

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Elmo Manninen

Voimalaitoksen voiteluhuollon kehittäminen – voiteluöljyn valinta ja kunnonvalvonta

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 47 sivua, 10 liitesivua

Elmo Manninen

Voimalaitoksen voiteluhuollon kehittäminen – voiteluöljyn valinta ja kunnonvalvonta

Opinnäytetyö tehtiin Turku Energia Oy:n Naantalien voimalaitoksen kunnossapitoyksikölle. Työn tarkoituksena oli tarkastella voimalaitoksen voiteluhuollon toteutumista ja etsiä siitä mahdollisia kehittämiskohteita. Työssä käsiteltäväksi kehittämiskohteeksi valikoitui vuonna 2017 valmistuneen 430 megawatin monipolttoaineyksikön vaihteistojen öljynvaihtovälit kattilahuoneessa. Vaihteistoissa on käytetty aikaisemmin mineraalipohjaisia öljyjä, joiden vaihtaminen on tehty kahden vuoden välein.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisuus pidentää vaihtoväliä vuodella, korvaamalla mineraalipohjaiset öljyt nykyaikaisilla synteettisillä öljyillä. Synteettisten öljyjen huomattavasti korkeammasta hinnasta johtuen tarkasteltiin voiteluainelaadun vaihtamisen kannattavuutta myös kustannuslaskennan avulla.

Opinnäytetyön tuloksien perusteella öljynvaihtovälien pidentäminen vuodella on voiteluaineiden ominaisuuksien puolesta mahdollista ja kustannuskehityksen näkökulmasta kannattavaa. Osana opinnäytetyötä tuotettiin myös kirjallinen öljynäytteenotto-ohjeistus kunnossapitoyksikön asentajien käyttöön. Sen avulla pystytään parantamaan yhdessä asianmukaisten näytteenottovälineiden kanssa öljynäytteiden laatua ja edustavuutta.

Asiasanat:

kunnossapito, voimalaitos, voitelu, voiteluaine, öljynäytteenotto

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

2023 | 47 number of pages, 10 of pages in appendices

Elmo Manninen

Development of power plant lubrication maintenance – lubricating oil selection and condition monitoring

The thesis was commissioned by the Turku Energia Oy's maintenance unit of the Naantali power plant. The purpose of the thesis was to examine the implementation of the power plant's lubrication maintenance and to find potential development targets. The oil exchange intervals of gearboxes at the 430-megawatt multi-fuel unit's boiler room were chosen as a particular development target to be examined in this thesis. In gearboxes, mineral-based oils changed every two years have been used in the past.

The aim of the thesis was to explore the possibility of extending the oil exchange interval by one year, replacing mineral-based oils with modern synthetic oils. Due to the significantly higher price of synthetic oils, the profitability of changing the quality of lubricants was also examined via cost accounting.

Based on the results of the thesis, it is possible to extend the oil exchange interval by one year for the properties of lubricants, and from the point of view of cost development. As part of the work, written oil sampling instructions were also produced for the mechanics of the maintenance unit. The instructions, together with functional sampling tools will improve the quality and representativeness of the oil samples.

Keywords:

maintenance, power plant, lubrication, lubricant, oil sampling

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 TURKU ENERGIA	10
2.1 Naantalin voimalaitos	10
3 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	11
3.1 Toimintaympäristö	12
3.2 Vaihteistot ja laitteet	12
4 KUNNOSSAPITO	14
4.1 Kunnossapidon määritelmät	15
4.2 Kunnossapitolajit	15
5 ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA	18
5.1 Öljynäytteenotto	19
5.2 Öljyanalyysi	19
6 VOITELUN PERUSTEET	20
6.1 Kulumismekanismit	21
6.2 Voitelumekanismit	22
6.3 Voiteluaineiden ominaisuudet	23
6.3.1 Viskositeetti	23
6.3.2 Ominaispaino	25
6.3.3 Leimahduspiste	25
6.3.4 Jähmepiste	25
6.3.5 Neutraloimisluku	25
6.4 Voiteluaineiden luokitukset	26
6.4.1 ISO 3448 VISCOSITY GRADE	26

7 VOITELUÖLJYT	27
7.1 Mineraaliöljyt perusöljynä	27
7.2 Synteettiset öljyt	28
7.3 Kasviöljyt perusöljynä	28
7.4 Lisäaineet	29
7.4.1 Kulumisenesto	29
7.4.2 Paineenkesto	30
7.4.3 Viskositeetti-indeksin parantajat	30
7.4.4 Detergentit ja dispersantit	30
7.4.5 Hapettumisenesto	31
7.4.6 Korroosionesto	31
7.4.7 Kitkanalentajat	31
7.4.8 Vaahtoamisenesto	32
8 ÖLJYNÄYTTEENOTTO	33
8.1 Näytteenoton välineet	34
8.2 Öljynäytteiden tiedot	35
8.3 Öljynäytteenotto-ohjeistus	36
9 VOITELUÖLJYN VALINTA	37
9.1 Nykyiset voiteluaineet	37
9.2 Vertailuun valitut voiteluaineet	38
9.3 Vaihtovälit	39
9.4 Tiivistemateriaalit	41
9.5 Sekoitettavuus	41
9.6 Kustannuslaskenta	42
9.7 Ympäristövaikutukset	46
10 POHDINTA	47
LÄHTEET	48

LIITTEET

Liite 1: Tarkasteluun valikoituneet kohteet	50
Liite 2: Pohjatuhkan käsittely- ja seulontajärjestelmä	51
Liite 3: Kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmä	52
Liite 4: Kattilan hiilijärjestelmä	53
Liite 5: Lentotuhkakuljettimet ja kalkinsyöttö	54
Liite 6: Öljynäytteenotto-ohjeistus	55
Liite 7: X-sarjan voiteluainetaulukko	56
Liite 8: MC- sarjan voiteluainetaulukko	57
Liite 9: Vaihdemoottorien voiteluainetaulukko	58
Liite 10: Öljyanalyysi- raportti	59

KUVAT

Kuva 1. Hiilisiilon ruuvipurkaimen MC-sarjan kartiohammaspyörävaihte	13
Kuva 2. Koururunkoinen ruuvikuljetin	13
Kuva 3. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2017-standardin mukaan	16
Kuva 4. Kunnossapitolajit PSK 6021-standardin mukaan	17
Kuva 5. Teollisuuden öljyn kunnonvalvonta	18
Kuva 6. Eri voitelumekanismeja havainnollistettuna	22
Kuva 7. Lämpötilan vaikutus öljyn kinemaattiseen viskositeettiin	24
Kuva 8. ISO VG viskositeettiluokat	26
Kuva 9. Erialaisten perusöljyjen ominaisuuksien vertailu	27
Kuva 10. Öljyanalyysi-raportin puutteelliset näytetiedot	33
Kuva 11. Fluidlab Oy:n alipainepumppu.	34
Kuva 12. Valmis tarrapohja öljynäytteestä merkittäviin tietoihin.	35
Kuva 13. MC-sarjan kartiohammasvaihteen tyyppikilpi	38
Kuva 14. Suositellut öljynvaihtovälit	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Öljynvaihtoihin sisältyvät työkustannukset	43
Taulukko 2. Voiteluainelaatujen kustannusvaikutukset	44
Taulukko 3. Rahalliset säästöt vaihtovälin pidentämisestä	45
Taulukko 4. Kokonaiskustannukset	46

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

AW	Kulumisenestolisäaine (anti wear) (Aarnio ym. 2013, 60).
CLP HC	Synteettiset hiilivedyt (SEW-EURODRIVE Oy 2014).
CLP PG	Polyglykoli (SEW-EURODRIVE Oy 2014).
cSt	Senttistoke (Aarnio ym. 2013, 50).
EP	Korkeapainelisäaine (extreme pressure) (Aarnio ym. 2013, 61).
FM	Kitkanalentajat (friction modifier) (Aarnio ym. 2013).
NA1	Naantali 1 voimalaitosyksikkö
NA2	Naantali 2 voimalaitosyksikkö
NA3	Naantali 3 voimalaitosyksikkö
NA4	Naantali 4 voimalaitosyksikkö
PAO	Polyalfaoleiini (Aarnio ym. 2013, 57).
VG	Viscosity Grade (Aarnio ym. 2013, 91).
VI	Viskositeetti-indeksi (Aarnio ym. 2013, 51).

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana oli kehittää Naantalın voimalaitoksen voiteluhuoltoa. Opinnäytetyö tehtiin Turku Energia Oy:lle, Naantalın kunnossapitoyksikön käyttöön. Teollisuudessa voitelu on kriittinen osa kunnossapitoa ja hyvin toteutettuna se tuottaa taloudellista hyötyä, lisää suoritustehokkuutta ja parantaa käyttövarmuutta.

Opinnäytetyössä keskityttiin vuonna 2017 käyttöönotetun 430 megawatin monipolttoainelaitoksen voiteluhuoltojen kriittiseen tarkasteluun kehittämiskohteiden löytämiseksi. Työssä käsiteltiin monipolttoainelaitoksen kattilahuoneen vaihdelaatikoiden öljynvaihtovälien pidentämisen mahdollisuutta nykyisestä kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen. Vaihtovälin pidentäminen suunniteltiin toteutettavaksi korvaamalla käytössä olevat mineraalipohjaiset vaihteistoöljyt nykyaikaisilla synteettisillä vaihteistoöljyillä. Synteettiset vaihteistoöljyt ovat mineraalipohjaisia vaihteistoöljyjä huomattavasti arvokkaampia, joten työssä tarkasteltiin vaihtovälien pidentämisen kannattavuutta myös kustannuslaskennan avulla.

Työn tekemisen aikana havaittiin puutteita myös öljynäytteiden ottamisessa, joten öljynäytteiden ottamista käsiteltiin lisäksi työn yhteydessä. Kunnossapidon asentajille laadittiin kirjallinen öljynäytteidenotto-ohjeistus osana työtä.

Opinnäytetyössä asetetut tavoitteet toteutuivat suunnitellusti ja työn pohjalta kunnossapitoyksikön on mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa pidentää vaihdelaatikoiden öljynvaihtovälit kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen.

2 TURKU ENERGIA

Turku Energia on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä ja se toimii johtavassa asemassa Varsinais-Suomessa. Yritys tarjoaa asiakkailleen ympäristöä, elämänlaatua ja kilpailukykyä parantavia energiapalveluja. Näihin energiapalveluihin kuuluu kaukolämpö, kaukojäähdytys, prosessihöyryt ja sähköenergian myynti ja jakelu. Edellä mainittujen palveluiden lisäksi yritys tuottaa muun muassa verkostourakoinnin ja kunnossapidon palveluja. Turku Energia -konsernilla on kaksi tytäryhtiötä: Turku Energia Sähköverkot Oy ja Turun Seudun Kaukolämpö Oy. Turku Energia Sähköverkot Oy rakentaa, ylläpitää ja käyttää omistamaansa sähköverkostoa Turun alueella. Turun Seudun Kaukolämpö Oy puolestaan siirtää kaukolämpöä tuotantolaitoksilta jakelupisteisiin. (Turku Energia Oy 2022.)

2.1 Naantalın voimalaitos

Naantalın voimalaitoksen energiantuotanto aloitettiin vuonna 1960. Voimalaitos tuottaa sähköä ja prosessihöyryä teollisuusasiakkaille ja kaukolämpöä Turkuun ja lähialueille. Nykyään Naantalın voimalaitos koostuu ainoastaan kahdesta voimalaitosyksiköstä: Naantali 3:sta (NA3) ja Naantali 4:sta (NA4), koska kaksi vanhinta kivihilikäyttöistä voimalaitosyksikköä, Naantali 1 (NA1) ja Naantali 2 (NA2), poistettiin käytöstä vuonna 2020. Käytössä olevista kahdesta voimalaitosyksiköstä NA3 on kivihilikäyttöinen, ja vuonna 2017 valmistunut päätuotantolaitoksena toimiva NA4 on biopolttoaineita pääpolttoaineena hyödyntävä monipolttoaineyksikkö. Naantalın voimalaitoksen omistaa Turun Seudun Energiatuotanto Oy ja sen käytöstä ja kunnossapidosta vastaa Turku Energia Oy. (TSE 2022.)

3 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

Voiteluhuollon kehittämisen tarpeen havaitsin työskennellessäni kolmena opinnäytetyötä edeltävänä vuonna harjoittelijana Naantalın voimalaitoksella mekaanisen kunnossapidon yksikössä. Harjoittelussa osallistuin monipuolisesti voiteluhuollon toteuttamiseen ja ajatus opinnäytetyön toteuttamisesta voiteluhuollon parissa kypsyi jo silloin. Esitin kiinnostukseni kunnossapitopäällikölle toteuttaa opinnäytetyöni voimalaitoksen voiteluhuoltoon liittyen ja sain vapaat kädet työn toteuttamiseen.

Kehittämistyön ensimmäisenä vaiheenani oli rajata voiteluhuollosta osa-alue tarkempaan tarkasteluun, jotta opinnäytetyön laajuus ei kasvaisi tarpeettoman suureksi. Tarkempaan tarkasteluun valikoitui päätuotantolaitoksena toimivan NA4 monipolttoaineyksikön, vuoden 2022, vuosihuoltoon tarvittavien voiteluaineiden tilauslistan mukaiset kohteet (Liite 1). Liitteestä 1. nähdään kohteiden sisältäneen muun muassa pumppuja, puhaltimia ja kuljettimia. Tilauslistassa olevien kohteiden vuosihuollossa suoritettavat voiteluun liittyvät toimenpiteet kävin huolellisesti läpi ja kohteet, joissa havaitsin eniten kehitettävää, merkitsin keltaisella. Keltaisella merkatut kohteet siirsin kunnossapidon tietojärjestelmästä Excel-taulukkolaskentaohjelmistoon helpottamaan sekä havaittujen huomioiden kirjaamista että myöhempää tulostusta.

Lopulta kehittämistyöni tavoitteeksi muodostui selvittää olisiko mahdollista pidentää kattilahuoneessa sijaitsevien vaihdelaatikoiden öljynvaihtovälejä. Ajatuksena oli toteuttaa vaihtovälin pidentäminen korvaamalla perinteiset mineraalipohjaiset öljyt nykyaikaisilla synteettisillä öljyillä. Työssä käsiteltiin pohjatuhkan käsittely- ja seulontajärjestelmä (Liite 2), kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmä (Liite 3), kattilan hiilijärjestelmä (Liite 4), lentotuhkakuljettimet (Liite 5) ja kalkinsyöttö (Liite 5).

