

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2024

Konsta Mikkola

# Hätäsyöttövesipumpun vaihteiston kehitys



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2024 | 37 sivua

Konsta Mikkola

## Hätäsyöttövesipumpun vaihteiston kehitys

Opinnäytetyössä keskityttiin Naantalın voimalaitoksen hätäsyöttövesipumpun vaihteiston kehittämiseen, joka on erityisen tärkeä osa syöttövesijärjestelmää vikatilanteissa. Työn taustalla olivat toimeksiantaja Turku Energian havainnot voiteluöljyn ylikuumentumisesta pumpun koekäytöissä. Tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisia tapoja parantaa vaihteiston toimintavarmuutta ja suorituskykyä, erityisesti käynnistyslämpötilojen hallinnan osalta.

Kehittämistutkimuksen keskeisin ongelma oli voiteluöljyn lämpötilan nopea nousu käynnistyksen aikana. Työssä kokeiltiin erilaisia ratkaisuja, kuten vaihtoehtoista voiteluöljyä, joka tarjoaisi paremman suorituskyvyn nykyisissä käynnistyslämpötiloissa. Tavoitteena oli löytää sopiva viskositeetti ja varmistaa vaihteiston kriittinen toimintavalmius tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön tuloksena löydettiin viskositeetiltaan sopiva voiteluöljy ja kerättiin arvokasta tietoa voiteluöljyn käyttäytymisestä eri lämpötiloissa. Työ tarjoaa pohjan tuleville kehitystoimenpiteille vastaavissa lämpötila vaikutteisissa viskositeetti ongelmissa sekä auttaa varmistamaan hätäsyöttövesipumpun moitteettoman toiminnan häiriötilanteissa.

Asiasanat:

vaihteisto, voitelu, viskositeetti, hätäsyöttövesipumppu, voimalaitos

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

2024 | 37 pages

Konsta Mikkola

## Development of the emergency feed water pump gearbox

The thesis focused on the development of the gearbox of the emergency feedwater pump at the Naantali power plant, which is a particularly important part of the feedwater system in case of failures. The work was based on the observations on overheating of the lubricating oil during test runs of the pump by the commissioner of the thesis, Turku Energia Oy. The study looked at various ways to improve the reliability and performance of the gearbox, particularly with regard to the control of starting temperatures.

The main problem identified in the study was the rapid rise in lubricating oil temperature during start up. Different solutions were tested, such as an alternative lubricating oil that would provide better performance at current starting temperatures. The aim was to find a suitable viscosity and to ensure the critical future performance of the gearbox.

As a result of the thesis, a lubricating oil with suitable viscosity was found and valuable information on the behavior of the lubricating oil at different temperatures collected. The work provides a basis for future developments in similar temperature-affected viscosity problems and helps to ensure proper operation of the emergency feedwater pump in case of failure.

Keywords:

gearing, lubrication, viscosity, emergency feed water pump, power station

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 TYÖN ALOITUS</b>	<b>8</b>
2.1 Kehittämistutkimus	8
2.2 Teemahaastattelut	10
2.3 Nykytilan kartoitus	11
<b>3 SYÖTTÖVESI</b>	<b>12</b>
3.1 Syöttövesijärjestelmä	12
3.2 Hätäsyöttövesipumppu	13
<b>4 LIERIÖHAMMASVAIHDE</b>	<b>14</b>
4.1 Hammasvaihteet	14
4.2 Lieriövaihde	15
4.3 Vaihteen voitelu	16
4.4 Viskositeetti	17
4.5 Voitelu ääriolosuhteissa	17
4.6 Korkea lämpötila	18
4.7 Alhainen lämpötila	18
4.8 ISO 3448 Teollisuusöljyjen viskositeettiluokitus	19
<b>5 TYÖN KEHITYS JA VAIHTOEHDOT</b>	<b>21</b>
5.1 Mobilgear XMP 220	21
5.2 Vaihtoehtojen kartoitus	22
5.3 Mobil SHC 629	23
5.4 Lämmitysvastus öljysäiliöön	23
5.5 Ulkoinen lämmitin	24
5.6 Mobil Delvac Super 1400 10W-30	25
<b>6 PÄÄTELMÄT</b>	<b>26</b>
6.1 Viskositeetti-lämpötila-kuvaaja	26

6.2 Kustannukset	27
6.3 Työn laadun ja luotettavuuden varmistaminen	28
6.4 Lopputulokset	28
<b>7 POHDINTA</b>	<b>29</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>30</b>

## **Liitteet**

Liite 1 Voitelu ääriolosuhteissa.....	32
Liite 2 Koekäyttöjen kirjaukset.....	34
Liite 3 Mobil XMP ominaisuudet.....	35
Liite 4 Mobil SHC ominaisuudet.....	36
Liite 5 Mobil Delvac Super 1400 10W-30 ominaisuudet.....	37

## **Kuvat**

Kuva 1. Hammaspyörätyypit. (Airila;ym., 2003, 490.)	15
Kuva 2. Backer öljynlämmitin. (Oy Mayer-vastus, 2015.)	24
Kuva 3. Exxon Mobil viskositeetti-lämpötila-kuvaaja. (Exxon Mobil, 2024.)	26

## **Kuviot**

Kuvio 1. Kehittämistutkimuksen kehittämissyklin vaiheet. (Kananen 2012, 52)	10
---	----

## **Taulukot**

Taulukko 1. Teollisuusöljyn viskositeettiluokitus ISO 3448 mukaan.	20
Taulukko 2. Eri lämpötilojen vaikutus.	27

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

bar	paineen yksikkö (SFS SI-opas, 2019)
°C	celsiusaste (SFS SI-opas, 2019)
cSt	senttistoki (Aarnio ym, 2013)
ekonomaiseri	veden esilämmitin
interventio	keino vaikuttaa kohteeseen (Kananen, 2012)
kW	kilowatti (SFS SI-opas, 2019)

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin vuonna 2017 käyttöön otetun Naantalın voimalaitoksen monipolttoaineyksikön syöttövesijärjestelmään kriittisesti olennaisen hätäsyöttövesipumpun vaihteiston kehittämiseen. Työn aihe valikoitui Turku Energia henkilöstön huomioista hätäsyöttövesipumpun vaihteiston lämpenemisestä sekä aiemman Turku Energian kunnossapitoyksikölle toimitetun; Voimalaitoksen voiteluhuollon kehittäminen: voiteluöljyn valinta ja kunnonvalvonta, opinnäytetyön pohjalta. (Manninen, 2023.) Turku Energian näkökulmasta tämä toimeksianto on tarpeellinen, koska vaihteiston voiteluöljy kuumenee yli laitevalmistajan suositusarvon, ja hätäsyöttövesipumpun kriittinen toimintavalmius tekee kohteen tarkastelusta ja kehitystyöstä ajankohtaisen.

Hätäsyöttövesipumpun toiminta syöttövesijärjestelmässä on varmistaa veden saatavuus ja paineen ylläpito häiriötilanteissa, joten hätäsyöttövesipumpun moitteeton toiminta edellyttää huolellista huomiota pumpun pyörittämiseen tarkoitetun laitteiston kuntoon ja käyttövarmuuteen. Vaihteiden tehokkuuden ja toiminnan takaamiseksi on välttämätöntä valvoa voiteluöljyjen laatua ja kuntoa.

Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia mahdollisuuksia parantaa vaihteiston suorituskykyä. Erityisesti käyntilämpötilojen hallinnan osalta työssä tarkasteltiin voiteluöljyn lämpötilan muutoksia käynnistyksen aikana sekä lämpötilojen hallintaan ratkaisuja, kuten konstruktio muutoksia tai vaihtoehtoisia voiteluöljyjä, jolla on matalampi viskositeetti.

Työhön asetetut tavoitteet saavutettiin ja löydettiin viskositeetiltään toimiva voiteluöljy varmistamaan vaihteiston toimivuus. Viskositeettien käyttäytymisestä lämpötilan muuttuessa saatiin myös hyödyllistä tietoa.

## 2 TYÖN ALOITUS

Naantalien voimalaitoksen kunnossapitoyksikön henkilöstö oli kiinnittänyt huomiota hätäsyöttövesipumpun vaihteiston ylikuumentumiseen ja ottanut laitetoimittajaan yhteyttä mahdollisten korjaavien toimenpiteiden osalta, jotka eivät olleet tuottaneet toivottua tulosta. Voimalaitoksen kunnossapitoinsinööri ehdotti minulle opinnäytetyön tekemistä hätäsyöttövesipumpun vaihteiston toiminnasta ja sen kehittämisestä työskennellessäni mekaanisen kunnossapidon harjoittelijana.

Työn ensimmäisenä vaiheena oli tutustua kirjallisuuteen, teoriaan ja tapahtuvaan ilmiöön syöttövesipumppujen vuosihuollon aikana yhdessä kokeneen kunnossapitoasentajan sekä laitetoimittajan henkilöstön kanssa sekä haastatella muita laitoksella työskenteleviä ilmiön ymmärtämiseksi.

### 2.1 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus opinnäytetyönä -kirjassa todetaan, että kehittämistutkimus lähtee liikkeelle tarpeesta tehdä muutoksia, joilla pyritään ratkaisemaan ongelmaa ja saavuttamaan parempia tuloksia. Kehittämistutkimus ei ole itsenäinen tutkimusmenetelmä, vaan se koostuu erilaisista menetelmistä, jotka valitaan tilanteen ja kehittämiskohteen mukaan. Kehittämistutkimukselle on olennaista myös tutkimuksellinen otanta, mikä oikeuttaa termin tutkimus käytön. (Kananen, 2012, 19.)

