

Juho Lusua

**VESIVOIMAKONEEN ÖLJYNÄYTTEIDEN  
OTTAMISJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN**

# **VESIVOIMAKONEEN ÖLJYNÄYTTEIDEN OTTAMISJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN**

Juho Lusua  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

---

Tekijä: Juho Lusua

Opinnäytetyön nimi: Vesivoimakoneen öljynäytteiden ottamisjärjestelmän kehittäminen

Työn ohjaaja: Juha Männistö, Janne Kalinainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018

Sivumäärä: 39 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyössä selvitettiin Oulujoen vesivoimakoneiden öljynäytteiden ottamisjärjestelmän kehityskohteita. Työssä keskityttiin vesivoimakoneen hydrauliiikkajärjestelmän öljyihin ja niiden kunnossapidon parantamiseen. Työssä luotiin ohjeistus ja toimintamalli öljynäytteiden ottamiseen vesivoimakoneen hydrauliiikkajärjestelmästä. Lisäksi työssä selvitettiin vesivoimakoneessa käytettävien hydraulioöljyjen toimintaperiaatteita ja niiden ominaisuuksien mahdollisia muutoksia.

Työssä tutkittiin kunnossapidon, hydrauliiikan ja hydraulinesteiden teoriaa. Hydraulioöljyn epäpuhtauksien vaikutuksia järjestelmän toimintaan tutkittiin teoriassa sekä selvitettiin öljyn epäpuhtauksien lähteitä ja niiden vaikutuksia öljyn ominaisuuksiin. Työssä selvisi, että vesivoimakoneiden hydrauliiikkaöljyjen kunnossapidossa on kehityskohteita. Hydraulinesteiden puhtautta käsiteltiin ISO 4406-1999 -standardin pohjalta. Työssä selvitettiin öljyn analysointia öljynäytteen ottamisesta öljyanalyysin tulkitsemiseen.

Työn tuloksena syntyi öljynäytteiden ottamiseen ja öljyjen kunnossapidon kehittämiseen toimintamalli. Toimintamalli sisältää ohjeita hydrauliiikkaöljyjen kunnan selvittämiseksi lähtötilanteessa, jotta öljyjen kuntoa ja kykenevyyttä toimimaan tehtävässään voidaan kriittisesti arvioida. Toimintamalli sisältää myös toimintaehdotuksia mahdollisten huonojen hydraulioöljyjen kunnan saattamiseksi vaaditulle tasolle sekä ohjeita ja ehdotuksia öljyjen suorituskyvyn ylläpitämiseen tavoitellulla tasolla. Työssä tulkittiin myös voiteluainelaboratorion tekemän öljyanalyysin tuloksia ja termejä, jotka toimivat ohjeina ja apuna kunnossapitohenkilöstölle öljyjä analysoidessa.

---

Asiasanat: öljyanalyysi, öljynäyte, öljyn puhtaus, hydrauliiikka, hydraulinesteet

## **ALKULAUSE**

Kiitän koko Maintpartner Oy:n Leppiniemen toimipisteen kunnossapitohenkilöstöä tuesta ja kärsivällisyydestä opinnäytetyön teossa. Erityiskiitokset kuuluvat niin teknisestä tietämyksestä kuin kannustavasta tuestakin erityisesti asiantuntija Timo Kaarlejärvelle, projektipäällikkö Heikki Jyringille, tiimipäälliköille Janne Kaliniaiselle ja Kimmo Pohjolalle sekä ohjaavalle opettajalle lehtori Juha Männistölle.

30.5.2018

Juho Lusua

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Maintpartner Oy	7
1.2 Fortum Oyj	8
1.3 Vesivoima	8
2 KUNNOSSAPITO	9
2.1 Kunnossapidon määritelmä	9
2.2 Tavoitteet	9
2.3 RCM	9
2.4 Kunnossapidon merkitys vesivoiman hydraulikassa	10
3 HYDRAULIIKKA JA HYDRAULINESTEET	11
3.1 Hydraulikka	11
3.2 Vesivoimakoneen säätöhydraulikka	12
3.3 Proportionaalitekniikka	13
3.4 Hydraulinesteet ja niiden tehtävät	13
3.5 Hydraulinesteiden ominaisuudet	14
3.5.1 Viskositeetti	14
3.5.2 Viskositeetti-indeksi	15
3.5.3 Voitelu- ja kulumisenesto-ominaisuudet	15
3.5.4 Hapettumisenesto-ominaisuudet	16
3.5.5 Ilmanerotumisen- ja vaahtoamisenesto-ominaisuudet	16
3.5.6 Vedenerottamisominaisuudet	17
4 HYDRAULINESTEIDEN PUHTAUS	18
4.1 Kiinteät epäpuhtaudet	18
4.2 Voitelujärjestelmän ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet	19
4.3 Öljyjen puhtausluokitukset	20
4.3.1 ISO 4406-1999	20
4.3.2 ISO- ja NAS-standardien vertailu	21
4.3.3 Suositellut öljynpuhtaudet käyttökohteittain	22

4.4 Öljyn analysointi	26
4.4.1 Öljyanalyysi	26
4.4.2 Öljynäytteen ottaminen	29
5 TOIMINTAMALLI ÖLJYNÄTTEIDEN OTTAMISEEN	32
5.1 Lähtötilanteen selvittäminen	32
5.2 Näytteenottojärjestelmän luominen ja öljyjen kuntotason parantaminen vaaditulle tasolle	32
5.3 Öljyjen suorituskykyjen ylläpitäminen	34
5.4 Öljyanalyysin tulkitseminen	35
6 YHTEENVETO	36
LÄHTEET	38
Liite 1 ISO-VG -luokat	
Liite 2 Esimerkkianalyysin tulkitseminen	

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kehitetään hydraulikkaöljyjen näytteenotto- ja kunnossapitojärjestelmää Fortum Oyj:n vesivoimalaitoksille Suomessa. Työ tehdään kunnossapitoyritys Maintpartner Oy:n toimeksiantona.

Fortumin Suomen vesivoimakoneiden säätöhydrauliikassa on siirrytty matalapainejärjestelmistä korkeapainejärjestelmiin korkeapainejärjestelmien sisältyessä matalapainejärjestelmää vikaherkempiä ja haavoittuvaisempia toimilaitteita. Joidenkin korkeapainejärjestelmien toimilaitteiden toiminnassa on ilmennyt häiriöitä, joiden epäillään mahdollisesti aiheutuvan hydraulioiljyistä.

Vesivoimalaitoksilla on olemassa öljyjen näytteenottojärjestelmä, mutta järjestelmässä on havaittu kehitys- ja monipuolistamismahdollisuuksia. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mistä, milloin ja millä menetelmällä vesivoimakoneen öljynäytteet tulee ottaa. Tavoitteena on myös selvittää öljynäytteistä mitattavat asiat siten, että kunnossapitohenkilöstö ymmärtää standardoidun mittauksen tarpeet. Työssä luodaan myös ohjeistus ja toimintamalli öljynäytteiden ottamiseen vesivoimakoneesta.

## 1.1 Maintpartner Oy

Maintpartner Oy on osa Maintpartner Group Oy konsernia, joka on Pohjois-Euroopan yksi johtavia teollisuus- ja kunnossapitopalveluita toimittava konserni. Maintpartner Oy aloitti liiketoimintansa vuonna 2006 energiateollisuudesta. Toiminta on kehittynyt tähän päivään mennessä useille eri teollisuuden aloille, pääpainon ollessa energia-, kemian- ja metalliteollisuudessa. (1.)

Vuonna 2016 Suomessa Maintpartner Group Oy:n henkilöstömäärä oli yli 1 100 henkilöä ja koko konserni työllisti Pohjois-Euroopassa noin 1 850 henkilöä. Vuoden 2016 Maintpartner Group Oy:n liikevaihto oli noin 160 miljoonaa euroa, josta Suomen osuus oli noin 105 miljoonaa euroa. (1.)

## 1.2 Fortum Oyj

Fortum Oyj on johtava puhtaan energian yhtiö, joka toimittaa asiakkailleen sähköä, lämpöä ja jäähdytystä sekä älykkäitä ratkaisuja resurssitehokkuuden parantamiseen. Vuoden 2016 lopulla Fortum Oyj:n henkilöstömäärä oli 8 108 henkilöä. Vuoden 2016 liikevaihto oli 3 632 miljoona euroa. (2.)

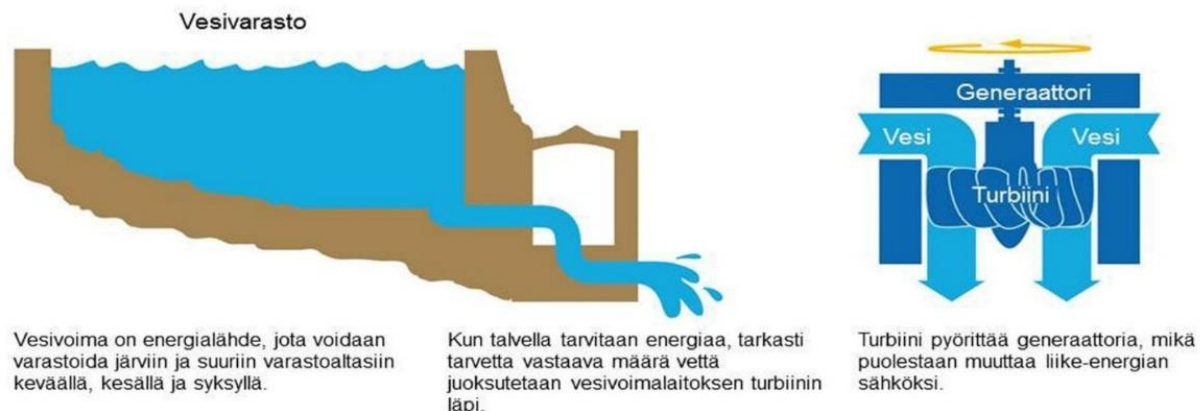
Fortum Oyj:n sähköntuotantokapasiteetista vesivoiman osuus valtakunnallisesti on noin kolmasosa ja Pohjoismaissa vesivoiman osuus tuotantokapasiteetista on noin puolet. Fortum Oyj omistaa ja operoi Suomessa 13 vesivoimalaitosta, jotka sijaitsevat Oulujoen ja Vuoksen vesistöissä. (3.)