3.1 Toimintaympäristö

Kattilahuone eli kattilarakennus on suuri 14 kerroksesta koostuva kokonaisuus, jossa tutkittavia vaihdelaatikoita sijaitsee suurimmassa osassa kerroksia. Vaihdelaatikoiden sijainnit ovat öljynvaihdon kannalta osittain erittäin hankalissa paikoissa. Osa vaihdelaatikoista sijaitsee sen verran korkealla, että niihin käsiksi pääseminen vaatii telinetöitä. Kattilahuoneessa myös kattilan seinät, kanavat ja putkistot on eristetty paksuilla ja monikerroksisilla eristyksillä. Osa näistä eristyksistä on purettava vaihdelaatikoiden ympäriltä, jotta öljynvaihdot pystytään suorittamaan. Koska vaihdelaatikoita on useassa kerroksessa, on öljynvaihtoon vaadittavien öljyjen ja välineiden kuljettaminen kohteeseen myös työlästä. Käytössä on vuosihuoltojen aikana yksi hissi, jota käyttävät kaikki vuosihuoltoon osallistuvat työntekijät. Edellä mainittujen seikkojen takia öljyjen vaihtaminen on työtä ja aikaa vaativa prosessi. Näihin tietoihin pohjautuen öljyjen vaihtoa ei kannata tehdä useammin kuin voiteluaineen kannalta on välttämätöntä.

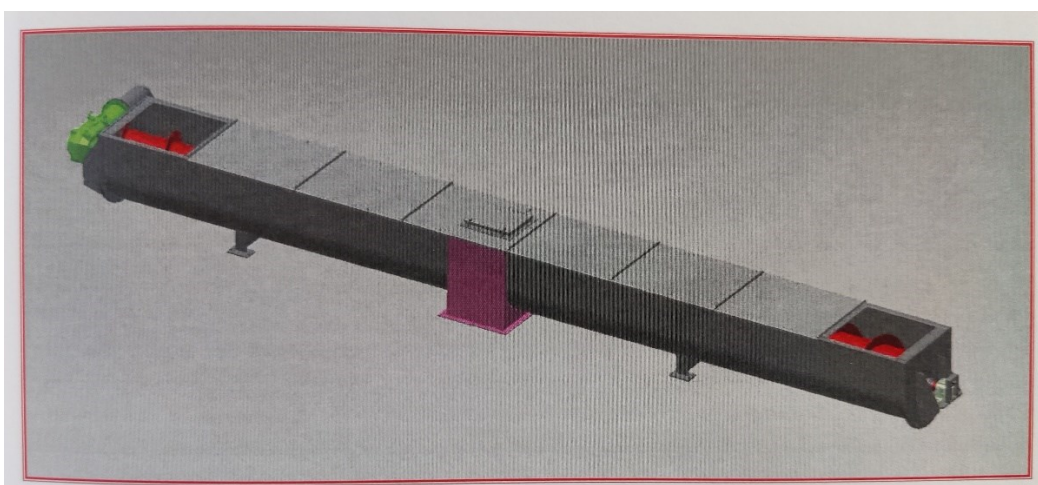
3.2 Vaihteistot ja laitteet

Kaikki tutkittavat vaihteistot ovat SEW Industrial Gears Oy:n valmistamia teollisuusvaihteistoja tai vaihdemoottoreita. Teollisuusvaihteistoja on X-sarjan lieriö- ja kartiohammaspyörävaihteet ja MC-sarjan kartiohammaspyörävaihteet (Kuva 1). Teollisuusvaihteistot on yhdistetty sähkömoottoriin kytkimellä. Vaihdemoottoreita on R-sarjan hammaspyörävaihdemoottorit, F-sarjan lieriötappivaihdemoottorit ja K-sarjan kartiohammaspyörävaihdemoottorit. Vaihdemoottoreissa sähkömoottorin ja vaihteen välissä ei ole kytkintä, minkä ansiosta ne ovat kompakteja ja soveltuvat ahtaisiin tiloihin. Sähkömoottorin tuottama pyörimisliike välitetään näissä sovelluksissa roottoriakselin päähän kiinnitetyn hammaspyörän kautta vaihteeseen. (SEW-EURODRIVE Oy 2023.)



Kuva 1. Hiilisiilon ruuvipurkaimen MC-sarjan kartiohammaspyörävaihte.

Suurin osa kattilahuoneen laitteista, joiden vaihteistojen voiteluaineita käsiteltiin, olivat kola- ja ruuvikuljettimia (Kuva 2). Muut laitteet olivat sulkusyöttimiä lukuun ottamatta yhtä jakoläppää ja yhtä rumpuseulaa.



Kuva 2. Koururunkoinen ruuvikuljetin, missä tavaran syöttö tapahtuu päädyistä, kun taas purkaminen keskeltä kuljetinta (Koivisto 2018, 64).

4 KUNNOSSAPITO

Kehityksen myötä yhteiskunta on täynnä erilaisia prosesseja, joilla tuotetaan hyödykkeitä. Nämä prosessit eivät ole ikuisia, vaan tuotanto-omaisuus kuluu ja vikaantuu. Tuotanto-omaisuuden kuluminen ja rikkoutuminen voi aiheuttaa taloudellisia, ympäristöön ja työturvallisuuteen liittyviä ongelmia. Näin ollen on tärkeää pyrkiä pitämään laitteiden ja koneiden kunto asiallisena ja sen mukaisena mitä on sovittu. (Järviö & Lehtiö 2012, 17.)

Kunnossapito on perinteisesti mielletty korjaavaksi kunnossapidoksi eli reagoivaksi kunnossapidoksi. Se on sitä myös edelleen, mutta nykyään keskitytään lisäksi proaktiiviseen kunnossapitoon eli ennakoivaan kunnossapitoon. Ennakoivalla kunnossapidolla on mahdollista havaita alkavat vikaantumiset ennen varsinaista vikaantumista, jolloin on mahdollista suunnitella ja aikatauluttaa työt tuotannon kannalta edullisimpaan hetkeen. Korjaavalla kunnossapidolla vikaantumiset hoidetaan välittömästi tai viivästetysti, mikäli se on mahdollista. Sitä on näin ollen mahdotonta aikatauluttaa ja johtaa. Se voi olla kokonaiskustannuksiltaan jopa yli kymmenen kertaa kalliimpaa kuin ennakointiin perustuvan tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Korjaavan ja ehkäisevän kunnossapidon lisäksi puhutaan myös parantavasta kunnossapidosta. (Järviö & Lehtiö 2012, 14–15.)

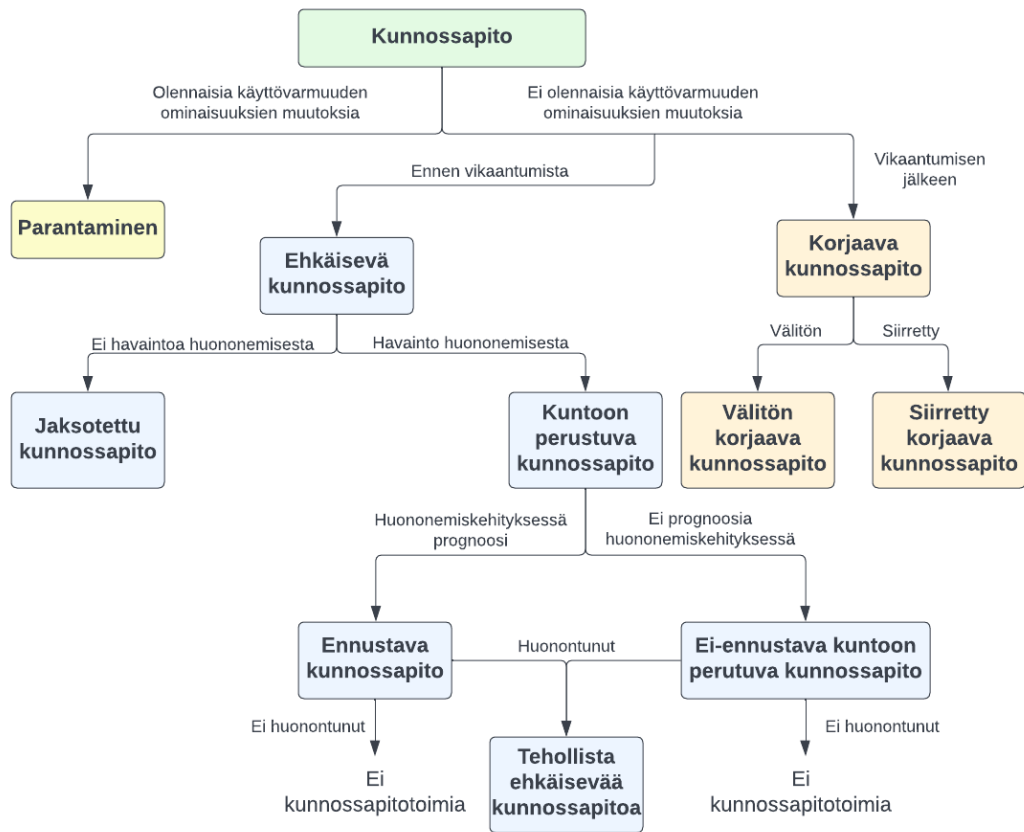
4.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapidolle löytyy useita määritelmiä kansainvälisistä ja kansallisista standardeista ja kirjallisuudesta. Euroopan unionin SFS-EN 13306:2017-standardin mukaan (Kuva 3) kunnossapidoksi kutsutaan kohteen ylläpitoon ja toimintakykyyn liittyviä toimenpiteitä, jotka mahdollistavat kohteen suoriutumisen elinjakson aikana vaadituista toiminnoista ja sen toimintakyvyn palauttamisen vaaditulle tasolle. Toimenpiteet ovat teknisiä, hallinnollisia ja liikkeenjohdollisia. (SFS-EN 13306: 2017, 5.)

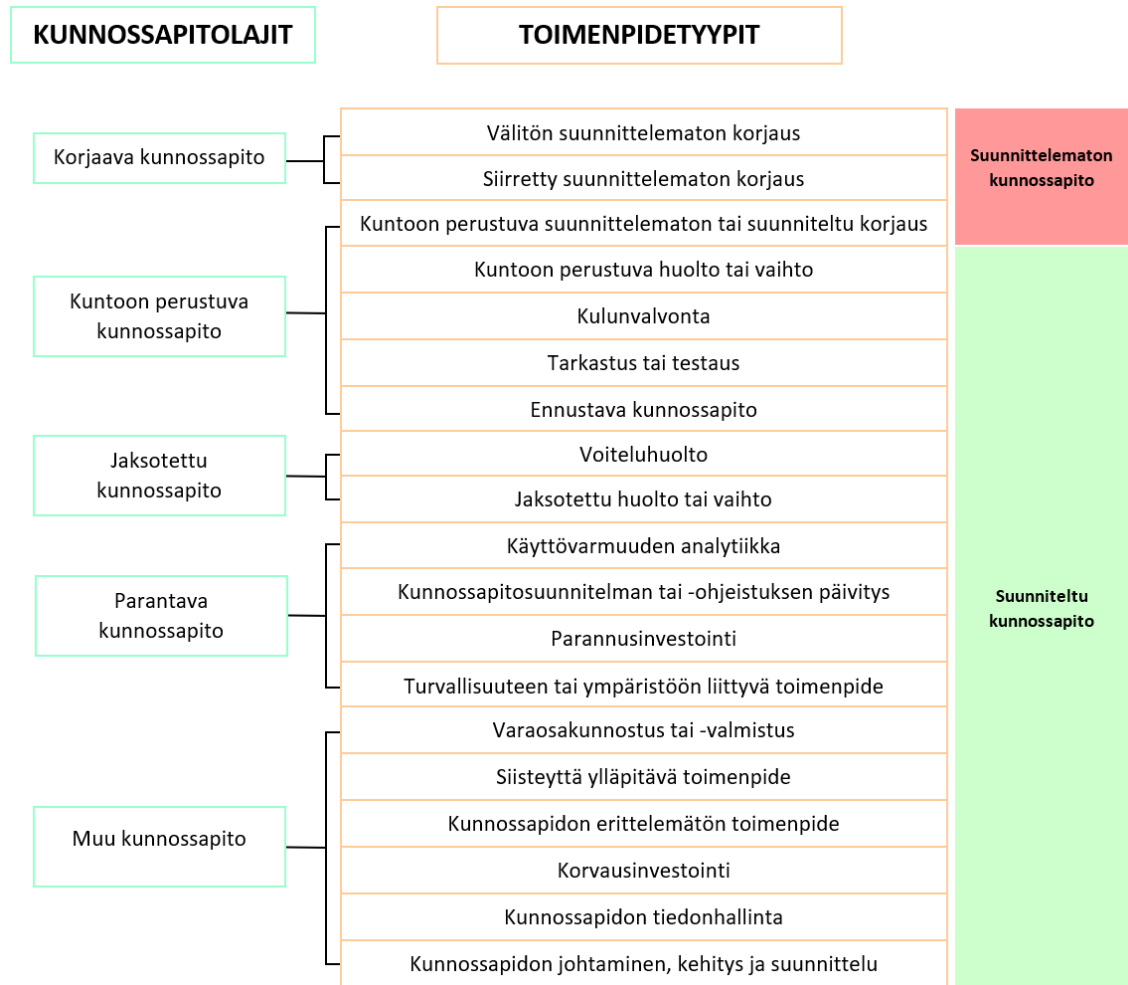
Suomalaisen PSK 6201:2022-standardin mukaan (Kuva 4) kunnossapitoa kutsutaan kokonaisuudeksi, joka pyrkii säilyttämään kohteen halutussa tilassa tai vastavuoroisesti palauttamaan se haluttuun tilaan. Tämä kokonaisuus rakentuu teknisistä, hallinnollisista ja johdollisista toimenpiteistä. Näin laitteen käyttövarmuus pysyy halutulla tasolla sen koko elinjakson ajan. (PSK 6201: 2022, 3.)

4.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon jaottelu eri lajeiksi mahdollistaa sen tehokkaan johtamisen. Näillä lajeilla on mahdollista seurata esimerkiksi kunnossapidon tehokkuutta, vertailemalla keskenään eri työlajien kustannuksia ja suoritettujen työtuntien määriä. Kuten kunnossapidon määritelmissä, myös kunnossapitolajien jaottelussa on eroavaisuuksia eri standardien välillä. Kuvassa 3. kunnossapito jaotellaan SFS-EN 13306:2017-standardin mukaisesti kunnossapitolajeihin ja kuvassa 4. PSK 6201:2022-standardin mukaisesti kunnossapitolajeihin.



Kuva 3. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2017-standardin mukaan (mukailten SFS-EN 13306: 2017, 22).



Kuva 4. Kunnossapitolajit ja niiden toimenpidetyypit PSK 6021:2022-standardin mukaan. Kuntoon perustuvat suunnitellut ja suunnittelemattomat korjaukset pystytään poikkeuksellisesti myös luokittelemaan korjaavaksi kunnossapidoksi. (mukaillen PSK 6201:2022, 26.)

5 ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA

Voimalaitoksella on kriittisiä ja taloudellisesti merkittäviä kohteita, joissa öljyn suorituskyvyn seuranta on perusteltua. Teollisuuden alasta riippumatta tuotantolaitteiden käynnissäpito ja tehokas toiminta on mahdollista ainoastaan silloin, kun kunnonvalvonta (Kuva 5) ja kunnossapito on hoidettu asianmukaisesti. Voiteluöljyistä otettujen näytteiden ja niistä tehtyjen analyysien pohjalta voidaan tehdä teollisuuden eri tarpeita palvelevia johtopäätöksiä. Öljytutkimukset voidaan toteuttaa järjestelmiin liitettävien tai laboratorioissa toimivien analyysilaitteiden avulla. Hyvin suoritettuna öljyjen kunnonvalvonta maksaa moninkertaisesti siihen asetetut panokset. (Aarnio ym. 2013, 158.)