Tutkimuksellisuus, joka kuuluu tieteellisyyden alakategoriaan, tekee kehittämistyöstä tutkimusta. Tieteellisyys ilmenee kehittämistyössä dokumentoinnissa ja käytetyissä tieteellisissä menetelmissä, jotka pyrkivät tuottamaan luotettavaa ja innovatiivista tietoa käytettäväksi. Uusi tieto on yksi tieteen keskeisistä kriteereistä. (Kananen, 2012, 20.)

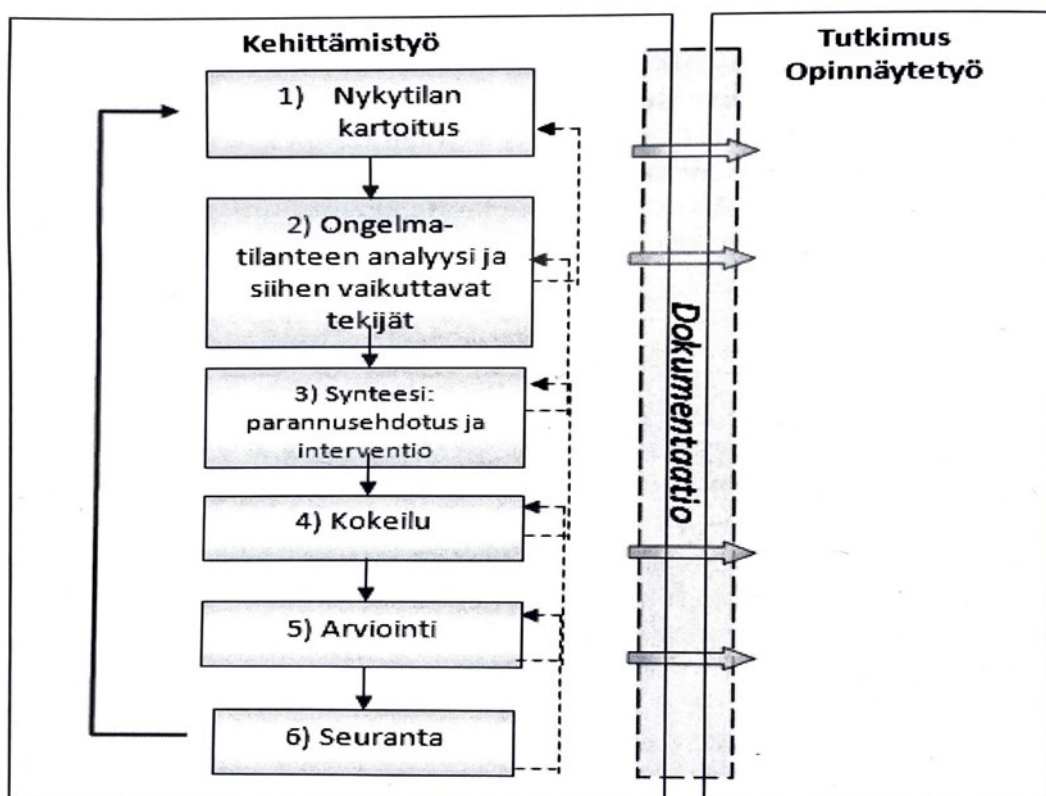
Tässä kehitystutkimuksessa kohde on laitteen toiminto, johon pyritään vaikuttamaan jollakin keinolla eli interventiolla. Kehittämiskohteen määrittelyssä



ja rajaamisessa sekä sopivan toimenpiteen löytämisessä saattaa ilmetä haasteita, erityisesti työn alkuvaiheessa, koska kohde saattaa olla laaja ja monimutkainen. Näiden määrittelyyn ja rajaamiseen käytettiin kehittämissyklin vaiheita (ks. Kuvio 1). (Kananen, 2012, 21.)

Interventiossa haasteita pyritään ratkaisemaan erilaisin keinoin, joilla pyritään aikaansaamaan muutosta. Tässä yhteydessä tarkastellaan, miten toimenpide kohdistuu suunniteltuun kohteeseen sekä mitkä ovat muutoksen mekanismien vaikutukset kohteessa. (Kananen, 2012, 21–23.)

Tieteen ja tutkimuksen peruskysymyksen eli ilmiön syy-seuraus-suhteen tunnistamista ilmiön sisällä kutsutaan kausaalisuhteeksi, sillä se vaikuttaa oikean toimenpiteen valintaan ja muutoksen aikaansaamiseen. Kausaalisuhteen ymmärtäminen on olennaista, kun pyritään havaitsemaan, mikä aiheuttaa muutoksen ja millaisia seurauksia sillä on. Vaikka yleistä muutoksen, kehittymisen tai kehittämisen mittaria ei olisikaan, muutoksia on syytä mitata. Muutos määritellään aina saman ilmiön kahden tilan eroksi, ja jokaisella ilmiöllä ja tekijällä on oma toimintalogiikkansa, jonka avulla mitataan tapahtuvia muutoksia. (Kananen, 2012, 20.)



Kuvio 1. Kehittämistutkimuksen kehittämissyklin vaiheet. (Kananen 2012, 52)

## 2.2 Teemahaastattelut

Kirjallisten lähteiden lisäksi tarvitaan arvokasta tietoa henkilöiltä. Tämän vuoksi suoritetaan kyselyitä ja selvityksiä ilmiöön liittyvien henkilöiden keskuudessa, jotta voidaan kartoittaa mielipiteitä ja saada kokonaiskuva tiedosta. Teemahaastattelut, joissa keskustellaan ja kysellään henkilöiltä, joilla on syventynyttä tietoa tutkittavasta ilmiöstä esimerkiksi työhistoriansa kautta, ovat tärkeä osa aloitustilannetta. Näissä haastatteluissa voi olla merkittävää hyötyä erityisesti silloin, kun tutkimuksen tekijällä ei ole laajaa tietämystä ilmiöstä eikä tarkkaa käsitystä siitä, mitä kysyä. (Kananen, 2012, 60.)

Teemahaastattelua ei sekoiteta kyselylomakkeilla suoritettavaan kvantitatiiviseen tutkimukseen, sillä teemahaastattelut ovat laadullisen tiedonkeruun menetelmä, joka koostuu kahdesta osasta: teemasta (laaja

asiakokonaisuus) ja haastatteluista (kahden henkilön välinen sanallinen kommunikaatio). Teemahaastatteluissa korostetaan ilmiön laaja-alaista tarkastelua, jotta mikään osa-alue ei jää huomioimatta ilmiön ymmärtämisen kannalta. On olennaista kartoittaa ja valita henkilöt, joilla on tietoa ilmiöstä ja jotka liittyvät vahvasti tutkittavaan ilmiöön. (Kananen, 2012, 61–62.)

### 2.3 Nykytilan kartoitus

Haastatteluiden perusteella ilmeni, että hätäsyöttövesipumppukoneikko, joka käynnistyessään saavuttaa välittömästi 100 prosentin käyntitehonsa, aiheuttaa voiteluöljyn lämpenemisen vaihteessa erittäin nopeasti yli valmistajan suunnitteleman 80 °C ylärajan, mikä johtaa voiteluöljyn sameutumiseen ja vaahtoamiseen. Vaihteen manuaalisissa mainitaan, että vaihteen käyttö tulisi lopettaa välittömästi, mikäli lämpötila ylittää 80 °C. Hätäsyöttövesipumppua koestetaan kerran kuukaudessa noin yhden tunnin ajan.

Vaihteen öljyanalyysin tarkastelusta ilmenee, että vuosina 2020 ja 2021 tehdyissä öljyanalyyseissä ei ole saatavilla tietoa tutkittavan öljyn laadusta tai merkistä. Tämän seurauksena silloisen voiteluöljyn todellisesta kunnosta ei ole tarkempaa tietoa. Öljy vaikuttaisi kuitenkin olevan hyväkuntoinen ja ylittävän ISO VG 100 -luokituksen ylärajan. Lisäksi öljyn lisäaineistus muistuttaa Mobil SHC -öljyä (Fluidlab Oy, 2021). Laittevalmistaja ohjeistaa kuitenkin kyseiselle vaihteelle on ISO VG 220 -luokituksen voiteluöljyn käyttöä, mikä on huomattavasti korkeampi kuin käytössä olevan voiteluöljyn luokitus.

Ilmiön ymmärtämiseksi ja toteamiseksi suoritettiin koekäyttö, jota ennen vaihde irrotettiin pumpun puolelta, jottei tulevat koekäytöt kuluttaisi tai rikkoisi pumpun osia. Vaihteen voiteluöljyn lämpötila nousi nopeasti käynnistämisen jälkeen lähelle 100 °C kuten haastatteluissa ilmeni.

## 3 SYÖTTÖVESI

### 3.1 Syöttövesijärjestelmä

Syöttövesijärjestelmän päätehtävät ovat moninaisia, ja ne kattavat useita olennaisia osa-alueita tuotantolaitoksella. Sen tarkoituksena on varmistaa kattilan optimaalinen suorituskyky ja turvallinen käyttö kaikissa olosuhteissa. Järjestelmä rajataan seuraaviin pääkomponentteihin: Syöttövesisäiliö, syöttövesipumput, syöttöveden venttiiliryhmä ja syöttöveden esilämmittimet. (Huhtinen;ym., 2013)

Syöttövesisäiliön tehtäviin kuuluu lämmittää ja varastoida kattilan tarvitsema syöttövesimäärä. Lisäksi sieltä poistuu termisesti jäännöshapetta kaasunpoistimen kautta ja tarvittaessa lisätään hapensitojakemikaaleja säiliössä olevaan veteen. Syöttövesisäiliön tilavuus on mitoitettu siten, että se vastaa kattilan tarpeita. Syöttövesisäiliön lämmitykseen käytetään höyryä, joka samalla säätää syöttövesisäiliön lämpötilaa.