## 1.3 Vesivoima

Vesivoima on tärkein uusiutuvan energian tuotantomuoto Pohjoismaissa. Pääsättömyytensä ansiosta vesivoima hillitsee ilmastonmuutosta ja tasapainottaa muiden uusiutuvien energiamuotojen, kuten aurinko- ja tuulivoiman sään mukaan vaihtelevaa tuotantoa. (4.)

Vesivoiman tuotanto perustuu järviin ja altaisiin varastoidun veden potentiaalienergiaan. Kun vesi päästetään varastoaltaasta laskemaan vesivoimakoneen läpi, veden kineettiseksi muuttunut energia pyörittää vesivoimakoneen turbiinia. Turbiini pyörittää generaattoria, joka muuttaa veden kineettisen energian sähköksi (kuva 1). (4.)

### Näin toimii vesivoima



KUVA 1. Vesivoiman toiminta (4)



## **2 KUNNOSSAPITO**

Kunnossapidon ymmärretään perinteisesti olevan vikojen korjausta, joka on nykyaikaisessa yhteiskunnassa liian suppea ymmärrys. Kunnossapito on käyttöomaisuuden, esimerkiksi vesivoimakoneiden, tuottokyvyn ylläpitämistä, säätämistä ja säilyttämistä toimintakykyisenä ja tehokkaana. Kunnossapito on yleensä yksi suurimmista yrityksen kustannuksista, jonka vaikutus tuloksen muodostumiseen on välillinen. (7, s. 12, 22.)

### **2.1 Kunnossapidon määritelmä**

Kunnossapito on erilaisten asioiden, kuten erilaisten prosessien, koneiden, laitteiden ja rakenteiden pitämistä toimintakuntoisina siten, että ne toimivat luotettavasti, esiintyvät viat korjataan sekä ympäristö ja turvallisuusriskit hallitaan. (7, s. 15.) Kunnossapito määritellään SFS-EN 13306 -standardissa seuraavasti: Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (7, s.15).

### **2.2 Tavoitteet**

Keskeisimpiä kunnossapidon tavoitteita ovat korkea tuotannon kokonaistehokkuus (KNL) sekä hyvä käyttövarmuus. Korkea käyttövarmuus merkitsee myös laitteen toiminnan luotettavuutta. Oikein suoritettu kunnossapito saavuttaa laitteiden tarkoituksenmukaisen käytettävyyden sekä suunnitellun käyttöiän. Laitteiden voiteluaineiden ja hydraulinesteiden kunnon tarkastelulla pyritään myös vähentämään vikaantumisen todennäköisyyttä, joka kuuluu ehkäisevän kunnossapidon käsitteeseen. (7, s. 40, 50.)

### **2.3 RCM**

Realiability Centered Maintenance eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM) on prosessi, jonka avulla määritellään tehtävät toimet, jotta mikä tahansa

tuotantoväline jatkuvasti tekee omistajansa siltä haluamaa toimintoa senhetkessä toimintaympäristössään (7, s. 39). RCM on menetelmä ehkäisevän kunnossapito-ohjelman luomiseksi, joka tehokkaasti ja järkiperäisesti mahdollistaa laitteistolta ja rakenteilta vaadittujen turvallisuus- ja käytettävyytasojen saavuttamisen, jonka tarkoituksen on johtaa käyttötoiminnassa parantuneeseen turvallisuuteen, käytettävyyteen ja talouteen (9, s. 16). Vaikka RCM-menetelmää ei suoranaisesti vesivoimaloiden kunnossapidossa olisikaan käytössä, on luotettavuuskeskeinen kunnossapito varmasti tahtomattaankin vesivoimaloiden kunnossapidon tavoitteena.

#### **2.4 Kunnossapidon merkitys vesivoiman hydraulikassa**

Vesivoiman ja vesivoimakoneiden säätöominaisuus on tärkeä turva sähköverkoston toiminnalle, joten vesivoimakoneiden toiminnan luotettavuus on hyvin tärkeää. Vesivoimakoneen toiminnan kannalta sen säätöhydraulikka on yksi tärkeimmistä koneen elimistä, sillä koneen käyttö ja säätö ovat hydraulikasta täysin riippuvaisia. Vesivoimakoneen säätöhydraulikka toimii koneen käynnistyslaitteena, pysäytyslaitteena ja varolaitteena, jolla suoritetaan esimerkiksi hätäpysäytys. Hydraulikkajärjestelmän toimenkuvan vuoksi on hydraulikka yksi vesivoimakoneen keskeisimmistä kunnossapidon kohteista. (6.)

### 3 HYDRAULIIKKA JA HYDRAULINESTEET

Tässä luvussa on käsitelty hydrauliiikan määritelmää, hydrauliiikkaa vesivoimakoneessa sekä esitelty hydraulinesteitä ja niiden ominaisuuksia.

#### 3.1 Hydrauliiikka

Hydraulijärjestelmät ovat tehonsiirtoketjuja, jotka muuntavat järjestelmälle annettavan mekaanisen tehon hydrauliseksi, välittävät sen haluttuun kohteeseen ja muuntavat sen siellä takaisin mekaaniseksi tehoksi kyseessä olevan soveluksen käyttöön. Hydraulijärjestelmissä tehoa välittävänä aineena on hydraulineeste, johon teho sidotaan paineena ja tilavuusvirtana. (8, s. 1.)

Hydraulisten järjestelmien etuina muihin tehonsiirtotapoihin verrattuna on muun muassa hydraulikomponenttien hyvä teho-painosuhte ja pieni koko. Lisäksi hydraulijärjestelmissä teho siirretään letkuja ja putkia pitkin tarvittavaan kohteeseen, jolloin esimerkiksi suunnittelija ei ole sidoksissa johonkin tarkoin määritettyyn tehonsiirtorataan, vaan teho voidaan siirtää käyttökohteeseen sopivinta reittiä pitkin. (8, s. 1.)

Esimerkiksi vesivoimakoneen johtopyörän hydraulijärjestelmä toimii yksinkertaistettuna seuraavalla tavalla: Pumppukoneikko tuottaa hydraulijärjestelmään tilavuusvirran ja tarvittavan paineen, jota ohjataan venttiilien avulla hydrauliiikka-putkistoa pitkin säätörengaan hydraulisynterille. Säätörengaan hydraulisynterissä pumpun tuottama paine muuttuu mekaaniseksi energiaksi ja hydraulisynteri kääntää säätörengasta, jolloin johtopyörän asento muuttuu haluttuun asentoon.

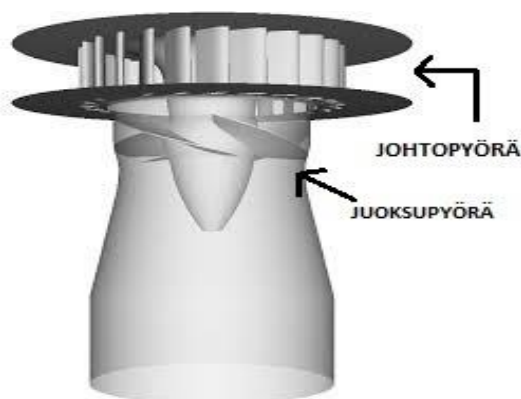
Viime vuosikymmeninä erityisesti digitaalelektronikassa tapahtunut kehitys on mahdollistanut monipuolisten ja helposti ohjelmoitavien ohjaus- ja säätöjärjestelmien integroimisen hydrauliikkajärjestelmiin. Monipuoliset ohjaus- ja säätöjärjestelmät yhdessä hydrauliiikan suuren tehon ja sen portaattoman säädettävyyden kanssa tuottavat tästä tehonsiirtojärjestelmästä hyvin käyttökelpoisia sovel-

luksia erityisesti teollisuuden tarpeisiin. Lisäksi hydrauliiikan laaja komponentti-valikoima tarjoaa hyvät mahdollisuudet toteuttaa suuritehoisia ja tarkkasäätöisiä järjestelmiä. (8, s. 1.)

### 3.2 Vesivoimakoneen säätöhydrauliikka

Vesivoimaturbiinissa vesi johdetaan johtopyörän läpi juoksupyörään, jota veden liike-energia pyörittää. Johto- ja juoksupyörää ohjataan säätöhydrauliikalla kombinoituna tai erikseen. (6.)

Turbiinien johtopyörät toimivat koneen käynnistys-, säätö- ja sulkulaitteena (kuva 2). Laitteessa on 12 - 24 kiertyvää johtosiipeä, jotka säätävät yleensä säätörengasta mukaan yhdenaikaisesti turpiinin ympärillä. Säätörengasta ohjaa johtopyörän servomoottori, joka on tavallisesti hydraulisyylinteri. Johtosiivet voidaan kääntää niin, että ne sulkeutuvat tiiviisti. (5, s. 274 - 275.)