Kuva 5. Teollisuuden öljyn kunnonvalvonta jaoteltuna erilaisten tarpeiden mukaan (mukaillen Aarnio ym. 2013, 158).

5.1 Öljynäytteenotto

Öljynäytteen tavoitteena on pystyä luotettavasti todentamaan öljyn käyttökelpoisuus ja suorituskyky toimia suunnitellusti tehtävässään. Öljynäytteenotolla tavoitellaan edustavaa otosta järjestelmän öljystä ja sen on kuvattava mahdollisimman hyvin laitteessa vallitsevaa tilannetta. Näytteenotto tulee tehdä niin, että se on vertailukelpoinen kohteesta aikaisemmin tai myöhemmin otettuihin näytteisiin. Öljynäytteiden analysointi tapahtuu joko laboratoriossa tai järjestelmään liitetyn analyysilaitteen avulla. (Oksanen 2018.)

5.2 Öljyanalyysi

Hyvän öljyanalyysin avulla on mahdollista vähentää yllättäviä ja ennenaikaisia tuotannon pysäytyksiä ja sillä pystytään vaikuttamaan kunnossapitokustannuksiin niitä alentavasti. Kunnossapito-osastolle öljyanalyysi on tehokas työkalu, jolla saadaan vastauksia moniin kysymyksiin. Sitä voidaan hyödyntää koneen koko elinkaaren ajan. Valmistetusta komponentista voidaan tutkia toimituspuhtaus tai saada tietoa komponentin koeajon aikaisista tapahtumista. Koneen kuljetusajan olosuhteista saadaan öljyanalyysillä dokumentoitua tietoa, esimerkiksi maa- ja merikuljetuksen aikaisista korroosiotekijöistä, kokoamis- ja huuhteluvaiheen puhtaustasoista, järjestelmään lisätyn öljyn laadusta ja puhtaudesta ja takuuajan käyttöolosuhteista. Myöhemmässä vaiheessa kohteessa käytetystä öljystä voidaan selvittää käytönaikaisia seurauksia. Öljyanalyysillä voidaan optimoida turvallisesti öljynvaihtoväli, jotta arvokkaita öljyjä ei vaihdeta turhaan vain varmuuden vuoksi. (Vesala, Lindström & Lindén 2007.)

6 VOITELUN PERUSTEET

Toistensa suhteen liikkuvien kiinteiden kappaleiden kosketuspintojen välistä kitkaa ja kulumista ehkäistään voiteluainekalvolla. Voiteluaineena toimiva materiaali voi esiintyä kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään perinteisistä teollisuusvoiteluaineista ainoastaan öljyjä. Oikeaoppinen voitelu täyttää monta tehtävää, joista tärkeimpinä pidetään seuraavia: erottaa pinnat toisistaan, pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa häviötehoa, vähentää kulumista, jäähdyttää kosketusta, estää epäpuhtauksien tuloa voideltavaan kohteeseen, kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois, vaimentaa värähtelyä ja suojata osia korroosiolta. (Aarnio ym. 2013, 11.)

Tehokkaasti ja oikein hoidetulla voitelulla voidaan vaikuttaa positiivisesti kohteiden energian kulutukseen, elinikään, suoritustehokkuuteen ja käyttövarmuuteen. (Aarnio ym. 2013, 11.)

6.1 Kulumismekanismit

Kulumismekanismit jaotellaan yleisimmin standardin DIN 50320 mukaisesti neljään pääryhmään: adhesiiviseen kulumiseen, abrasiiviseen kulumiseen, tribokemialliseen kulumiseen ja väsymiskulumiseen. Näitä kulumismekanismeja voidaan kuvata seuraavasti:

Adhesiivinen kuluminen eli tartuntakuluminen syntyy kahden kosketuspinnan liukuessa toisiaan vasten, jolloin pinnankarheuksien huiput leikkautuvat toisiinsa kiinni. Kiinni leikkautuneen liitoksen revetessä, muualta kuin alkuperäisestä pintojen rajapinnasta, syntyy adhesiivista kulumista. (Parikka & Lehtonen 2000, 7–8.)

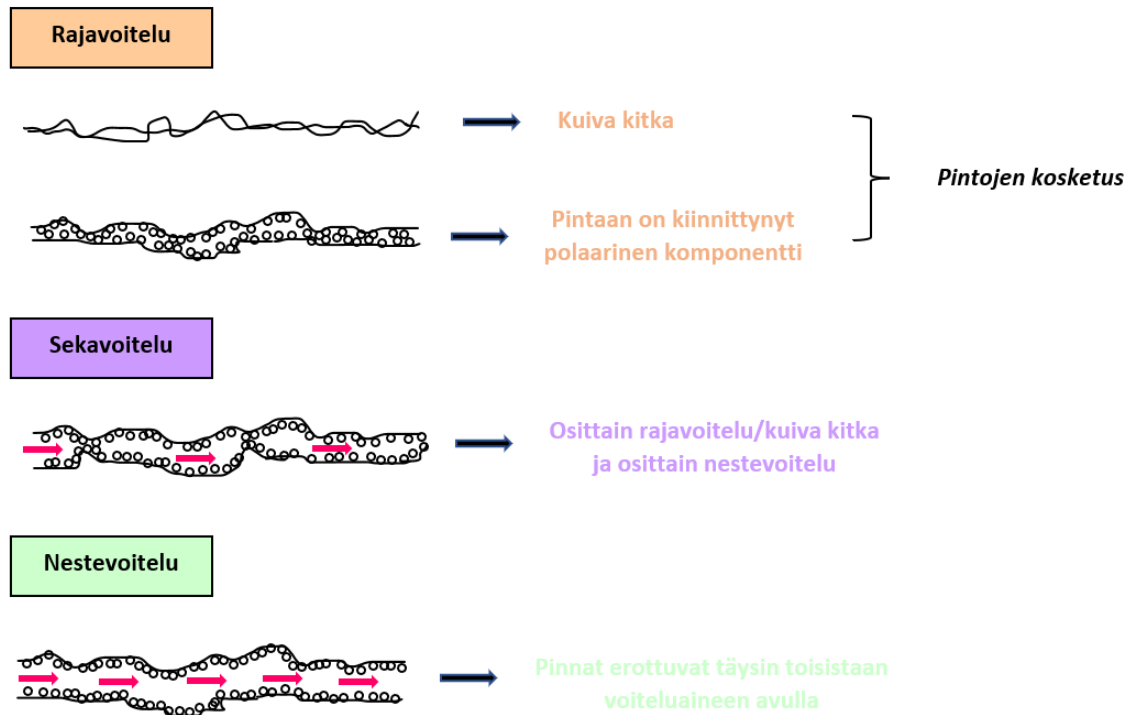
Abrasiivinen kuluminen eli hiontakuluminen jaetaan kahteen erilaiseen tapaukseen, jotka ovat kahden ja kolmen kappaleen abraasio. Kahden pinnan abraasiassa lujemman materiaalin pinnankarheushuiput kuluttavat pehmeämmän materiaalin pinnankarheushuippuja, kun taas kolmen kappaleen abraasiassa liukuvien pintojen välissä on kovia partikkeleita, jotka kuluttavat toista pintaa tai molempia pintoja. (Parikka & Lehtonen 2000, 8–9.)

Tribokemiallinen kuluminen on kosketuspintojen pintakalvoissa tapahtuvaa kulumista. Kulumista tapahtuu, kun metallipinta muodostaa kuluneen pintakalvon tilalle uutta kalvoa. Esimerkiksi teräksen tapauksessa oksidikerrosta. (Aarnio ym. 2013, 16.)

Väsymiskuluminen on kulutuspintojen väsymisrasituksesta syntyvän väsymismurtuman irrottaman kulutuspartikkelin aiheuttamaa kulumista. Väsymiskuluminen vaatii pitkäaikaista ja vaihtelevaa kuormitusta. (Aarnio ym. 2013, 16.)

6.2 Voitelumekanismit

Voitelumekanismit voidaan jakaa käyttö- ja suunnitteluarvojen mukaan raja-, seka- tai nestevoiteluun (Kuva 6).



Kuva 6. Eri voitelumekanismiä havainnollistettuna (mukaillen Aarnio ym. 2013, 19). Kuvassa esiintyy raja-, seka- ja nestevoitelumekanismit.

Rajavoitelussa vastinpintojen pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan, jolloin varsinaista vastinpintoja erottavaa voiteluainekalvoa ei vielä tai enää ole. Voiteluaineen sisältämien lisäaineiden, erityisesti paineenkestolisäaineiden (EP) ja kulumisenestolisäaineiden (AW), ansiosta kosketuspinoille muodostuu niitä suojaavat ja liukastavat kalvot. Hallittu rajavoitelu pitää kitkakertoimen pienenä, mutta pintakalvojen peittäessä voi kitkakertoimen kohota materiaaliparin kuivakitka-arvoja vastaavalle tasolle (Kuva 6). (Aarnio ym. 2013, 19.)

Sekavoitelussa yhdistyy raja- ja nestevoitelu. Siinä kuormituksesta osan kantaa pienikitkainen voiteluainekalvo ja loput kuormituksesta välittyy

pinnankarheushuippujen kautta. Pienikitkaisen voiteluainekalvon paksuuden kasvaessa pinnankarheushuipuille välittyvän kuormituksen määrä vähenee ja kosketuksen kokonaiskitkakerroin pienenee. Tällöin kitkakerroin voi pienenkin olosuhdemuutoksen takia vaihdella huomattavasti, jolloin esimerkiksi lämpötilavaihtelut kosketuksessa voivat olla suuria. Sekavoitelutilanne voi muuttua rajavoitelutilanteeksi lämmönkehityksen kasvaessa. (Aarnio ym. 2013, 20.)

Nestevoitelussa voiteluainekalvolla voidaan erottaa kosketuspinnat toisistaan, jolloin sen kitka pysyy alhaisena ja materiaalin kulumista tai ennenaikaista väsymistä ei juurikaan esiinny. Nestevoitelu voidaan jaotella hydrodynaamiseen, elastohydrodynaamiseen tai hydrostaattiseen voiteluun. (Aarnio ym. 2013, 20.)

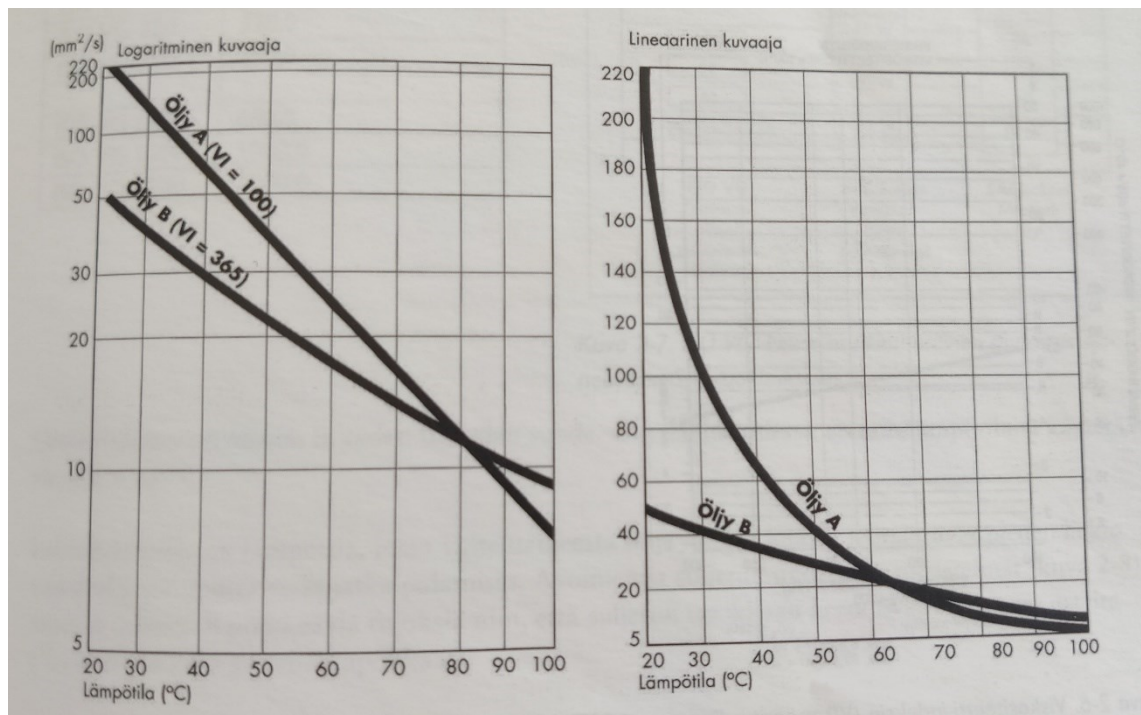
6.3 Voiteluaineiden ominaisuudet

Voiteluaineen ominaisuudet ovat tärkeitä toivotun toiminnan kannalta. Koska voitelun käyttötarkoitukset ja olosuhteet vaihtelevat sovellusten välillä, vaihtelevat myös voiteluaineelle annetut vaatimukset. Voiteluaineiden ominaisuuksien ymmärtämisestä on hyötyä erityisesti voiteluaineen valinnassa. Voiteluaineen tärkein ominaisuus on viskositeetti. Muita tyypillisiä ominaisuuksia ovat muun muassa: ominaispaine, leimahduspiste, jähmepiste ja neutraloimisluku. (Antila ym. 2006, 48.)

6.3.1 Viskositeetti

Viskositeetti on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta ja se kuvaa voiteluaineen sisäisen kitkan suuruutta. Yleisesti korkeampi viskositeetti antaa paksumman voiteluainekalvon, kun taas alhaisempi viskositeetti antaa ohuemman voiteluainekalvon. Jos voiteluainekalvo on liian ohut, voivat vastinpinnat joutua kosketuksiin toistensa kanssa aiheuttaen kitkan kasvua. Toisaalta, jos voiteluainekalvo on liian paksu, vaaditaan pintojen liikuttamiseen ylimääräistä energiaa. (Rudolphi, Kassfeldt & Torbacke 2014, 20–21.)

Dynaaminen viskositeetti eli absoluuttinen viskositeetti kuvaa virtauksen nestevastusta leikkausjännityksen aikana. Sen määrittämiseen käytetään rotaatioviskosimetriä. Dynaamisen viskositeetin yksikkö SI-järjestelmässä on Ns/m^2 . Kinemaattinen viskositeetti on voiteluaineiden määrittämisessä yleisesti käytetty ja sitä käytetään esimerkiksi teollisuusöljyjen ISO VG-luokan määrittämiseen. Kinemaattinen viskositeetti mitataan kapillaariviskometrillä, $+40\text{ }^\circ\text{C}$ ja $+100\text{ }^\circ\text{C}$ määrittämissä lämpötiloissa, jotka kattavat yleiset käyttölämpötilat (Kuva 7). Se kuvaa virtauksen kestävyttä painovoiman alla ja sen yksikkö SI-järjestelmässä on mm^2/s . Kinemaattisesta viskositeetista käytetään myös yksikköä cSt (senttistoke). (Rudolphi ym. 2014, 21–23.)



