja jotka olivat käynnissä koko vuoden, asetettiin viiden vuoden vaihtovälit. Mikäli laitteen öljytilavuus oli alle kaksi litraa tai olosuhteet haastavat, asetettiin laitteelle kuuden kuukauden, vuoden tai kolmen vuoden vaihtovälit. Isoista öljytilavuuksista otetaan öljynäytteet, joista nähdään, kun öljy on vaihtokunnossa.

4.5 Kustannuslaskenta

Kustannuslaskennalla haluttiin saada selkeys siihen, olisivatko öljynvaihdot kannattavia. Laskelmissa keskityttiin vaihtovälien pidentämisen kannattavuuteen sekä niiden ja öljyalaatujen vaihtamisesta saatujen mahdollisten säästöjen suuruuteen. Laskuista jätettiin pois laitteet, joille ei löytynyt tarpeeksi ennakkotietoja sekä laitteet, joiden öljynvaihdot määräytyvät öljynäytteiden mukaan. Näin ollen laskut ovat vain suuntaa antavia. Tarkasteluväliksi valikoitui kymmenen vuotta, sillä suurimmat vaihtovälit olivat sen suuruisia eikä tilannetta haluttu lähteä katsomaan turhan pitkälle.

Laskelmat aloitettiin etsimällä kaikille käytössä oleville ja käyttöön tuleville öljyille litrahinnat. Seuraavaksi kunnossapidon henkilöstö antoi omat aika-arviot öljynvaihdolle. Laskemisen helpottamiseksi öljynvaihtojen aika-arviot jaoteltiin litratilavuuksien avulla viiteen ryhmään. Yhdellä henkilöllä menisi arvioiden mukaan yksi tunti vaihtaa 0–5 litraa öljyä, kaksi tuntia vaihtaa 5–50 litraa öljyä, neljä tuntia vaihtaa 50–200 litraa öljyä, kuusi tuntia vaihtaa 200–500 litraa öljyä sekä yli päivä vaihtaa yli 500 litraa öljyä. Aika-arvioihin sisällytettiin tukityöt, kuten työkalujen sekä öljyjen paikalle vienti ja sieltä taas poistaminen. Koska kaikki yli 500 litran omaavat laitteet olivat öljynäytteiden alla, jätettiin ne pois laskuista. Vaihtotunnille asetettiin hinta-arvio, jota käytettiin laskuissa. (Kunnossapidon henkilökunta 2024.)

Seuraavaksi jokaiselle laitteelle laskettiin öljynvaihtohinnat kymmenen vuoden säteellä nykyisillä öljyillä ja vaihtoväleillä sekä uusilla öljyillä ja vaihtoväleillä. Summat saatiin kertomalla öljyn litrahinta litramäärällä sekä lisäämällä siihen vaihdosta tulevat tuntihinnat ja lopuksi kertomalla saatu summa vaihtojen määrällä. Näin saatiin laskettua nykyiset sekä muutosten myötä tulevat kustannukset kymmenen vuoden säteellä ja ne erottamalla toisistaan päästiin tulokseen, josta nähtiin voittoa kertyvän kymmenen vuoden aikana huomattavan paljon, mikäli öljyalaadut sekä vaihtovälit muutetaan ehdotetusti. Tarkka summa on salassapidon takana. Saatu summa ei tosin ole täysin todellinen, sillä laskut suoritettiin siten, että jokaiselle laitteelle olisi vaihdettu öljyt heti ensimmäisenä vuonna. Näin ei tulla kuitenkaan tekemään, sillä öljyjä ei haluta vaihtaa turhaan liian aikaisin ja näin aiheuttaa hukkaa. Uudet öljyt tullaan vaihtamaan laitteisiin niille suunniteltuina seuraavina öljynvaihtoaikoina.

Kustannuslaskelmilla saatiin siis selville, että mineraaliöljyjen vaihtaminen synteettisiin öljyihin ja vaihtovälien pidentäminen on kannattavaa. Uusia vaihtovälejä voidaan vielä tulla muuttamaan, mikäli öljynvaihtotilanteissa huomataan öljyjen olevan edelleen tarpeeksi hyvässä kunnossa, jotta niiden käyttöä voitaisiin jatkaa tai puolestaan jo liian huonoon kuntoon päässeitä, jolloin niiden vaihtoa tulisi aikaistaa. Öljyvaihtojen määrää kymmenessä vuodessa saatiin laskettua 55 prosenttia.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli voiteluhuollon kehittäminen sekä öljylaatujen valinta ja vaihtovälien optimointi. Tällä hetkellä Stora Enso käyttää voiteluun mineraaliöljyä sekä synteettisiä öljyjä. Toimittajina toimivat Neste ja Mobil. Öljynvaihtovälit liikkuvat kuuden kuukauden ja kymmenen vuoden välillä. Öljytilavuudeltaan suurien laitteiden öljynvaihdot tehdään öljynäytteiden perusteella. Opinnäytetyön tavoitteena oli vaihtaa mineraaliöljyt synteettisiksi öljyiksi siten, että kaikki öljyt saataisiin tilattua Mobililta. Toisena tavoitteena oli optimoida vaihtovälit ja saavuttaa näin mahdollisimman taloudellisesti kannattava tilanne voiteluhuollon avulla.