KUVA 2. Turbiinin johto- ja juoksupyörä (17)

Fortum Oyj:n vesivoimalaitoksissa Suomessa on käytössä pääosin Kaplan-turbiineja, joiden ominaispiirteenä on juoksupyörien säädettävät siivet (kuva 2). Kaplan-turbiinin siipiä ohjataan niin ikään säätöhydrauliikalla, yleensä samalla hydraulikoneikolla kuin johtopyörää. Juoksupyörää säädetään johtamalla hydraulioöljy öljynjakopesän kautta vesivoimakoneen akselin sisään. Akselin sisällä oleva servomoottori eli hydraulimäntä muuttaa hydraulioöljyn sisältämän energian mekaaniseksi energiaksi ja säätää juoksupyörän siipiä. Yleensä johto- ja juoksupyörää säädetään kombinoituna toisiinsa, jotta vesivoimakoneen hyötysuhde saadaan pysymään mahdollisimman korkeana. (6.)

### 3.3 Proportionaalitekniikka

Oulujoen vesivoimalaitosten vesivoimakoneissa on pääosin siirrytty käyttämään proportionaalitekniikkaa hydraulikan ohjausjärjestelmissä. Proportionaalitekniikan avulla vesivoimakoneita voidaan säätää aiempaa tarkemmin ja nopeammin, joka osaltaan parantaa vesivoimakoneiden kokonaishyötysuhdetta. (6.)

Proportionaaliventtiileillä toteutetaan samat toiminnot kuin muillakin ”perinteisillä” ohjausventtiileillä, eli tilavuusvirran suunnan ohjaus, tilavuusvirran määrän ohjaus ja järjestelmän paineen ohjaus. Proportionaaliventtiilien ohjaus poikkeaa kuitenkin merkittävästi muiden venttiilien ohjaustavasta. (8, s. 327.)

Proportionaaliventtiileitä voidaan käyttää ohjaamaan haluttuja suureita täysin portaattomasti, mikä ei perinteisemmillä venttiileillä ole ollut mahdollista. Proportionaaliventtiilin portaaton ohjaus mahdollistaa jatkuvan toimilaitteiden aseman, nopeuden, voiman ja momentin nopean ja tarkan säädettävyyden. (8, s. 327.)

Toimintaperiaatteiltaan proportionaaliventtiilit ovat jatkuvatoimisia vahvistimia, joissa tuleva ohjaussignaali eli tulosignaali muutetaan ja vahvistetaan hydrauliseksi lähtösignaaliksi. Proportionaaliventtiilejä voidaan ohjata siis jatkuvasti, jolloin vahvistettu lähtösignaali riippuu tietyssä suhteessa tulosignaalista. (8, s. 327.)

### 3.4 Hydraulinesteet ja niiden tehtävät

Valtaosa hydraulikassa käytettävistä nesteistä on mineraaliöljyjä. Mineraaliöljyt ovat raakaöljypohjaisia ja niiden laatuun vaikuttavat suuresti jalostusaste sekä kemiallinen rakenne. Mineraaliöljyjä usein lisäaineistetaan käyttötarkoituksen mukaan. Tällöin lisäaineet parantavat tai jopa tuovat kokonaan uusia ominaisuuksia öljyyn. Lisäaineistettaessa öljyjä tulee tietää tarkasti eri lisäaineiden keskinäiset vaikutukset, sillä eri lisäaineet voivat joko vahvistaa tai heikentää toistensa vaikutuksia. Lähtökohtaisesti öljyä ei tule itse lisäaineistaa, sillä öljyn ominaisuuksien muutokset voivat olla hyvin yllättäviä. Lisäaineistuksien tyypillisimpiä tarkoituksia ovat öljyn voitelukyvyyn, viskositeetin ja vedenerottumiskyvyyn parantaminen sekä korroosion, hapettumisen ja vaahtoamisen estäminen. (8, s. 113 - 115.)

Hydrauliijärjestelmässä nesteen päätehtävä on tehon välittäminen hydraulipumpulta toimilaitteille. Hydraulinesteen viskositeetti tulee olla valittu sopivaksi järjestelmään, jotta järjestelmä toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Liian pieniviskositeettinen neste kasvattaa vuotohäviöitä, ja toisaalta liian suuriviskositeettinen neste lisää kitkahäviötä alentaen hyötysuhdetta. (8, s. 112.)

Hydraulinesteen muita tehtäviä ovat järjestelmän tiivistys, komponenttien liikkuvien osien voitelu, järjestelmän jäähdytys, korroosion ja ruostumisen esto sekä järjestelmästä irronneiden tai sinne päätyneiden epäpuhtauksien kuljetus säiliöön ja suodattimeen. (8, s. 112.)

### **3.5 Hydraulinesteiden ominaisuudet**

Hydrauliijärjestelmän käyttäytyminen riippuu suuresti käytettävän nesteen ominaisuuksista. Sovelluskohteesta riippuen nesteen ominaisuuksille asetetaan tiettyjä vaatimuksia, jotka koskevat esimerkiksi voitelukykyä, viskositeetin lämpötilariippuvuutta, suodatettavuutta tai kemiallista pysyvyyttä. (8, s. 112.)

#### **3.5.1 Viskositeetti**

Hydraulinesteen yksi tärkeä tunnusluku on viskositeetti. Viskositeetti kuvaa nesteen ”juoksevuutta”, eli alhaisen viskositeetin omaava neste lisää vuotohäviöitä ja heikentää nesteen kykyä toimia komponenttien voiteluaineena. Suuren viskositeetin omaava neste puolestaan kasvattaa vastushäviöitä ja saattaa aiheuttaa kavitaatiota. (8, s. 121.)

Viskositeetti on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta siten, että viskositeetin arvo pienenee lämpötilan noustessa ja vastaavasti kasvaa lämpötilan laskiessa. Paineen vaikutus nesteen viskositeettiin on lämpötilaa maltillisempi, mutta joissain hydrauliiikan sovelluksissa kuitenkin huomioitava. Paineen nousun vaikutuksesta viskositeetin arvo kasvaa ja vastaavasti paineen lasku pienentää viskositeettiä. (8, s. 121 - 123.)

ISO 3448 -standardin mukaisesti hydraulinesteet jaetaan eri viskositeettiluokkiin sen perusteella, mikä on niiden kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa 40 °C.

Näissä ISO-VG -luokissa viskositeetin arvon sallitaan vaihtelevan  $\pm 10\%$  keski-viskositeetistä ja keskiviskositeetti ilmenee VG-luokan numerosta. (8, s. 121.) ISO-VG -luokat löytyvät liitteestä 1.

### **3.5.2 Viskositeetti-indeksi**

Viskositeetti-indeksi (VI) kuvaa nesteen viskositeetin muutosta suhteessa nesteen lämpötilaan. Mitä suurempi viskositeetti-indeksin arvo on, sitä pienempi on viskositeetin muutos lämpötilan funktiona. Hydraulikassa yleisesti käytetyillä mineraaliöljyillä VI on yleisesti noin 95 - 100. (8, s. 123 - 124.)

Hydrauliöljyn viskositeetti-indeksiä voidaan muuttaa lisäaineistuksella. Hydraulikkajärjestelmään sopiva oikea VI on tärkeä öljyn ominaisuus, sillä järjestelmän normaalit lämpötilavaihtelut eivät näin ollen siirrä nesteen viskositeettia pois hyötysuhteen kannalta ideaaliselta alueelta. Lisäksi järjestelmän kulumisen on vähäisempää viskositeetin pysyessä voitelun kannalta optimaalisella alueella. (8, s. 123.)

### **3.5.3 Voitelu- ja kulumisenesto-ominaisuudet**

Hydraulijärjestelmissä komponenttien välykset ovat vuotojen minimoimiseksi mahdollisimman pieniä, joten hydrauliöljyltä vaaditaan hyvää voitelukykyä. Hydraulijärjestelmän sisäiset vuodot aiheuttavat painehäviöitä, jotka aiheuttavat voideltavien pintojen kuumentumista. Järjestelmän kuumentuminen voi aiheuttaa niin hydrauliöljyssä kuin järjestelmän komponenteissa vaurioita. (8, s. 125.)

Hydrauliöljyn voitelu- ja kulumisenesto-ominaisuudet riippuvat suuresti oikeanlaisesta öljyn viskositeetista: öljyn viskositeetin tulee olla tarpeeksi alhainen tunkeutuakseen komponenttien pieniin välyksiin, ja samalla tarpeeksi korkea muodostamaan riittävän suuri voitelukalvo ja tiivistys välyksiin. Oikeanlaisella lisäaineistuksella voidaan edistää myös öljyn kykyä kiinnittyä voideltaville pinnoille. (8, s. 125.)

### **3.5.4 Hapettumisenesto-ominaisuudet**

Yksi merkittävimmistä hydraulioöljyn ominaisuuksista on hapettumisenesto-ominaisuus. Vedessä ja ilmassa olevan hapen sekoittuminen johtaa öljyn hapettumis- eli vanhenemisilmiön nopeuden kasvuun. Hapettuessaan öljyn ominaisuudet muuttuvat, jolloin öljy ei kykene toimimaan sen alkuperäisessä tehtävässään ja voi aiheuttaa merkittäviä vaurioita komponenteille. (8, s. 125.)

Hapettumisen seurauksena öljyyn voi muodostua orgaanisia happoja, lietemäisiä yhdisteitä sekä hartsimaisia aineita. Nämä muodostuneet aineet saattavat syövyttää järjestelmän metalliosia ja tiivisteitä sekä tukkia kapeita virtauskanavia ja välyksiä. Tukkiessaan virtauskanavia ja välyksiä hapettumistuotteet haittaavat tai mahdollisesti estävät tiettyjen komponenttien toiminnan. (8, s. 125.)

Öljyn hapettumisreaktio on hyvin monimutkainen prosessi, jota kiihdyttää myös katalyytit esimerkiksi kupari, monenlaiset epäpuhtaudet ja erityisesti korkea lämpötila. Yli 60 °C:n lämpötilassa joka 10 °C:n lämpötilan nousu kaksinkertaistaa hapettumisreaktion etenemisnopeuden. (8, s. 15.)