Kuva 7. Lämpötilan vaikutus öljyn kinemaattiseen viskositeettiin. (Aarnio ym. 2013, 51.)

Viskositeetti-indeksi kuvaa voiteluaineen viskositeetin ja lämpötilanmuutoksen riippuvuutta. Mitä suurempi voiteluaineen viskositeetti-indeksi on, sitä pienempi on lämpötilan vaikutus viskositeettiin. Viskositeetti-indeksi saadaan $+40\text{ }^\circ\text{C}$ ja $+100\text{ }^\circ\text{C}$ määrittämissä lämpötiloissa mitattujen viskositeetti-arvojen avulla. (Antila ym. 2006, 50.)

6.3.2 Ominaispaino

Voiteluaineen ominaispainolla tarkoitetaan voiteluaineen ja veden tiheyden suhdetta. Öljyteollisuudessa sen vertailulämpötilana käytetään yleensä +15 °C. (Antila ym. 2006, 52.)

6.3.3 Leimahduspiste

Leimahduspisteellä tarkoitetaan alinta lämpötilaa, jossa öljy höyrystyy muodostaen ilman kanssa syttyvän seoksen, joka leimahtaa mutta ei jää yksinään palamaan. (Rudolphi ym. 2014, 27–28.)

6.3.4 Jähmepiste

Jähmepisteenä pidetään lämpötilaa, jossa öljy lakkaa virtaamasta omalla painollaan. Se on ylin lämpötila, jolloin koeputkessa oleva voiteluaine ei enää kallistettaessa liiku viiteen sekuntiin. (Antila ym. 2006, 54.)

6.3.5 Neutraloimisluku

Voiteluöljyt voivat sisältää vanhenemisen, lisäaineistuksen tai käytöstä johtuvan hapettumisen vaikutuksesta happamia tai emäksisiä aineita. Neutraloimisluku ilmoittaa happamien tai emäksisten aineiden määrät, jotka vaaditaan öljyn neutraloimiseksi. (Antila ym. 2006, 77.)

6.4 Voiteluaineiden luokitukset

Voiteluaineille on useita luokituksia, joille yhteistä on niiden tarkoitus toimia peruskielenä käyttäjän, toimittajan ja laitevalmistajan välillä. Voiteluaineiden useista osatekijöistä on koottu yhtenäinen mitattavissa oleva ilmaisu niiden soveltuvuudesta eri käyttötarkoituksiin. Tässä osiossa käsitellään tässä työssä hyödynnettyä ISO VG-luokitusta. (Aarnio ym. 2013, 87.)

6.4.1 ISO 3448 VISCOSITY GRADE

Maailmanlaajuisesti käytetty ja tunnettu luokitusjärjestelmä on tehty erityisesti hydraulikka- ja teollisuusöljyille. Voiteluaineiden viskositeetti ilmoitetaan ISO 3448 normin mukaisesti ISO VG-luokkana (Kuva 8). ISO VG-lukuarvo ilmoittaa kyseisen öljyn kinemaattisen viskositeetin +40 °C:een lämpötilassa yksikössä mm²/s (cSt), jossa viskositeetin vaihteluraja +/- 10 %. Kuvasta 8. nähdään ISO VG-luokituksen kahdeksantoista viskositeettiluokkaa. (Teboil Oy 2022, 16.)

ISO VG -luokka	Keskiviskositeetti mm ² /s /40 °C lämpötilassa, vaihtelurajat ± 10%
ISO VG 2	2,2
ISO VG 3	3,2
ISO VG 5	4,6
ISO VG 7	6,8
ISO VG 10	10
ISO VG 15	15
ISO VG 22	22
ISO VG 32	32
ISO VG 46	46
ISO VG 68	68
ISO VG 100	100
ISO VG 150	150
ISO VG 220	220
ISO VG 320	320
ISO VG 460	460
ISO VG 680	680
ISO VG 1000	1000
ISO VG 1500	1500

Kuva 8. ISO VG viskositeettiluokat (Teboil Oy 2022,16).

7 VOITELUÖLJYT

Yleisimmin voiteluaineet ovat öljypohjaisia, ja suurin osa niistä on nestemäisessä muodossa. Voiteluöljyt koostuvat perusöljyistä (Kuva 9) ja lisäaineista. Perusöljyinä käytetään mineraali- ja kasviöljyjä ja synteettisiä öljyjä. (Aarnio ym. 2013, 55.)

Erilaisten perusöljyjen ominaisuuksien vertailu	Viskositeetti-lämpötila-käyttäytyminen	Kulumissuoja	Kitkäkäyttäytyminen	Vaikutusmaaleihin	Vaikutus tiiviste-materiaaleihin	Sekoitettavuus mineraali-öljyyn	Kylmäkäyttäytyminen	Hapettumiskestävyys korkeissa lämpötiloissa	Syttyvyys	Suhteellinen hinta
Mineraaliöljy	0	0	+	+++	+++		0	0	-	1
VHVI	++	++	++	+++	+++	+++	+	++	-	4
Polyalfaoleiini	++	0	+	+++	++	+++	++	++	-	5
Alkylibentseenit	0	0	+	+++	+++	+++	+	0	-	4
Diesterit	++	0	+	-	0	+	+	+	0	5
Polyoliesterit	++	0	++	-	0	0	++	+++	0	5
Polyglykolit	++	+++	+++	+	+	-	+	+++	0	6
Fosforihaptoesterit	-	++	++	-	0	-	0	+	++	6
Silikoniöljyt	+++	-	-	++	+++	-	+	+	+	40

Kuva 9. Erilaisten perusöljyjen ominaisuuksien vertailu (mukailten Aarnio ym. 2013, 58).

7.1 Mineraaliöljyt perusöljynä

Mineraaliöljy on raakaöljystä puhdistettua ja tyhjiötislaamalla jalostettua öljyä. Raakaöljyiltä toivotaan jalostuksen kannalta tiettyjä ominaisuuksia, joita ovat pieni aromaattipitoisuus, pieni rikkipitoisuus ja stabiilius. Näillä ominaisuuksilla on vaikutusta voiteluaineen voiteluominaisuuksiin ja kestävyys- ja hapettumista vastaan. Voiteluaineen viskositeetti-indeksiin, jähme- ja leimahduspisteeseen ja tiheyteen vaikuttaa hiilivetykoostumus. (Aarnio ym. 2013, 55.)

7.2 Synteettiset öljyt

Synteettiset nesteet on valmistettu kemiallisen prosessin avulla ja ne koostuvat synteettisistä hiilivedyistä. Synteettisiä hiilivetyjä ovat polyalfaolefiini (PAO) ja alkyylibentseenit. Lisäaineistetulla PAO-pohjaisella nesteellä on hyvä hapettumisenestokyky ja poikkeuksellisen hyvät viskositeettiominaisuudet sekä kylmässä että kuumassa. PAO-pohjaisista tuotteista voidaan valmistaa melkein kaikenlaisia voiteluaineita. Alkyylibentseenit omaavat hyvän liukoisuuden ja ovat käytössä muun muassa jäähdytyskompressoreissa. (Aarnio ym. 2013, 58.)

7.3 Kasviöljyt perusöljynä

Kasviöljyjä käytetään ainoastaan raaka-aineina biohajoavien voiteluaineiden valmistukseen. Ne ovat triglyseridejä ja luonnon estereitä, jotka soveltuvat sellaisenaan huonosti kylmiin olosuhteisiin. Kylmäominaisuuksia voidaan parantaa jalostamalla niistä estereitä. Kasviöljyjen etuja ovat hyvät kitkaominaisuudet, korkea leimahduspiste ja biohajoavuus. Biohajoavuuden takia niitä käytetään esimerkiksi metsäteollisuudessa, jossa riski voiteluaineiden päätyemisestä ympäristöön, kuten vesistöihin, on suuri. Ei toivottuja ominaisuuksia biohajoavilla voiteluaineilla on pysyvä jähmettyminen kylmässä, lyhyt käyttöikä, heikko hapettumisenkesto, käyttölämpötilojen rajoittuneisuus ja koneen pintojen hartsiintuminen (Aarnio ym. 2013, 59.)

7.4 Lisäaineet

Nykyaikaiset voiteluaineet sisältävät erilaisia kemiallisia aineita eli lisäaineita. Niiden on tarkoitus parantaa perusvoiteluaineen toimintaa tietyillä osa-alueilla, joita ovat: voiteluaineen suorituskyvyn tehostaminen, voiteluaineeseen päätyvien epäpuhtauksien jakauttaminen, pintojen suojaaminen ympäristön kanssa tapahtuvilta reaktioilta ja voiteluaineen oman eliniän jatkaminen.

Lisäaineet vaikuttavat fysikaalisesti tarttumalla voideltaviin pintoihin tai kemiallisesti reagoimalla pintojen kanssa muodostaen uuden yhdisteen. Usein lisäaineet ovat vaikutuksiltaan monitoimisia. Niitä on lukuisia koostumukseltaan ja toiminnaltaan erilaisia, joten tässä työssä käsitellään vain teollisuusvoitelun kannalta tärkeimmät lisäaineet. Näitä lisäaineita ovat kulumisenestolisäaineet, paineenkestolisäaineet, viskositeetti-indeksin parantajat, detergentit, dispersantit, hapettumisenestolisäaineet, korroosionestolisäaineet, kitkanalentajat ja vaahtoamisenestolisäaineet. (Aarnio ym. 2013, 60.)

7.4.1 Kulumisenesto

Kulumisenestolisäaineet (AW) muodostavat kosketuksissa olevien liikkuvien pintojen päälle kemiallisia kerroksia, jotka leikkautuvat helpommin kuin itse metalli suojaten näin itse pintoja kulumiselta. Niin kauan kuin voiteluaine sisältää AW-lisäainetta muodostaa lisäaine uudet kemialliset kerrokset välittömästi reaktiivisen metallipinnan paljastuttua. Koska kemialliset kerrokset kuluvat leikkautuessaan on kulumisenestolisäaineiden häviäminen yksi voiteluaineen vanhenemisen syistä. (Aarnio ym. 2013, 60.)

7.4.2 Paineenkesto

Paineenkestolisäaineet (EP) kasvattavat perusvoiteluaineen kuormankantokykyä reagoimalla metallipintojen kanssa, kun pinnat ovat suuren paikallisen pintapaineen aiheuttamassa korkeassa lämpötilassa. Reagoimalla metallipintojen kanssa lisäaine muodostaa kitkaa pienentävän ja metallipintojen kulumista vähentävän kerroksen. EP-lisäaineita käytetään rajusti kuormitettujen kohteiden voiteluaineissa. (Aarnio ym. 2013, 59.)

7.4.3 Viskositeetti-indeksin parantajat

Voiteluaineen viskositeetti on aina riippuvainen lämpötilasta. Viskositeetti-indeksin parantajilla (VI-lisäaineilla) on mahdollista vähentää voiteluaineen viskositeetin riippuvuutta lämpötilasta. VI-lisäaineet mahdollistavat voiteluaineet, joilla on hyvät käynnistys- ja kitkaominaisuudet, myös kylmissä olosuhteissa. Korkeissa lämpötiloissa ne antavat voiteluaineelle hyvän voitelukalvonmuodostuskyvyn. VI-lisäaineiden toiminta perustuu öljymolekyylien vapaan liikkumisen estämiseen lämpötilan kohotessa. (Aarnio ym. 2013, 62.)

7.4.4 Detergentit ja dispersantit

Detergentit ovat pinta-aktiivisia aineita, joilla estetään epäpuhtauksien tarttuminen koneenosien pintoihin pitäen ne puhtaina. Ne muodostavat koneenosien pinnoille likaa hylkivän kerroksen. Dispersantit eli jakauttaja-aineet sen sijaan muodostavat kerroksen epäpuhtauksien ympärille, joka estää niiden tarttumisen toisiinsa. Näin öljyn epäpuhtaudet pidetään hallitusti pieninä hiukkasina, jolloin haitallista sakkaa tai lakkamaisia kerrostumia ei pääse muodostumaan koneenosien pinnoille. Molempia lisäaineita käytetään erityisesti moottoriöljyissä. (Aarnio ym. 2013, 63.)

7.4.5 Hapettumisenesto

Voiteluaineen altistuessa korkealle lämpötilalle sen hapettuminen eli kemiallinen vanheneminen nopeutuu. Hapettumisenestolisäaineilla pidennetään voiteluaineen elinikää hidastamalla kemiallista vanhenemista. Hapettumisenestolisäaineita käytetään yleisesti kohteissa, jotka ovat korkeasti kuormitettuja tai toimivat muuten korkeissa lämpötiloissa. Kohteen suuri voiteluainetilavuus on myös perusteltu syy hapettumisenestolisäaineiden käytölle. (Aarnio ym. 2013, 64.)

7.4.6 Korroosionesto

Korroosionestolisäaineet muodostavat metallipinnalle kalvon, joka ei päästä kosteutta tai happea kosketukseen metallipinnan kanssa, estäen kosteuden ja hapen aiheuttaman korroosion syntymisen. Korroosionesto voi tapahtua fysikaalisesti pitkäketjuisilla hiilivedyillä, jotka tarttuvat metallipintaan polaarisisinä molekyyleinä tai kemiallisesti reagoimalla metallipinnan kanssa muuttaen sen elektrokemiallista potentiaalia. Esimerkiksi paineenkestolisäaineet saattavat toimia korroosion katalyytteinä, joten korroosionestolisäaineet ovat olennainen osa lisäaineistuksen tasapainottamisessa. (Aarnio ym. 2013, 64.)

7.4.7 Kitkanalentajat


Kitkanalentajat (FW) alentavat kitkaa liikkuvien pintojen välillä tilanteissa, joissa liikenopeudet ovat alhaiset, kuten koneiden käynnistys- ja pysäytysvaiheissa. Ne toimivat raja-voitelulisäaineiden tavoin ja muodostavat kitkaa alentavan kalvon metallipinnalle. (Aarnio ym. 2013, 64.)

7.4.8 Vaahtoamisenesto

Voiteluaineen vaahtoamisessa syntyneet kuplat eivät pintaan noustessaan rikkoudu, koska kuplan ympärillä olevan öljykalvon pintajännitys on liian suuri. Vaahtoamisenestolisäaineet pienentävät kohteessa käytetyn öljyn pintajännitystä, jolloin muodostuneet vaahtokuplat rikkoutuvat. Voiteluaineen vaahtoaminen heikentää sen voiteluominaisuuksia. (Aarnio ym. 2013, 64.)