Opinnäytetyö aloitettiin etsimällä SAP-järjestelmästä voimalaitoksella sekä talteenottolinjalla olevat laitteet sekä kirjaamalla niiden nimet, toimintopaikat, öljynimikkeet, öljytilavuudet sekä vaihtovälit Exceliin, mikäli tarvittavat tiedot olivat saatavilla. Jokaiselle osastolle tehtiin oma sivu, jolloin tehdaskierrokset oli helppo suorittaa yksi osasto kerrallaan. Tehdaskierroksilla merkittiin ylös jokaisen laitteen käyttöolosuhteet, käyttöasteet sekä öljyjen lämpötilat. Nämä tiedot vaikuttavat tuleviin öljynvalintoihin. Tehdaskierroksella löytyi muutama kohde, joiden käyttöasteista ei saatu varmuutta ja niistä tehtiin kysely tehtaan kunnossapidolle. Kyselyyn lisättiin myös pyyntö lisätä puuttuvat öljyalaadut Exceliin. Kun kaikki tiedot oli täytetty Exceliin, jaoteltiin sieltä kaikki mineraaliöljyjä sekä Nesteen öljyjä sisältävät laitteet omalle välilehdelleen, jotta uusien öljylaatujen valitseminen näille laitteille olisi mahdollisimman sujuvaa.

Seuraavana vuorossa oli Exxon Mobilin yhteyshenkilön pitämä voiteluainekoulutus, josta sai hyvää pohjaa voiteluaineiden toiminnan ja tärkeyden ymmärtämiseen. Voiteluaineen valintaan vaikuttaa moni asia kuten öljyalaadut, käyttöolosuhteet, käyttölämpötilat, käyttöasteet, viskositeetti sekä muut tribologian osa-alueet. Nämä asiat tuleekin sisäistää ennen öljyvalintojen tekoa, joten niihin on pyritty perehtymään oppikirjojen, internetlähteiden sekä videoiden avulla.

Excel-tiedostoon kertyi 137 laitetta, jotka tarvitsivat öljynimikkeen muutoksen. Öljyalaatuja kertyi 21 kappaletta. Koska laitteita oli niin monta, päätettiin uudet öljyt valita pääsääntöisesti vanhojen öljyjen ominaisuuksien mukaan. Muutamalle erikoistapaukselle kuten turbiineille käytiin etsimässä valmistajan antamat öljysuositukset arkistosta.

Uusien öljyjen valinta aloitettiin kirjaamalla ylös vanhojen öljyjen ISO VG -luokitukset, viskositeetit 100 asteen sekä 40 asteen lämpötiloissa, leimahduspiste sekä jäähmepiste. Näiden tietojen pohjalta lähdettiin etsimään samoja ominaisuuksia omaavia synteettisiä öljyjä Mobilin tuotevalikoimasta. Kun vastaavat Mobilin synteettiset öljyt oli löydetty, alettiin muutoksia kirjaamaan laitelistaan järjestelmällisesti.

Öljyn valintaan vaikuttivat myös öljyjen käyttöolosuhteet, kuten käyttöaste, lämpötila, vaiheen kuormitus sekä käyttökohteen pölyisyys. Mikäli laite oli poikkeuksellisessa olosuhteessa kuten ulkona, katsottiin siihen vaihdettava öljy erikseen Mobilin yhteyshenkilön avulla. Kun uudet öljyt oli saatu valittua kaikille laitteille, käytiin valinnat läpi vielä Mobilin yhteyshenkilön kanssa, jotta saatiin varmuus sille, että jokaiselle laitteelle oli valittu oikea korvaava voiteluöljy. Koska öljynimikkeitä haluttiin mahdollisimman vähän, käytiin lopuksi läpi vielä kaikki laitteet ja laskettiin, montako laitetta kunkin öljynimikkeen alla oli. Listaan lisättiin myös laitteet, joissa oli jo valmiiksi käytössä Mobilin synteettistä öljyä. Läpikäynnissä löytyi muutama laite, jolle vaihdettiin yleisimmin käytössä oleva öljynimike. Öljynimikkeitä saatiin poistettua seitsemän, eli jäljelle jäi 14.

Öljyjen valinnan jälkeen päästiin optimoimaan vaihtovälejä. Vaihtovälejä saatiin pidennettyä huomattavasti lähes jokaiselle laitteelle. Mikäli laitteessa oli yli kaksi litraa öljyä ja se oli alle 10 % vuodesta käynnissä, asetettiin sille 10 vuoden vaihtoväli. Alle kahden litran tilavuuksille asetettiin vaihtoväliksi viisi vuotta. Normaaliolosuhteissa oleville laitteille, joissa oli yli kaksi litraa öljyä, ja jotka olivat käynnissä koko vuoden, asetettiin viiden vuoden vaihtoväli. Mikäli laitteen öljytilavuus oli alle kaksi litraa tai olosuhteet haastavat, asetettiin laitteelle kuuden kuukauden, vuoden tai kolmen vuoden vaihtoväli. Isoista öljytilavuuksista otetaan öljynäytteet, joista nähdään, kun öljy on vaihtokunnossa. Näin öljynvaihtokertoja saatiin vähennettyä 55 prosentilla 10 vuoden aikana.