Öljyn hapettumisen estämiseen voidaan vaikuttaa valitsemalla hyvälaatuinen perusöljy, pitämällä järjestelmän sekä yksittäisten pistemäisten lämpölähteiden lämpötila maltillisena ja poistamalla tehokkaasti järjestelmään sekä öljyyn kertyneet epäpuhtaudet ja vesi. (8, s. 125.)

### **3.5.5 Ilmanerotumisen- ja vaahtoamisenesto-ominaisuudet**

Normaalisti ilman kanssa tekemisissä oleva hydraulineeste sisältää muutamia prosentteja liuennutta ilmaa, joka yleensä ei vaikuta nesteen suorituskykyyn. Mikäli nesteeseen sekoittuu vapaata ilmaa kuplina, voi ilma muuttaa nesteen ominaisuuksia haitallisesti. Ilmakuplat hydraulioöljyssä lisää nesteen kokoonpuristuvuutta, jolloin hydraulijärjestelmän toiminta käy epämääräiseksi. Nesteessä oleva ilma kiihdyttää myös hapettumisreaktiota, joka aiheuttaa kemiallisia muutoksia öljyyn. (8, s. 126.)



Öljyyn ilma pääsee vuotavien tiivisteiden kautta, sekä öljysäiliön vapaasta ilmasta. Öljysäiliön vapaasta ilmasta ilma voi sekoittua öljyyn pyörteilyn aiheuttaman vaahtoamisen kautta. Vaahtoamisen aiheuttamien haitallisten vaikutusten välttämiseksi, vaahton sisältämien ilmakuplien tulisi nousta öljyn pintaan mahdollisimman nopeasti ja rikkoutua, ettei vaahto lähtisi uudelleen öljykiertoon. (8, s. 126.)

Öljyn ilmanerottumiskykyyn vaikuttavat nesteen viskositeetti ja pintajännitys. Viskositeetin pieni arvo helpottaa ilmakuplan nousua pintaan ja pieni pintajännitys helpottaa ilmakuplan rikkoutumista öljyn pinnalla. Tarpeen mukaan ilmanerottumiskykyä voidaan parantaa oikeanlaisella öljyn lisäaineistuksella. (8, s. 126.)

### **3.5.6 Vedenerottamisominaisuudet**

Vesi hydraulijärjestelmässä aiheuttaa ruostumista ja korroosiota sekä heikentää voitelukykyä, jolloin järjestelmän kuluminen lisääntyy. Käytännössä vesi pääsee hydraulioöljyyn öljysäiliön hengittämisen eli huohotuksen kautta. Vapaassa ilmassa oleva ilmankosteus kulkeutuu säiliöön sen öljymäärän vaihdellessa. Ilmankosteuden tiivistyessä vedeksi öljysäiliöön, muodostaa se öljyn kanssa emulsion, joka heikentää useita öljyn ominaisuuksia ja kiihdyttää hapettumisreaktiota. (8, s. 126.)

Ilmankosteuden pääsy öljysäiliöön tulisi estää oikeanlaisilla huohotussuodattimilla. Lisäksi öljyä voidaan lisäaineistaa siten, että öljyn vedenerotuskyky kasvaa ja vapaa vesi laskeutuu öljyä raskaampana nesteenä öljysäiliön pohjalle. Öljysäiliön pohjalta vapaa vesi on mahdollista yleensä yksinkertaisesti, mikäli öljysäiliön pohjalla on säiliön tyhjennysyhde. (8, s. 126.)

## 4 HYDRAULINESTEIDEN PUHTAUS

Epäpuhtaudet voiteluaineissa ja hydraulinesteissä ovat haitallisia voitelun ja muiden nesteen ominaisuuksien toimivuudelle. Voitelu ja hydraulinesteiden tarkkailu ja oikeanlainen nesteiden analyysitoiminta antavat mahdollisuuden tehokkaasti ehkäistä öljystä johtuvien häiriöiden syntymistä ennen kuin häiriöt muodostuvat tuotantoa ja toimivuutta rajoittaviksi tekijöiksi. (10, s. 115.)

### 4.1 Kiinteät epäpuhtaudet

Hapettumisen seurauksena öljyyn voi syntyä epäpuhtauksia, jotka ovat lakka- maisia tai karstamaisia. Tällaiset epäpuhtaudet syntyvät hapettumisreaktion seurauksena itse öljystä, epäsuotuisien öljyn olosuhteiden johdosta. Edellä mainitut epäpuhtaudet ovat ongelmallisia etenkin pieniä välyksiä omaavissa komponenteissa, kuten proportionaaliventtiileissä. (10, s. 115.)

Öljyyn voi syntyä epäpuhtauksia myös vääränlaisesta lisäaineistuksesta. Yleensä tällaiset epäpuhtaudet syntyvät jonkin vieraan aineen reagoiessa lisä- aineen kanssa. Tästä syystä lisäaineistuksen suhteen on oltava tarkkana, jotta öljyihin ei lisätä lisäaineita, joiden vaikutuksia ja reaktioita muiden öljyn ai- nesosien kanssa ei tunneta. (10, s. 115.)

Kiinteät partikkelit, kuten metallihiukkaset, ovat haitallisia yleisesti koko hyd- rauliikkajärjestelmille. Kiinteät partikkelit lisäävät kulumista esim. venttiileissä ja muissa liikkuvissa komponenteissa sekä toimivat yleensä kiihdyttimenä öljyn vanhenemis- eli hapettumisreaktiolle. (10, s. 115.)

Mikäli järjestelmä sisältää maalattuja pintoja, esimerkiksi öljysäiliön sisäpinnat, syntyy maalin irrotessa hydraulijärjestelmään kiinteitä epäpuhtauksia. Maalit si- sältävät myös esimerkiksi talkkia ja useita metallioksideoja, jotka heikentävät öl- jyn ominaisuuksia. Maalin pysymiseen pinnoilla vaikuttaa erityisesti järjestelmän lämpötila ja sen sisältämä vesi, sillä useat maalit kestävät vedetöntä öljyä 150 °C:n, mutta vettä sisältävää öljyä vain noin 60 °C:n. (10, s. 115.)

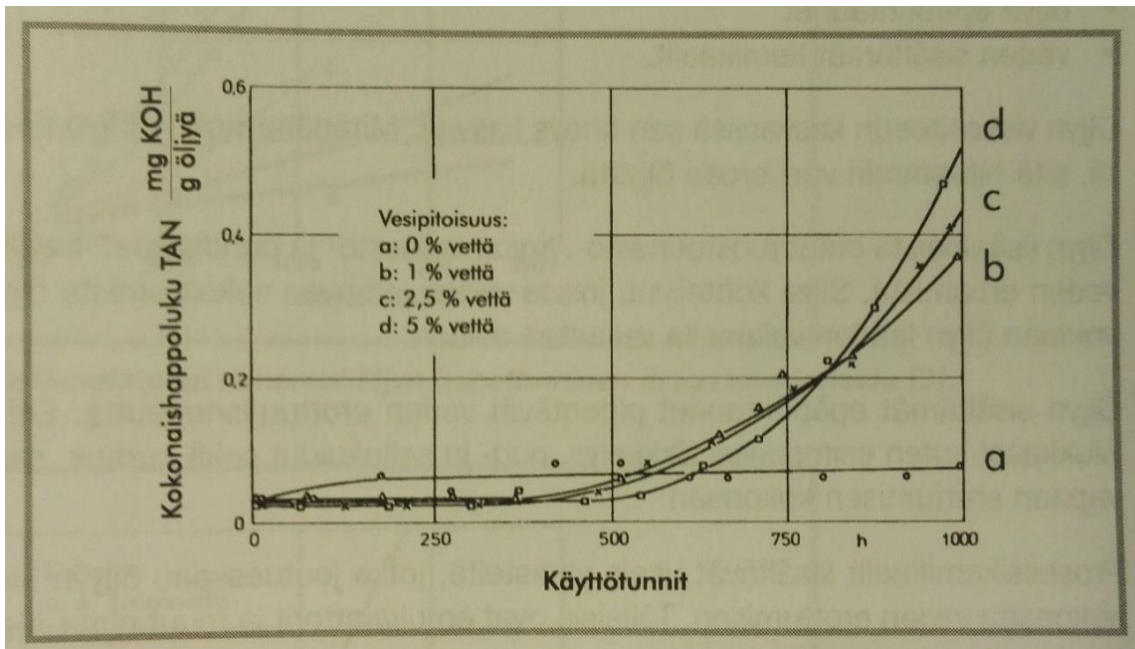
Järjestelmän tiivistemateriaaleista voi kulumisen ja haurastumisen seurauksena irrota öljyyn erilaisia aineita. Yleiset tiivistemateriaaleissa käytettävät aineet, esim. silikoniöljy, grafiitti ja teflon, voivat muuttaa öljyn ominaisuuksia liueteeseen öljyyn. Tästä syystä on tärkeää tuntea tiivistemateriaalien yhteensopivuus kohteessa olevan öljyn kanssa. (10, s. 115.)

Hydraulijärjestelmän valmistuksesta ja asennuksesta voi jäädä epäpuhtauksia hydraulijärjestelmään. Valmistusperäisiä epäpuhtauksia, esim. koneistusjäämiä, hitsausroiskeita, hiontapölyä tai asennusjätteitä, voi poistaa järjestelmästä oikeanlaisen öljynsuodatuksen avulla. Tällaiset epäpuhtaudet ovat yleensä niin painavia, että niitä on vaikea poistaa öljyjärjestelmää huuhtelemalla. (10, s. 115 - 116.)

#### **4.2 Voitelujärjestelmän ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet**

Voitelujärjestelmään ulkopuolelta päätyviä yleisimpiä epäpuhtauksia ovat hiekka, metallipöly ja vesi. Ulkoisten epäpuhtauksien tavallisimpia reittejä hydraulijärjestelmään ovat puutteelliset ilmansuodattimet, järjestelmän komponenttien väliset liitokset, akseleiden ja sylintereiden tiivistykset ja huoltoluukut. (10, s. 116.)