8 ÖLJYNÄYTTEENOTTO

Tarve öljynäytteenottamisen käsittelylle ja kehittämiselle huomattiin tätä työtä tehdessä. Kattilahuoneen öljyjenvaihtovälin pidentämistä suunniteltaessa tarkasteltiin öljyanalyysiraportteja. Raportteja käytiin läpi yhteensä kymmenen kappaletta, joista jokaisessa oli puutteita näytteeseen kirjatuiissa tiedoissa (Kuva 10). Jokaisesta raportista puuttui näytteenottaja ja viidestä raportista näyteöljyn merkki ja laatu. Näytteiden tiedoissa oli havaittavissa myös muita puutteita. Kunnossapidon työsuunnittelusta tiedusteltiin kirjallista näytteenotto-ohjetta asentajille, jolloin selvisi, ettei sellaista ole. Samalla selvisi, että näytteitä on jouduttu ottamaan uudestaan virheellisesti otettujen näytteiden takia. Päätettiin kehittää kirjallinen näytteidenotto-ohje osana kehittämistyötä.

 RAPORTTI <small>11.8.2022</small>		1(2)
ASIAKAS Oy Turku Energia	NÄYTE Osasto / Projekti: Järjestelmän tunnus: 4EBC30AF001 Järjestelmä (kone/laite): Hiilen sisäänajo, hiilikola murskan jälkeen Näytteenottotapa: Näytteenottopäivä: 4.8.2022 Näytteenottaja: Öljy: Öljyn käyttöaika: Koneen käyttöaika: Suodattimet:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">H82938</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; background-color: green; color: white;">Öljyn kunto</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; background-color: green; color: white;">Kuluminen</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; background-color: yellow;">Puhtaus</div>
YHTEYSHENKILÖ Tero Rantanen		

Kuva 10. Öljyanalyysi-raportin puutteelliset näytetiedot. Näytetiedoista puuttuu näytteenottaja, öljyn käyttöikä, koneen käyttöaika, öljyn laatu ja merkki.

8.1 Näytteenoton välineet

Voimalaitoksen öljynäytteenotossa havaittiin puutteita siihen tarvittavien työvälineiden osalta. Varastossa on saatavilla näytteitä varten pulloja, joita säilytetään avonaisessa pahvilaatikossa korkittomina. Ne eivät näin ollen ole hiukkasvapaita näytepulloja, ja ennen näytteenottoa ne on pestävä hyvin tai huuhdeltava kerran tai kaksi näyteöljyllä ennen varsinaisen näytteen ottoa. Näytteiden ottamiseen osoitettua alipainepumppua ei ole tarjolla, jolla voisi ottaa edustavan näytteen helposti - välillä hankalissakin paikoissa sijaitsevista laitteista. Näytteitä otetaan usein vaihdelaatikoista, joista edustavaa näytettä on hankala ottaa ilman alipainepumppua. Suositeltavaa on, että kunnossapidon asentajille hankittaisiin öljynäytteiden ottamista varten soveltuva alipainepumppu. Alipainepumpulta vaadittava ominaisuus on, että sen rakenne ei kosketa itse näyteöljyyn näytteenottohetkellä. Kuvassa 11. on Fluidlab Oy:n öljynäytteiden keräämistä varten suunniteltu alipainepumppu, hiukkasvapaa öljynäytepullo ja kumiletku.



Kuva 11. Fluidlab Oy:n alipainepumppu. (Fluidlab Oy 2023.)

8.2 Öljynäytteiden tiedot

Öljynäytteiden tiedot auttavat näytteen yksilöimisessä. Tietojen merkitys korostuu, kun samasta kohteesta otetaan säännöllisin väliajoin useampia näytteitä. Näytteenottaja saattaa vaihtua jokaisen näytteenottokerran välissä, joten tieto näytteenottajasta on tärkeä. Tällöin esimerkiksi seuraavalla näytteenottokerralla on mahdollista tiedustella edelliseltä näytteenottajalta, miten näyte on otettu. Näytteet tulisi ottaa aina samalla tavalla, jolloin ne ovat keskenään vertailukelpoisia.

Öljynäytteet tulisi merkitä yksilöllisesti siten, että näytteenoton perusteella pystytään selvittämään:

- Päivämäärä, jolloin näyte on otettu
- Näytteenottaja
- Kohteen yksilöivät tiedot
- Öljyn merkki ja laatu

Olisi suositeltavaa hankkia näytteenottopullojen läheisyyteen valmiiksi kuvan 12. mukaisia tulostettuja tarroja, joihin näytetiedot tulisi helpommin ja varmemmin kirjattua. Tähän mennessä tietoja on kirjattu tussilla suoraan pullon kylkeen.

Öljynäyte
Näytteenotto päivämäärä:
Näyteöljyn merkki ja laatu:
Järjestelmän tunnus:
Järjestelmän nimi:
Näytteenottaja:

Kuva 12. Valmis tarrapohja öljynäytteestä merkittäviin tietoihin.

8.3 Öljynäytteenotto-ohjeistus

Öljynäytteenotossa havaittujen puutteiden pohjalta tehtiin öljynäytteenotto-ohje (Liite 6). Ohjeessa on kaksi erillistä näytteenottomenetelmää, joista ensimmäinen menetelmä on tarkoitettu öljysäiliöstä tai vaihdelaatikosta otettavan näytteen ottamista varten. Toinen menetelmä on puolestaan tarkoitettu näytteenottoventtiilillä varustettujen laitteiden ja järjestelmien näytteenottoa varten. Näytteenotto-ohjeesta selviää näytteen ottoa varten tarvittavat välineet. Molempien menetelmien työvaiheet on jaoteltu selkeästi vaiheittain.

Näytteenottomenetelmissä näytteenottopullot ohjeistetaan huuhtelemaan näyteöljyllä ennen varsinaista näytteen ottoa, sillä yrityksellä ei ole ollut ohjeistuksen teon hetkellä tarjolla täysin hiukkasvapaita näytteenottopulloja tai näytteenottopullojen puhdistukseen soveltuvia hiukkasvapaita liuottimia. Öljynäytteenotto-ohje sisältää myös näytteen ottoon ja työturvallisuuteen liittyviä huomioita.

9 VOITELUÖLJYN VALINTA

Öljynlaadun valinnassa lähtökohtana oli löytää mineraalipohjaiselle öljylle ominaisuuksiltaan sopiva synteettinen öljy, jolla olisi mahdollista pidentää öljyjen vaihtoväliä. Öljynlaadun valinnassa kiinnitettiin huomiota ISO VG-luokitukseen, jonka pohjalta valittiin laitevalmistajan voiteluainetaulukoista synteettinen öljy. Teollisuusvaihteiden X- ja MC-sarjoille löytyy omat voiteluainetaulukot (Liite 7 ja Liite 8), kuten myös vaihdemoottoreille (Liite 9). Viskositeettiluokituksen lisäksi kiinnitettiin huomiota korvaavan öljyn sisältämiin lisäaineisiin.

Vaihteistojen pyörimisnopeus vaikuttaa siihen, vallitseeko hammaskosketuksessa hydrodynaamiset-, elastohydrodynaamiset- vai rajavoiteluolosuhteet. Rajavoiteluolosuhteissa voiteluaineelta vaaditaan kulumisenesto- ja paineenkestolisäaineistusta. Vaihteiden hammaspyörät asennusasennon mukaan joko vatkaavat tai roiskivat voiteluöljyä, jolloin ilman kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala on suuri. Tästä syystä riittävä hapettumisen- ja vaahtoamisenestolisäaineistus on tarpeellinen.

9.1 Nykyiset voiteluaineet

Tutkittavia vaihdelaatikoita kattilahuoneessa oli yhteensä 51 kappaletta ja öljyä niihin mahtui noin 1450 litraa. Melkein jokaisessa vaihteistoissa käytetään mineraalipohjaista Mobilgear 600 XP 220 -öljyä. Synteettisiä öljyjä käytössä on vain kolmen kolakuljettimen vaihdelaatikoissa, ja näistä kahdessa on käytössä Mobil SHC 680 -öljy ja yhdessä Mobil SHC 632 -öljy. Neljässä vaihdelaatikossa havaittiin, että käytetään väärän viskositeetin öljyä.

9.2 Vertailuun valitut voiteluaineet

Korvattavana öljynlaatuna oli Mobilgear 600 XP 220. Kyseiselle öljynlaadulle etsittiin korvaajia laitevalmistajan voiteluainetaulukoista (Liite 7, Liite 8 ja Liite 9), joista löytyi vaihdelaatikoihin soveltuvia öljyjä eri käyttöolosuhteiden mukaan. Vaihdelaatikoihin soveltuvia öljyjä löytyi laadultaan ja merkiltään useita. Voimalaitoksella käytössä olevista voiteluaineista suurin osa on ExxonMobilin Mobil-tuotesarjaa, joten korvaavaa öljyä etsittiin ensisijaisesti samasta tuotesarjasta. Käytössä olleen mineraaliöljyn ISO VG-luokka on 220, joten etsittiin voiteluainetaulukoista saman ISO VG-luokan synteettiset öljyt. Tämän pohjalta sopivia synteettisiä öljyjä löytyi taulukoista: CLP HC Mobil SHC Gear 220, CLP HC Mobil SHC 630, CLP PG Mobil Glygoyle 220 ja CLP PG Mobilgear SHC XMP220.

Edellä mainituista öljyistä mineraaliöljyn korvaajaksi valikoitui Mobil SHC 630. Kyseisen öljyn ominaisuudet sopivat kohteisiin ja sama öljyalaatu on jo laajasti käytössä muualla voimalaitoksella, joten voiteluainelaatujen määrä ei kasva tarpeettomasti. Poikkeuksena neljään, hiilijärjestelmän MC-tyyppisarjan kartiohammasvaihteeseen, valikoitui Mobil SHC 632 -öljy, sillä vaihteissa oli käytetty viskositeettiluokan 220 öljyä, joka poikkeaa laitevalmistajan antamasta suosituksesta (Kuva 13).

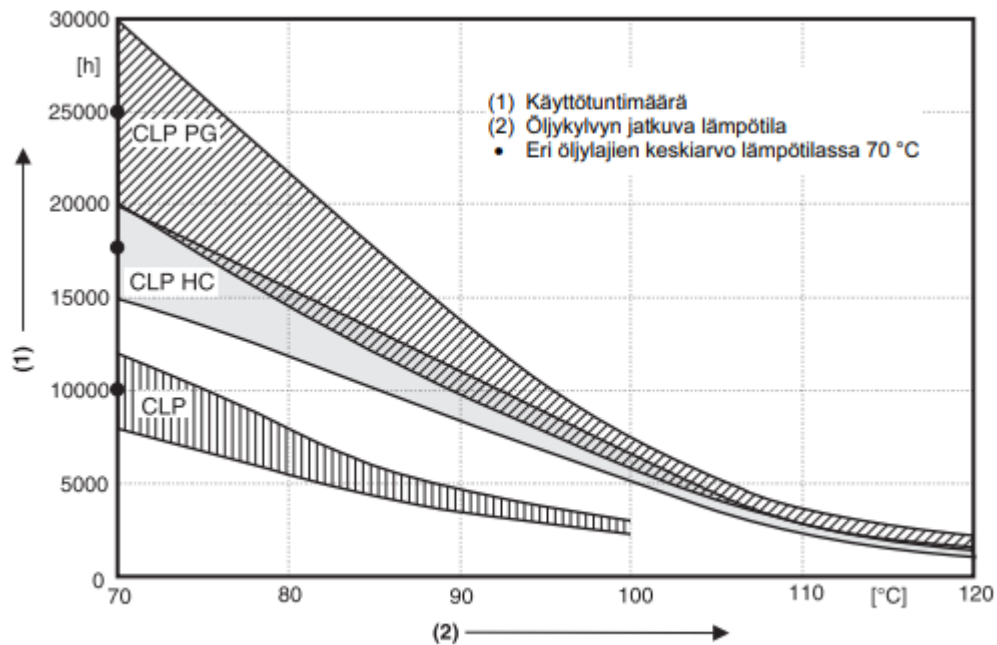


Kuva 13. MC-sarjan kartiohammasvaihteen tyyppikilpi ja käytössä olevan öljynlaadun ilmoittava tarra. Vasemmalla olevan MC-sarjan

kartiohammasvaihteen tyyppikilvestä nähdään suositeltu öljyalaatu, joka tässä tapauksessa on ISO VG 320 -luokan öljy. Oikealla nähdään laitteen kyljessä oleva tarra, josta selviää käytössä olleen ISO VG 220- luokan öljy.

9.3 Vaihtovälit

Kattilahuoneen vaihdelaatikoiden öljyt on vaihdettu tähän mennessä kahden vuoden välein. Laitevalmistajan asennus- ja käyttöohjeesta löytyi suositellut vaihtovälit eri öljytyypeille (Kuva 14).



Kuva 14. Suositellut öljynvaihtovälit laitevalmistajan asennus- ja käyttöohjeen mukaan (SEW EURODRIVE Oy 2005).

Kuvassa 14. nähdään mineraaliöljyjen (CLP), synteettisten öljyjen (CLP HC) ja synteettisten polyglykoleiden (CLP PG) vaihtovälit. Tällä hetkellä käytössä oleva Mobil 600 XP 220 kuuluu CLP-käyrälle ja korvaajaksi valikoitunut Mobil SHC 630 kuuluu CLP HC-käyrälle. Kolmessa kuljettimessa, joissa on käytetty synteettisiä, Mobil SHC 680 ja Mobil SHC 632, voiteluaineita kuuluvat CLP HC-käyrälle.

Kattilahuoneen kuljettimet pyörivät tasaisesti lähes koko käyntikauden ajan ja niiden vuosittaiset käyttötunnit ovat keskimäärin noin 6 500 tuntia. Laatikoiden öljykylvyn lämpötilat vaihtelevat +60 °C ja +80 °C välillä, riippuen laitteen kuormituksesta. Kuljettimet ovat käytännössä poissa käytöstä ainoastaan vuosihuoltojen aikana, jolloin myös öljynvaihdot tapahtuvat. Nykyisellä mineraaliöljyllä laitetoimittajan suosittama normaali vaihtoväli on 1 v/5 000 h ja suosituksen mukaan ne on vaihdettava viimeistään noin 12 500 käyttötunnin kohdalla öljykylvyn jatkuvan lämpötilan ollessa +70 °C. Koska öljyt vaihdetaan tällä hetkellä kahden vuoden välein, käyttötunteja ehtii kertyä laitteille noin 13 000 tuntia. Tästä voidaan huomata, että tämänhetkinen vaihtoväli on laitevalmistajan ohjeistukseen verraten ainakin osittain alimitoitettu.

Synteettisellä öljyllä suositeltu vaihtoväli on noin 17 500 käyttötuntia. Öljyt suositellaan vaihtamaan viimeistään 20 000 käyttötunnin kohdalla, jatkuvan öljykylvyn ollessa +70 °C. Suositeltujen vaihtovälien perusteella vaihtoväli voitaisiin synteettiseen öljyyn siirryttäessä pidentää kolmeen vuoteen, jolloin käyttötunteja kertyisi ennen öljynvaihtoa 19 500 tuntia. Näin öljynvaihdon suositeltua takarajaa ei ylitettäisi, kuten tällä hetkellä mineraaliöljyn kanssa.