Syöttövesipumput ja syöttöveden venttiiliryhmä ovat vastuussa syöttöveden virtauksen säätämisestä varmistaen, että lieriön pinta pysyy määriteltyjen rajojen sisällä kaikissa ajotilanteissa. Syöttöveden esilämmittimet puolestaan lämmittävät syöttövettä höyryllä ennen ekonomaiseria, mikä nostaa laitoksen kokonaishyötysuhdetta. Esilämmittimessä syntyvät lauhteet palautetaan syöttövesisäiliöön tai jos se ei ole mahdollista, niin ulospuhallussäiliöön.

Järjestelmän tavoitteena on varmistaa, että kattilan syöttövesi on optimaalista, ja sen toiminnot kattavat koko laitoksen tehokkaan toiminnan. (Huhtinen;ym., 2013). Syöttövesijärjestelmän tehokkuus perustuu pääasiassa näiden tekijöiden yhteistoimintaan, ja jokainen komponentti täyttää tärkeän roolin varmistaen veden laadun ja virtauksen oikeanlaisuuden.

### 3.2 Hätäsyöttövesipumppu

Hätäsyöttövesipumpun pääasiallinen tarkoitus on varmistaa veden saatavuus kriittisissä tilanteissa, kuten sähkökatkoksen yhteydessä. Se pitää yllä veden syöttöä prosesseihin ja estää laitteiston vaurioitumisen veden puutteen vuoksi. Hätäsyöttövesipumppu on varustettu varavoimalaitteella, joka käynnistyy automaattisesti syöttövesipumppujen vikaantuessa tai muussa häiriötilanteessa. (Huhtinen;ym., 2013, 313.)

## 4 LIERIÖHAMMASVAIHDE

Kyseessä on kaksivaiheinen, lieriöhammaspyörällinen vaihdeyksikkö, jossa ensiöakselin  $n^1$  kierrosluku (1/min) ja toisiöakselin  $n^2$  kierrosluku (1/min) sekä välityssuhteen  $i$  tiedot käyvät ilmi vaihteen tyyppikilvestä.

Välityssuhde on SFS SI-oppaan (2019, 24) mukaisesti:

$$i = \frac{\omega^1}{\omega^2} = \frac{n^1}{n^2} \quad (1)$$

jossa

$i$  = välityssuhde on kulmanopeuksien ja pyörimisnopeuksien suhde

$\omega$  = kulmanopeus

$n$  = pyörimisnopeus

Pyörivillä koneilla nopeus ilmaistaan yleensä kulmanopeuden yksiköillä r/s tai r/min. Pyörimisnopeudella lukuarvot yksiköissä 1/s tai 1/min vastaavat kulmanopeuden lukuarvoja. (Suomen Standardisoimisliitto, 2019, 24.)

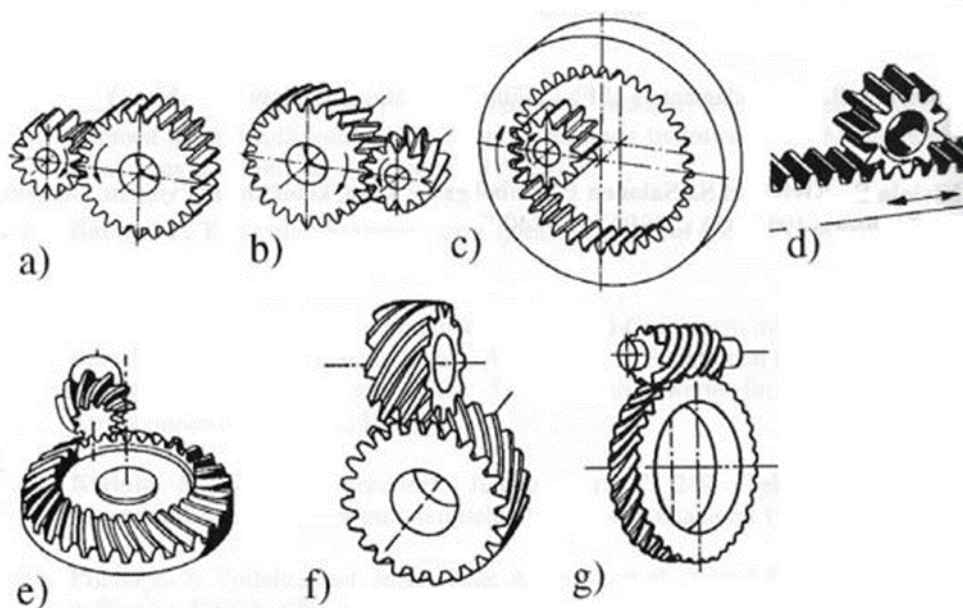
Laitetoimittajan materiaaleissa vaihdeyksikkö poikkeaa laitokselle fyysisesti toimitetusta vaihdeyksiköstä. Fyysisessä vaihdeyksikössä mukana on erillinen öljysäiliö vaihteen ja öljypumpun välissä.

### 4.1 Hammasvaihteet

Hammaspyöriä on käytetty jo ennen ajanlaskun alkua, mutta niiden teollinen valmistus alkoi teollistumisen myötä. Hammasvaihte on mekaanisen voimansiirtolaitteen osa, jonka päätehtävänä on siirtää käyttävän laitteen pyörimisliike käytettävän laitteen vaatimuksien tasolle. Vaihteiston muodostavat hammaspyöriä sisältävä kotelo, ja se mahdollistaa erilaisten välityssuhteiden saavuttamisen. Tämä tekninen ratkaisu on olennainen osa monissa voimansiirtojärjestelmissä ja koneissa. (Björk;ym., 2014, 401.)

## 4.2 Lieriövaihte

Lieriöhammasvaihteissa käytetään yleisesti vinohampaisia hammaspyöriä (Kuva 1, kohta b: "Vinohampainen lieriöpyöräpari"). Vinouskulman kasvattaminen mahdollistaa pidempien hampaiden käytön ilman pyörän leveyden lisäämistä. Tämä ominaisuus tarjoaa vinohampaisille pyörille etua suorahampaisiin pyöriin verrattuna, sillä vinohampaisten pyörien tehonsiirtokyky on suurempi. Tämä johtuu siitä, että rynnöstä on useampi hammaspari, jotka jakavat kuormituksen tasaisesti hammaskylkiä kohti, mikä parantaa voimansiirtotehokkuutta. Vinohampaiset lieriöhammasvaihteet ovat siten suosittu valinta teollisissa sovelluksissa, joissa vaaditaan suurta tehonsiirtoa ja tehokasta voimansiirtoa. (Airila;ym., 2003, 505–508.)



- a) Suorahampainen lieriöpyöräpari
- b) Vinohampainen lieriöpyöräpari
- c) Sisähammastettu lieriöpyörä
- d) Hammaspyörä-hammastanko
- e) Kartiohammaspyöräpari
- f) Ruuvipyöräpari
- g) Kierukka ja kierukkapyörä.

Kuva 1. Hammaspyörätyypit. (Airila;ym., 2003, 490.)

Lieriöhammaspyörällinen vaihdeyksikkö on suunniteltu ja valmistettu minimoimaan kunnossapitotarpeita. Vaihdeyksikön kotelon rakenne perustuu hitsattuun teräslevyyn, mikä tekee täyttöaukon kautta tapahtuvasta tarkistuksesta ja öljynvaihdosta vaivatonta. Hammaspyörät on koneistettu kierteisiksi, kovetettu ja hiottu huippulaatuisiksi varmistaen niiden tasaisen ja vakaan toiminnan. Akselit ja hammaspyörät on kiinnitetty poikittaisen paineen avulla, mikä takaa luotettavan siirron kiertomomenteille. Tämä suunnitteluratkaisu parantaa vaihdeyksikön kestävyyttä ja varmistaa sen tehokkaan ja luotettavan toiminnan teollisissa sovelluksissa.

#### 4.3 Vaihteen voitelu

Vaihteen voitelun keskeinen tavoite on muodostaa liikkuvien kosketuspintojen ympärille suojaava öljykalvo. Voitelun avulla saavutetaan useita tärkeitä tarkoituksia, kuten pintojen erottaminen toisistaan, kitkan vähentäminen, vaihteen sisäosien suojaus kulumiselta ja korroosiolta, lämmön siirto kotelon kautta ympäröivään ilmaan sekä laakereiden ja tiivisteiden voitelu. Oikein toteutetulla voitelulla saavutetaan merkittäviä taloudellisia etuja, kuten energiansäästöä ja tehokkuuden parantumista. Kulumisen minimoimisella mahdollistetaan koneiden pitkä elinkaari. Toimivan ja tehokkaan voitelujärjestelmän ylläpitäminen on olennaista koneiden luotettavuuden varmistamiseksi. (Aarnio;ym., 2013, 11.)

Tutkittavan vaihdeyksikön voitelujärjestelmä perustuu keskusvoiteluun. Vaihdelaatikon laipalle kiinnitetty öljypumppu vastaa voiteluöljyn kierrättämisestä öljysäiliön, suodattimen ja jäähdyttimen kautta vaihdeyksikössä tapahtuvien toimintojen tueksi. Käytetyn öljyn palautuminen tapahtuu kahdesta paluukanavasta, jotka ohjaavat sen takaisin öljysäiliöön.



#### 4.4 Viskositeetti

Viskositeetti on voiteluaineen tärkein ominaisuus ja yhdessä paineen kanssa säätelevät voiteluainekalvon muodostumista liikkuvien pintojen välissä, niin kutsutut reologiset ominaisuudet. Paineen vaikutusta viskositeettiin pidetään eksponentiaalisena, jolloin esimerkiksi mineraaliöljyille tyypilliset paine-eksponenttiarvot ovat  $2,2 * 10^{-8} m^2/N$  lämpötilassa 40 °C ja  $1,5 * 10^{-8} m^2/N$  lämpötilassa 100 °C. (Airila;ym., 2003, 437.)

Absoluuttista eli dynaamista viskositeettia sovelletaan paksuissa nesteissä, jotka eivät virtaa kapillaarisesti kylmässä ympäristössä. SI-järjestelmän yksikön  $Ns/m^2$  mukaisesti dynaamista viskositeettia mitataan voiteluaineessa roottorin kokemaan vastusmomenttiin perustuen. Vaikka dynaaminen viskositeetti on käytössä, yleisemmin teollisuudessa käytetään kinemaattista viskositeettia, joka mitataan kapillaariviskometrillä. Esimerkiksi teollisuusöljyjen ISO VG -luokituksen määrittämisessä suositetaan kinemaattista viskositeettia. SI-järjestelmässä sen yksikkö on  $mm^2/s$ , jota voidaan ilmaista myös senttistokina (cSt). (Aarnio;ym., 2013, 50.)

#### 4.5 Voitelu ääriolosuhteissa

Lämpötilalla on merkittävä vaikutus viskositeettiin. Viskositeetti-indeksi (VI) kuvaa viskositeetin muutosta lämpötilan vaihdellessa. Korkea viskositeetti-indeksi viittaa siihen, että viskositeetti muuttuu vähän lämpötilan vaihtuessa. Suurempi lämpötila yleensä tarkoittaa alhaisempaa viskositeettia, mikä voi johtaa voitelukalvon liian ohueksi ohentumiseen. Toisaalta alhainen lämpötila viittaa korkeaan viskositeettiin, mikä puolestaan tarkoittaa paksumpaa voiteluainekalvoa. Tässä tilanteessa voiteluaineen toimittaminen kohteeseen voi aiheuttaa haasteita. (Aarnio;ym., 2013, 239.)

Liite 1 esitetään korkean ja alhaisen lämpötilan vaikutuksia voiteluun sekä lämpötilan hallintaan liittyviä ratkaisuja, joita tullaan selvittämään tämän kehitystyön aikana.

#### 4.6 Korkea lämpötila

Korkea lämpötila aiheuttaa haasteita voideltavalle kohteelle, voiteluaineelle ja voitelujärjestelmälle, mikä usein johtaa taloudellisiin menetyksiin tuotannossa ja kunnossapidossa. Voideltavalle kohteelle on suunnitteluvaiheessa määriteltävä ylin lämpötila, jotta varmistetaan riittävän paksu voitelukalvo. Liian korkea käyttölämpötila voi laskea öljyn viskositeetin tarpeettoman alas, mikä ohentaa voitelukalvoa ja altistaa kohteen metallikosketukselle. Tämä puutteellinen voitelu johtaa ennenaikaiseen kulumiseen ja lopulta vaurioitumiseen. Voitelukalvon paksuuteen vaikuttavat eniten viskositeetti ja pintojen vierintänopeus. (Aarnio;ym., 2013, 240.)

#### 4.7 Alhainen lämpötila

Alhainen lämpötila vaikuttaa kohteeseen eri tavalla kuin korkeat lämpötilat. Usein voiteluaine on liian paksua alhaisissa lämpötiloissa, mikä johtaa korkeaan viskositeettiin, kavitaatioon ja ongelmiin voitelun saannissa. Kylmä öljy voi aiheuttaa virtausongelmia, mikä puolestaan johtaa kulumiseen. Kavitaatiossa ilmanerottumisaika hidastuu, ja putkistoissa voi syntyä vaurioita paineiskujen seurauksena. Suuret lämpötilojen vaihtelut edesauttavat kondenssiveden muodostumista, mikä lisää korroosion ja kulumisvaurioiden riskiä sekä voiteluaineessa että voideltavassa kohteessa. (Aarnio;ym., 2013, 246.)

#### 4.8 ISO 3448 Teollisuusöljyjen viskositeettiluokitus

International Organization for Standardization (ISO) on kehittänyt viskositeettiin perustuvan luokituksen teollisuusöljyille. Tämä luokitus ei arvioi voiteluöljyjen suorituskykyä, vaan keskittyy viskositeettien määrittämiseen. Luokituksessa on yhteensä 18 viskositeettiluokkaa (Taulukko 1), jotka ilmoitetaan kinemaattisella viskositeetilla 40 °C lämpötilassa. Järjestysluvut osoittavat luokat niiden kinemaattisen keskiviskositeetin perusteella. ISO-luokitus tarjoaa standardisoidun tavan ilmaista öljyn viskositeetti tietyssä lämpötilassa, ja se on tärkeä tieto öljyn valinnassa eri sovelluksiin. Luokitus antaa käyttäjille viitteen öljyn virtausominaisuuksista erilaisissa olosuhteissa. Tämä auttaa valitsemaan oikean öljyn erilaisiin käyttöympäristöihin, joissa lämpötila voi vaihdella merkittävästi. (Airila;ym., 2003, 443.)

Lisäksi tunnettuja luokittelumenetelmiä ovat Society of Automotive Engineers (SAE) -luokitus, joka luokittelee voiteluöljyt niiden notkeuden perusteella mitattuna 100 °C lämpötilassa. SAE-luokitus tarjoaa tärkeää tietoa öljyn virtausominaisuuksista erityisesti moottorin käyttölämpötilassa. Suorituskykyluokituksista American Petroleum Institute (API) -luokitus on laajalti käytetty erityisesti bensiini- ja dieselmoottoriöljyissä. API-luokitus kertoo öljyn suorituskyvystä ja sen soveltuvuudesta erilaisiin moottoritekologioihin ja käyttöolosuhteisiin. API-luokituksissa tärkeät tiedot, kuten palamistestit ja moottorikokeet, antavat käyttäjille tarkan käsityksen öljyn tehokkuudesta ja suojaavista ominaisuuksista moottorissa. (Airila;ym., 2003, 445.)

Taulukko 1. Teollisuusöljyn viskositeettiluokitus ISO 3448 mukaan.

ISO 3448 VG-luokka	Keski viskositeetti 40 °C (cSt)	Viskositeetti 40 °C	
		min. (cSt)	max (cSt)
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	90,0	100
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

## 5 TYÖN KEHITYS JA VAIHTOEHDOT

Kuvion 1 mukaisesti kehittämistyössä hyödynnettiin kehittämissyklin vaiheita koekäyttöjen ja vaihtoehtojen toteuttamiseen. Tässä osiossa avataan kehitysprosessin kannalta keskeiset koekäytöt, niistä saadut havainnot ja tehdyt parannusehdotukset. Työn aikana suoritettiin yhteensä kymmenen (10) koekäyttöä, ja niiden tiedot on dokumentoitu erilliselle pöytäkirjalle (Liite 2). Koekäytöistä kirjattiin öljyn lämpötila vaihteessa käynnistyksen aikana, öljyn paine käynnistyksen jälkeen sekä mahdollinen tehty muutos. Ennen koekäytön päättymistä kirjattiin öljyn paine ja lämpötila. Koekäyttöjen tuloksia on kuvattu värikoodeilla. Vihreä väri edustaa onnistunutta suoritusta, jossa koekäyttö suoritettiin loppuun. Punainen väri ilmaisee epäonnistumista, jossa koekäyttö keskeytettiin. Keltainen väri puolestaan viittaa osittaiseen onnistumiseen, jossa koekäyttö lopetettiin. Tämä värikoodaus tarjoaa visuaalisen käsityksen koekäyttöjen onnistumisesta.

### 5.1 Mobilgear XMP 220

Jotta työstä saataisiin mahdollisimman laajaa tutkimuksellista otantaa, aluksi vaihteeseen vaihdettiin tyyppikilvessä ohjeistettua ISO VG 220 -luokkaan kuuluvaa mineraaliöljypohjaista Mobilgear XMP 220 -vaihteistoöljyä (Liite 3), jolloin pystytään todentamaan vaihteen ylikuumeneminen suunnitellulla vaihteistoöljyn luokituksella.

Ensimmäisen koekäytön alussa öljyn lämpötila oli 24 °C. Heti käynnistyksen jälkeen havaittiin, että painemittari nousi selvästi lukuarvon 6 bar yläpuolelle. Öljypinta vaihteessa nousi yli näkölasin ja öljysäiliössä alle näkölasin, mikä osoitti öljyn kertymisen vaihteeseen nopeammin kuin öljy ehti poistua vaihteesta öljysäiliöön. Öljyn lämpötila nousi nopeasti 100 °C:een ja öljynpaine laski tasolle 2,3 bar. Koekäyttö keskeytettiin 5 minuutin jälkeen. Vaihdetta tarkastellessa huomattiin, ettei varavoimalaitteen puoleinen paluuputki vaihteesta säiliöön ole lämmennyt ollenkaan koekäytön aikana.

Tapahtuva ilmiö todennetaan vielä toisella koekäytöllä, edellisen koekäytön toimesta käynnistyshetkellä öljyn lämpötila oli 50 °C ja öljynpaine nousi arvoon 2,9 bar. Öljypinnat vaihteessa pysyivät vaihteen näkölasin ylärajalla sekä öljysäiliössä näkölasin alarajalla. Öljyn lämpötila nousi viisi celsiusta ollen koekäytön lopussa 55 °C ja öljynpaine 3,2 bar. Koekäytön lopputulos poikkesi edellisestä koekäytöstä huomattavasti ollen positiivinen, sillä lämpötilat pysyivät hyväksyttävällä tasolla ja molemmat paluuputket vaikuttaisivat toimivan kuten pitääkin.

Tarkasteltiin myös tilannetta, jossa öljyn lämpötila oli koekäytön alkaessa 70 °C. Tämän koekäytön tuloksena öljyn lämpötila laski käynnin aikana lämpötilaan 55 °C.

## 5.2 Vaihtoehtojen kartoitus

Kartoittaessa Liite 1 olevia lämpötilojen hallinnan vaihtoehtoja todettiin, ettei vaihdeyksikön voitelujärjestelmä toimi koneikon käynnistyessä suunnitellulla tavalla, kun öljyn lämpötila on noin 20 °C mutta, toimivan suunnitellulla tavalla, kun öljyn lämpötila on 50 °C tai yli. Tämän pohjalta voidaan todeta voitelujärjestelmän olevan mitoitettu oikeanlaiseksi tarpeeksi notkealle voiteluöljylle, jolloin jäähtytyksen tai virtauksen lisääminen ei ole tarpeellinen toiminto. Myöskään ajotapamuutos tai kuormituksen pienentäminen ei tule onnistumaan sillä koneikko tarvitsee käydessään 100 prosenttisen käyntitehonsa. Vaihteeseen tehtävien konstruktiomuutoksien toteuttaminen vaatisi syvällisempää matemaattista tarkastelua ja teknistä suunnittelua, joihin laitoksen vuosihuoltojen asettamien aikataulullisten haasteiden myötä ei pystyttäisi tämän vuosihuollon aikana.

Mahdollisina parannusehdotuksina löytyi lämmitysvastuksen asentaminen öljysäiliöön tai öljyraadun vaihtaminen notkeampaan.

### 5.3 Mobil SHC 629

Vaihteeseen vaihdettiin laitoksen varastosta valmiiksi löytyvä synteettinen Mobil SHC 629 -vaihteistoöljy (Liite 4), joka on luokitukseltaan ISO VG 150, eli 70 cSt notkeampi kuin edellinen voiteluöljy.

Edellisen koekäytön seurauksena vaihteisto ja öljysäiliö olivat lämpöisiä, joten se lämmitti vaihdetun voiteluöljyn valmiiksi lämpötilaan 30 °C. Käynnistyksen jälkeen painemittarissa painetta oli 4 bar sekä öljyn pinnat pysyivät vaihteessa näkölasin puolivälissä. Tarkistettiin kädellä molempien paluuputkien lämpeneminen sekä todettiin virtaus molemmista paluuputkista öljysäiliön täyttöreistä katsomalla. Koekäyttö lopetettiin 20 minuutin jälkeen, jolloin öljyn lämpötila oli 49 °C sekä öljypaine 2,7 bar.

Jotta voidaan todentaa öljyn todellinen toimivuus vaihteessa, annettiin voiteluöljyn jäähtyä vastaamaan käynnistyksen aikana vallitsevaa lämpötilaa. Öljyn ollessa 23 °C, käynnistyksen jälkeen öljyn paine nousi 4,2 bar. Koekäyttö keskeytettiin, kun paine laski 2 bar tasolle ja lämpötila saavutti 100 °C. Varavoimalaitteen puoleinen paluuputki myös kylmä.

Kun voiteluöljyvalmistajat ilmoittavat tuotteissaan kinemaattisen viskositeetin 40 °C ja 100 °C arvoilla, ei ole tiedossa viskositeettiä esimerkiksi 20 °C. Teollisuusvoitelun käsikirjassa havainnollistetaan, miten öljyn viskositeetti muuttuu kuvaajalla lämpötilan vaihtumisen seurauksena (Aarnio;ym., 2013, 245). Otin yhteyttä voiteluöljyvalmistaja Exxon Mobiliin saadakseni tarkempia kuvaajia heidän Mobilgear XMP 220 ja Mobil SHC 629 voiteluöljyistä, jotta saataisiin tarkasteltua öljyjen todellisia viskositeetteja alemmilla lämpötiloilla kuin 40 °C.

### 5.4 Lämmitysvastus öljysäiliöön

Öljysäiliöön päädyttiin asentamaan MAYER-vastukselta tilattu lämmitysvastus (Kuva 2), joka on teholtaan 205 W ja 40 °C, jotta saataisiin öljy lämmitettyä ylitse toimivaksi todetun 30 °C.



Kuva 2. Backer öljynlämmitin. (Oy Mayer-vastus, 2015.)

Harmiksi koitui kuitenkin öljynlämmittimen 11 °C hystereesi, jonka takia vastus ei lämmitä öljysäiliössä olevaa voiteluöljyä tarpeeksi ja jää 28 °C. Kun voitelujärjestelmässä ei ole kiertoa sen ollessa poissa päältä, vaihteessa oleva öljy ei lämpene lainkaan.

### 5.5 Ulkoinen lämmitin

Jotta saataisiin vaihteen puoleinen öljy lämmitettyä, asennettiin vaihdetta kohti 9 kW lämmityspuhallin. Varavoimalaitteen lämmityskierrossa olevan 55 °C järjestelmän hyödyntämistä tarkasteltiin myös mahdollisena vaihtoehtona. Todettiin ettei ole tarkoituksen mukaista muuttaa varavoimalaitteen lämmityskierron mitoituksia, jotta varavoimalaite pysyisi käyttövarmana.

Vaihteen ulkoinen lämmitys tuotti toivotun tuloksen, jolloin koekäytön alkaessa öljyn lämpötila vaihteessa oli 43 °C ja säiliössä 30 °C. Painetta käynnistyksen



jälkeen oli 3,2 bar sekä kummatkin paluuputket toimivat. 20 minuutin aikana öljyn lämpötila ja paine pysyi tasaisena ollen 47 °C ja 3 bar kun koekäyttö lopetettiin.

Lämmityspuhaltimen sijainti tuo kuitenkin puutteita turvallisuuteen sekä käytännöllisyyteen, eikä vaihteen ympäröivän ahtaan tilan takia lämmityspuhaltimelle löydy hyväksyttävää sijaintia.

#### 5.6 Mobil Delvac Super 1400 10W-30

Vaihteeseen vaihdettiin dieselmoottoriöljyä Mobil Delvac Super 1400 10W-30 (Liite 5), jonka kinemaattinen viskositeetti ilmoitetussa 40 °C on 70 cSt, joka on huomattavasti alkuperäistä 220 cSt voiteluöljyä notkeampaa ja se vastaa ISO VG 68 -luokitusta.

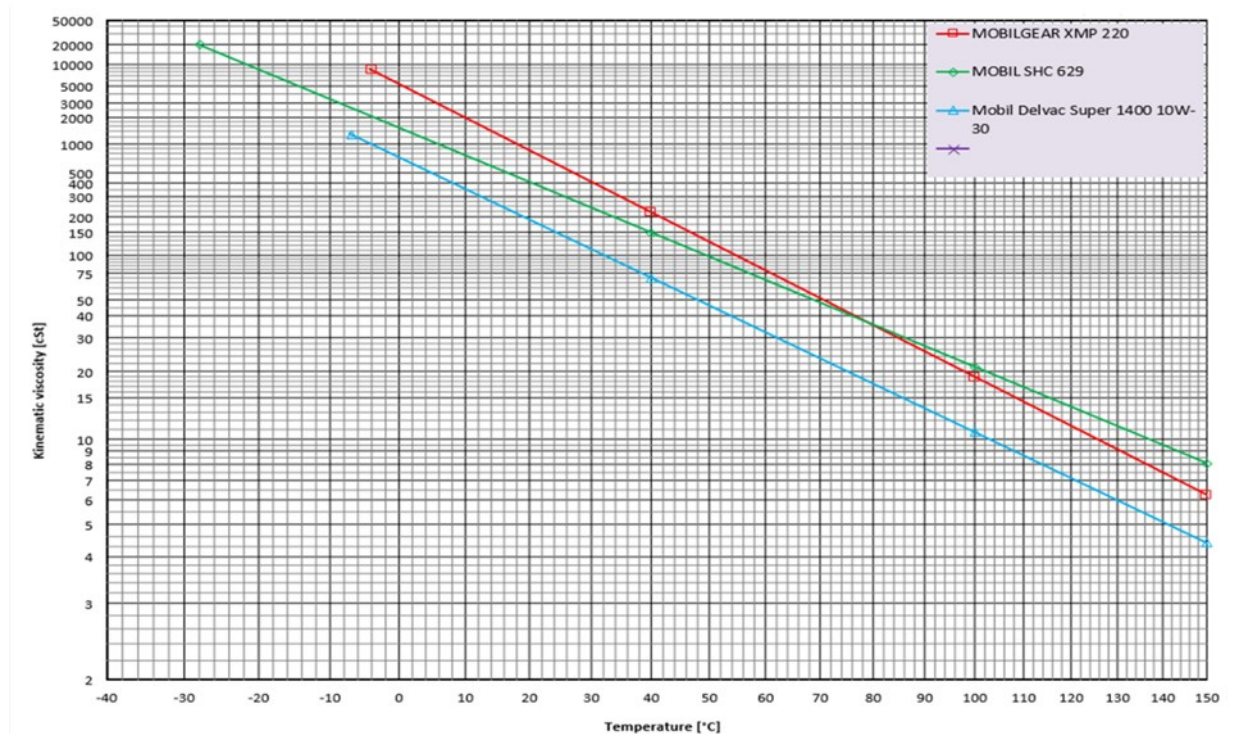
Koekäytössä ei vaihteen ulkoista lämmitystä, säiliössä edelleen lämmitysvastus. Lämpötila vaihteessa 23 °C ja säiliössä 28 °C sekä paine 3 bar. Käynnin aikana paluuputket virtaa sekä paine 2,4 bar. Öljy lämpeni 43 celsiuskeeseen. Todettiin huomattavasti notkeamman öljyn toimivan lämpenemisen kannalta moitteettomasti normaaleissa käynnistys olosuhteissa, jolloin paine ja lämpötila pysyvät todella hyvillä tasoilla.