Hydrauliöljyssä erityisesti vesi on haitallista hydraulijärjestelmälle: se aiheuttaa vaahtoamista, korroosiota, kavitaatiota, suodatettavuuden alenemista ja hapettumista. Jo 1 %:n vesipitoisuus öljyssä aiheuttaa merkittävää öljyn hapettumista vain 750 käyttötunnin jälkeen (kuva 3). (10, s. 131 - 134.)



KUVA 3. Vesipitoisuuden vaikutus mineraaliöljyn hapettumiseen (10, s. 133.)

### 4.3 Öljyjen puhtausluokitukset

Yleisesti käytettyjä öljyjen puhtausluokituksia kuvaavat ISO 4409-1999- ja NAS 1638 -standardit, joista yleisesti käytetympi standardi on ISO 4409. Nämä standardit kuvaavat kiinteiden hiukkasten määrää hydraulineesteessä. (10, s. 120 - 121.)

#### 4.3.1 ISO 4406-1999

ISO 4406-1999 -standardi määrittää kumulatiivisten hiukkasmäärien perusteella öljyn puhtausluokan kolmella hiukkaskokoalueella. Hiukkaskokoalueet ovat  $\geq 2 \mu\text{m}$  ( $4 \mu\text{m}(c)$ ),  $\geq 5 \mu\text{m}$  ( $6 \mu\text{m}(c)$ ), ja  $\geq 15 \mu\text{m}$  ( $12 \mu\text{m}(c)$ ). Kokoluokituksen yhteydessä merkitty c-kirjain sulussa tarkoittaa sitä, että mittaukset on suoritettu automaattisella hiukkaslaskimella, jolloin kokoluokitus on eri kuin käytettäessä mikroskooppilaskentaa. Näillä hiukkassuuruuksilla määritellään kyseistä kokoa olevien tai sitä suurempien hiukkasten lukumäärän perusteella standardin mukainen puhtausluokkakoodi välillä 0 - 25. (10, s. 120 - 121.)

Kumulatiivisuus tarkoittaa sitä, että tarkasteltaessa esimerkiksi hiukkasten lukumäärää luokassa  $\geq 4 \mu\text{m}$ , on saadussa lukumäärässä mukana myös kaikki hiuk-

kaset kokoluokista  $\geq 6 \mu\text{m}$  ja  $\geq 14 \mu\text{m}$ . Standardissa puhtausluokitusten (taulukko 1) yhden luokan lisääntyminen tarkoittaa yleensä hiukkasmäärän kaksinkertaistumista. (10, s. 120 - 121.)

TAULUKKO. 1. ISO 4406 -standardin mukaiset hiukkasmäärät ja niitä vastaava koodi (10, s. 124.)

ISO-koodi (ISO 4406)	Hiukkasten lukumäärä/100 ml	
	mistä	mihin
0	0,5	1
1	1	2
2	2	4
3	4	8
4	8	16
5	16	32
6	32	64
7	64	130
8	130	250
9	250	500
10	500	1 000
11	1 000	2 000
12	2 000	4 000
13	4 000	8 000
14	8 000	16 000
15	16 000	32 000
16	32 000	64 000
17	64 000	130 000
18	130 000	260 000
19	260 000	500 000
20	500 000	1 000 000
21	1 000 000	2 000 000
22	2 000 000	4 000 000
23	4 000 000	8 000 000
24	8 000 000	16 000 000
25	16 000 000	32 000 000
26	32 000 000	64 000 000
27	64 000 000	130 000 000
28	130 000 000	250 000 000

**15 / 13 / 10**  
 $>2 \mu\text{m}$   $>5 \mu\text{m}$   $>15 \mu\text{m}$   
 $>4 \mu\text{m(c)}$   $>6 \mu\text{m(c)}$   $>14 \mu\text{m(c)}$

#### 4.3.2 ISO- ja NAS-standardien vertailu

Taulukossa 2 on vertailtu ISO 4406 -standardin puhtausluokkia NAS 1638 -standardin puhtausluokkiin. Lisäksi taulukossa on ilmoitettu ISO-luokituksen

mukaisia kokonaislikamäärien keskimääräisiä painoja kohdassa ISO MTD. (10, s. 127.)

*TAULUKKO 2. ISO- ja NAS-puhtausluokkien vertailu*

**Taulukko 5.4 ISO- ja NAS-puhtausluokkien vertailu.**

ISO 4406	Hiukkasten lukumäärä ml:ssa >10 µm	ISO MTD -likamäärä, mg/l	NAS 1638
29/26/23	140 000	1 000	
27/25/23	85 000		
26/23/20	14 000	100	
24/21/18	4 500		12
22/20/18	2 400		
23/20/17	2 300		11
24/20/16	1 400	10	
22/19/16	1 200		10
21/18/15	580		9
20/17/14	280		8
19/16/13	140	1	7
18/15/12	70		6
16/14/12	40		
17/14/11	35		5
16/13/10	14	0,1	4
15/12/9	9		3
14/11/8	5		2
12/10/8	3		
13/10/7	2,3		1
14/10/6	1,4	0,01	
12/9/6	1,2		0
11/8/5	0,6		00

**4.3.3 Suositellut öljynpuhtaudet käyttökohteittain**

Puhtausvaatimukset öljylle määrittää lopulta vain käyttäjä. Käyttäjä pystyy määrittämään omat olosuhteet huomioon ottaen öljyn optimaalisen puhtaustason hydraulijärjestelmän ja sen kriittisyyden mukaan. Myös laitetoimittaja yleensä

antaa suosituksia puhtausluokituksista omiin kokemuksiinsa perustuen. (10, s. 128.)

Taulukoissa 3, 4 ja 5 on suositeltuja puhtausluokituksia erilaisille hydraulikkajärjestelmille. Esimerkiksi vesivoimakoneen säätöhydrauliikan, jota ohjataan proportionaaliventtiilein, puhtausluokan tulisi olla 18/16/13 (taulukko 3). Ottaen huomioon yli 10 vuoden laitteiston elinajanodotteen, tulee taulukon 3 mukaan valita puhtausluokaksi 17/15/12. Kohdan 6.3.1 mukaan tällainen hydraulioöljy sisältää 64 000 – 130 000 kpl > 2 µm:n kokoista hiukkasta per 100 ml, 16 000 – 32 000 > 5 µm:n kokoista hiukkasta per 100 ml ja 2000 – 4000 > 15 µm:n kokoista hiukkasta per 100 ml.

TAULUKKO 3. Suosituksia erilaisten järjestelmien puhtaustasoksi (11, linkit Document -> Filtration Handbook s. 11.)

Type of system/Area of application/Components	Recommended cleanliness class
Systems with servo hydraulics sensitive to fine contamination	15/13/10
Industrial hydraulics ● Proportional technology ● High pressure systems	17/15/12
Industrial and mobile hydraulics ● Solenoid control valve technology ● Medium pressure and low pressure systems	18/15/12 19/16/14
Industrial and mobile hydraulics with low requirement for wear protection	20/18/15
Forced-feed circulatory lubrication on transmissions	18/16/13
New oil	21/19/16
Pumps/motors ● Axial piston pump ● Radial piston pump ● Gear pump ● Vane pump	18/16/13 19/17/13 20/18/15 19/17/14
Valves ● Directional valves ● Pressure valves ● Flow control valves ● Check valves ● Proportional valves ● Servo valves	20/18/15 19/17/14 19/17/14 20/18/15 18/16/13 17/15/12
Cylinders	20/18/15

		Correction factor for the recommended cleanliness
Operating pressure	less than 100 bar	1 class worse
	more than 160 bar	1 class better
Expected service life of the machine	up to 10 years	no correction
	over 10 years	1 class better
Repair and spare part costs	high	1 class better
Downtime costs due to shutdown	up to €10,000/hr.	no correction
	over €10,000/hr.	1 class better
Pilot system (system which significantly affects the manufacturing process or cycle)		1 class better

Taulukko 4 suosittelee proportionaalihydrauliikan ISO 4406 -standardin mukaan puhtausluokaksi 19/16/13. Taulukossa 4 on lisäksi suositeltu suodatustarkkuus, joka proportionaalijärjestelmille on 5 µm.



TAULUKKO 4. Suosituksia erilaisten järjestelmien puhtaustasoksi (10, s. 128.)

Järjestelmä	Puhtausluokka			Suomen paperiteollisuudessa tyypillisiä vaatimuksia	
	NAS 1638	ISO 4406	Suositteltu suodatus-tarkkuus $\mu\text{m}$ ( $B_x > 100$ )	ISO 4406	Suodatustarkkuus $\mu\text{m}$ ( $B_x > 100$ )
Servohydrauliikka	4	16/13/10	3	13/10	3
Proportionaalihydrauliikka	6-8	19/16/13	5		
Normaali hydrauliikka	9	21/18/15	10	14/11	3...5
Kiertovoitelu	10-11	25/22/16	20	15/12	5...10

Taulukon 5 mukaan puhtausluokan tulisi olla proportionaaliventtiilijärjestelmälle 20/15/12 ISO 4406 -standardin mukaisesti.

TAULUKKO 5. Suosituksia erilaisten järjestelmien puhtaustasoksi (8, s. 389.)

Järjestelmä	ISO 4406
Matalapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	24/17/14
Korkeapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	21/16/13
Proportionaaliventtiilijärjestelmät	20/15/12
Servoproportionaaliventtiilijärjestelmät	18/14/11
Servoventtiilijärjestelmät	18/13/10
Erittäin herkät suurtehojärjestelmät	16/11/9

Eri lähteet suosittelevat erilaisia öljynpuhtauksia proportionaalijärjestelmille, mistä johtuen tavoitetasoa öljynpuhtaudelle on vaikea määrittää. Oleellista on,

että itse käyttäjä tuntee kyseessä olevan järjestelmän ja määrittää itse sopivan öljynpuhtauden tavoitetason.