Vaihdelaatikoista, joissa oli valmiiksi käytössä synteettiset Mobil SHC 680 ja Mobil SHC 632 -öljyt, on kahden vuoden käytön jälkeen tehty öljyanalyysit. Öljyanalyysiraporttien pohjalta voiteluaineet ovat edelleen käyttökelpoisia. Öljyanalyysiraportista (Liite 10) voidaan huomata kinemaattisen viskositeetin laskeneen kahdessa vuodessa ainoastaan 680,0 senttistokesta 677,68 senttistokeen. Tämän lisäksi voiteluaineen hiukkaspitoisuus ja kosteuspitoisuus on hyvällä tasolla. Voiteluaineessa ei ole merkittäviä ikääntymisen merkkejä ja lisäksi kulutusmetallien määrä on normaalilla tasolla. Näiden havaintojen perusteella myös näiden laitteiden öljynvaihtoväli voidaan pidentää kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen. Tämä myös tukee näkemystä muiden vaihteistojen kohdalla siitä, että vaihtoväli on mahdollista pidentää synteettisellä öljyllä kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen.

9.4 Tiivistemateriaalit

Laitevalmistajan asennus- ja käyttöohjeesta selviää, että akselintiivisteiden, ilmausventtiileiden ja sulkutulppien tiivistemateriaalina on käytössä fluorikautsukkipohjaista elastomeeria eli fluorikumia. Voiteluaineen valmistajan tuoteselosteen mukaan Mobil SHC 600 -sarjan voiteluaineet ovat yhteensopivia nitrilikumitiivisteiden, fluorikumitiivisteiden ja useiden muiden mineraaliöljyjen kanssa käytettävien elastomeerien kanssa. Elastomeerejä on kuitenkin nykyisin käytössä lukuisia hieman toisistaan poikkeavia, joten fluorikumitiivisteiden soveltuvuudesta oltiin yhteydessä laitevalmistajaan. Laitevalmistajan mukaan kyseiset fluorikumitiivisteet soveltuvat käytettäväksi kyseisten synteettisten öljyjen kanssa. Tiivistemateriaalit eivät näin ollen aiheuta rajoitetta tai toimenpiteitä siirryttäessä mineraalipohjaisesta öljystä synteettiseen öljyyn. (ExxonMobil Oy 2023; SEW-EURODRIVE Oy 2005; SEW-EURODRIVE Oy 2014; SEW-EURODRIVE Oy 2015.)

9.5 Sekoitettavuus

Voiteluaineita ei suositella koskaan sekoitettavaksi keskenään. Keskenään sekoitettujen öljylaatujen sisältämien lisäaineiden kemiat saattavat kumota toinen toisensa vaikutuksia. Näin ollen mineraaliöljyistä synteettisiin öljyihin siirryttäessä, vaihdelaatikot tulisi huuhdella ja puhdistaa huolellisesti parhaan suorituskyvyn saavuttamiseksi. Erityisesti huolellisen huuhtelun ja puhdistuksen tarve korostuu tilavuudeltaan suurien vaihteistojen kohdalla. (Aarnio ym. 2013, 74.)

9.6 Kustannuslaskenta

Öljynvaihtovälien harventumisen kustannusvaikutuksia tutkittiin kustannuslaskennan avulla. Harvemmin tehdyt öljyjenvaihdot tuovat säästöä työ- ja voiteluainekustannuksissa, mutta synteettisen öljyn huomattavasti korkeampi hinta antoi aiheitta tarkastella kustannusvaikutuksia tarkemmin. Kustannuslaskennassa otettiin tarkasteluajanjaksoksi 12 vuotta, jolloin kehityksen suunta on selkeämmin tulkittavissa. Luku 12 on myös jaollinen 2:lla ja 3:lla, jolloin laskennassa ei tarvinnut käsitellä desimaalilukuja. Voiteluaineiden hinnat olivat Öljycenter Finland Oy:n arvonlisäverollisia kuluttajahintoja ja työtunnin hintana käytettiin arviota, joka oli 45 €/h. Laskennassa ei siis käytetty yrityksen salassa pidettäviä sopimushintoja. Kustannuslaskelmissa käytetyt voiteluaineiden hinnat ovat yrityksen omia sopimushintoja korkeampia, mutta synteettisen öljyn ja mineraalipohjaisen öljyn välinen hintaero on suhteessa todennäköisesti lähes täysin sama myös sopimushinnoissa.

Kustannuslaskelmissa laskettiin erikseen työtunneista koostuneet kustannukset molemmille vaihtoväleille. Öljynvaihtoista syntyneet työkustannukset nähdään taulukosta 1. molemmille vaihtoväleille. Työkustannuksissa on huomioitu aikaisemmin toteutuneet työtunnit öljynvaihtojen parissa (352 tuntia). Tämän lisäksi laskelmissa huomioitiin öljynvaihtoihin vaadittavien tukitoimintojen työtunnit (128 tuntia). Tukitoiminnot koostuivat vaadittavista telinetöistä, eristetöistä, haalauksesta, ja tarvikkeiden ja työvälineiden hakemisesta. Jos öljynvaihtovälit pidetään samana (2v), työkustannuksia syntyy kahdessatoista vuodessa yhteensä 129 600 €, kun taas kolmen vuoden vaihtovälin kanssa kustannukset ovat 86 400 €, joka on 43 200 € vähemmän. Tästä voidaan huomata, että yritys säästäisi kahdessatoista vuodessa 43 200 € työkustannuksia, jos öljyjen vaihtoväliä pidennettäisiin entisestä kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen.

Taulukko 1. Öljynvaihtoihin sisältyvät työkustannukset.

Toteutuneet työtunnit öljyjen vaihdon parissa			Työtunnin hinta euroina
Öljynvaihto	352	h	45,00 €
Telinetyöt	96	h	Työmäärä tunteina 352h + tukitoiminnot
Eristetyöt	16	h	
Haalaus	8	h	
Tarvikkeet ja työkalut	8	h	
Yhteensä	480	h	
Työkustannukset 12v (vaihtoväli 2v)			
Öljynvaihto	95040	euroa	
Telinetyöt	25920	euroa	
Eristetyöt	4320	euroa	
Haalaus	2160	euroa	
Tarvikkeet ja työkalut	2160	euroa	
Yhteensä	129600	euroa	
Työkustannukset 12v (vaihtoväli 3v)			
Öljynvaihto	63360	euroa	
Telinetyöt	17280	euroa	
Eristetyöt	2880	euroa	
Haalaus	1440	euroa	
Tarvikkeet ja työkalut	1440	euroa	
Yhteensä	86400	euroa	
Työkustannukset 12v erotus			43200 euroa

Eri voiteluainelaatujen muodostamat kustannukset laskettiin vastaavasti kahden ja kolmen vuoden vaihtoväleillä. Taulukosta 2. nähdään käytössä olleen kahden vuoden välein vaihdetun voiteluainelaadun (Mobil 600 XP 220) kustannukset kahdessatoista vuodessa, jotka ovat noin 51 600 €. Lisäksi korvaavien synteettisten voiteluainelaatujen (Mobil SHC 630/632) kustannukset kolmen

vuoden välein ovat noin 99 900 €. Tästä voidaan huomata, että synteettiset voiteluaineet maksaisivat kahdessatoista vuodessa noin 48 300 € enemmän.

Taulukko 2. Voiteluainelaatujen kustannusvaikutukset kahden ja kolmen vuoden vaihtoväleillä.

Öljynvaihtoon tarvittavan öljyn määrä	1280,95 Litraa		Litra hinta
Tynnyri, 208l Mobil 600 XP 220	1 398,04	euroa, sis. Alv 24%	6,72 €
Tynnyri, 208l Mobil SHC 630	4 066,33	euroa, sis. Alv 24%	19,50 €
Tynnyri, 208l Mobil SHC 632	4 066,33	euroa, sis. Alv 24%	19,50 €
Hinnat www.oljycenter.fi			

Kustannukset öljynlaadun vaihdoksesta		
Mobil 600 XP 220 kustannukset 12v (vaihtoväli 2v)		
Öljynvaihdot	6,0	lkm.
Öljyn määrä	7685,7	l
Kustannukset yhteensä	51647,9	euroa
Mobil SHC 630/632 kustannukset 12v (vaihtoväli 3v)		
Öljynvaihdot	4,0	lkm.
Öljyn määrä (SHC 630)	4675,8	l
Öljyn määrä (SHC 632)	448,0	l
Kustannukset yhteensä	99914,1	euroa
Erotus	48266,2	euroa

Kattilahuoneen kolmessa kolakuljettimessa oli vaihdettu vaihteistoöljyt jo aikaisemmin synteettiseen öljyyn, mutta öljynvaihtovälit olivat myös näissä vaihteistoissa vain kaksi vuotta. Kustannuslaskelmissa huomioitiin myös taloudelliset säästöt, jotka syntyvät vaihtovälin pidentämisestä kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen. Taulukosta 3. nähdään näiden vaihteistojen käyttämien voiteluainelaatujen kustannukset kahden ja kolmen vuoden vaihtoväleillä kahdessatoista vuodessa. Pidentämällä näiden vaihteistojen

vaihtoväliä vuodella, rahallista säästöä syntyisi kahdessatoista vuodessa noin 8 000 €.

Taulukko 3. Rahalliset säästöt vaihtovälin pidentämisestä kahdesta vuodesta kolmeen vuoteen kohteissa, joissa öljynlaatua ei vaihdeta.

Säästöt vaihtovälin pidentämisestä kohteissa, joissa öljynlaatua ei vaihdeta			
Vaihtoon vaadittavien öljyalaatujen määrät ja hinnat			
Mobil SHC 680	114	Litraa	Litra hinta
Tynnyri, 208l Mobil SHC 680	5149,60	euroa, sis. Alv 24%	24,76 €
Mobil SHC 632	61	Litraa	Litra hinta
Tynnyri, 208l Mobil SHC 632	4 066,33	euroa, sis. Alv 24%	19,50 €
Hinnat www.oljycenter.fi			
Mobil SHC 680 kustannukset 12v (vaihtoväli 2v)			
Öljynvaihdot	6	lkm.	
Öljyn määrä	684	l	
Kustannukset yhteensä	16935,8	euroa	
Mobil SHC 680 kustannukset 12v (vaihtoväli 3v)			
Öljynvaihdot	4	lkm.	
Öljyn määrä	456	l	
Kustannukset yhteensä	11290,6	euroa	
Säästö 12. vuodessa	5645,3	euroa	
Mobil SHC 632 kustannukset 12v (vaihtoväli 2v)			
Öljynvaihdot	6	lkm.	
Öljyn määrä	366	l	
Kustannukset yhteensä	7137,0	euroa	
Mobil SHC 632 kustannukset 12v (vaihtoväli 3v)			
Öljynvaihdot	4	lkm.	
Öljyn määrä	244	l	
Kustannukset yhteensä	4758,0	euroa	
Säästö 12. vuodessa	2379,0	euroa	

Kattilahuoneen vaihteistojen öljynvaihtovälien pidentäminen vuodella ei lisää voiteluhuollon kustannuksia siitä huolimatta, että synteettinen öljy on merkittävästi kalliimpaa. Taulukosta 4. nähdään, että kokonaiskustannukset mineraalipohjaisella öljyllä ja kahden vuoden vaihtovälillä ovat kahdessatoista vuodessa noin 205 000 €. Synteettisillä öljyillä ja kolmen vuoden vaihtovälillä vastaava summa on noin 202 000 €. Kustannuslaskennassa ei huomioitu vaihdoissa kuluvien tarvikkeiden arvoa.

Taulukko 4. Kokonaiskustannukset kahdessatoista vuodessa kahden ja kolmen vuoden öljyjenvaihtoväleillä.

Kokonaiskustannukset 2. vuoden vaihtovälillä 12. vuodessa
205320,7 euroa
Kokonaiskustannukset 3. vuoden vaihtovälillä 12. vuodessa
202362,7 euroa
Säästö 3. vuoden vaihtovälillä 12. vuodessa
2958,0 euroa

9.7 Ympäristövaikutukset

Siirtymällä synteettiseen voiteluaineeseen saavutetaan vaihteistojen kohdalla pidemmät öljynvaihtovälit, jolloin öljynvaihdoista syntyneen jäteöljyn määrä vähenee. Pidentämisellä vaihtoväleillä jäteöljyä jää syntymättä noin 2 900 litraa kahdessatoista vuodessa ja uusien voiteluaineiden tekemiseen vaadittavia raaka-aineita säästyy. Öljynvaihdoissa kuluu aina myös tarvikkeita, muun muassa rättejä, imeytysaineita ja liuottimia.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä mahdollisia kehittämiskohteita Naantalın voimalaitoksen voiteluhuollosta. Voimalaitoksen suuri koko ja tuhannet voitelukohteet, ilman tarkemmin kohdennettua toimeksiantoa, toivat haasteensa työnlaajuuden kohtuullisuuteen. Työlle asetetut kehittämistavoitteet kuitenkin saavutettiin selvittämällä kattilahuoneen vaihteistojen öljynvaihtovälien pidentämisen mahdollisuutta. Opinnäytetyön tuloksena kattilahuoneen öljynvaihtovälit on mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa pidentää vuodella. Tämän lisäksi kunnossapitoyksikön asentajille laadittiin kirjallinen öljynäytteenotto-ohjeistus osana työtä. Se parantaa yhdessä asianmukaisten näytteenottovälineiden kanssa näytteiden laatua ja edustavuutta. Näytteisiin kirjattavat tiedot tulevat todennäköisesti jatkossa myös paremmin kirjattua.

Kattilahuoneen vaihteistojen mineraalipohjaisesta öljystä synteettiseen öljyyn siirryttäessä on suositeltavaa hyödyntää öljyanalysejä. Olisi mielenkiintoista myös nähdä synteettisen voiteluaineen käyttökunto kolmen vuoden kohdalla. Mineraalipohjainen öljy on vaihdettu kahden vuoden välein, ja ominaisuuksiltaan se on ollut kahden vuoden kohdalla vielä yllättävän hyvässä kunnossa. Synteettinen öljy varmasti kestäisi yli kolme vuotta, mutta olisiko se vielä käyttökuntoista jopa neljän vuoden kohdalla? Sillä öljynvaihtoa ei kesken käyntikautta voi käytännössä suorittaa. Vähemmälle kuormitukselle ja käytölle jäävissä laitteissa öljynvaihtovälin pidentäminen saattaa olla mahdollista.

Työn aikana havaittiin useita kehittämiskohteita, joita ajallisesti ei pystytty tässä työssä käsittelemään. Kehitettävää olisi muun muassa voiteluaineiden varastoinnissa, työsuunnitelmien tiedoissa ja voiteluhuollon työvälineissä. Lisäksi vastaavanlaisia öljynvaihtovälien pidentämiseen keskittyviä tarkasteluja voisi tehdä polttoaineen varastointiin ja vastaanottoon liittyvissä järjestelmissä. Tulevaisuudessa olisi mahdollista ja hyödyllistä toteuttaa lisää tutkimuksia yllä mainituista aiheista.