## 6 PÄÄTELMÄT

### 6.1 Viskositeetti-lämpötila-kuvaaja

Kuvassa 3 selviää kunkin työssä käytetyn voiteluöljyn viskositeetit lämpötilojen vaihtuessa viskositeetti-lämpötila-kuvaajan avulla, jonka Exxon Mobil toimitti vasta työn loppuvaiheessa. Kuvaajaa olisi ollut hyödyllistä päästä tarkastelemaan jo työn aikaisemmissa vaiheissa.

Kuvaajaa tulkitessa voidaan todentaa 20 °C ja 40 °C välisten viskositeetti erojen olevan huomattavia, jolloin valmistajan suositteleman Mobil Gear XMP 220 voiteluöljyn viskositeetti 20 °C kohdalla olevan noin 850 cSt kun taas SHC 629 on noin 400 cSt sekä Delvacilla viskositeetti vain noin 190 cSt. Lämpötilojen vaikutusta viskositeettiin voidaan siis pitää merkittävänä.



Kuva 3. Exxon Mobil viskositeetti-lämpötila-kuvaaja. (Exxon Mobil, 2024.)

Kun saatuja tuloksia (Liite 2) ja kuvaajaa (Kuva 3) tarkastellaan yhdessä laajemmin eri lämpötilojen kohdalla Taulukko 2 mukaisesti, voidaan todeta

vaihteiston toimineen 240 cSt viskositeetin omaavalla voiteluöljyllä. Tämän perusteella valmistajan ilmoittama ISO VG 220 voiteluöljy soveltuisi vaihteistoon, mikäli öljyn lämpötila olisi 40 °C. Tätä vaikuttavaa tekijää, että koneikon käynnistyessä vallitsevana lämpötilana on 20 °C, ei todennäköisesti olla suunnittelussa otettu huomioon tai 40 °C lämpötilaa on pidetty oletuksena niissä laskelmissa.

Taulukko 2. Eri lämpötilojen vaikutus.

		20°C	30°C	40°C	50°C	80°C	100°C
MobilGear XMP 220	cSt	850	400	220	130	35	19
Mobil SHC 629	cSt	400	240	150	100	35	21
Mobil Delvac Super 1400 10W30	cSt	190	110	70	45	17,5	11

## 6.2 Kustannukset

Vaikka Mobil Delvac Super 1400 10W-30 on korkealuokkainen moniasteinen dieselmoottoriöljy, voisi olla taloudellisesti ja ympäristölle kannattavaa pidentää öljyn vaihtoväliä sekä käyttää vaihteessa nykyaikaisempaa synteettistä SHC 626 voiteluöljyä, joka on ISO VG -luokitukseltaan sama kuin nyt vaihteessa oleva eli 70. Mannisen opinnäytetyössä selviää, että kokonaiskustannukset mineraalipohjaisella öljyllä ja kahden vuoden vaihtovälillä on kalliimmat kuin synteettisellä öljyllä ja kolmen vuoden vaihtovälillä, huolimatta siitä, että synteettinen öljy on huomattavasti kalliimpaa kuin mineraalipohjainen öljy. Myös käyttämällä synteettistä öljyä, saadaan ympäristökuormitusta pienennettyä. Pidentämällä vaihtoväliä jäteöljyä syntyy vähemmän sekä uusien voiteluaineiden tekemiseen käytettyjä raaka-aineita saadaan säästettyä. (Manninen, 42–46, 2023)

Turku Energian kunnossapitoyksikön ennakkohuoltosuunnitelman mukaisesti voiteluöljyt vaihteessa tulisi analysoida ja vaihtaa vuoden välein. Tämä on kuitenkin 12 tuntia vuodessa käyväälle koneikolle turhan usein, sillä yleisesti synteettisillä öljyillä suositeltuna vaihtovälinä pidetään 17 500 käyttötuntia ja

mineraaliöljyillä 12 500 käyttötuntia. Joten ennakkohuoltosuunnitelmaa olisi syytä päivittää vaihtovälien osalta kahteen tai kolmeen vuoteen sekä suorittaa analyysit edelleen vuoden välein, jotta öljyalaadun muutoksia voidaan seurata ja reagoida sekä vaihtovälin ajanjaksoa harkita uudelleen.

### 6.3 Työn laadun ja luotettavuuden varmistaminen

Työn luotettavuuden ja toimivuuden varmentamisella on suuri vaikutus työn lopulliseen tulokseen. Kun hätäsyöttövesikoneikkoa koestetaan jatkossakin kuukauden välein, olisi koestuksissa syytä olla voiteluöljyihin perehtynyt henkilö tarkistamassa vaihteisto paikan päällä ja merkitsemässä ylös tuloksia lämpötiloista, paineesta ja äänistä, jotta niitä voidaan seurata ja varmistaa öljyn toimivuus pidemmällä aikavälillä. Vaihteiston voiteluöljylle kannattaisi suorittaa öljyanalyysejä alkuun tiheämmin, jotta tarkemmat poikkeamat ja muutokset saadaan nopeammin selville ja niihin voidaan reagoida.

Työn luotettavuuden kannalta etenemisen aikana suoritettiin haastatteluita ja selvityksiä osallistuvien tahojen kanssa ja niiden pohjalta suunniteltiin työn etenemistä. Tehtyjen kokeiden tuloksia esiteltiin asiaan liittyville henkilöille ja keskusteltiin vaihtoehtoista ja niiden tarpeellisuudesta.

### 6.4 Lopputulokset

Työn tulosten perusteella toivottu lopputulos, jossa vaihteisto ei ylikuumene ja toimii heti käynnistyessään normaalisti, saavutetaan matalamman viskositeetin voiteluöljyllä tai asianmukaisella lämmityksellä, joista päädyimme valitsemaan matalamman viskositeetin omaavan voiteluöljyn, sillä työn hetkellä hätäsyöttövesipumppukoneikon läheisyyden ei olisi ollut turvallista eikä käytännöllistä lämmityspuhaltimen asentaminen. Myöskään konstruktio muutoksia ei katsottu olevan tarkoituksenmukaista ryhtyä tekemään tämän vuosihuollon aikana, sillä voitelujärjestelmän mitoituksien todettiin olevan riittävät.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli ratkaista hätäsyöttövesipumpun vaihteiston voiteluöljyn ylikuumentuminen ja selvittää vaihtoehtoisia ratkaisuja sen ehkäisemiseksi, jotta vaihteistolle saataisiin olosuhteet toimia optimaalisesti, eikä odottamattomia laiterikkoja pääsisi syntymään kun voiteluöljy pysyy pidempään hyväkuntoisena. Nämä tavoitteet saavutettiin kokeilemalla vaihteessa eri voiteluöljyjä sekä vaikuttavia lämpötiloja.

Vaihteen lämmitystä tai konstruktio muutoksia olisi mahdollista harkita ja suunnitella tarkemmin, mikäli notkeamman voiteluöljyn vaihdolla huomataan myöhemmin olevan vaihteen toimintaan negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä.

Tarkempien ja luotettavampien tulosten saamiseksi olisi koekäyttöjä pitänyt tehdä samoilla lämpötiloilla, jokaisella voiteluöljyllä sekä useammalla lämpötilan arvolla. Nyt käynnistyslämpötilat vaihtelivat riippuen edellisen koekäytön aikavälistä ja jäähtymisestä. Kaikille voiteluöljyille olisi ollut syytä kokeilla 20 °C, 30 °C ja 40 °C käynnistyslämpötiloja paremman vertailun saamiseksi.

Työn aikana huomattu ilmiö, jossa vaihteen toisesta paluuputkesta ei virrannut voiteluöljyä laisinkaan kun vaihteessa oleva voiteluöljy on ollut viskositeetiltaan korkeampaa kuin 240 cSt, olisi erittäin mielenkiintoinen jatko työlle selvittää tähän ilmiöön vastauksia. Opinnäytetyön aikana siihen ei löytynyt kuin arvauksia mahdollisesta öljykalvon muodostumisesta hammaspyörän aiheuttamasta pyörimisestä.

## LÄHTEET

**Aarnio, Markku. 2013.** *Teollisuusvoitelu: käsikirja*. 5. uud.p. Helsinki : KP-Media, 2013.

**Airila, Mauri;ym. 2003.** *Koneenosien suunnittelu*. 4. painos. Porvoo : WS Bookwell Oy, 2003.

**Björk, Timo;ym. 2014.** *Koneenosien suunnittelu*. 6. uudistettu painos. Helsinki : Sanoma Pro, 2014.

**Exxon Mobil. 2024.** Exxon Mobil Corporation. *Mobil Delvac*. [Online] 2024. [Viitattu: 17. Tammikuu 2024.] <https://www.mobil.fi/fi-fi/products/mobil-delvac-super-1400-10w30>.

**Exxon Mobil. 2024.** Exxon Mobil Corporation. *Mobilgear XMP*. [Online] 2024. [Viitattu: 17. Tammikuu 2024.] <https://www.mobil.fi/fi-fi/products/mobilgear-xmp-220>.

**Exxon Mobil. 2024.** Exxon Mobil Corporation. *Mobil SHC*. [Online] 2024. [Viitattu: 17. Tammikuu 2024.] <https://www.mobil.fi/fi-fi/products/mobil-shc-629>.

**Fluidlab Oy. 2021.** *NA4 Häätäpumpun vaihteiston öljyanalyysi*. Turku : s.n., 2021.

**Huhtinen, Markku;ym. 2013.** *Voimalaitostekniikka*. Toinen tarkistettu painos. Tampere : Juvenes Print - Suomen Yliopistopaino Oy, 2013.

**Kananen, Jorma. 2012.** *Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas*. Jyväskylä : Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2012.

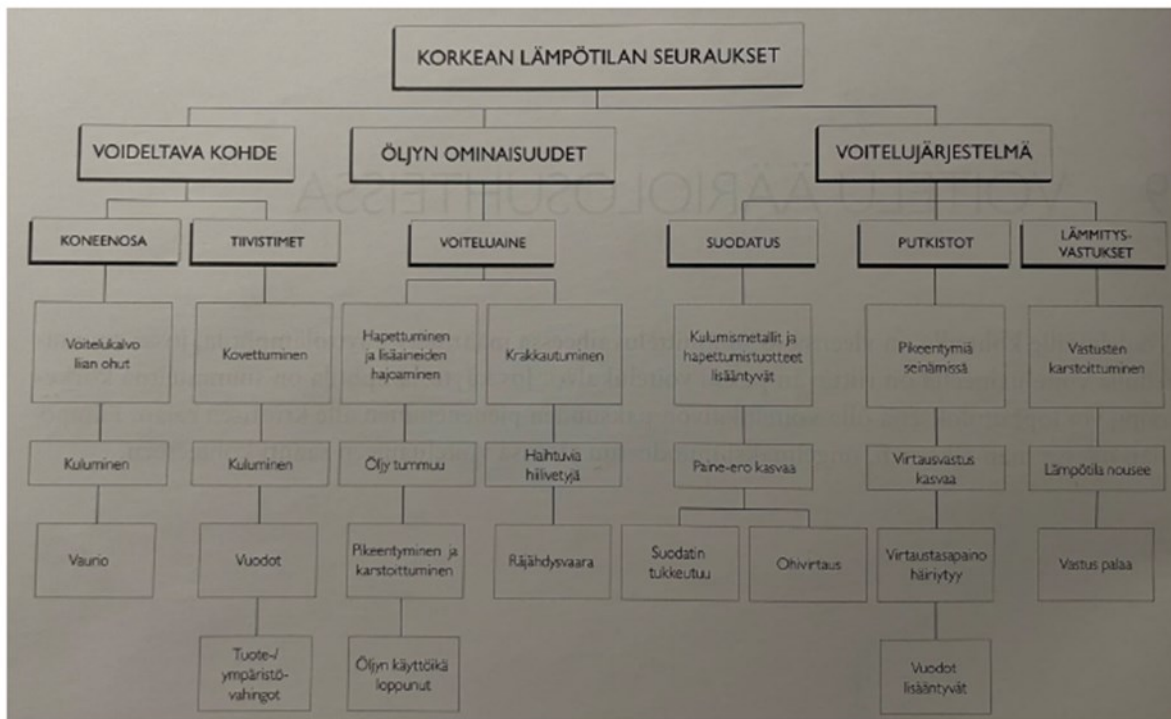
**Manninen, Elmo. 2023.** *Voimalaitoksen voiteluhuollon kehittäminen – voiteluöljyn valinta ja kunnonvalvonta*. [Viitattu 18. Maaliskuu 2024] <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052313266>

**MAYER-vastus.** *MAYER-vastus: Upotettava öljynlämmitin*. [Online] [Viitattu: 17. Tammikuu 2024.] <https://www.meyervastus.fi/wp-content/uploads/2015/05/Upotettava-öljynlämmitin.pdf>.

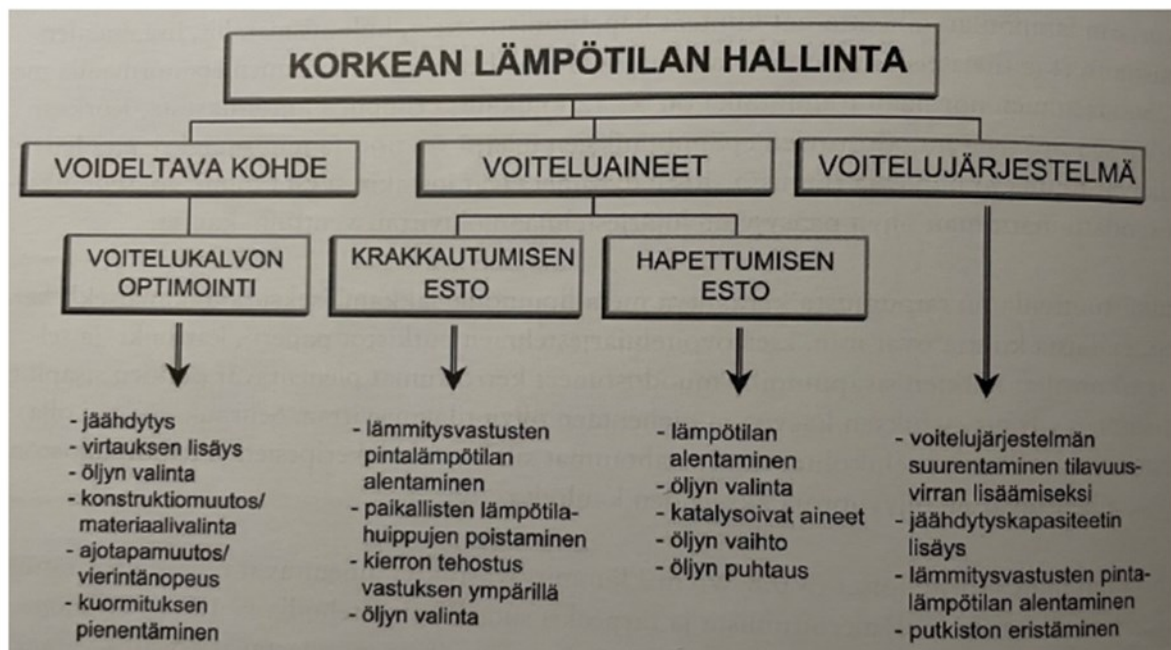
**Suomen Standardisoimisliitto. 2019. SI-opas, kansainvälinen suure- ja yksikköjärjestelmä.** Helsinki : Standardisointiryhmä SR102 Mittayksiköt, 2019.

## Liite 1 Voitelu ääriolosuhteissa.

### Korkean lämpötilan seuraukset.

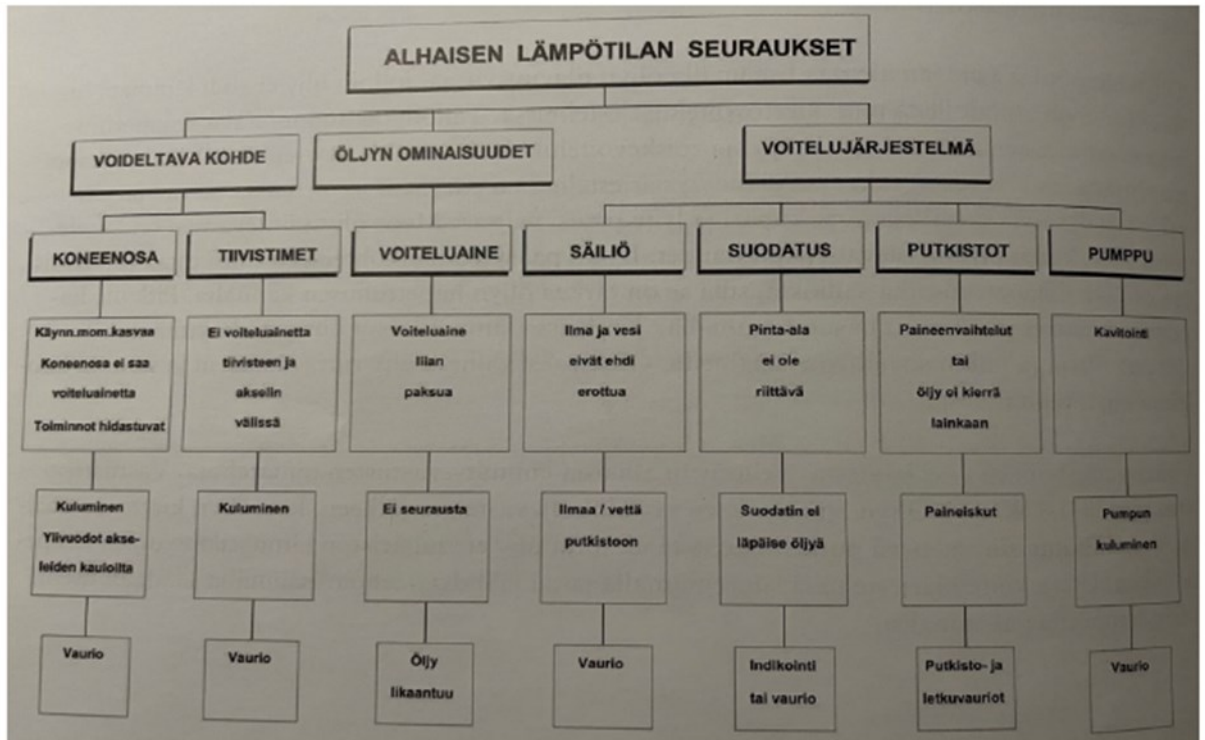


### Korkean lämpötilan hallinta.

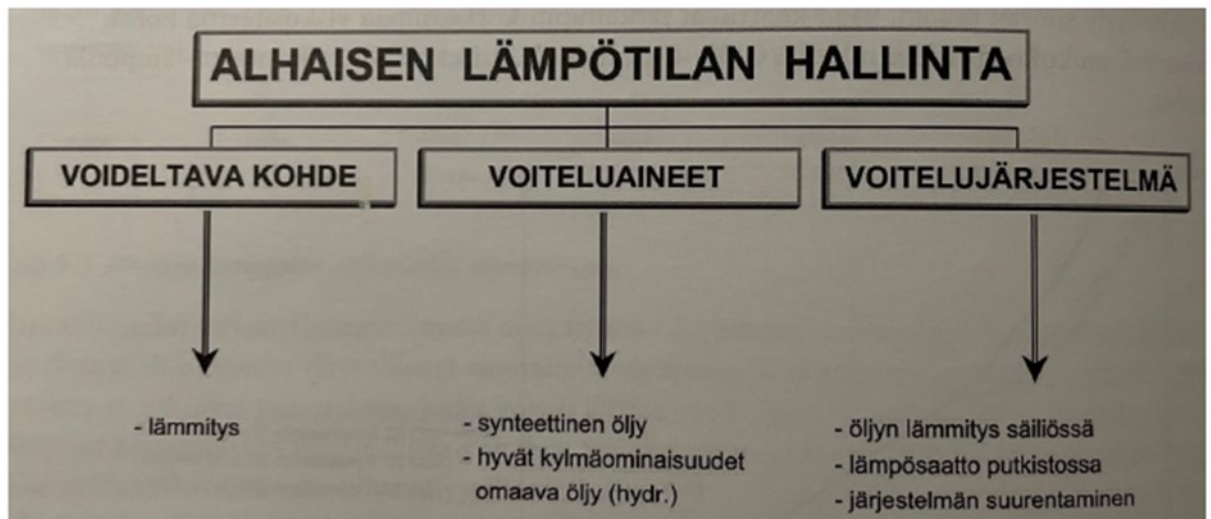




Alhaisen lämpötilan seuraukset.



Alhaisen lämpötilan hallinta.



## Liite 2 Koekäyttöjen kirjaukset.

		Öljyn lämpötila °C	Öljynpaine bar
28.06.23.	1. Koekäyttö	Mobilgear XMP 220	
	Käynnistys	24 °C	yli 6 bar
5min	Lopetus	100 °C	2,3 bar
28.06.23.	2. Koekäyttö	Mobilgear XMP 220	
	Käynnistys	50 °C	2,9 bar
15min	Lopetus	55 °C	3,2 bar
29.06.23.	3. Koekäyttö	Mobilgear XMP 220	
	Käynnistys	22 °C	yli 6 bar
5min	Lopetus	100 °C	2,3 bar
29.06.23.	4. Koekäyttö	Mobilgear XMP 220	
	Käynnistys	70 °C	3,5 bar
10min	Lopetus	55 °C	3,4 bar
29.06.23.	5. Koekäyttö	Mobilgear XMP 220	(Öljyn määrää lisätty)
	Käynnistys	28 °C	yli 6 bar
5min	Lopetus	100 °C	2,3 bar
29.06.23.	6. Koekäyttö	Mobil SHC 629	(öljy vaihdettu notkeampaan)
	Käynnistys	30 °C	4 bar
20min	Lopetus	49 °C	2,7 bar
30.06.23.	7. Koekäyttö	Mobil SHC 629	
	Käynnistys	23 °C	4,2 bar
5min	Lopetus	100 °C	2 bar
17.07.23.	8. Koekäyttö	Mobil SHC 629	(250W 40°C sisäinen lämmitys säiliössä, 28 °C)
	Käynnistys	22 °C	4,2 bar
15min	Lopetus	100 °C	2 bar
18.07.23.	9. Koekäyttö	Mobil SHC 629	(9kW ulkoinen lämmitys)
	Käynnistys	43 °C	3,2 bar
20min	Lopetus	47 °C	3 bar
15.08.23.	10. Koekäyttö	Mobil Delvac Super 1400 10W-30	(Öljy vaihdettu notkeampaan)
	Käynnistys	23 °C	3 bar
20min	Lopetus	42 °C	2,4 bar

## Liite 3 Mobil XMP ominaisuudet.

Ominaisuus	MOBILGEAR XMP 150	MOBILGEAR XMP 220	MOBILGEAR XMP 320	MOBILGEAR XMP 460	MOBILGEAR XMP 680
Luokitus	ISO VG 150	ISO VG 220	ISO VG 320	ISO VG 460	ISO VG 680
Kupariliuskan korrosio, 3 h, 100 °C, luokitus, ASTM D130	1B	1B	1B	1B	1B
Tiheys @ 15,6 °C, kg/l, ASTM D4052	0,896	0,900	0,903	0,909	0,917
Emulsio, aika 40/37/3 ml erottumiseen, 82 °C, min, ASTM D1401	10	10	10	10	10
FZG Micropitting, vaurioluokka, luokitus, FVA 54		10+	10+	10+	10
FZG Micropitting, GFT-Class, luokitus, FVA 54		Korkea	Korkea	Korkea	Korkea
FZG Scuffing-testi, vaurioluokka, A/16,6/90, ISO 14635-1(mod)	12	13+	14	14+	14+
FZG Scuffing-testi, vaurioluokka, A/8.3/90, ISO 14635-1	12+	13+	14	14+	14+
Leimahduspiste, (COC), °C, ASTM D92	258	272	268	270	272
Vaahoaminen, Seq I, pysyvä, ml, ASTM D 892	0	0	0	0	0
Vaahoaminen, Seq I, tendensi, ml, ASTM D892	0	0	0	0	0
Neljän kuulan koe, kuorma/kulumisindeksi, kgf, ASTM D2783	45	45	45	45	45
Neljän kuulan koe, hitsautumiskuorma, kgf, ASTM D2783	250	250	250	250	250
Kinemaattinen viskositeetti @ 100 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	14,6	18,8	24,1	30,6	36,9
Kinemaattinen viskositeetti @ 40 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	150	220	320	460	680
Jähmepiste, °C, ASTM D97	-27	-24	-18	-12	-9
Ruosteenestokyky, Proc. B, ASTM D665	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE
Viskositeetti-indeksi, ASTM D2270	96	96	96	96	89

## Liite 4 Mobil SHC ominaisuudet.

Ominaisuus	624	625	626	627	629	630	632	634	636
Luokka	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 100	ISO 150	ISO 220	ISO 320	ISO 460	ISO 680
Liikkonako, AMS 1738	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi	Oranssi
Kupankuskan korroosio, 24 h, 121 °C, liukitus, ASTM D130	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B
Density @ 60 F, kg/m <sup>3</sup> , ASTM D4052	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
Emulsio, aika kunnes 37 ml vettä, 54 °C, min, ASTM D1401	10	15	15						
Emulsio, aika kunnes 37 ml vettä, 82 °C, min, ASTM D1401				15	20	20	20	20	20
FEB kulumistesti, V50 laakerirullan kuluminen, mg, DIN 51819-3				2	2	2	2	2	2
FZG Scuffing-testi, vaurioiluokka, A/8,3/90, ISO 14635-1(mod)	11	12	12	12	13	13+	13+	13+	13+
Leimahduspiste, COC, °C, ASTM D92	236	225	225	235	220	220	225	228	225
Kinemaattinen viskositeetti @ 100 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	6,3	8,5	11,6	15,3	21,1	28,5	38,5	50,7	69
Kinemaattinen viskositeetti @ 40 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	32	46	68	100	150	220	320	460	680
Jähmepiste, °C, ASTM D5950	-57	-54	-54	-48	-48	-48	-48	-45	-45
RPVOT, minuuttia, ASTM D2272	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Ruosteenestokyky, Proc. B, ASTM D665	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE	LÄPÄISEE
TDST, aika kunnes 2,0 mg KOH/g, tuntia, ASTM D943	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+
Viskositeetti-indeksi, ASTM D2270	148	161	165	162	166	169	172	174	181

## Liite 5 Mobil Delvac Super 1400 10W-30 ominaisuudet.

Mobil Delvac Super 1400 10W-30	
SAE-luokka	10W-30
Viskositeetti, ASTM D 445	
mm <sup>2</sup> /s @ 40°C	70
mm <sup>2</sup> /s @ 100°C	10.7
Viskositeetti-indeksi, ASTM D 2270	138
Tuhkapitoisuus, paino %, ASTM D 874	1.2
Kokonaisemäsluku (TBN), mg KOH/g, ASTM D 2896	9.9
Jähmepiste, °C, ASTM D 97	-27
Leimahduspiste, °C, ASTM D 92	206
Ominaispaino @15°C, kg/l, ASTM D 4052	0.88