#### **4.4 Öljyn analysointi**

Öljyn analysoinnissa öljynäytteen ottaminen on yksi kriittisimpiä vaiheita. Väärin otettu näyte on vahingollisempi kuin kokonaan ottamatta jätetty näyte, koska näytteen analysointi maksaa ja analyysin tuloksista tehdyt väärät johtopäätökset voivat johtaa tarpeettomiin ja jopa vahingollisiin toimenpiteisiin. (10, s. 178.)

##### **4.4.1 Öljyanalyysi**

Öljyä voidaan pitää yhtenä koneenosana, minkä vuoksi sen kunnonseuranta öljyanalyysien avulla on yhtä tärkeää kuin muidenkin koneenosien kunnossapito ja kunnonseuranta. Voiteluominaisuuksiltaan huonokuntoinen tai likainen öljy aiheuttaa nopeasti esimerkiksi proportionaalihydrauliikoissa jumiutumisia ja säätötarkkuuden menetyksiä. (10, s. 170.)

Halutun kohteen öljyä analysoidaan kohteesta otetusta öljynäytteestä. Öljynäyte lähetetään voiteluainelaboratorioon analysoitavaksi, mikäli yrityksellä itsellä ei ole omaa laboratoriota. Yleisesti on hyvä käyttää riippumatonta voiteluaineisiin perehtynyttä laboratoriota. (13, s. 8.)

Erityyppisillä öljyanalyyseillä pyritään hakemaan vastauksi esimerkiksi seuraaviin kysymyksiin:

- Ovatko öljyn voiteluominaisuudet säilyneet riittävinä?
- Onko öljyn puhtaus sillä tasolla, jota järjestelmä ja itse öljy edellyttävät?
- Onko öljyn seassa olevista kulumahiukkasten määristä, muodoista tai laaduista tunnistettavissa laitteen kulumismuutoksia?
- Tarvitaanko öljyanalyysitulosten perusteella huoltotoimia laitteelle tai itse öljylle? (10, s. 170 - 171.)

Öljystä tutkittavat ominaisuudet voidaan sopia yleensä laboratorion ja tilaajan kesken riippuen halutuista tutkittavista ominaisuuksista. Laboratorioilla on kui-

tenkin usein valmiita analyysipaketteja, joista tilaaja voi valita omaan tarkoitukseensa sopivimman vaihtoehdon. Yleensä tutkittavien ominaisuuksien jaottelu on taulukon 6 kaltainen.

*TAULUKKO 6. Öljystä tutkittavien ominaisuuksien jaottelu (10, s. 171.)*

A: Perusominaisuuksien analyysit	B: Hiukkasanalyysit	C: Kulumametallianalyysit
A1 - Yleisimmät perusanalyysit	B1 - Epäpuhtaushiukkasten määrä ja kokojakauma	C1 - Koneenosien alkuainepitoisuudet (AAS, ICP)
A2 - Lisäanalyysit	B2 - Hiukkasten laatu ja muoto mikroskoopilla	C2 - Ferrografia - analyttinen (mikroskooppi), suoralukumenetelmä

Taulukon 6 kohdan A mukaiset perusominaisuuksien analyysit jaotellaan taulukon 7 mukaisesti yleisimpiin analyyseihin ja lisäanalyyseihin.

TAULUKKO 7. Öljystä analysoitavat perusominaisuudet (10, s. 172.)

Tutkittavat ominaisuudet	Yleisimmät analyysit (A1)	Lisä-analyysit (A2)
Ulkonäkö	*	
Viskositeetti	*	
Happoluku (TAN)	*	
Kiintoaine [paino-%]	*	
Öljyalaatu		*
Vesipitoisuus [ppm, %]		*
Viskositeetti-indeksi		*
Lisäaineet		*
Vieraat aineosat		*
Hapettuminen, identifiointi (IR)		*
Vaahtoaminen		*

Taulukon 6 kohdan B hiukkanalyysit ovat myös yksi keskeisimpiä öljyn ominaisuuksia kuvaavia analyysieja. Hiukkanalyysitapoja on yleisesti kaksi: hiukkasten kokojakauman analyysi ja hiukkasten laadun- ja muodon analyysi. Hiukkasia analysoitaessa valitaan pelkästään hiukkasten kokojakauman analyysi tai molemmat analyysit. Hiukkasten kokojakauman analyysistä saadaan tietoon myös öljyn puhtausluokitus, jota on käsitelty kohdassa 6.3. Hiukkasten laadun- ja muodon analyysin perusteella voidaan joissain tapauksissa päätellä hiukkasten alkuperä eli kuluva koneen osa. Kuvassa 4 on esitelty eri kulumismekanismien tuottamia hiukkasia.



KUVA 4. Eri kulumismekanismien tuottamia hiukkasia (10, s. 176.)

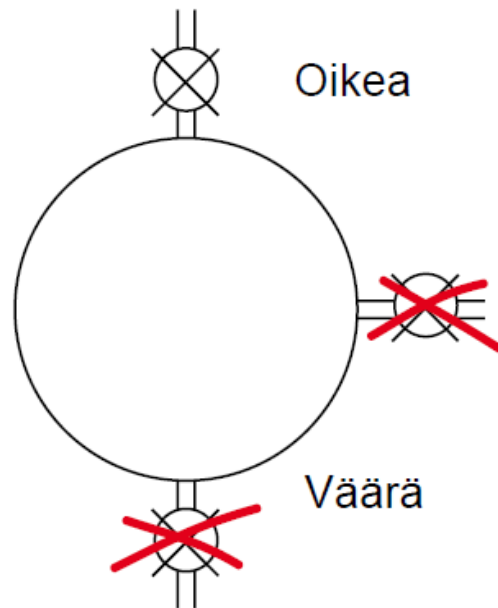
Taulukon 6 kohdan C mukaisia kulumametallianalyseja tarvitaan, kun halutaan tietää järjestelmän eniten kuluvat kone-elimet. Kulumametallianalyseista selviää öljyssä olevien hiukkasten perusaine. Kun tiedetään öljyn sisältämien hiukkasten perusaine eli materiaali, voidaan yleensä myös päätellä järjestelmän kuuluva kone-elin, joka mahdollisesti tulevaisuudessa vikaantuu. Kulumametallianalyysistä on hyödyllistä tietää, mitä metalleja tai muita materiaaleja järjestelmä sisältää, jotta kuluma-aineiden lähde on mahdollista selvittää.

#### 4.4.2 Öljynäytteen ottaminen

Öljynäyte tulisi aina ottaa toiminnassa ja normaalissa käytössä olevasta järjestelmästä, jotta näytteen tulokset ovat verrattavissa laitteen normaaleihin käyttöoloihin. Mikäli näytettä ei voida ottaa järjestelmän ollessa toiminnassa, tulisi näyte ottaa viimeistään 20 minuutin kuluessa järjestelmän pysäytyksestä. (14.)

Kun öljynäytettä otetaan putkesta, on se otettava ylöspäin osoittavasta venttiilistä. Ottamalla öljynäyte ylöspäin osoittavasta venttiilistä, vältetään hiukkasten

ja muiden epäpuhtauksien kertymät näytteenottohanaan. Kuvassa 4 on poikkileikkaus putkesta ja esimerkit näytteenottohanoista. Mikäli näytettä ei ole mahdollista ottaa ylöspäin osoittavasta näytteenottohanasta, on muut hanat puhdistettava epäpuhtauksista valuttamalla öljyä reilusti hanan läpi. (13, s. 5 - 7)



*KUVA 5. Putken ja näytteenottohanojen poikkileikkaus (13, s. 4.)*

Öljynäytteenottoon näytehanasta tarvitaan seuraavat tarvikkeet:

- 200 ml:n puhdas ja hiukkasista vapaa näytepullo, jossa paikka näytteenottotiedoille
- avonainen astia, noin 5 l
- rättiä
- kirjoitusvälineet.

Näytteenotto tehdään seuraavasti (13, s. 5 - 7.):

1. Näytepulloon merkitään näytteenottotiedot. Kaikkiin näytteisiin tulee kirjata vähintään numero, näytteenottopaikka, päiväys ja öljyn tyyppi.
2. Asetetaan avonainen astia näytehanan alle.

3. Avataan näytehana ja valutetaan öljyä astiaan 0,5 l hanan puhdistamiseksi.
4. Avataan näytepullo.
5. Asetetaan näytepullo öljyvirran alle koskematta näytehanaan.
6. Täytetään näytepullosta noin  $\frac{3}{4}$  osaa.
7. Suljetaan näytepullo korkilla välittömästi epäpuhtauksien pääsyn estämiseksi näytepulloon.
8. Suljetaan näytteenottohana.

Mikäli näytteenottoon ei ole saatavissa hiukkasista puhdistettua pulloa, tulee ennen näytteenottoa tehdä seuraavat toimenpiteet (13, s. 5 - 7.):

1. Täytetään näytepullo puolilleen näyteöljyä.
2. Suljetaan pullo ja ravistetaan pulloa voimakkaasti noin 60 sekuntia.
3. Tyhjennetään pullo avonaiseen astiaan.
4. Toistetaan tämä kahdesti.

Mikäli öljynäyte otetaan öljysäiliöstä, tulee näyte ottaa öljysäiliön matalimman kohdan yläpuolelta, pohjasta noin 10 cm:n korkeudelta. Näytteenottamiseen öljysäiliöstä hyvänä näytteenottotyökaluna toimii hiukkasista puhdistettu tyhjiöpumppu. Öljynäytettä ei tule koskaan ottaa säiliön pohjaventtiilistä, sillä pohjaventtiiliin kertyy tyypillisesti paljon epäpuhtauksia. (14.)

## **5 TOIMINTAMALLI ÖLJYNÄTTEIDEN OTTAMISEEN**

Tässä luvussa on esitetty toimintamalli öljynäytteiden ottamiseen, ehdotuksia öljyjen kuntotason parantamiseen ja öljyjen suorituskyvyn ylläpitämiseen vesivoimakoneissa. Lisäksi liitteessä 2 on selvitetty ja tulkittu esimerkki öljyanalyyseista.

### **5.1 Lähtötilanteen selvittäminen**

Toimivan öljynäytteenottojärjestelmän luomiseksi on tarpeellista tehdä nykyisten hydraulikkaöljyjen kuntokartoitus ja saada öljyjen kuntotaso halutulle tasolle. Öljyjen kuntokartoitus on syytä tehdä kaikille hydraulikkajärjestelmille, lukuun ottamatta järjestelmiä, joiden öljy lähitulevaisuudessa vaihtuu esimerkiksi peruskorjausten tai muiden projektien myötä. On suositeltavaa tehdä lähtötilanteessa laajat öljyanalyytit, jotka sisältävät taulukon 6 mukaiset öljyn perusominaisuuksien analyytit sekä hiukkas- ja kulumametallianalyytit. Näin toimittaessa öljyjen kunnosta saadaan jo lähtötilanteessa mahdollisimman kattava ja selkeä tieto sekä voidaan päätellä mahdollisten öljyongelmien syitä ja lähteitä.

Riippumaton voiteluaineisiin ja hydrauliiöljyihin perehtynyt laboratorio antaa lähtötilanteessa tehtyjen öljyanalyyseiden perusteella toimintaehdotuksen, joilla öljyjen kuntotaso saadaan parannettua. Laboratorion antama ehdotus toimii yhtenä hyvänä työkaluna, kun öljyjen kuntoa parannetaan halutulle tasolle.

### **5.2 Näytteenottojärjestelmän luominen ja öljyjen kuntotason parantaminen vaaditulle tasolle**

Näytteenottojärjestelmässä on tärkeää, että kaikki otettavat näytteet otetaan samalla tavalla: eri hydraulikkajärjestelmistä vähintään rakenteellisesti samoista paikoista sekä samoin menetelmin. Näin toimiessa eri järjestelmistä tehdyt analyytit ovat mahdollisimman hyvin verrattavissa toisiinsa, eikä näytteenottopaikan tai -tavan eroista tule poikkeavuuksia toisiinsa.

Hydraulikkajärjestelmiin tulee lisätä standardisoidut näytteenottohanat, jotta öljynäytteet saadaan otettua asianmukaisesti sekä optimaalisista kohdista järjestelmää. Optimaalinen kohta näytteenottoon on painelinja, painelinjassa olevan



linjasuodattimen jälkeen. Näin saadaan analysoitua se hydraulioöljy, mikä menee hydrauliiikan toimilaitteille. Mikäli näytettä ei ole mahdollista ottaa linjasuodattimen jälkeen, suosittelen ottamaan näytteen hydraulioöljysäiliöstä, sillä myös siellä olevan öljyn tulee olla ominaisuuksiltaan vaatimukset täyttävää.

Mikäli öljyt eivät ole analyysien perusteella tarpeeksi suorituskykyisiä, öljyjen kuntotason parantaminen alkaa lähtöanalyysin tuloksien tulkittamisesta. Öljyanalyysista ilmenevät heikot arvot ovat korjattava soveltuvien menetelmien avulla. Esimerkiksi korkeat hiukkasmäärät saadaan kuriin oikeanlaisella sivukiertosuodatuksella ja huolehtimalla, että järjestelmän oma suodatuskapasiteetti on tehokkaasti käytössä. Korkea vesipitoisuus saadaan öljystä poistettua erityisellä kosteudenpoistolaitteistolla, joka asennetaan väliaikaisesti järjestelmän sivukiertoon. Kiinteitä epäpuhtauksia ja jonkin verran hapettumistuotteita saadaan poistettua sähköstaattisilla öljynpuhdistusjärjestelmillä.

Mikäli jonkin järjestelmän öljy on menettänyt ominaisuutensa siten, että öljy tulee vaihtaa uuteen, on huomioitava vanhan öljyn jäämät hydraulijärjestelmässä. Vanhan öljyn epäpuhtaudet ja mahdolliset hapettumistuotteet pinttyvät järjestelmän eri komponentteihin ja seinämiin, jonka vuoksi järjestelmä kannattaa perusteellisesti huuhdella ja puhdistaa ennen uuden öljyn lisäämistä järjestelmään. Näin vältetään uuden öljyn likaantuminen ja hapettumisreaktion käynnistyminen öljynvaihdon jälkeen.

Öljyjen kuntotasoa parannettaessa on öljynäytteitä otettava tiheämmin kuin normaalissa tilanteessa, jotta voidaan seurata epäpuhtauksien vähenemistä ja olla varmoja puhdistusmenetelmän toimivuudesta. Vasta kun öljyn suorituskyky on tavoitteiden mukainen ja epäpuhtauksien määrä riittävän pieni, voidaan siirtyä näytteenottorytmissä normaalille tasolle. Erityisesti kiinteiden epäpuhtauksien määrää on toimiva ja nopea seurata hiukkasanalysaattorilla, mikäli sellainen on käytössä.

### 5.3 Öljyjen suorituskykyjen ylläpitäminen

Hydrauliöljyjen suorituskyvyn ylläpitämiseen liittyy määräajoin toistuva näytteenotto, koska ainoastaan analysoimalla öljyä voidaan olla varmoja sen oikeanlaisesta suorituskyvystä. Kun öljyjen kuntotaso on saatu tavoitellulle tasolle, öljyjen laajoja analyysseja ei ole tarpeellista tehdä yhtä usein kuin hiukkasanalyysseja, sillä öljyjen hiukkaspuhtaus usein korreloi myös hydraulinesteen kemiallisten ominaisuuksien mahdollista muutosta.

Sopiva näytteenottoväli tarkentuu varmasti näytteidenoton ja öljyn kunnonseurannan rutinoituessa, mutta aluksi hiukkasanalyysseja voisi ottaa esimerkiksi puolivuositain ja taulukon 6 mukaisia laajoja analyysseja kerran vuodessa. Näin öljyjen kunnonseuranta pysyisi aluksi tarpeellisesti ajan tasalla ja öljyn ominaisuuksien muutoksiin ehdittäisiin reagoida tarpeeksi nopeasti.

Hydrauliöljyjen korkea lämpötila sekä pistemäiset lämmönlähteet kiihdyttävät öljyn hapettumisreaktiota. Tulisi varmistaa, etteivät järjestelmät sisällä esimerkiksi väärin säädettyjä varoventtiilejä tai liiaksi vuotavia öljynjakopesiä, jotka toimisivat öljyn pistemäisinä kuumentimina. Hyvä menetelmä pistemäisten lämmönlähteiden havainnointiin on hydraulijärjestelmän lämpökamerakuvaus (15.). On huomioitava, ettei pistemäinen lämmönlähde välttämättä lämmitä järjestelmän koko öljykapasiteettia, minkä vuoksi hydrauliöljysäiliön lämpötilaseurannalla ei lämmönlähdettä voi havaita.

Vesi hydraulijärjestelmässä kiihdyttää voimakkaasti hapettumisreaktiota ja heikentää öljyn ominaisuuksia. Mikäli järjestelmistä löytyy kohonneita vesipitoisuuksia, voidaan laitteiston toimintaympäristö huomioon ottaen olettaa veden lähteen olevan ilmankosteus. Ilmankosteus järjestelmään pääsee hydrauliöljysäiliön huohotuksen kautta, joten on tarpeellista varmistaa huohotusilman oikeanlainen suodatus ja kosteuden poisto.

On suositeltavaa lisätä vesivoimakoneiden määräaikaistarkastuksiin hydrauliöljysäiliöiden puhdistuksen ja tarkastuksen. Puhdistamalla säiliöt määräajoin, saadaan poistettua järjestelmästä säiliöön pinttyneitä ja kertyneitä epäpuhtauk-

sia, joita ei erilaisten suodatuksien avulla saada järjestelmästä muutoin poistettua. Mikäli hydraulioöljysäiliön sisäpuoliset pinnat ovat maalattuja, täytyy maalauksen kunto myös tarkastaa. Järjestelmästä öljyyn irronnut maali heikentää öljyn ominaisuuksia sekä on kiinteänä epäpuhtautena öljyssä. Maalipintojen kestävyyteen hydraulijärjestelmissä vaikuttaa haitallisesti erityisesti öljyn sisältämä vesi yhdessä korkean lämpötilan kanssa.

Mikäli vesivoimakoneiden peruskorjauksissa tai muissa projekteissa uusitaan hydraulikkajärjestelmiä, uuden järjestelmän suunnittelussa kannattaa huomioida öljyn näytteenotto. Esimerkiksi näytteenottohanojen lisääminen suunnitelluvaiheessa olevaan järjestelmään on huomattavasti helpompaa kuin valmiiseen järjestelmään lisättävä näytteenottohana. Myös toimilaitteiden, esimerkiksi hydraulikkapumpun, kunnonseurantaa voidaan toteuttaa ottamalla hiukkasanalyseja, mikäli toimilaitteen kummaltakin puolelta saadaan otettua hiukkasanalyysia varten näyte.

Oleennaista on myös käsitellä hydraulioöljyä yhtenä tärkeänä koneen osana. Tämä tarkoittaa muun muassa öljyn kunnan tarkastamista heti, mikäli jokin öljyyn liittyvä komponentti rikkoutuu tai vaurioituu. Esimerkiksi öljynjakopesän tai hydraulikkapumpun rikkoutuessa on hydraulioöljyn kunto tarkastettava erityisesti rikkoutuneesta komponentista irronneiden kiinteiden partikkeleiden vuoksi. Myös esimerkiksi havaittu ja korjattu korkean pistemäisen lämpötilan lähde voi aiheuttaa öljyn vanhenemista senkin jälkeen, kun vika on korjattu, mikäli lämpötilan aiheuttamia hapettumistuotteita ei öljystä poisteta.

#### **5.4 Öljyanalyysin tulkitseminen**

Liitteessä 2 on esitelty erään voiteluainelaboratorion raportti hydraulioöljyanalyysista. Kuten raportista huomataan, voiteluainelaboratorio on antanut öljyn kunnosta kommentteja ja diagnoosin, joka toimii yhtenä työkaluna asiakkaan arvioinnissa öljynsä soveltuvuutta järjestelmäänsä. Liitteessä 2 käsitellään esimerkki-analyysin kriittisimpiä kohtia, joihin tulee huomiota kiinnittää tulkitessa öljyanalyysia.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli vesivoimakoneen öljynäytteiden ottamisjärjestelmän kehittäminen Fortum Oyj:n vesivoimakoneille Suomessa. Työ tehtiin kunnossapitoyritys Maintpartner Oy:n toimeksiantona ja työssä keskityttiin vesivoimakoneen hydraulikkajärjestelmän öljyihin. Vesivoimalaitoksilla on olemassa öljyjen näytteenottojärjestelmä, mutta järjestelmässä on tutkimuksen mukaan kehityskohteita ja mahdollisuuksia monipuolistaa näytteenottojärjestelmää.

Työssä perehdyttiin kunnossapidon ja hydrauliiikan määritelmiin, vesivoimakoneen hydraulikkaan ja hydraulioöljyjen tärkeimpiin ominaisuuksiin. Hydraulinesiteiden puhtautta käsiteltiin ISO 4406-1999 -standardin (10, s. 120 - 121) pohjalta, joka on yleistynyt perusmenetelmäksi määritettäessä öljyjen partikkelien laskentaan perustuvaa puhtautta. Työssä tutkittiin hydraulioöljyille tehtäviä erilaisia analyyseja ja esitettiin ohje onnistuneen öljynäytteen ottamiseen.

Työn edetessä huomattiin, että öljynäytteiden ottamisjärjestelmän luomiseksi tulee ensin kartoittaa öljyjen kuntotaso lähtötilanteessa. Työssä esiteltiin toimenpide-ehdotuksia mahdollisten heikkojen öljyjen kuntotason parantamiseen vaaditulle tasolle, minkä jälkeen varsinainen kunnossapidollinen öljynäytteen otto on vasta järkevää. Työ sisältää myös ehdotuksen näytteenottotajuudesta öljyjen kunnan saavutettua tavoitellun kuntotason ja ohjeita öljyjen suorituskyvyn ylläpitämiseen halutulla tasolla. Lisäksi työssä tulkittiin erään voiteluainelaboratorion öljyanalyyseraportista kriittisimpiä kohtia, joihin kunnossapitohenkilöstön kannattaa kiinnittää tulevien analyysien kanssa huomiota.

Työn lähtökohdat olivat mielenkiintoiset: työn aihe oli tilaajalle selkeästi tarpeellinen ja ajankohtainen. Työn aihepiiri oli tekijälleen uusi, mikä loi työn tekemiselle omat haasteensa ja tarjosi samalla hyvin paljon uutta ja tärkeää tietoa yhdestä mekaniikan tärkeästä osa-alueesta. Toivottavasti työ tarjoaa tilaajalle tarvitsemaansa tietopohjaa hydraulioöljyistä ja näytteenotosta sekä herättää ajattelemaan öljyä yhtenä olennaisena kunnossapidettävänä hydrauliiikan kompo-

nenttina. Lisäksi työn tuloksia on helppo soveltaen käyttää työkaluna arvioi-  
dessa niin voitelu- kuin muidenkin vesivoimakoneeseen liittyvien öljyjen kunnos-  
sapitoa.

Työstä jäi puuttumaan öljyjen näytteenottamisjärjestelmän ja sen aiheuttamien  
kustannuksien sekä säästöjen taloudellinen arviointi. Näytteenottojen kustan-  
nukset olisi pystynyt suurpiirteisesti laskemaan ja työssä esittämään, mutta  
näytteenottojärjestelmästä ja öljyjen kunnossapidosta tapahtuvat säästöt olisi  
ollut lähes mahdoton arvioida tarkasti. Koska öljyjen kuntotaso ei lähtötilan-  
teessa tiedetä, niiden kuntotason parantamiseen liittyviä kustannuksia on vai-  
kea arvioida. Lisäksi huonokuntoisista hydraulioöljyistä aiheutuvia koneiden  
käyntihäiriötietoja ei ollut saatavilla, joten tuotannollisten säästöjen arviointi olisi  
ollut mahdotonta. On kuitenkin arvioitu, että jopa 70 - 80 % hydraulikkajärjestel-  
mien käyntihäiriöistä aiheutuvat huonokuntoisista öljyistä, joten öljyjen kunnos-  
sapidon merkitystä ei vesivoimakoneiden kunnossapidossa voida väheksyä (8.  
s. 378).

## LÄHTEET

1. Teollisuuden käytön ja kunnossapidon ammattilainen. Espoo: Maintpartner Oy. Saatavissa: <http://maintpartner.com/index.php/fi/maintpartner-suomi>. Hakupäivä 16.11.2017.
2. Fortum lyhyesti. Fortum Oyj. Saatavissa: <https://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-lyhyesti/pages/default.aspx>. Hakupäivä 16.11.2017.
3. Vesivoiman tuotanto Suomessa ja Ruotsissa. Fortum Oyj. Saatavissa: <https://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/vesivoima/pages/default.aspx>. Hakupäivä 16.11.2017.
4. Vesivoima. Fortum Oyj. Saatavissa: <https://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/vesivoima/pages/default.aspx>. Hakupäivä 20.11.2017.
5. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2011. Voimalaitostekniikka. 1-1. painos. Opetushallitus.
6. Kaarlejärvi, Timo 2017. Asiantuntija, Maintpartner Oy. Keskustelut ja haastattelut kesällä ja syksyllä 2017.
7. Järviö, Jorma – Piispa, Taina – Parantainen, Timo – Åström, Thomas 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.
8. Kauranne, Heikki – Kajaste, Jyrki – Vilenius Matti 2013. Hydrauliteknikka. 2. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
9. Järviö, Jorma 2000. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Rajamäki: KP-Tieto Oy.

10. Antila, Kari – Kajander, Kristiina – Korpi, Arto – Lehtovaara, Arto – Luukkainen, Teemu – Malinen, Raimo – Malkamäki, Heikki – Miettinen, Juha – Mikkola, Katri – Pietiläinen, Lauri – Pulkkinen, Pertti – Rinkinen, Jari – Ronkainen, Helena – Räty, Kari – Strengell, Kari – Suontama, Kauko – Säynätjoki, Matti – Vihersalo, Jarmo – Virtanen, Ismo – Vuolle, Pekka I. Teollisuusvoitelu. 4. täydennetty painos. Helsinki: KP-Media Oy.
11. Filtration and fluid conditioning. Hydac. Saatavissa: <https://www.hydac.com/de-en/products/filtration-and-fluid-conditioning/show/Download/index.html>. Hakupäivä 19.12.2017.
12. PSK 7202 2017 Teollisuuden voiteluaineet. Ryhmittely, käyttö ja ominaisuudet. 2. painos. 36 s. Helsinki: PSK Standardisointi.
13. Clean Oil Guide. Espoo: Tekoma Oy. Saatavissa: [http://www.tekoma.fi/dev/wp-content/uploads/Clean\\_Oil\\_-\\_Guide\\_FIN.pdf](http://www.tekoma.fi/dev/wp-content/uploads/Clean_Oil_-_Guide_FIN.pdf). Hakupäivä 12.1.2018.
14. Näytteenotto-ohje. Turku: Fluidlab Oy. Saatavissa: <http://www.fluidlab.fi/naytteenotto/naytteenotto-ohjeet>. Hakupäivä 6.2.2018.
15. Jyrinki, Heikki 2018. Projektipäällikkö, Maintpartner Oy. Keskustelut keväällä 2018.
16. Öljyanalyysin perusteella voidaan tehdä vertailuja ja öljyn saastumista voidaan tunnistaa nopeasti 2016. Triple R Europe. Saatavissa: <https://www.triple-r-europe.com/fi/oil-analysis>. Hakupäivä 20.4.2018
17. Holle all geom. Gothenburg, Ruotsi: Chalmers university of technology. Saatavissa: [http://www.tfd.chalmers.se/~hani/phdproject/holle\\_all\\_geom.gif](http://www.tfd.chalmers.se/~hani/phdproject/holle_all_geom.gif). Hakupäivä 7.5.2018

## LIITE 1 ISO VG -LUOKAT

## PSK Standardisointi

PSK 7202 6 (36)

Taulukko 2 Viskositeettiluokittelu

Table 2 Viscosity classification

ISO-viskositeettiluokka ISO viscosity class	Nimellisviskositeettiarvo 40 °C Nominal viscosity at 40 °C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Viskositeettiraja-arvo 40 °C <sup>1)</sup> Limit of viscosity at 40 °C <sup>1)</sup> mm <sup>2</sup> /s (cSt)	
		min	max
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,0	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 3000	3000	2700	3300

<sup>1)</sup> Raja-arvot ovat ± 10 % nimellisviskositeettiarvosta.  
<sup>1)</sup> Limits are ± 10 % of nominal viscosity.

(12, s. 6.)



**LIITE 2 ESIMERKKIANALYYSIN TULKITSEMINEN**

**OSIO SALATTU**