LÄHTEET

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Vihersalo, J., Virtanen, I., Vuolle, P., Torvinen, J. 2013. *Teollisuusvoitelu*. Käsikirja. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Vihersalo, J., Virtanen, I., Vuolle, P. 2006. *Teollisuusvoitelu*. Käsikirja. 4. täydennetty painos. Helsinki: KP-Media Oy

ExxonMobil Finland Oy 2023. Mobil SHC 600- sarjan tuoteseloste. [viitattu 7.4.2023] Saatavissa: <https://www.mobil.com/fi-fi/industrial/pds/gl-xx-mobil-shc-600-series>

Fluidlab Oy 2023. Näytteenottovälineet. [viitattu 18.5.2023] Saatavissa: <https://www.fluidlab.fi/naytteenotto>

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

Koivisto, K. 2018. *Kuljetintekniikka*. 2.painos. Helsinki. Books on Demand GmbH

Oksanen, M. 2018. Päivitys öljynäytteenottoon – ASTM D8112-17. [viitattu 30.3.2023] Saatavissa: <https://fi.fluidintelligence.fi/news/2018/1/25/pivitys-ljynytteenottoon-astm-d8112-17>

Parikka, R. & Lehtonen, J. 2000. Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintälaakereiden eliniälle. Espoo. Tekes. 25 s.

PSK 6201. 2022. Kunnossapito käsitteet ja määritelmät. 4. painos. Helsinki. PSK Standardisointiyhdistys ry. 44 s.

Rudolphi, Å., Kassfeldt, E. & Torbacke, M. 2014. *Lubricants: Introduction to Properties and Performance*. Hoboken, New Jersey, USA. John Wiley & Sons, Incorporated. 219 s. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=1642417>

SEW-EURODRIVE Oy 2005. Teollisuusvaihteet sarja MC. Asennus- ja käyttöohje.

SEW-EURODRIVE Oy 2014. Lieriö- ja kartiohammaspyörävaihteet sarja X. Asennus- ja käyttöohje.

SEW-EURODRIVE Oy 2015. Vaihteet, tyyppisarjat R..7, F..7, K..7, K..9, S..7, W. Asennus- ja käyttöohje.

SEW-EURODRIVE Oy 2023. Tuotteet. [viitattu 7.4.2023] Saatavissa: <https://www.sew-eurodrive.fi/koti.html>

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3. painos. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 67 s.

Teboil Oy 2022. Voiteluaineet tuoteluettelo [viitattu 28.3.2023] Saatavissa: https://www.teboil.fi/globalassets/tuotteet/voiteluaineet/tuoteluettelo_fi_web.pdf

TSE 2022. Laitosten esittely [viitattu 20.1.2023] Saatavissa: <https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/laitoksen-esittely/>

Turku Energia Oy 2022. Turku Energia lyhyesti [viitattu 20.1.2023] Saatavissa: <https://www.turkuenergia.fi/tietoa-meista/turku-energia-lyhyesti/>

Vesala, M., Lindström, L & Lindén, P. 2007. Millainen on hyvä öljyanalyysi? Pdf-dokumentti. [viitattu 28.3.2023] Saatavissa:

https://www.fluidlab.fi/sites/default/files/Millainen_on_hyva_oljyanalyysi.pdf

Liite 1: Tarkasteluun valikoituneet kohteet

NA4 SKL vuosihuolto (52 vko, YPM, MECH)
KL-kaasunpoistetun veden pumppujen vuosihuollot (1-2 v)
Suljetun JV-järjestelmän pumppujen vuosihuollot (1-2 v)
Prosessilauhdepumppujen vuosihuollot (1-2 v)
MP-esilämmittimen lauhdepumppujen vuosihuollot (1-2 v)
KL2 ja KL3 lauhdepumppujen vuosihuollot (1-2 v)
Meribion vuosihuolto (12kk)
Bion hihnakuillettimien vuosihuolto
KL-Paluupumppujen vuosihuolto
KL-apujäähdytyksen paineenkorotuspumpun vuosihuolto (1 v)
MB-suodattimen neutralointipumppujen vuosihuolto (1 v)
Raakavesipumppujen vuosihuolto (1 v)
Lisävesipumppujen vuosihuolto (1 v)
KL1 lauhdepumppujen laakeriöljyn vaihto (1 v)
Hiilen sisäänajon vuosihuolto
Bioseulomon vuosihuolto
Kalkin syötön vuosihuollot
Hiekan syötön vuosihuollot
Lentotuhkan varastointi- ja purkausjärjestelmän vuosihuolto
Lentotuhkakuljettimien vuosihuolto
Pohjatuhkan käsittely- ja seulontajärjestelmän vuosihuolto
Pohjatuhkan varastointi- ja purkausjärjestelmän vuosihuolto
Kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmän vuosihuolto
Hätäpumpun dieselmoottorin huolto (2v)
Kattilan hiilijärjestelmän vuosihuolto
A-ladon vuosihuolto
Bion autovastaanoton vuosihuolto
Primääri- ja sekundääri-ilmapuhaltimien vuosihuolto (1v)
Savukaasupuhaltimien vuosihuolto (1v)
Kattilan biosiilojen vuosihuolto
Luvon vuosihuolto
SRF ulkokenttä
SRF sisäkäsittely + lisäaineet

Liite 2: Pohjatuhkan käsittely- ja seulontajärjestelmä

Pohjatuhkan käsittely- ja seulontajärjestelmä			
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil 600 XP 220 Määrä/l
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	FA157	75 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	GR97	5,5 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	FA157	75 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	GR97	5,5 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	FA157	75 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	GR97	5,5 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	FA157	75 →
Jäähdytysruuvi D=630	Vaihdemoottori	GR97	5,5 →
Jäähdytysruuvi D=500	Vaihdemoottori	FA127	45 →
Jäähdytysruuvi D=500	Vaihdemoottori	GR77	1,2 →
Jäähdytysruuvi D=500	Vaihdemoottori	FA127	45 →
Jäähdytysruuvi D=500	Vaihdemoottori	GR77	1,2 →
Kolakuljetin W=800	Vaihdemoottori	KA157	77 →
Kolakuljetin W=800	Vaihdemoottori	R97	8,1 →
Rumpuseula D=750	Vaihdemoottori	FA67G DRN90L4 1,5kW	1,9 →
Yhteensä			501,4

Liite 3: Kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmä

Kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmä			
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil 600 XP 220 Määrä/l
Ruuvikuljetin D=900	Vaihdemoottori	KA157 DRN225M4 45kW	90,0 →
Ryöstöruuvi D=500	Vaihdemoottori	FA97G DRN160L4 15kW	19,9 →
Ryöstöruuvi D=500	Vaihdemoottori	FA97G DRN160L4 15kW	19,9 →
Ryöstöruuvi D=500	Vaihdemoottori	FA97G DRN160L4 15kW	19,9 →
Syöttöruuvi D=630	Vaihdemoottori	FA107G DRN160L4 15kW	27,0 →
Sulkusyötin ALF 63/80 C (RL)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Sulkusyötin ALF 63/80 C (LR)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Sulkusyötin ALF 63/80 C (RL)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Sulkusyötin ALF 63/80 C (LR)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Sulkusyötin ALF 63/80 F (RL)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Sulkusyötin ALF 63/80 F (LR)	Vaihdemoottori	FA127GAL180 DRN160L4 15kW	43,2 →
Tunkijaruuvi RWS-2, D=450	Vaihdemoottori	FA87G DRN160M4 11kW	11,8 →
Tunkijaruuvi RWS-2, D=450	Vaihdemoottori	FA87G DRN160M4 11kW	11,8 →
Tunkijaruuvi RWS-2, D=450	Vaihdemoottori	FA87G DRN160M4 11kW	11,8 →
Tunkijaruuvi RWS-2, D=450	Vaihdemoottori	FA87G DRN160M4 11kW	11,8 →
Syöttöruuvi D=2x700	Vaihdemoottori	FA127G DRN180L4 22kW	46,5 →
Syöttöruuvi D=2x700	Vaihdemoottori	FA127G DRN180L4 22kW	46,5 →
Yhteensä			576,1
Kattilan bion kuljetus- ja jakelujärjestelmä			
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil SHC 680 Määrä/l
Kolakuljetin W=1200	Hammassivahde	X4FA160	57
Kolakuljetin W=1200	Hammassivahde	X4KA160	57
Yhteensä			114

Liite 4: Kattilan hiilijärjestelmä

Kattilan hiilijärjestelmä			
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil 600 XP 220 Määrä/l
Jakoläppä RT 800X1000	Vaihdemoottori	R97 DRN100LS4 2.2kW	4,6 →
Hiilensyötin B=1000	Kartio-lieriövaihde	MC3RLHF06	28 →
Hiilensyötin B=1000	Vaihdemoottori	RF87 DRN132S4 5.5kW	2,4 →
Hiilensyötin B=1000	Kartio-lieriövaihde	MC3RLHF06	28 →
Hiilensyötin B=1000	Vaihdemoottori	RF87 DRN132S4 5.5kW	2,4 →
Hiilensyötin B=1000	Kartio-lieriövaihde	MC3RLHF06	28 →
Hiilensyötin B=1000	Vaihdemoottori	RF87 DRN132S4 5.5kW	2,4 →
Hiilensyötin B=1000	Kartio-lieriövaihde	MC3RLHF06	28 →
Hiilensyötin B=1000	Vaihdemoottori	RF87 DRN132S4 5.5kW	2,4 →
Yhteensä			126,2
			SHC 630
			SHC 632
			SHC 630
			SHC 632
			SHC 630
			SHC 632
			SHC 630
			SHC 632
			SHC 630
Kattilan hiilijärjestelmä			
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil SHC 632 Määrä/l
Kolakuljetin W=1200	Hammasvaihde	X4KA160	61
Yhteensä			61

Liite 5: Lentotuhkakuljettimet ja kalkinsyöttö

Lentotuhkakuljettimet					
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil 600 XP 220 Määrä/l		
Ruuvikuljetin D=500	Vaihdemoottori	FA127	45	→	SHC 630
Ruuvikuljetin D=500	Vaihdemoottori	GR77	1,2	→	SHC 630
Raappakuljetin W=400	Vaihdemoottori	FA107	27	→	SHC 630
Raappakuljetin W=400	Vaihdemoottori	GR77	1,2	→	SHC 630
Yhteensä			74,4		

Kalkin syöttö					
Laite/toimipaikan kuvaus	Laite		Mobil 600 XP 220 Määrä/l		
Sulkusyötin AL 150	Vaihdemoottori	FAZ37 DRS71S4 0,37kW	0,95	→	SHC 630
Sulkusyötin AL 150	Vaihdemoottori	FAZ37 DRS71S4 0,37kW	0,95	→	SHC 630
Sulkusyötin AL 150	Vaihdemoottori	FAZ37 DRS71S4 0,37kW	0,95	→	SHC 630
Yhteensä			2,85		

Liite 6: Öljynäytteenotto-ohjeistus

TURKU ENERGIA	21.3.2023
<h3>Öljynäytteenotto-ohje</h3>	
<p>Menetelmä 1 Tätä menetelmää käytetään otettaessa näytettä öljysäiliöstä/vaihdelaatikosta.</p> <p>Tarvittavat välineet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alipainepumppu • Muoviletkua • Hiukkasvapaa näytteenottopullo • Ämpäri • Rättejä yms. Näytteenotto kohdan puhdistukseen ja näytteenoton jälkeisten öljyroiskeiden siivoamiseen. <p>Ennen näytteenottoa varmistu, että:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sinulla on vaadittavat suojavarusteet • voit suorittaa näytteenoton turvallisesti • olet ottamassa näytettä oikeasta laitteesta <p>Ohje:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sijoita imupumpun muoviletku vaihdelaatikkoon siten, että letkunjää on noin nestekerroksen puolivälissä. 2. Ime pumppua käyttäen noin 200ml öljyä pulloon. Irroita pullo pumpusta ja kierrä korkki paikoilleen. 3. Huutele pullo ravistamalla voimakkaasti ja tyhjentämällä pullo. 4. Suorita vaiheet 2. ja 3. toistamiseen. Tämän jälkeen siirry kohtaan 5. 5. Nyt voit kerätä näytteen pulloon. Pullo täytetään max. ¾ tilavuudesta. 6. Kirjaa pullon kylkeen näytettä koskevat tiedot. 7. Siivoa mahdolliset öljyroiskeet kohteesta. <p>Muuta huomioitavaa: Jotta järjestelmän öljystä saataisiin mahdollisimman luotettava kuva, tulisi laitteen olla käynnissä ja öljy normaalissa käyttölämpötilassa. Jos näyte joudutaan ottamaan laitteen ollessa pois päältä, tulisi näyte ottaa viimeistään 20 minuutin kuluttua laitteen pysäyttämisestä. Näytettä ei myöskään tulisi ikinä ottaa pohjaventtiilitä, jolloin näyte on usein hyvin likainen.</p>	
<p>Menetelmä 2 Tätä menetelmää käytetään, jos järjestelmästä löytyy näytteenottoventtiili.</p> <p>HUOM! Yli 10 bar paineilmailittimestä purkautuva öljysuihku on jo hengenvaarallinen. Painetta ei saa olla yli 14 bar.</p> <p>Tarvittavat välineet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Näytteenottoventtiiliin sopiva liitin • Hiukkasvapaa näytteenottopullo. • Rättejä yms. näytteenoton jälkeisten öljyroiskeiden siivoamiseen. • Ämpäri <p>Ennen näytteenottoa varmistu, että:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sinulla on vaadittavat suojavarusteet • voit suorittaa näytteenoton turvallisesti • olet ottamassa näytettä oikeasta järjestelmästä • Järjestelmää on käytetty vähintään 30 min ennen näytteenottoa <p>Ohje:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Valuta venttiilin läpi vähintään 500ml öljyä. Älä sulje venttiiliä välissä, jos mahdollista. 2. Kerää näytteenottopulloon noin 200ml öljyä. Kierrä korkki paikoilleen. 3. Huutele pullo ravistamalla voimakkaasti ja tyhjentämällä pullo. 4. Suorita vaiheet 2. ja 3. toistamiseen. Tämän jälkeen siirry kohtaan 5. 5. Nyt voit kerätä näytteen pulloon. Pullo täytetään max. ¾ tilavuudesta. 6. Sulje näytteenottoventtiili. 7. Kirjaa pullon kylkeen näytettä koskevat tiedot. 	