Lopuksi tehtiin kustannuslaskelmat 10 vuoden säteellä, joista huomattiin muutosten tuovan huomattavaa säästöä. Voiteluöljyjen- ja vaihtovälien vaihtaminen on siis kannattavaa. Kustannuksissa voidaan tulevaisuudessa säästää lisää tekemällä samat muutokset myös muille osastoille tai tehtaille. Öljynimikkeitä voi lisäksi mahdollisesti vähentää lisää, sillä nyt neljää nimikettä käytetään vain muutamalle laitteelle työn sisältämällä alueella. Kyseisiä öljynimikkeitä on kuitenkin mahdollisesti käytössä muilla osastoilla, joten niistä ei vielä luovuttu.

LÄHTEET

Blom, Seppo, Lahtinen, Pekka, Nuutio, Erkki, Pekkola, Kari, Pyy, Seppo, Rautiainen, Hannu, Sampo, Arto, Seppänen, Pekka, Suosara, Eero 2001. Koneenelimet ja mekanismit. 5. tarkastettu painos. Helsinki: Edita Oyj.

Castrol 2024. Lubricating oil vs grease: a guide to choosing the right lubricant. Hakupäivä 29.2.2024. https://www.castrol.com/en_in/india/home/learn/industrial_resources/blogs/lubricating-oil-vs-grease.html

Elert, Glenn 1998–2024. The Physics Hypertextbook. Hakupäivä 26.2.2024 <https://physics.info/viscosity/>

Filtterteknik 2022. Öljynpuhtaus – öljynäytteet ja puhtausvaatimukset hydraulijärjestelmissä. Hakupäivä 27.2.2024. <https://filtterteknik.fi/uutiset/oljynpuhtaus-oljynaytteet-ja-puhtausvaatimukset-hydraulijarjestelmissa/>

Fluidlab 2011. Näin otat näytteen. Hakupäivä 27.2.2024 <https://www.fluidlab.fi/nayteenotto/nayteenotto-ohjeet>

Jokela, Janne & Jokela, Taneli 2023. Biohajoavat voiteluaineet säästävät ympäristöä mutta myös kukkaroa. Metsäalan Ammattilehti 38 (1), 52–53. Hakupäivä 29.2.2024. <https://issuu.com/ammattilehti.fi/docs/ammattilehti-kevat-2023>

Keinänen, Ville 2023. Luotettavuusinsinööri. Stora Enso Oyj. Haastattelu 22.11.2023.

Kivioja, Seppo, Kivivuori, Seppo, Salonen, Pekka 2007. *Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu*. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatieto.

Kivioja, Seppo 1994. Voitelun perusteet. 2. painos. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Kunnossapidon henkilökunta 2024. Stora Enso Oyj. Haastattelu 25.1.2024.

Kunnossapitoyhdistys & Kari Antila 2006. Teollisuusvoitelu. 4. täydennetty painos. Helsinki: KP-media.

Kunnossapitoyhdistys, kunnossapitoyhdistys Promaint 2010. Teollisuuden rasvavoitelu. Helsinki: KP-media.

Kunnossapitoyhdistys, kunnossapitoyhdistys Promaint, voitelutekniikan toimikunta ja Markku Aarnio 2013. Teollisuusvoitelu: Käsikirja. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-media.

Mobil Oil 1997. Oikea voitelu – avain alhaisiin käyttökustannuksiin. Helsinki: Mobil Oil.

Mobil Oil 2024. Mobil SHC 630. Hakupäivä 28.1.2024 <https://www.mobil.fi/fi-fi/products/mobil-shc-630>

Neste Oil 2024. Neste Industrial Gear S 220 EP. Hakupäivä 28.1.2024 <https://www.neste.fi/tuote/neste-industrial-gear-s-220-ep>

SAP-järjestelmä 2013. Sisäinen lähde.

Schmidt, W, Aho, E, Piirilä, Eino, Mobil Oil 1986. Täyssynteettiset voiteluaineet. Helsinki: Mobil Oil.

Sinivuori, Eila, Liukkonen, Simo, Kivinen, Antti, Kankaanperä, Alpo, Kalliorinne, Kaarlo 1990. Fysikaalinen kemia 3, Dynamiikka. Helsinki: Kirjayhtymä.

Sorsa, Jouni 2015. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro.

Stora Enso Oy. Tietoa Stora Ensosta. Hakupäivä 21.12.2023. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

Stora Enso Oy a. Oulun tehdas. Hakupäivä 21.12.2023. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/oulu-mill>

Triple R 2024. Öljyanalyysi: miten tietoja luetaan? Hakupäivä 27.2.2024. <https://www.triple-r-europe.com/fi/tribologia/oljyanalyysi/>

Vihersalo, Jarmo 2023. Field Engineer. Exxon Mobil Corporation. Voiteluainekoulutus 13.12.2023.