Liite 7: X-sarjan voiteluainetaulukko

6)			ISO,NLGI	Mobil®									
		DIN (ISO)							Tribol	Optimol			
	-10 +40	CLP CC	VG 320	Mobilgear 600XP 320	Shell Omala F 320	BP Energol GR-XP-320	Kiüberoil GEM 1-320 N	Meropa 320	Alpha SP 320 Tribol 1100/320	Optigear BM 320	Renolin CLP 320 Plus Renolin High Gear 320	Goya NT 320	Carter EP 320
3)	-20 +20	CLP CC	VG 150	Mobilgear 600XP 150		BP Energol GR-XP-150	Kiüberoil GEM 1-150 N	Meropa 150	Alpha SP 150 Tribol 1100/150	Optigear BM 150	Renolin CLP 150 Plus Renolin High Gear 150	Goya NT 150	
	-15 +30	CLPCC	VG 220	Mobilgear 600XP 220	Shell Omala F 220	BP Energol GR-XP-220	Kiüberoil GEM 1-220 N	Meropa 220	Alpha SP 220 Tribol 1100/220	Optigear BM 220	Renolin CLP 220 Plus Renolin High Gear 220	Goya NT 220	Carter EP 220
	-5 +45	CLP CC	VG 460	Mobilgear 600XP 460	Shell Omala F 460	BP Energol GR-XP-460	Kiüberoil GEM 1-460 N	Meropa 460	Alpha SP 460 Tribol 1100/460	Optigear BM 460	Renolin CLP 460 Plus Renolin High Gear 460	Goya NT 460	Carter EP 460
	0 +50	CLP CC	VG 680	Mobilgear 600XP 680		BP Energol GR-XP-680	Kiüberoil GEM 1-680 N	Meropa 680	Alpha SP 680 Tribol 1100/680	Optigear BM 680	Renolin CLP 680 Plus Renolin High Gear 680	Goya NT 680	Carter EP 680
	+5 +60	CLP CC	VG 1000						Tribol 1100/1000				
	-25 +40	CLP HC	VG 320	Mobil SHC Gear 320 Mobil SHC 632	Shell Omala S4 GX 320	BP Enersyn EP-XF-320	Kiübersynth GEM 4-320 N	Pinnacle EP 320	Alphasyn EP 320	Optigear Synthetic X 320	Renolin Unisyn CLP 320 Renolin High Gear Synth 320	El Greco 320	Carter SH 320
3)4)	-40 -10	CLP HC	VG 32	Mobil SHC 624									
3)4)	-40 +10	CLP HC	VG 68	Mobil SHC 626	Shell Omala S4 GX68	BP Enersyn EP-XF-68	Kiübersynth GEM 4-68 N			Optigear Synthetic X 68	Reolin Unisyn CLP 68		
	-35 +20	CLP HC	VG 150	Mobil SHC Gear 150 Mobil SHC 629	Shell Omala S4 GX 150	BP Enersyn EP-XF-150	Kiübersynth GEM 4-150 N	Pinnacle EP 150	Alphasyn EP 150	Optigear Synthetic X 150	Reolin Unisyn CLP 150	El Greco 150	Carter SH 150
	-30 +30	CLP HC	VG 220	Mobil SHC Gear 220 Mobil SHC 630	Shell Omala S4 GX 220	BP Enersyn EP-XF-220	Kiübersynth GEM 4-220 N	Pinnacle EP 220	Alphasyn EP 220	Optigear Synthetic X 220	Renolin Unisyn CLP 220 Renolin High Gear Synth 220	El Greco 220	Carter SH 220
	-20 +50	CLP HC	VG 460	Mobil SHC Gear 460 Mobil SHC 634	Shell Omala S4 GX 460	BP Enersyn EP-XF-460	Kiübersynth GEM 4-460 N	Pinnacle EP 460	Alphasyn EP 460	Optigear Synthetic X 460	Renolin Unisyn CLP 460 Renolin High Gear Synth 460	El Greco 460	Carter SH 460
	-10 +60	CLP HC	VG 680	Mobil SHC Gear 680 Mobil SHC 636	Shell Omala S4 GX 680	BP Enersyn EP-XF-680	Kiübersynth GEM 4-680 N	Pinnacle EP 680		Optigear Synthetic X 680	Reolin Unisyn CLP 680	El Greco 680	Carter SH 680
	0 +70	CLP HC	VG 1000	Mobil SHC Gear 1000 Mobil SHC 639			Kiübersynth GEM 4-1000 N						
3)	-10 +30	CLP HC NSF H1	VG 460				Kiüberöl 4UH1-460 N			Optileb GT 460	Cassida Fluid GL 460		
3)	-20 +20		VG 220				Kiüberöl 4UH1-220 N			Optileb GT 220	Cassida Fluid GL 220		
3)4)	-40 -10		VG 68				Kiüberöl 4UH1-68 N			Optileb HY 68	Cassida Fluid GL 68		
	-20 +40	E	VG 460		Shell Naturelle Gear Fluid EP 460		Kiüberbio CA2-460				Plantogear 460 S		

Liite 8: MC- sarjan voiteluainetaulukko

				ISO VG class	Mobil®	Shell	KLÜBER	ARAL	bp	TEXACO	FUCHS	Q8	Castrol	TOTAL
MC..P 			CLP	VG 150			KLÜBER GEM 1-150N	Degol BG Plus 150	BP Energol GX-XF 150		Renolin CLP150Plus	Q8 Goya NT 150		
			CLP PAO	VG 150			KIÜBERSYNTH GEM4-150N	Degol PAS 150 Degol GS 150	Enersyn EP-XF 150 Enersyn SG-XP 150		Renolin Unisyn CLP 150	Q8 ELGRECO 150		Carter SH 150
	+15	+20	CLP	VG 220	Mobilgear XMP220	Omala Oil F220	KLÜBER GEM 1-220N	Degol BG Plus 220	BP Energol GX-XF 220	Meropa 220	Renolin CLP220Plus	Q8 Goya NT 220	Alphamax 220 Tribol 1710/ 220 Optigear BM 220	
	+10	+20												
	-35	+30	CLP PAO	VG 220	Mobilgear SHC XMP220	Omala Oil HD 220	KIÜBERSYNTH GEM4-220N	Degol PAS 220 Degol GS220	Enersyn EP -XF 220 Enersyn SG-XP 220	Pinnacle EP 220	Renolin Unisyn CLP 220	Q8 ELGRECO 220	Optigear Synthetic X 220	Carter SH 220
			CLP	VG 320	Mobilgear XMP320	Omala Oil F 320	KLÜBER GEM 1-320N	Degol BG Plus 320	BP Energol GX-XF 320	Meropa 320	Renolin CLP320Plus	Q8 Goya NT 320	Alphamax 320 Tribol Optigear 1100 / 320 BM 320	
	-30	+40	CLP PAO	VG 320	Mobilgear SHC XMP320 Mobil SHC 632	Omala Oil HD 320	KIÜBERSYNTH GEM4-320N	Degol PAS 320 Degol GS 320	Enersyn EP-XF 320 Enersyn SG-XP 320	Pinnacle EP 320	Renolin Unisyn CLP 320	Q8 ELGRECO 320	Tribol 1510/ 320 Tribol 1710/ 320 Optigear Synthetic A320 Optigear Synthetic X 320	Carter SH 320
	-5	+40	CLP	VG 460	Mobilgear XMP460	Omala Oil F460	KLÜBER GEM 1-460N	Degol BG Plus 460	BP Energol GX-XF 460	Meropa 460	Renolin CLP460Plus	Q8 Goya NT 460	Alphamax 460 Tribol 1100 / 460 Optigear BM 460	
	-20	+50	CLP PAO	VG 460	Mobilgear SHC XMP460 Mobil SHC 634	Omala Oil HD 460	KIÜBERSYNTH GEM4-460N	Degol PAS 460 Degol GS 460	Enersyn EP -XF 460 Enersyn SG -XP 460	Pinnacle EP 460	Renolin Unisyn CLP 460	Q8 ELGRECO 460	Tribol 1510/ 460 Tribol 1710/ 460 Optigear Synthetic A460 Optigear Synthetic X 460	Carter SH 460
+15														
		CLP	VG 680	Mobilgear XMP680		KLÜBER GEM 1-680N	Degol BG Plus 680	BP Energol GX-XF 680	Meropa 680		Q8 Goya NT 680	Tribol Optigear 1100 / 680 BM 680	Renolin CLP680	

Liite 9: Vaihdemoottorien voiteluainetaulukko

	6)		ISO, NLGI	Mobil®		bp						
	Standard -15 +40	DIN (ISO)							Tribol Optimol			
R.. K37-187 (HK..) F.. 		CLP (CC)	VG 220	Mobilgear 600 XP 220	Shell Omala S2 G 220	BP Energol GR-XP 220	Kiüberoil GEM 1-220 N	Meropa 220	Tribol 1100/220	Optigear BM 220	Renolin CLP 220	Carter EP 220
	-20 +80	CLP PG	VG 220	Mobil Glygoyle 220	Shell Omala S4 WE 220	BP Enersyn SG-XP 220	Kiübersynth GH 6-220	Synlube CLP 220	Tribol 800/220	Optiflex A 220	Renolin PG 220	Carter SY 220
	-20 +60	CLP HC	VG 220	Mobil SHC 630	Shell Omala S4 GX 220		Kiübersynth GEM 4-220 N	Pinnacle EP 220	Tribol 1510/220	Optigear Synthetic X 220	Renolin Unisyn CLP 220	Carter SH 220
	4) -40 +40	CLP HC	VG 150	Mobil SHC 629	Shell Omala S4 GX 150		Kiübersynth GEM 4-150 N	Pinnacle EP 150		Optigear Synthetic X 150	Renolin Unisyn CLP 150	Carter SH 150
	-20 +25	CLP (CC)	VG 150	Mobilgear 600 XP 150	Shell Omala S2 G 150	BP Energol GR-XP 150	Kiüberoil GEM 1-150 N	Meropa 150	Tribol 1100/150	Optigear BM 100	Renolin CLP 150	Carter EP 150
	-40 +20	CLP HC	VG 68	Mobil SHC 626	Shell Omala S4 GX 68						Renolin Unisyn CLP 68	
	-40 +0	CLP HC	VG 32	Mobil SHC 624			Kiüber-Summit HySyn FG-32	Cetus PAO 46		Optilieb HY 32	Renolin Unisyn OL 32	Dacnis SH 32
K..19 - K..49 	4) Standard -20 +60	CLP PG	VG 460				Kiübersynth GH 6-460					
	4) -20 +60	H1 PG	VG 460				Kiübersynth UH1 6-460					
S..(HS..) 		CLP (CC)	VG 680	Mobilgear 600 XP 680	Shell Omala S2 G 680	BP Energol GR-XP 680	Kiüberoil GEM 1-680 N	Meropa 680	Tribol 1100/680	Optigear BM 680	Renolin SEW 680	Carter EP 680
	1) -20 +80	CLP PG	VG 680	Mobil Glygoyle 680	Shell Omala S4 WE 680	BP Enersyn SG-XP 680	Kiübersynth GH 6-680	Synlube CLP 680	Tribol 800/680	Optiflex A 680	Renolin PG 680	
	-20 +60	CLP HC	VG 460	Mobil SHC 634	Shell Omala S4 GX 460		Kiübersynth GEM 4-460 N	Pinnacle EP 460		Optigear Synthetic X 460	Renolin Unisyn CLP 460	Carter SH 460
	4) -40 +30	CLP HC	VG 150	Mobil SHC 629	Shell Omala S4 GX 150		Kiübersynth GEM 4-150 N	Pinnacle EP 150		Optigear Synthetic X 150	Renolin Unisyn CLP 150	Carter SH 150
	-20 +10	CLP (CC)	VG 150	Mobilgear 600 XP 150	Shell Omala S2 G 150	BP Energol GR-XP 150	Kiüberoil GEM 1-150 N	Meropa 150	Tribol 1100/150	Optigear BM 150	Renolin CLP 150	Carter EP 150
	1) -20 +40	CLP PG	VG 220	Mobil Glygoyle 220	Shell Omala S4 WE 220	BP Enersyn SG-XP 220	Kiübersynth GH 6-220	Synlube CLP 220	Tribol 800/220	Optiflex A 220	Renolin PG 220	Carter SY 220
	-40 +20	CLP HC	VG 68	Mobil SHC 626	Shell Omala S4 GX 68						Renolin Unisyn CLP 68	
-40 0	CLP HC	VG 32	Mobil SHC 624			Kiüber-Summit HySyn FG-32	Cetus PAO 46		Alphasyn T32	Renolin Unisyn OL 32	Dacnis SH 32	
R.. K37-187 (HK..) F.. S..(HS..)	-10 +40	CLPHC NSF H1	VG 460				Kiüberoil 4UH1-460 N			Optilieb GT 460	Cassida Fluid GL 460	
	-20 +30		VG 220				Kiüberoil 4UH1-220 N			Optilieb GT 220	Cassida Fluid GL 220	
	-40 0		VG 68				Kiüberoil 4UH1-68 N			Optilieb HY 68	Cassida Fluid HF 68	
	-20 +40	E	VG 460				Kiüberbio CA2-460				Plantogear 460 S	
W..(HW..) 	2) Standard -20 +40	SEW PG	VG 460				Kiüber SEW HT-460-5					
	4) -40 +10	API GL5	SAE 75W90 (-VG 100)	Mobil Synth Gear Oil 75 W90								
	3) -20 +60	H1 PG	VG 460				Kiübersynth UH1 6-460					
PS.F.. 	Standard -20 +80	CLP PG	VG 220				Kiübersynth GH 6-220					
	-20 +60	H1 PG	VG 460				Kiübersynth UH1 6-460					
	-40 0	CLP HC	VG 32	Mobil SHC 624								
PS.C.. 	Standard -10 +40	CLP (CC)	VG 220	Mobilgear 600 XP 220								
	5) -20 +40	DIN 51 818	NLGI 00	Mobilux EP 004								
	-20 +40	DIN 51 818	NLGI 1				Kiübersynth UH1 14-151					
BS.F.. 	Standard -20 +60	CLP PG	VG 220				Kiübersynth GH 6-220					
	-20 +60	H1 PG	VG 460				Kiübersynth UH1 6-460					

Liite 10: Öljyanalyysi- raportti

ASIAKAS		NÄYTE		H82939	
Oy Turku Energia		Osasto / Projekti:			
		Järjestelmän tunnus: 4HH115AF001			
		Järjestelmä (kone/laite): Biokuljetin, etuseinä			
		Näytteenottopaik:			
YHTEYSHENKILÖ		Näytteenottopäivä: 4.8.2022		Öljyn kunto	
Tero Rantanen		Näytteenottaja:		Kuluminen	
		Öljy: Mobil SHC 680		Puhtaus	
		Öljyn käyttöaika:			
		Koneen käyttöaika:			
		Suodatimet:			

KOMMENTIT JA DIAGNOOSIT

Öljyn kunto: Öljy on normaalissa käyttökunnossa. Öljyn merkittävästä ikääntymisestä ei ollut viitteitä. Kuluminen: Kulumametalien määrä oli normaalitasolla. Epätavallista kulumista ei havaittu. Puhtaus: Kosteuspitoisuus on alhaisella, hyvällä tasolla. Hiukkaspuhtaus on hieman yleisiä suosituksia heikommalla tasolla.

TULOKSET			
Näytteenottopäivä		4.8.2022	
Laboratorionumero		H82939	
ÖLJYN KUNTO			
Öljyn ulkonäkö		- kirkas, rusk.	
Väri-indeksi		-	
Viskositeetti	+40 °C cSt	677,68	
	+100 °C cSt	70,15	
Viskositeetti-indeksi	-	180	
Öljyn hapettuminen		Memb. väri - v.rusehtava	
	IR A / cm	1	
Happoluku		TAN mgKOH / g	
Lisäaineet ppm			
Kalsium		5	
Magnesium		0	
Boori		1	
Sinkki		6	
Fosfori		404	
Barium		0	
Rikki		1904	

Mikroskooppikuva 1: (suodatettu 25 mL)	Mikroskooppikuva 2: (suodatettu 25 mL)	FTIR-spektri: