

# **Voiteluhuollon kehitys kuitulinjoilla**

## **Öljyanalyysit**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
2023  
Akseli Rautio

## Tiivistelmä

Tekijä Akseli Rautio	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 34	Valmistumisaika 2023
Työn nimi <b>Voiteluhuollon kehitys kuitulinjoilla</b> Öljyanalyysit		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Stora Enso Oyj		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden kuitulinjojen voiteluhuoltoa. Työssä on tämän lisäksi tehty kirjallisuuskatsaus tribologiasta, erityisesti voiteluun keskittyen.</p> <p>Työn tarkoituksena on kehittää kuitulinjojen ennakoivaa kunnossapitoa sisällyttämällä siihen öljyanalyyseja, joiden avulla voidaan kartoittaa osaston laitteiden öljynvaihtotarpeita. Tällä hetkellä osastolla tehdyt öljynvaihdot suoritetaan aina tietyin aikaväleihin. Tarkoituksena on, että öljyjen vaihdot perustuvat öljyn kuntoon, eli öljyt vaihdetaan ainoastaan, kun öljyn laatu on huonontunut niin paljon, että se täytyy vaihtaa.</p> <p>Työssä on onnistuttu rajaamaan osastolta öljyanalyysiin valitut laitteet. Osaston laitteista öljyanalyysiin valittiin alle 20 % kaikista laitteista. Valitut laitteet olivat joko öljymäärältään yli 200 l hydraulikkakoneikkoja, öljymäärältään yli 100 l vaihdelaatikoita tai öljymäärältään yli 60 l A-kriittisiä vaihdelaatikoita. Vaikka suuri osa osaston laitteista jää öljyanalyysin ulkopuolelle, niin valittujen laitteiden öljymäärä kattaa yli 80 % osaston kaikkien laitteiden öljymäärästä. Tämä tarkoittaa, että vaikka valittujen laitteiden otanta on pieni, niin se on silti öljymäärältään kattava ja edustaa hyvin osaston laitteiden öljyn kuntoa.</p> <p>Opinnäytetyössä saadaan rajattua kuitulinjoilta öljyanalyysiin valittavat laitteet sekä saadaan selville öljyanalyysiin valittujen laitteiden edustettavuus niiden öljymäärän suhteen koko osastoa ajatellen. Tulevaisuudessa valittujen laitteiden öljyanalyysit täytyy viedä käytettyyn toiminnanohjausjärjestelmään. Öljyanalyysien aikataulutus täytyy suunnitella sekä öljynäytteiden ottaminen standardisoida sekä opastaa työntekijöille. Kun öljyanalyysit saadaan käytäntöön, voidaan eri aikoina otettujen analyysien tuloksia vertailla keskenään, jolloin voidaan huomata esimerkiksi muutoksia laitteiden toiminnassa ja kunnossa, ja näin huomata korjaus- tai huoltotarve ennen kuin laite hajoaa pahasti ja aiheuttaa laajempaa haittaa ja mahdollisesti tuotannon menetystä.</p>		
Asiasanat ennakkohuolto, voiteluhuolto, voitelu, voiteluaine, öljyanalyysi		

## Abstract

Author Akseli Rautio	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 34	
Title of Publication <b>Development of lubrication maintenance on fiber lines</b> Oil analysis		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Stora Enso Oyj		
Abstract <p>The purpose of this thesis is to develop the lubrication maintenance of the fiber lines in Stora Enso Oyj Imatra mills. In addition to that, a literature review is made about tribology, especially about lubrication in this thesis.</p> <p>The development of the lubrication maintenance is made by adding oil analyses into fiber lines' advanced maintenance. Oil analyses help to notice and anticipate the need of oil changes, which can decrease the breaks of the devises. The meaning of oil analyses is that lubrication oils are only changed when it is necessary, this way there is less unnecessary material and labor costs.</p> <p>The first step in the developing oil analyses is to limit the devices in the fiber lines that are included in the oil analyses. The devices that were included into oil analyses are hydraulic machines of which oil volume is over 200 liters, gearboxes of which oil volume is over 100 liters and A-critical gearboxes of which oil volume is over 60 liters. By this limitation the number of the selected devices is under 20 % of all devises in the department. The oil volume of the selected devises is still over 80 % from the total oil volume of the department.</p> <p>The devices from the fiber lines are selected in the oil analysis and their representativeness due their oil volume is determined in this thesis. The next step is to move oil analyses into operational management system. The timetable of the oil analysis needs to be planned and the sampling needs to be standardized and guided to the employee. When oil analyses are performed for some time the results from the different times can be compared with each other. This way it is possible to see the trend of the oils' conditions and notice if there are big differences. Oil analyses can spot a device that is about to break and needs maintenance, which can prevent larger breaks and loss of the production.</p>		
Keywords advanced maintenance, lubrication maintenance, lubrication, lubricant, oil analysis		

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Tribologia.....	2
2.1	Tribologian historia .....	2
2.2	Pintojen välinen kosketus .....	3
2.2.1	Kitka .....	3
2.2.2	Kuluminen .....	3
2.2.3	Voitelu .....	4
3	Ennakoiva kunnossapito .....	5
4	Voitelu .....	9
4.1	Voitelun merkitys .....	9
4.2	Voiteluaineet.....	9
4.2.1	Voiteluöljyt .....	10
4.2.2	Voitelurasvat.....	12
4.2.3	Kiinteät voiteluaineet.....	12
4.3	Lisäaineet .....	12
4.4	Voitelujärjestelmät .....	13
4.4.1	Keskusvoitelu järjestelmä .....	13
4.4.2	Kiertovoitelujärjestelmä.....	14
4.5	Voitelulaitteet .....	15
5	Voiteluhuollon kehitys kuitulinjoilla .....	19
6	Kuitulinjojen laitteiden valinta öljyanalyysiin .....	23
7	Öljyanalyysin kehittämisen seuraavat vaiheet.....	27
8	Yhteenveto ja pohdinta .....	28
	Lähteet .....	31

Liite 1. Osaston laitteet, joista vihreät on valittu öljyanalyysiin

## 1 Johdanto

Nykyään energiatehokkuus ja ympäristön säästäminen ovat tärkeitä tavoitteita kaikkialla teollisuudessa. Koneiden ja laitteiden tehokkuuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi voitelujärjestelmien ja voiteluaineiden avulla. Näillä voidaan vaikuttaa muun muassa laitteissa syntyvään kitkaan ja kulumiseen. (Kalam ym. 2017.) Tämän takia on tärkeää, että laitteiden kunnossapitoa ja erityisesti niiden voitelua kehitetään.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Stora Enson Kaukopään tehtaan kuitulinjojen voiteluhuoltoa. Työssä tehdään selvitys, josta käy ilmi mistä laitteista on kannattavaa ottaa öljynäytteet ja tarvittaessa vaihtaa tai olla vaihtamatta öljyt sen perusteella. Tällä hetkellä öljyjä vaihdetaan enimmäkseen tiettyjen syklien välein. Tämä johtaa siihen, että joissakin kohteissa öljyjä saatetaan vaihtaa turhan usein, mikä ei ole tehokasta kunnossapitoa. Tulevaisuudessa on tavoitteena, että tietyissä kohteissa suoritettaisiin ennakkohuoltona öljynäytteidenottoja, joiden perusteella tehdään päätös näiden kohteiden öljyjen vaihdosta.

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Stora Enso Oyj. Stora Enso Oyj on iso kansainvälinen metsäteollisuuden yritys. Stora Enson tuotteista löytyy pakkausmateriaaleja ja -ratkaisuja, biomateriaaleja sekä erilaisia puusta valmistettuja tuotteita. Stora Enson Imatran tehtaat on aloittanut toimintansa vuonna 1935. Se koostuu kahdesta tuotantoyksiköstä Kaukopään – ja Tainionkosken yksiköstä. Työntekijöitä Stora Enson Imatran tehtailla on noin 1000 henkilöä. Stora Enson Imatran tehtaat kuuluu Packagin Materials – divisioonaan. Sen tärkeimpiä tuotteita ovat nestepakkauskartongit, elintarvikepakkauskartongit ja graafiset tuotteet. Kaukopään sellutehtaalla sijaitsee kaksi kuitulinjaa, Kuitulinja 2 ja Kuitulinja 3. Kuitulinjalla 2 tuotetaan valkaistua pitkäkuituista sellua ja Kuitulinjalla 3 tuotetaan lyhytkuituista sellua. (Stora Enso; Stora Enso a.)

## 2 Tribologia

### 2.1 Tribologian historia

Tribologiaksi kutsutaan tieteellistä alaa, jossa käsitellään ja tutkitaan pintojen välistä vuoro-vaikutusta. Tämä sisältää muun muassa kitkan, kulumisen ja voitelun. Se on poikkitieteinen ala, jossa hyödynnetään fysiikkaa, kemiaa, konesuunnittelua ja materiaalioppia. Tribologiaa on hyödynnetty jo ennen ajanlaskun alkua. Sitä on esiintynyt kirjallisuudessa jo vuonna 1880 eKr. teoksessa, jossa kitkan vähentämiseksi kaadetaan liukukiskoille voiteluainetta. (Kara 1989; Sundquist 1986.)

Tribologia kehittyi 1000-luvun aikana merkittävästi. Tribologian kehitystä vei eteenpäin monta eri tieteilijää. Vuonna 1470 da Vincin ansiosta saatiin selville, että kuormitus vaikuttaa kitkavoimaan. Vuosien 1650 ja 1750 välillä saatiin selville esimerkiksi staattisen ja kinemaattisen kitkan ero, liuku- ja vierintäkitkan ero, hydrodynaaminen voitelutapahtuma sekä käsite viskositeetti. 1800-luvulla otettiin myös monia kehitysaskelita tribologian saralla. Näihin kehitysaskelisiin lukeutuu muun muassa tyydyttyneiden voiteluöljyjen muodostaminen mineraaliöljyistä hyödyntämällä tislusmenetelmää sekä mineraalipohjaisten öljyjen markkinoiden nopea kehitys. 1800-luvun aikana kehitettiin myös mittausmekanismeja viskositeetin mittaamiseen. Mittausmekanismien toiminta perustuu mitattavan öljyn valumisaikaan ulos mitta-astiasta tietyissä olosuhteissa. 1800-luvun loppupuolella havaittiin, että ei-haluttuja aineita voidaan poistaa öljyistä adsorptioaineiden avulla. (Kara 1989.)

Viime vuosisadan aikana voiteluöljyt kehittyivät paljon. Saksassa kehitettiin synteettisiä voiteluaineita, mikä mahdollisti voiteluöljyjen vielä laajemman hyödyntämisen. 1900-luvulla käydyt sodat vaikuttivat suuresti voiteluöljyjen kehittymisen suuntaan. Voiteluaineita kehitettiin esimerkiksi estämään asevoimien dieselmoottoreiden mäntien karstoittumista. 1900-luvulla kehitettiin myös ensimmäiset moottoriöljyt siviilikäyttöön. Näiden öljyjen avulla huomattiin tuolloin käytettyjen moottoreiden kehitystarve, koska uudet voiteluöljyt eivät toimineet ideaalisesti moottoreissa. Voiteluöljyissä käytetyt lisäaineet kehittyivät, kun ilmentyi tarve tietynlaisille ominaisuuksille, esimerkiksi lämpötilan kestävyys. Tuotantorakenteet kehittyivät 1960-luvulla integraateiksi, joten tuolloin keskityttiin kehittämään laitteiden kulumista, jottei yksittäisen laitteen hajoaminen pysäyttäisi koko integraattia. 1970-luvulla taas alettiin keskittymään tribologian kehityksessä siihen, että pystyttäisiin säästämään mahdollisimman paljon energiaa. (Kara 1989; Sundquist 1986.)

Nykyään tribologian avulla pyritään parantamaan kestävyyttä. Tribologialla voidaan lisätä ympäristöystävällisyyttä samalla, kun vähennetään kustannushäviöitä. Kun laitteita ja prosesseja kehitetään paremmaksi tribologian avulla saadaan aikaan ympäristöhyötyjä sekä

taloudellisia hyötyjä. Tribologisten mekanismien avulla voidaan vähentää hiilidioksidi päästöjä, jotka ovat iso ongelma tänä päivänä. (Tzanakis ym. 2012.)

## 2.2 Pintojen välinen kosketus

Tribologiassa pintojen väliset kosketukset voidaan jakaa geometrinen muotojen ja todellisten tapausten kesken. Geometrinen pintojen välisessä kosketuksessa voidaan tarkastella esimerkiksi kahden pallon –, kahden sylinterin – sekä pallopinnan ja jäykätason välistä kosketusta. Todellisten pintojen välisessä kosketuksessa otetaan huomioon pintojen karheudet ja rakenteet. (Sundquist 1986.)

### 2.2.1 Kitka

Kitkalla tarkoitetaan voimaa, joka vastustaa toisiaan vasten liukuvien kappaleiden liikettä. Kitka voi olla lepokitkaa tai liikekitkaa. Lepokitka on vastusvoima kappaleen liikkeelle saamiseen tarvittavalle voimalle. Kun kappale liikkuu vakionopeudella sen liikettä vastustaa liikekitka. Kitka vähentää ja heikentää koneiden ja laitteiden tehoa. Kitkaa vähentämällä voidaan lisätä laitteiden ja prosessien tehokkuutta sekä parantaa näin niiden kestävyyttä ja ympäristöystävällisyyttä. Mitä vähemmän kitkaa syntyy, sitä vähemmän syntyy energiahukkaa. (Sundquist 1986.)

Kitkaa voidaan vähentää eri keinoin, esimerkiksi käyttämällä voiteluaineita tai muuntamalla laitteiden toimintamekanismeja esimerkiksi muuttamalla liukuva kosketus vieriväksi. Kitkaa vähentämällä laitteet kuluvat vähemmän, mikä lisää laitteiden käyttöikää ja vähentää muutoksia niiden toiminnassa. (Sundquist 1986.)

### 2.2.2 Kuluminen

Kuluminen tapahtuu kahden toisiaan vasten liukuvan kappaleen vuorovaikutuksesta, eli esimerkiksi kitkasta, joka vastustaa näiden kappaleiden välistä liikettä. Kuluminen tarkoittaa käytännössä materiaalihäviötä. Materiaalihäviötä voi ilmetä molemmilla tai toisella kappaleella. Kulumista halutaan pääsääntöisesti estää ja hidastaa mahdollisimman paljon. (Sundquist 1986.)

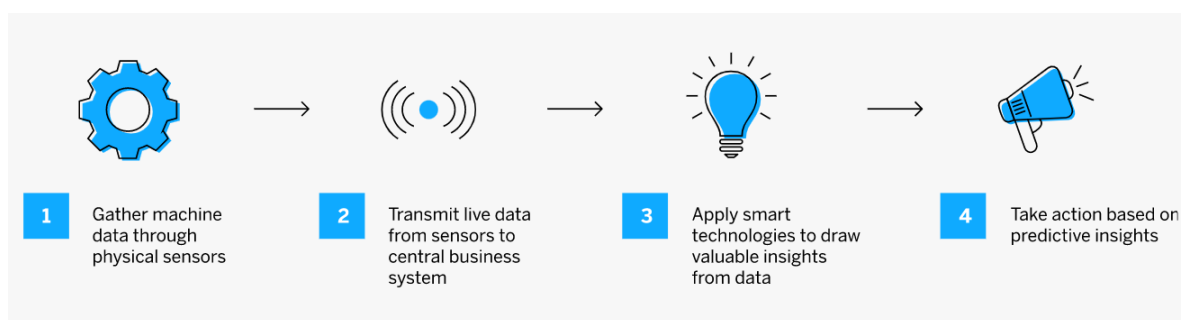
Kuluminen voidaan luokitella kahdella eri periaatteella, jotka ovat kulumista aiheuttavan liikkeen perusteella ja kulumismekanismien perusteella. Liiketyyppejä ovat liukuminen, vierintä, värähtely, iskukuormitus, nestevirtaus ja kiinteitä partikkeleita sisältävä nestevirtaus. Kulumisen mekanismeja puolestaan ovat pinnan väsyminen, adheesio, abraasio ja tribo-kemialliset prosessit. (Sundquist 1986.)

### 2.2.3 Voitelu

Laitteiden voitelulla voidaan vähentää kitkaa sekä kulumista. Tämä tapahtuu muodostuvan voiteluainekalvon avulla. Voiteluaineena voidaan käyttää öljyä, rasvoja tai esimerkiksi kiinteitä voiteluaineita. Voiteluöljy voi olla mineraaliöljyä tai synteettistä voiteluöljyä. Voiteluaineen valintaan vaikuttaa esimerkiksi voideltavan laitteen ominaisuudet ja olosuhteet, joissa laite sijaitsee. (Kara 1989; Kunnossapito menestystekijä; Sundquist 1986.)

### 3 Ennakoiva kunnossapito

Nykyisin teollisuudessa on pyrkimyksenä, että kunnossapito olisi pääsääntöisesti ennakoivaa kunnossapitoa. Toisin sanoen tavoitteena on, ettei tulisi yllättäviä laiterikkoja, joiden takia tuotanto pysähtyy. Oikeaoppisessa ennakoivassa kunnossapidossa laitteet huolletaan ajallaan ja mahdolliset laitteiden vikaantumiset havaitaan riittävän aikaisin, jotta ne on mahdollista korjata hallitusti huoltoseisakeissa. Ennakoivan kunnossapidon onnistuminen vaatii kokemusta ja tietämystä niin työnjohdolta kuin myös kunnossapitoasentajilta. Ennakoiva kunnossapito voi olla aikaan perustuvaa, kausittaista, suunniteltua tai rutinoitunutta kunnossapitoa. Ennakoivan kunnossapidon prosessi on esitelty kuvassa 1. (Kunnossapito menestystekijä e; SAP.)



Kuva 1. Ennakoivan kunnossapidon prosessi (SAP)

Ennakoivan kunnossapidon prosessi alkaa tiedon tunnistamisella ja keräämisellä. Tämä voi esimerkiksi tapahtua eri ominaisuuksien kuten värähtelyn mittaamisella. Seuraavaksi tunnistetut ja kerätyt tiedot siirretään järjestelmään. Järjestelmään kerätyt tiedot käsitellään ja analysoidaan erilaisten teknologioiden avulla, jotka muodostavat tiedoista kiteytyttä tietopaketteja esimerkiksi kuvaajia, jotka voivat esimerkiksi havainnollistaa mitatun ominaisuuden muutosta. Tämän jälkeen tehdään päätöksiä ennakoivan kunnossapidon suhteen. Esimerkiksi värähtely mittauksella voidaan huomata laakerin alkava rikkoutuminen ja huoltaa kohde ennen kuin laakeri rikkoutuu täysin ja aiheuttaa suurempia vaurioita ja tuotannon menetyksiä. (Kunnossapito menestystekijä e; SAP.)

Yksi osa ennakoivaa kunnossapitoa voi olla öljyanalyysi. Öljyanalyysin suorittaminen on helppoa, halpaa ja tehokasta. Öljyanalyysin avulla voidaan selvittää laitteissa olevan öljyn kunto. Öljyn kuntoa mitataan eri ominaisuuksilla kuten esimerkiksi öljyn lisäaineiden pitoisuus, viskositeetti ja hapettumisluku. Öljyanalyysillä voidaan selvittää myös öljyn puhtaus, eli sillä voidaan mitata öljyssä olevia epäpuhtauksia. Näitä epäpuhtauksia voivat olla esimerkiksi kulumametallit. (YTM.)

Öljyanalyysin suorittamiselle on olemassa erilaisia mittaustapoja ja laitteita, joilla se voidaan suorittaa. Näitä ovat esimerkiksi mikroskooppianalyysit, automaattiset partikkelilaskurit, puhtausanalyysaattorit sekä öljyjen kunnonvalvontamittarit ja -anturit. Kuvassa 2 näkyy mikroskooppi, jota voidaan käyttää öljyanalyysissa. (YTM; YTM b.)

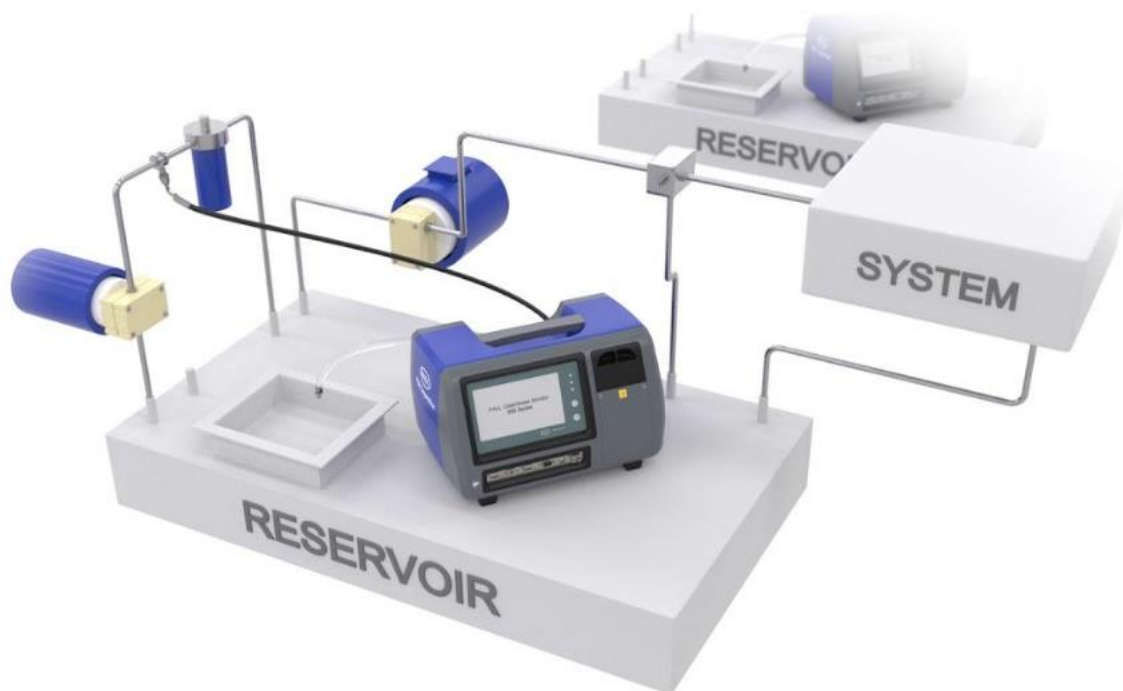


Kuva 2. Öljyanalyysissa käytettävä mikroskooppi (YTM b.)

Mikroskooppianalyysi suoritetaan laboratoriossa ja sillä saadaan selville öljyn laadun huonontuminen jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Sen avulla saadaan selville mahdollisten epäpuhtauksien koot, värit sekä muodot. Mikroskooppianalyysissa tulee ottaa huomioon näytteen mahdollinen saastuminen, mikä voi antaa vääriä tuloksia. Lisäksi mikroskooppianalyysi ottaa aikaa ennen kuin tulokset ovat valmiit. (YTM; YTM b.)

Toinen mahdollinen laite öljyanalyysille on automaattinen partikkelilaskuri. Niiden toiminta perustuu öljyn optisiin ominaisuuksiin. Automaattiset partikkelilaskurien tulokset voivat häiriintyä esimerkiksi öljyn sameuden, ilman, vesipisaroiden, korkean viskositeetin tai lisäaineiden vaikutuksesta. (YTM.)

Öljyanalyysia voidaan suorittaa myös puhtausanalyysaattorilla, jonka toiminta perustuu epäpuhtauksien muodostamaan paine-eroon, joka muodostuu analyysaattorissa olevan verkon yli. Esimerkki puhtausanalyysaattorista on esitetty kuvassa 3. Puhtausanalyysaattorit voivat olla kannettavia ja niillä on mahdollista mitata epäpuhtauksien lisäksi lämpötilaa, kosteutta ja viskositeettia. Toisin kuin partikkelilaskurissa puhtausanalyysaattori ei häiriinny öljyn sameudesta, vesipisaroista eikä ilmasta. (YTM.)



Kuva 3. Puhtausanalysointilaitteisto

Online kunnonvalvontamittareilla ja -antureilla voidaan seurata öljyn kuntoa reaaliajassa. Nämä voidaan asentaa osaksi kunnonvalvonta järjestelmää. Reaaliaikaisilla öljymittauksilla on mahdollista nähdä nopeasti öljyn laadun muuttuminen ja tehdä tarvittavat toimenpiteet. Kunnonvalvontamittareilla ja -antureilla voidaan seurata öljyn lämpötilaa, kosteutta, vesipitoisuutta, painetta, puhtautta, permittiivisyyttä ja sähkönjohtokykyä. Esimerkki öljyn kunnonvalvontamittarista on näytetty kuvassa 4. (YTM; YTM c.)



Kuva 4. Öljyn kunnonvalvontamittari, joka mittaa hiukkaspuhtautta. (YTM c.)

Öljyanalyysia varten täytyy päättää mitkä laitteet otetaan analyysiin mukaan. Tämän lisäksi täytyy päättää mittauspisteet sekä aikataulu, jolla öljyanalyysia suoritetaan. Kun mittauspisteet ja mittausten aikataulu on päätetty, täytyy valita järjestelmä, jonne saadut tiedot syötetään ja kerätään. Kun kaikki tiedot löytyvät samasta järjestelmästä, on helpompi seurata öljyanalyysien tulosten kehittymistä. Näiden tietojen avulla voidaan kehittää kunnossapitoa ja tehdä laitteita sekä öljyjä koskevia päätöksiä. (YTM.)

## 4 Voitelu

### 4.1 Voitelun merkitys

Laitteiden ja koneiden voitelulla pyritään parantamaan laitteen tehokkuutta, vähentämään energiakulutusta sekä lisäämään laitteiden ja koneiden käyttöikää. Voitelulla voidaan vähentää syntyvää kitkaa ja laitteiden kulumista. Sen avulla pystytään myös estämään epäpuhtauksien ja lian pääsy kriittisiin kohteisiin, sekä kuljettamaan nämä pois järjestelmästä. Voitelulla voidaan erottaa eri pintoja toisistaan sekä vähentämään koneissa ja laitteissa tapahtuvaa korroosiota. (Kunnossapito menestystekijä.)

Voitelumekanismia ovat nestevoitelu, rajavoitelu sekä näiden yhdistelmä eli sekavoitelu. Nestevoiteluja on kolme erilaista, joita ovat hydrostaattinen, hydrodynaaminen ja elasto-hydrodynaaminen. Näiden avulla muodostuu voitelukalvo, joka voi erottaa eri pinnat toisistaan kokonaan, mikä pienentää syntyneitä kitkaa huomattavasti. Ennen kuin voitelukalvo on muodostunut, voi rajavoitelutapauksissa esiintyä pinnankarheushuippujen kosketusta. Tällöin voiteluun vaikuttaa voitelukalvon muodostumisnopeus, stabiilisuus ja tarttuvuus. Rajavoitelussa on vaarana se, että voitelukalvo pettää ja kitkakerroin nousee huomattavasti. Sekavoitelussa kuorman kanto jakautuu nestevoitelulle ja rajavoitelulle. Osan siitä kantaa nestevoitelussa syntyvä voitelukalvo ja osan siitä kantaa pinnankarheushuiput, jonka osuus vähenee, kun voitelukalvo paksunee. Rasvoitelu on yksi esimerkki sekavoitelutilanteesta. (Kunnossapito menestystekijä.)

### 4.2 Voiteluaineet

Voiteluaineiden käytöllä on merkittävä rooli erilaisten koneiden ja laitteiden toiminnan ja käyttöiän kannalta. Taulukossa 1 on esitelty voiteluaineiden tärkeimpiä tehtäviä. Kaikkialla teollisuudessa on tavoitteena parantaa laitteiden tehokkuutta ja hyötysuhdetta. Teollisuudessa yleisimpiä käytettäviä voiteluaineita ovat öljyt ja rasvat, mutta periaatteessa voiteluaineena voi olla mikä tahansa helposti leikkautuva materiaali nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa. Erittäin vaativissa olosuhteissa voidaan käyttää kiinteitä voiteluaineita. Yleisimmät öljyt ovat synteettisiä, kasvi- tai mineraalipohjaisia sekä näiden yhdistelmiä. (Grega 2004; Gula 2007; Kunnossapito menestystekijä; Kunnossapito menestystekijät c; Shapiro 2008.)

Taulukko 1. Voiteluaineiden päätehtäviä (Kunnossapito menestystekijä; Machinery Lubrication; Machinery Lubrication a.)

<b>Päätehtävät</b>
Pintojen erottaminen toisistaan
Kitkan vähentäminen
Kulumisen estäminen
Laitteiden suojaaminen korroosiolta
Lämpötilan säätäminen (poistaa lämpöä)
Kontaminaation hallinta (kuljettaa epäpuhtaudet suodattimeen tai säiliön pohjaan)
Voiman siirto (hydrauliikka)
Tiivistäminen
Värähtelyn vaimentaminen

Oikeanlaisella voiteluaineella voidaan vähentää laitteiden kulumisastetta sekä kitkaa ja näin ollen alentaa käyttölämpötiloja sekä lisätä energiatehokkuutta. Voiteluöljyn tehtävänä on myös suojata osia korroosiolta sekä kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset suodattimeen, jossa ne poistuvat voiteluaineesta. Näiden kaikkien edellä mainittujen hyötyjen takia laitteiden käyttöikä saadaan pidennettyä huomattavasti. (Grega 2004; Gula 2007; Kunnossapito menestystekijä; Kunnossapito menestystekijät c; Shapiro 2008.)

#### 4.2.1 Voiteluöljyt

Voiteluöljyillä on kaksi pääluokkaa, mineraaliöljyt ja synteettiset öljyt, joita keskenään sekoittamalla tehdään puolisynteettistä öljyä. Öljyluokilla on omat ominaisuudet ja käyttötarvikkeet. Useissa käyttökohteissa käytetään suodatinta, jonka avulla säilytetään öljy pidempään käyttökelpoisena, jolloin saadaan öljyjen käyttöikä pidennettyä. Lämpö nopeuttaa kaikkien öljyjen hajoamista, mutta jotkut sietävät paremmin lämpöä kuin toiset eli niillä on parempi lämpöstabiilisuus. (Gula 2007; Shapiro 2008.)

Mineraalipohjaiset öljyt, joita kutsutaan myös maaöljyiksi, valmistetaan jalostetuista fossiilista polttoaineista. Mineraaliöljyä syntyy sivutuotteena bensiinin ja muiden öljytuotteiden

valmistuksessa. Tällainen mineraaliöljy on pääasiassa alkaaneista ja sykloalkaaneista koostuva väritön ja läpinäkyvä öljy. Mineraaliöljyt muodostuvat eripituisista hiiliketjuista. Teollisuudessa käytettävistä voiteluaineista valtaosa pohjautuu edelleen mineraaliöljyihin. (Kunnossapito Menestystekijä a; Shapiro 2008.)

Mineraaliöljyjen valmistaminen on edullisempaa, kuin synteettisten öljyjen. Lisäksi suorituskykyä parantavien lisäaineiden lisääminen on helppoa. Mineraaliöljyjen kehittymisen myötä mineraaliöljyjen ja synteettisten öljyjen suorituskykyjen erot ovat pienentyneet. (Shapiro 2008.) Suuressa kuormituksessa mineraaliöljyjen voitelukyky voi heikentyä. Mineraaliöljyillä on heikko hapettumisvakaus. Tämä tarkoittaa sitä, että altistuessaan hapelle sen ketjuraakenne hajoaa nopeammin. (Besanjideh ym. 201; Shapiro 2008.)

Synteettisillä öljyillä on erilainen rakenne ja koostumus, kuin mineraaliöljyillä. Synteettiset öljyt koostuvat pienistä molekulaarisista lohkoista, jotka muodostavat lyhyitä polymeeriketjuja. Synteettisten öljyjen kemiallinen rakenne tekee siitä stabiilin ja puhtaan. Synteettisistä öljyistä on helpompi löytää tiettyyn kohteeseen ja vaatimukseen sopiva voiteluaine, kuin mineraaliöljyistä. Synteettisellä öljyllä on monia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi korkea viskositeetti-indeksi, viskositeetin vaihtelu paineen suhteen sekä alhainen syttyvyys, joiden takia niitä voidaan käyttää erityisolosuhteissa. Korkea viskositeetti-indeksi tarkoittaa sitä, että lämpötilan muutokset eivät vaikuta juurikaan öljyn viskositeettiin. Synteettisillä materiaaleilla voidaan parantaa öljyn ominaisuuksia niin, että voiteluaine pysyy pidempään käyttökelpoisena. Synteettisiä öljyjä käyttämällä voidaan vähentää tarvittavien öljynvaihtojen määrää verrattuna mineraaliöljyihin. Synteettisillä öljyillä on jopa kolminkertainen käyttöikä verrattuna mineraaliöljyihin. Synteettisten öljyjen valmistaminen on kuitenkin kalliimpaa, kuin mineraaliöljyjen. Tutkimusten perusteella synteettisen öljyn käytöllä on saavutettu jopa 1–8 %:n parannuksia energiansäästöissä verrattuna mineraalipohjaisiin öljyihin. Synteettiset öljyt voivat olla PAO-pohjaisia öljyjä, esteripohjaisia öljyjä, silikoniöljyjä tai krakattuja öljyjä. (Besanjideh ym. 2016; Grega 2004; Machinery Lubrication b; Shapiro 2008.)

Polyalfaolefiini (PAO) pohjaiset öljyt rakentuvat joustavista ketjuista ja sen molekyylipainot ovat alhaiset, mikä aiheuttaa sille suhteellisen alhaisen kiteytymislämpötilan noin -72 °C, kun mineraaliöljyillä kiteytymislämpötila on noin -30 °C. PAO-pohjaisilla öljyillä on korkea viskositeetti-indeksi, eli öljyn viskositeetti ei muutu juurikaan sen jähmettymispisteen ja korkeimman käyttölämpötilan välillä. PAO-pohjaisten öljyjen rakenteen ja ominaisuuksien ansiosta ne toimivat mineraaliöljyä paremmin vaativissa olosuhteissa esimerkiksi korkeassa kuormituksessa. (Shapiro 2008.)

Esteripohjaisilla öljyillä on monia hyviä ominaisuuksia verrattuna mineraalipohjaisiin öljyihin. Sillä on muun muassa korkeampi syttymis- ja leimahdus piste kuin mineraaliöljyillä sekä

lisäksi se on biohajoava. Esteripohjaisilla öljyillä on myös suhteellisen alhainen jähmettymispiste ja hyvä kemiallinen stabiilisuus. (Rafiq ym. 2020.)

Silikoniöljyillä on hyvä lämpöstabiilisuus, kulumisenestokyky ja kuormankantokyky. Ne eivät kiteydy tai muutu tahmeiksi alhaisissa lämpötiloissa, ja niillä on todella hyvä voitelukyky teräksen, kuparin ja sinkin seoksille. (Weng ym. 2008.)

Krakattu öljy on krakkaamalla valmistettua öljyä. Krakkaamalla voidaan valmistaa raakaöljystä bensiiniä ja öljyä. Krakkauksessa hiilivetymolekyylit pilkkoutuvat endotermisessä reaktiossa. Krakkaus voidaan suorittaa lämmöllä tai katalyyttien avulla. Krakattujen öljyjen ominaisuudet vaihtelevat, mutta krakkaus parantaa öljyn kylmän ja kuuman lämmönkestävyyttä. Jos vertaa PAO-öljyihin, niin krakatut öljyt ovat edullisempia valmistaa. (Scott ym. 1988.)

#### 4.2.2 Voitelurasvat

Voiteluöljyjen jälkeen toiseksi yleisin voiteluaine on voitelurasva. Se koostuu öljystä, paksuntimesta sekä lisäaineista. Voitelurasvan öljynä voidaan käyttää synteettisiä öljyjä ja mineraaliöljyjä. Suurin osa voitelurasvasta on öljyä eli noin 90 %. Paksuntimet voivat olla esimerkiksi metallisaippuonia, orgaanisia ei-saippuayhdisteitä tai epäorgaanisia yhdisteitä. Lisäaineilla pyritään parantamaan voitelurasvan ominaisuuksia esimerkiksi sen voitelukykyä ja käyttöikä. Voitelurasvat ovat hyvä ja edullinen vaihtoehto kohteisiin, joissa tarvitaan paikallista voitelua. Esimerkiksi vierintälaakereissa voitelurasvaa käytetään usein. (Kunnossapito menestystekijä b.)

#### 4.2.3 Kiinteät voiteluaineet

Kiinteitä voiteluaineita voidaan hyödyntää vaikeissa olosuhteissa, esimerkiksi erityisen matalissa tai korkeissa lämpötiloissa. Lisäksi kiinteitä voiteluaineita voidaan käyttää, jos ominaisuuskuormitukset ovat suuria tai liukunopeudet pieniä, tai jos kohteessa on säteilyä tai happoja. Kiinteät voiteluaineet voivat olla grafiitteja, molybdeenidisulfidia tai muovia. Kiinteitä voiteluaineita kuljetetaan haluttuun kohteeseen lietteenä. Näitä kohteita voivat olla esimerkiksi avohammaspyörät, liukupinnat ja nivelet, jotka ovat raskaasti kuormitettuja. (Kunnossapito menestystekijä c.)

#### 4.3 Lisäaineet

Lisäaineet voidaan nimensä mukaan lisätä voiteluaineisiin. Niiden tarkoituksena on parantaa voiteluaineiden ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi suorituskyky, epäpuhtauksien jakauttaminen, voideltavien laitteiden pintojen suojaaminen ja eliniän

pidettäminen. Lisäaineiden toiminnot voivat perustua joko fysikaalisiin toimintoihin tai kemiallisiin reaktioihin. (Kunnossapito menestystekijä h.)

Voiteluaineet koostuvat öljyistä sekä käyttötarkoitukseen sopivista lisäaineista. Näiden kahden osa-alueen täytyy olla tasapainossa, jotta voiteluaine toimii halutulla tavalla. On tärkeää, että kaikki voiteluaineessa käytetyt aineet ovat yhteensopivia. Tämä tarkoittaa, että kaikkien käytettyjen lisäaineiden tulee olla keskenään yhteensopivia, mutta myös lisäaineiden sekä öljyn täytyy olla yhteensopivia. (Kunnossapito menestystekijä h.)

Eri lisäaineita on lukematon määrä erilaisiin tarkoituksiin, esimerkiksi kulumisenestolisäaineita, korkeapainelisäaineet, korroosionestolisäaineet, kitkanalentajat, vaahdonestoaineet, viskositeetti-indeksin parantajalisäaineet, jähmepisteenalentajat, väriaineet ja vuodon etsintä aineet. Lisäaineiden käyttö määräytyy kohteen olosuhteiden ja voideltavan laitteen tarpeiden mukaan. (Kunnossapito menestystekijä h.)

#### 4.4 Voitelujärjestelmät

Voitelujärjestelmä tarkoittaa menetelmää, jolla voiteluaine saatetaan haluttuun kohteeseen. Voitelujärjestelmänä voidaan käyttää keskusvoitelujärjestelmää tai kiertovoitelujärjestelmää. Joissakin tapauksissa nämä vaihtoehdot eivät ole mahdollisia, jolloin voitelu suoritetaan käsivoiteluna. (Kunnossapito menestystekijä f; Kunnossapito menestystekijä g.)

##### 4.4.1 Keskusvoitelu järjestelmä

Keskusvoitelujärjestelmän avulla voidaan voidella tehokkaasti laitteita. Keskusvoitelu järjestelmä on täsmällinen ja se pystyy voitelemaan laitteita ja koneita silloin kun ne ovat käynnissä. Tämä parantaa voitelun tehokkuutta, kun tuotantoa ei tarvitse pysäyttää sen takia. Lisäksi keskusvoitelu parantaa työturvallisuutta, koska sen avulla voidaan voidella vaikeasti tavoitettavia koneita ja laitteita. Käyttämällä keskusvoitelujärjestelmää, laitteiden rikkoutumisriski pienenee. (Kunnossapito menestystekijä f.)

Keskusvoitelujärjestelmässä on ohjausyksikkö, pumppausyksikkö, putkilinjoja, annostimia sekä paineenvalvonta yksiköitä. Keskusvoitelujärjestelmän laitteisto on esitetty kuvassa 5. Ohjausyksikkö ohjaa järjestelmän toimintaa ohjelmoinnin ja paineyksikön antaman tiedon perusteella. Ohjausyksikkö ohjaa pumppausyksikön toimintaa, joka liikuttaa voiteluainetta järjestelmässä. Annostimet syöttävät halutut määrät voiteluainetta kohteelle. (Kunnossapito menestystekijä f.)



Kuva 5. Keskusvoitelujärjestelmän laitteisto (YTM a.)

Keskusvoitelujärjestelmiä on erilaisia, esimerkiksi kaksilinjainen keskusvoitelujärjestelmä, öljyvoitelujärjestelmä, progressiivinen voitelujärjestelmä, lubrikaattori, konekohtainen voitelujärjestelmä ja tarkkuusvoitelujärjestelmä. Näiden kaikkien toiminnan perusperiaate on sama. Keskusvoitelujärjestelmien eri variaatioiden ansiosta niitä voidaan käyttää erilaisissa prosesseissa. (Kunnossapito menestystekijä f.)

#### 4.4.2 Kiertovoitelujärjestelmä

Kiertovoitelu järjestelmä on toinen voitelujärjestelmä. Sen rakenne näkyy kuvassa 6. Kiertovoitelujärjestelmällä voidaan voitelun lisäksi alentaa kohdelaitteen lämpötilaa sekä puhdistaa sitä. Kiertovoitelujärjestelmä kuljettaa oikean määrän öljyä haluttuun kohteeseen, sekä puhdistaa voideltavista laitteista esimerkiksi erilaisia kulumispartikkeleita ja ilmakuplia. Kiertovoitelujärjestelmää voidaan käyttää myös kohteissa, joissa on korkea lämpötila. (Kunnossapito menestystekijä g.)



Kuva 6. Kiertovoitelujärjestelmän pumppauskeskus (SKF.)

Kiertovoitelujärjestelmä koostuu kiertovoitelusäiliöstä, pumpuista, suodattimista, lämmönvaihtimesta ja virtausmittarista. Öljyn kierto alkaa kiertovoitelusäiliötä, josta sen pumpataan ja suodatetaan lämmönvaihtimeen, jossa sen lämpötilaa voidaan muuttaa halutuksi. Lämmönvaihtimista öljy siirtyy virtausmittarien kautta haluttuihin kohteisiin. Tämän jälkeen voiteluöljy palautuu takaisin kiertovoitelusäiliöön. (Kunnossapito menestystekijä g.)

#### 4.5 Voitelulaitteet

Voitelun ja eri laitteiden toiminnan kannalta on oleellista valita kohteeseen, käyttötarkoitukseen ja olosuhteisiin mahdollisimman sopivat voitelulaitteet. Voitelulaitteiden käyttö on erittäin perusteltua kohteissa, joissa ei voida käyttää voitelujärjestelmiä. Voitelulaitteita ovat esimerkiksi voitelunipat, suukappaleet, käsivoitelulaitteet, pumput voiteluaineelle, letkukelat, annosteluventtiilit, annostelumittarit ja erilaiset keräilylaitteet voiteluaineelle. (Kunnossapito menestystekijä d.)

Nippon ja suukappaleiden avulla voidaan voidella ja rasvata kohteita. Kuvassa 7 näytetään nippa ja suukappale. Nippoja on erilaisia ja käytettävän nipin valinnassa painaa eniten voiteluaineen määrä, joka tietyssä kohteessa tarvitaan. Nippoja on esimerkiksi tasonippa, kaulanippa, pallopäänippa ja koveronippa. Nippon käytössä hankaluuksia aiheuttaa se, että eri paikoissa valmistettujen nippon mitat eroavat toisistaan. Esimerkiksi Euroopassa ja Amerikassa on erilaiset valmistus standardit, mikä tarkoittaa sitä, että niiden nipat ja suukappaleet eivät sovi toisiinsa. (Kunnossapito menestystekijä d.)



Kuva 7. Esimerkki nipasta ja suukappaleesta (Kunnossapito menestystekijä d; Etra.)

Käsivoitelulaitteilla voidaan puristaa kohteeseen valittua voiteluainetta oikea määrä. Käsivoitelulaitteissa on suukappale, joka sopii käytettyyn nippaan. Voitelulaitteita on erilaisia, ja oikean laitteen valinnassa tulee huomioida käytetyn voiteluaineen ominaisuudet, sen tarvittu määrä, tilantarve sekä paineen suuruuden tarve. Käsivoitelulaitteita ovat esimerkiksi suorat voitelupuristimet, vipuvarsipuristimet sekä muut käsivoitelulaitteet. Suorasta voitelupuristimesta ja vipuvarsipuristimesta on näytetty esimerkit kuvassa 8. Suoria voitelupuristimia käytetään silloin kuin tarvittavan voiteluaineen määrä on pieni. Jos tarvittu voiteluainemäärä on suurempi, vipuvarsipuristin on parempi vaihtoehto. Vipuvarsipuristimia on erikseen voitelurasvalle ja -öljylle. Tarvittavan voiteluainemäärän ollessa vielä suurempi paras käsivoitelulaite on sellainen, jossa on säiliö ja pumppu, joka voi olla esimerkiksi vipuvarsitai vetopumppu. (Kunnossapito menestystekijä d.)



Kuva 8. Esimerkki suorasta voitelupuristimesta ja vipuvarsipuristimesta (Kunnossapito menestystekijä d.)

Muita voitelulaitteita ovat esimerkiksi öljy- ja rasvapumput, letkukela, annostelumittarit ja venttiilit sekä keräilylaitteet jäteöljylle. Kuvassa 9 näytetään esimerkki rasvapumpusta, öljypumpusta ja annosteluventtiilistä. Öljy- ja rasvapumpulla voidaan helposti siirtää öljyä ja rasvaa. Letkukelat lisäävät työympäristön siisteyttä sekä niistä on helpompi havaita mahdolliset vuodot kuin normaalista letkusta. Öljyn annostelumittareilla ja -venttiileillä voidaan säännöstellä, että kohteeseen menee oikea määrä voiteluöljyä. Muodostuva jäteöljy voidaan kerätä ja poistaa jäteöjljlaitteilla, joihin öljy voidaan valuttaa tai imeä. (Kunnossapito menestystekijä d.)



Kuva 9. Esimerkki rasvapumpusta, öljypumpusta ja annosteluventtiilistä (Kunnossapito menestystekijä d.)

Erilaisia voitelulaitteita on hyvin paljon erilaisiin kohteisiin ja voitelun eri vaiheisiin. Voitelulaitteiden valinta on oleellinen osa voitelua tarvitsevan kohteen suunnittelua sekä sen kunnossapidon suunnittelua. Huonosti suunniteltu voitelu ja huonosti valitut voitelulaitteet voivat käydä kalliiksi.

## 5 Voiteluhuollon kehitys kuitulinjoilla

Kuitulinjojen kunnossapitoa on tarkoitus kehittää niin, että voiteluhuolto saataisiin mahdollisimman tehokkaaksi. Tällä hetkellä öljyjen vaihtoa suoritetaan pääsääntöisesti tietyin aikaväleihin, esimerkiksi vuosihuoltoseisakeissa, mikä voi mahdollistaa turhan tiheän öljyn vaihtovälin monissa kohteissa. Tällöin jää myös hyödyllistä tietoa saamatta, kun öljyistä ei oteta näytteitä, joista voi esimerkiksi selvittää mahdollisia laitteiden kulumisia. Tavoitteena on selvittää kriteerit, joiden perusteella valitaan öljyanalysoinnin piiriin valittavat laitteet. Kun kriteerit on selvitetty, tehdään listaus laitteista, joita aletaan seuraamaan öljyanalyseilla ja niiden perusteella suorittamaan öljyn vaihtoja. Öljyvaihtojen optimoinnilla pyritään tehostamaan voiteluhuoltoa ekologisesta ja ekonomisesta näkökulmasta. Kun öljynvaihtoja suoritetaan vain tarvittaessa, voidaan säästää öljyn hankinta ja vaihtokustannuksissa.

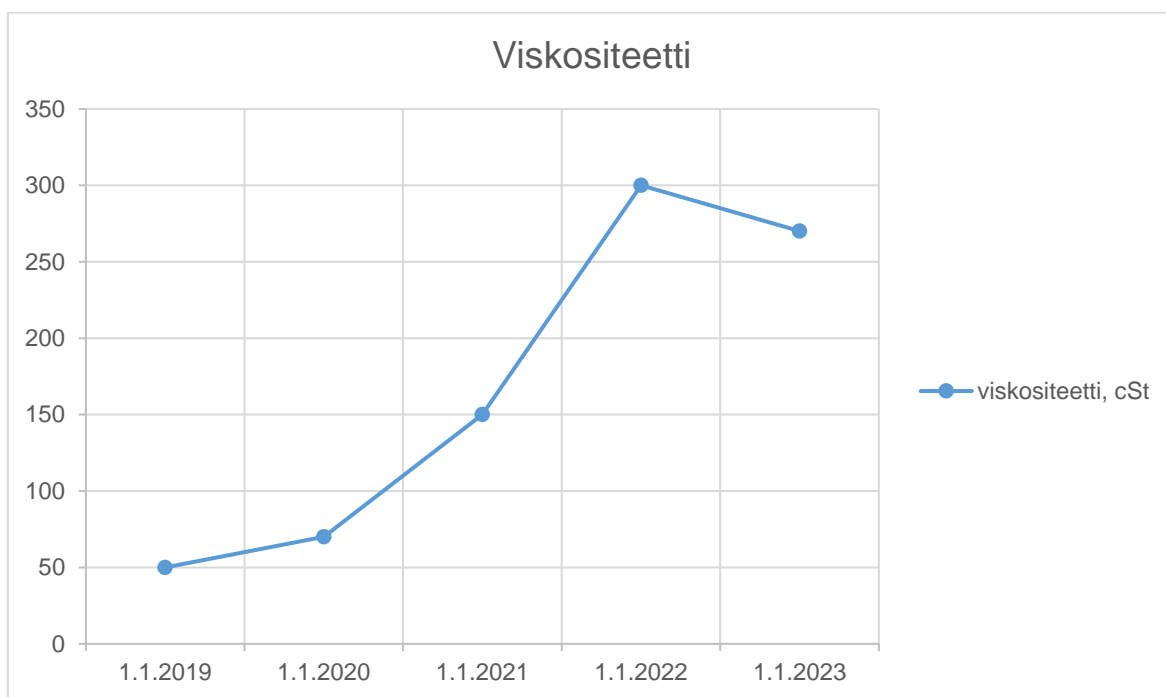
Osaston prosesseissa on mahdollista, että voiteluöljyjen sekaan sekoittuu vettä ja epäpuhtauksia. Nämä heikentävät voiteluöljyn laatua sekä sen toimintaa. Veden ja epäpuhtauksien päätyminen voiteluöljyyn voi kieliä laitteiden virheellisestä toiminnasta tai niiden rikkoutumisesta. Öljyanalyseilla tällainen öljyn laadun heikkeneminen voidaan havaita, ennen kuin huonokuntoinen öljy aiheuttaa ongelmia voitelutehon heikkenemisen myötä. (Stora Enso.)

Kuitulinjoilla on tehty aiemminkin öljyanalyseja joillekin laitteille. Näissä öljyanalyseissa on esimerkiksi tarkasteltu öljyn viskositeettia, laitteista kuluneita materiaaleja, öljyssä olevien epäpuhtauksien määrää sekä öljyn fysikaalisia ominaisuuksia. Kun öljyanalyseja suoritetaan samoille laitteille säännöllisesti, voidaan öljyn kunnan kehittymistä seurata ja näin havaita laitteita ja prosesseja, jotka vaativat uudistuksia, kehitystä tai korjaustoimenpiteitä. Aiemmin kuitulinjalla tehtyjen öljyanalyysien perusteella on tehty taulukkoon 2 esimerkki, millaisia tuloksia öljyanalyysistä voi saada. Taulukon 2 arvot ovat kuvitteellisia ja niiden tarkoitus on havainnollistaa, millaisia asioita öljyanalyysillä voi selvittää. (Stora Enso.)

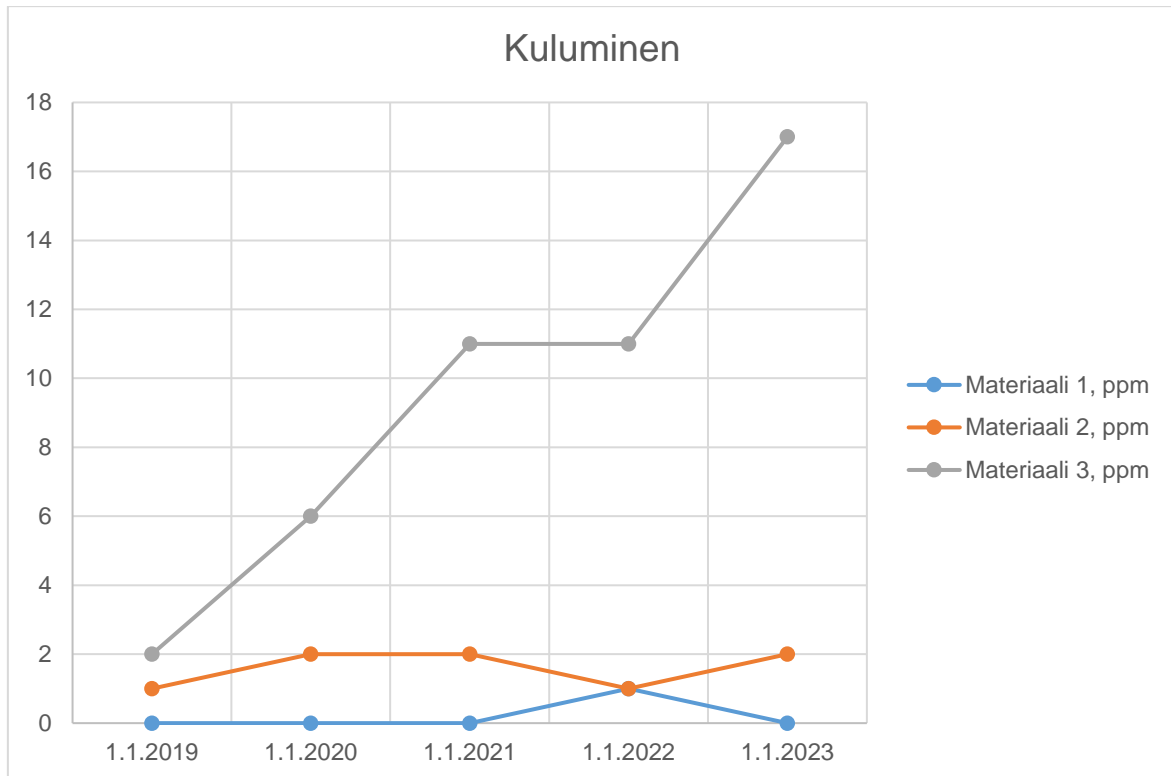
Taulukko 2. Esimerkki öljyanalyysin tuloksista (Stora Enso.)

pvm.	viskositeetti, cSt	Kuluminen, ppm			Epäpuhtaudet, ppm			Fysikaaliset ominaisuudet	
		materiaali 1	materiaali 2	materiaali 3	epäpuhtaus 1	epäpuhtaus 2	epäpuhtaus 3	vesi-%	TAN, mg KOH/g
1.1.2019	50	0	1	2	4	0	1	0,001	0,3
1.1.2020	70	0	2	6	11	0	1	0,009	0,3
1.1.2021	150	0	2	11	1	0	1	0,006	0,4
1.1.2022	300	1	1	11	3	0	4	0,012	0,9
1.1.2023	270	0	2	17	7	0	1	0,003	1,1

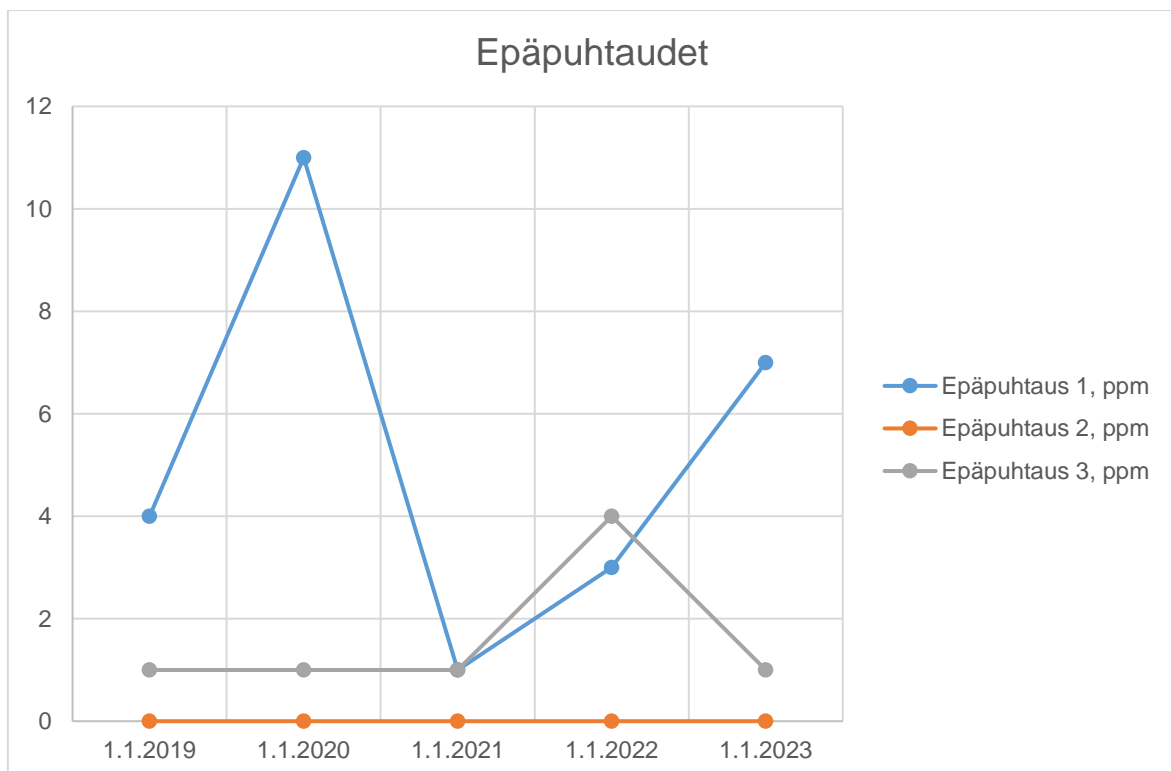
Taulukossa 2 on näytetty esimerkki siitä, millaisia tuloksia öljyanalyysistä voidaan saada. Kun samaan kohteeseen suoritetaan öljyanalyyskejä useammin, voidaan näiden analyysien datasta piirtää kuvaajia, jotka esittävät öljyn kunnon kehitystä ajan kuluessa tietyn ominaisuuden osalta. Kuvissa 10, 11, 12 ja 13 on esitetty taulukossa 2 esitetyt öljyanalyysin tulokset eri vuosina. Kuvassa 10 näytetään viskositeetin suuruus eri vuosina, kun öljyanalyysi on suoritettu. Kuvassa 11 näytetään esimerkki kulumiseen liittyvästä tiedosta, jota öljyanalyysistä voidaan saada. Siinä esitellään kolmen esimerkkimateriaalin kulumista, mitkä on selvitetty öljyanalyysillä. Kuvassa 12 on vastaavasti esitelty kolmen eri esimerkkiepäpuhtauden esiintymistä eri vuosina suoritetuissa öljyanalyyseissa. Kuvassa 13 näytetään öljyssä esiintyvä veden määrä ja öljyn kokonaishappoluku (TAN). (Stora Enso.)



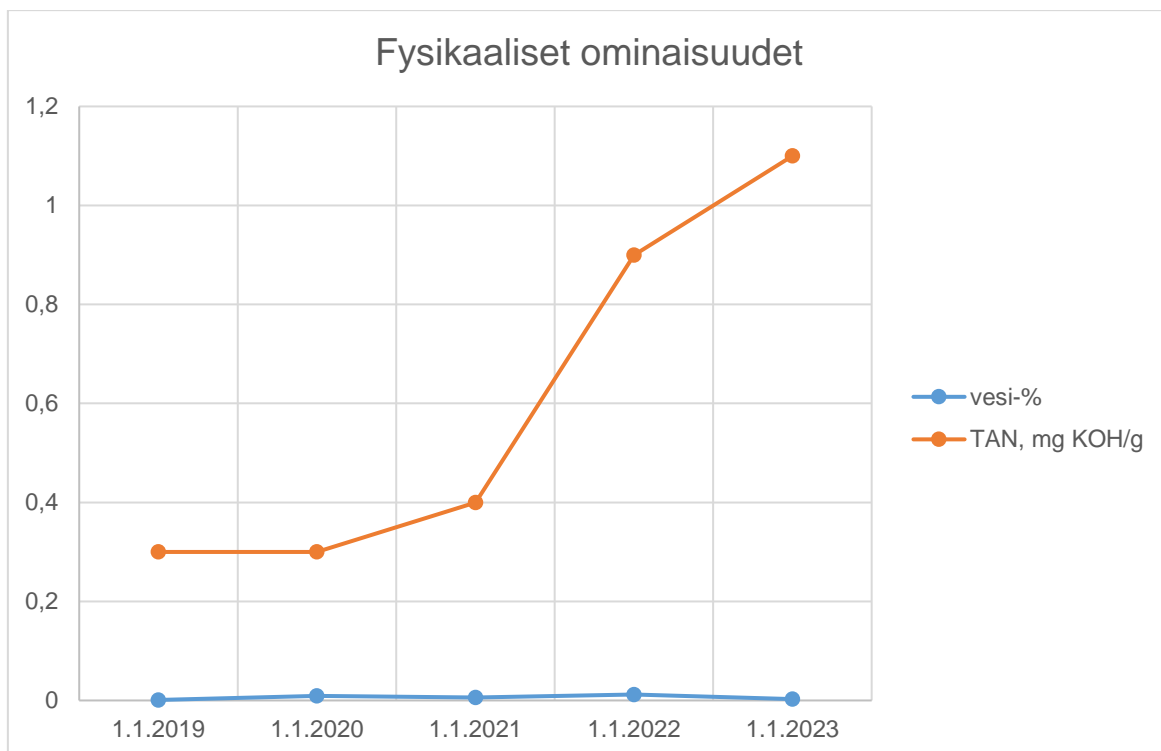
Kuva 10. Öljyanalyysillä selvitetty viskositeetti eri aikoina (Stora Enso.)



Kuva 11. Eri materiaalien kulumiset eri aikoina (Stora Enso.)



Kuva 12. Öljyanalysilla selvitetty epäpuhtauksien pitoisuudet eri vuosina (Stora Enso.)



Kuva 13. Öljyanalyysillä selvitettyt fysikaaliset ominaisuudet eri vuosina (Stora Enso.)

Kuvat 10, 11, 12 ja 13 näyttävät, millaisia asioita öljyanalyseissa voidaan esimerkiksi selvittää. Öljyanalyysien tuloksista muodostetuista kuvaajista voidaan helposti havaita, jos jonkin mitattavan ominaisuuden arvo, esimerkiksi epäpuhtauksien määrä, on noussut tai laskenut huomattavasti aiemmista mittauksista. Jos mittauksissa esiintyy suuria heittoja, voidaan yrittää selvittää syitä niille. Onko esimerkiksi voideltavaan laitteeseen tehty muutoksia tai onko sen kunnossa tai toiminnassa tapahtunut muutoksia. (Stora Enso.)

## 6 Kuitulinjojen laitteiden valinta öljyanalyysiin

Öljyanalyysiin otettavia laitteita täytyy rajata. Ennen rajausta öljynvaihtokohteita, jotka voitaisiin ottaa öljyanalyysiin mukaan, oli yli 250 kappaletta. Rajausta varten täytyy valita kriteerit, joiden perusteella se suoritetaan. Tässä työssä öljyanalyysiin valittiin tilavuudeltaan yli 200 litran hydraulikkajärjestelmät, tilavuudeltaan yli 100 litran vaihdelaatikot ja tilavuudeltaan yli 60 litran A-kriittiset vaihdelaatikot. Rajausta varten täytyi siis selvittää laitteissa käytetyn öljyn määrä, laitteen kriittisyysluokitus sekä laitteen tyyppi, eli onko kyseessä vaihdelaatikko vai hydraulikkajärjestelmä. Tämän rajauksen avulla laitteiden määrä saatiin laskemaan yli 80 %. Vaikka öljyanalyysiin valittujen laitteiden määrä saatiin suhteellisen pieneksi, niin öljyanalyysin tulos on silti kattava. Tämä johtuu siitä, että kuitulinjojen kaikkien laitteiden öljynvaihtojen yhteenlaskettu öljymäärä on noin 18 000 litraa, kun taas öljyanalyysiin valittujen laitteiden yhteenlaskettu öljymäärä on yli 15 000 litraa. Öljyanalyysiin valittujen laitteiden öljymäärät kattavat siis yli 80 % kuitulinjojen kaikkien laitteiden öljymäärästä. Öljyanalyysiin valitut laitteet ja niiden valintaan johtaneet syyt ovat näytetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kuitulinjalta öljyanalyysiin valitut laitteet sekä syyt niiden valintoihin.

Kohde	Öljyn määrä, l	Kriittisyysluokitus	Hydrauliikkakoneikko	Vaihdelaatikko	Yhteenveto
Laite 14	420	A		V	>100 l, A, V
Laite 15	405	A		V	>100 l, A, V
Laite 16	328	A		V	>100 l, A, V
Laite 21	200	A		V	>100 l, A, V
Laite 22	200	A		V	>100 l, A, V
Laite 23	190	A		V	>100 l, A, V
Laite 25	300	A	H		>200 l, A, H
Laite 26	800	A	H		>200 l, A, H
Laite 28	1000	B		V	>100 l, B, V
Laite 29	1850	B	H		>200 l, B, H
Laite 38	78	A		V	>60 l, A, V
Laite 42	200	A		V	>100 l, A, V
Laite 47	250	A		V	>100 l, A, V
Laite 53	350	A		V	>100 l, A, V
Laite 55	350	B		V	>100 l, B, V
Laite 58	180	A		V	>100 l, A, V
Laite 67	350	A	H		>200 l, A, H
Laite 69	250	A		V	>100 l, A, V
Laite 72	250	B		V	>100 l, B, V

Laite 90	350	A	H		>200 l, A, H
Laite 92	350	A	H		>200 l, A, H
Laite 94	350	A	H		>200 l, A, H
Laite 96	350	A	H		>200 l, A, H
Laite 104	400	A		V	>100 l, A, V
Laite 106	107	A		V	>100 l, A, V
Laite 107	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 109	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 113	92	A		V	>60 l, A, V
Laite 115	155	A		V	>100 l, A, V
Laite 116	290	B		V	>100 l, B, V
Laite 126	105	A		V	>100 l, A, V
Laite 128	425	A		V	>100 l, A, V
Laite 129	500	B	H		>200 l, B, H
Laite 140	107	A		V	>100 l, A, V
Laite 141	107	A		V	>100 l, A, V
Laite 142	107	A		V	>100 l, A, V
Laite 146	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 154	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 157	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 160	290	A		V	>100 l, A, V
Laite 170	290	B		V	>100 l, B, V
Laite 176	200	C		V	>100 l, C, V
Laite 193	110	C		V	>100 l, C, V
Laite 225	135	B		V	>100 l, B, V
Laite 228	135	B		V	>100 l, B, V
Laite 231	135	B		V	>100 l, B, V
Laite 234	135	B		V	>100 l, B, V
Laite 243	135	A		V	>100 l, A, V
Laite 251	135	A		V	>100 l, A, V
Laite 259	450	A	H		>200 l, A, H

Tehdyn laitteiden rajauksen jälkeen öljyanalyysiin jäi jäljelle 50 laitetta, jotka on näytetty taulukossa 3. Valitut laitteet ovat joko hydraulikkajärjestelmiä, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 200 litraa, vaihdelaatikoita, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 100 litraa tai vaihdelaatikoita, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 60 litraa ja ne ovat A-kriittisiä. Eri kriteereillä valittujen laitteiden määrät on eritelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Eri kriteereillä valittujen laitteiden määrät

Valinta kriteeri	Laitteiden määrä
Hydrauliikkajärjestelmä, jossa käytetyn öljyn määrä on yli 200 l	10
Vaihdelaatikko, jossa käytetyn öljyn määrä on yli 100 l	38
Vaihdelaatikko, jossa käytetyn öljyn määrä on yli 60 l ja kriittisyysluokitus on A	2

Taulukosta 4 nähdään, että suurin osa valituista laitteista on vaihdelaatikoita, joissa käytetyn öljyn tilavuus on yli 100 litraa. Näillä vaihdelaatikoilla kriittisyysluokitus vaihtelee A:n ja C:n välillä. Eri kriittisyysluokituksiin kuuluvien yli 100 litraa öljyä käyttävien vaihdelaatikoiden määrät on eritelty taulukossa 5.

Taulukko 5. Öljyanalyysiin valittujen vaihdelaatikoiden kriittisyysluokitukset, joiden öljyn tilavuus on yli 100 litraa.

Kriittisyysluokitus	Laitteiden määrä
A	27
B	9
C	2

Suurin osa öljyanalyysiin valituista vaihdelaatikoista, joissa käytetään yli 100 litraa öljyä, kuuluu kriittisyysluokitukseen A. Näitä laitteita on 27 kappaletta. B-kriittisyysluokkaan kuuluu 9 laitetta ja C-kriittisyysluokkaan kuuluu kaksi laitetta.

Hydrauliikkakoneikkoja valittiin öljyanalyysiin 10 kappaletta. Näiden laitteiden kriteerinä oli, että niissä käytetyn öljyn määrä on vähintään 200 litraa. Näistä laitteista osa kuuluu eri kriittisyysluokkiin keskenään ja tämä erittely näytetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Öljyanalyysiin valittujen hydraulikkakoneikkojen kriittisyysluokitukset, joiden öljyn tilavuus on yli 200 litraa

Kriittisyysluokitus	Laitteiden määrä
A	8
B	2
C	0

Öljyanalyysiin valituista hydraulikkajärjestelmistä suurin osa eli 8 laitetta kuuluu kriittisyysluokitukseen A. Kriittisyysluokitukseen B kuuluu kaksi laitetta ja kriittisyysluokitukseen C nolla laitetta.

Öljyanalyysiin valittiin myös kaksi vaihdelaatikkoa, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 60 litraa ja kriittisyysluokitus on A.

Suurin osa osaston öljyanalyysiin valituista laitteista on vaihdelaatikoita, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 100 litraa. Näistä vaihdelaatikoista suurin osa kuuluu kriittisyysluokkaan A. Öljyanalyysiin valittiin myös kaksi vaihdelaatikkoa, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 60 litraa ja niiden kriittisyysluokitus on A. Vaihdelaatikoiden lisäksi öljyanalyysiin valittiin hydraulikkakoneikkoja, joissa käytetyn öljyn määrä on yli 200 litraa. Vaikka öljyanalyysiin otettavia laitteita pystyttiin rajamaan paljon, niin analyysi on silti kattava. Tämä johtuu siitä, että valittujen laitteiden öljyn määrä on yli 80 % kaikkien kuitulinjoilla olevien laitteiden öljyn määrästä. Kun öljyanalyysiin otettavat laitteet on määriteltä ja päätetty, voidaan sen suunnittelua jatkaa eteenpäin.

## 7 Öljyanalyysin kehittämisen seuraavat vaiheet

Öljyanalyysiin valittujen laitteiden rajaamisen jälkeisessä vaiheessa valituille laitteille suunnitellaan ja perustetaan öljyanalyysien ennakkohuollot SAP toiminnanohjausjärjestelmään. Toiminnanohjausjärjestelmään syötetään öljyanalyysien suunnitelmat sekä toteutuneiden analyysien tulokset. Kun öljyanalyysi ennakkohuollot ja niistä saadut tulokset löytyvät yhdestä paikasta, on niiden seuraaminen helpompaa.

Öljyanalyysi ennakkohuollot, jotka syötetään toiminnanohjausjärjestelmään, täytyy suunnitella tarkasti etukäteen. Ennakkohuollolle täytyy määrittää aikataulu, jonka mukaan öljyanalyyseja suoritetaan. Tämän lisäksi täytyy päättää mittauspisteet, joista näytteet otetaan. Myös selkeä ohjeistus näytteenotosta tulee lisätä ennakkohuollolle.

Öljynäytteiden ottamisen standardisointi on tärkeä asia, sillä tällöin otettuja näytteitä on mahdollista verrata aiemmin otettuihin näytteisiin ja vertailemalla saadaan tehtyä taulukoita, joista voidaan huomata, jos öljyssä on tapahtunut muutoksia. Tärkeä selvitettävä asia on myös, että kaikissa laitteissa on oikeanlaiset näytteidenotto pisteet, jotta näytteet tulee otettua aina samalla tavalla ja samasta kohdasta, vaikka eri henkilöt ottaisivat näytteitä. Tällöin näytteet ovat mahdollisimman vertailukelpoisia.

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Nykyään on tärkeää pyrkiä tehostamaan teollisuuden tuotantoa. Kestävyys ja ympäristöystävällisyys ovat keskeisiä arvoja nykyään kaikilla aloilla. Kunnossapito on yksi tekijä, jolla voidaan vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen. Kunnossapidon tavoitteena on turvata tuotanto. Tehostamalla kunnossapitoa, voidaan tehostaa tuotantoa sekä parantaa yritysten kestävyyttä ja lisätä niiden ympäristöystävällisyyttä. (Kalam ym. 2017; Kunnossapito menestystekijä e; SAP.)

Kunnossapito voi olla ennakoivaa kunnossapitoa. Ennakoivalla kunnossapidolla pyritään havainnoimaan, huoltamaan ja korjaamaan laitteet ennen kuin ne hajoavat pahasti ja aiheuttavat laajempaa vahinkoa. Yksi osa ennakoivaa kunnossapitoa voi olla esimerkiksi öljyanalyysi. Öljyanalyysillä selvitetään laitteessa olevan öljyn kunto ja puhtaus. Näiden ominaisuuksien perusteella tehdään päätös öljyn vaihtamisesta sekä tarvittaessa laitteiden huollosta. (Kunnossapito menestystekijä e; SAP, YTM.)

Öljyanalyysillä voidaan analysoida voiteluöljyjä. Teollisuudessa käytetyt voiteluöljyt ovat yleisimmin mineraalisia tai synteettisiä. Käytettävän öljyn valintaan vaikuttaa ominaisuudet, joita öljyltä halutaan. Valinnassa tulee ottaa huomioon laite, jossa öljyä käytetään. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon laitteen sijainti ja sijainnin olosuhteet. Voiteluaineena voidaan käyttää voiteluöljyn lisäksi voitelurasvaa ja kiinteää voiteluainetta. Näistä voiteluaineista voiteluöljyä käytetään eniten, mutta tietyn laisessa käytössä muut voiteluaineet voivat olla soveltavampia. Voiteluaineen valinta on keskeinen osa laitteiden ja prosessien suunnittelua. (Kunnossapito menestystekijä; Kunnossapito menestystekijä a; Kunnossapito menestystekijä b; Kunnossapito menestystekijä c.)

Stora Enso Oyj:n Imatran tehtailla kuitulinjoilla suoritetaan jonkin verran öljyanalyyseja. Ne ovat osana osastojen kunnossapitoa. Osastoilla suoritettavilla öljyanalyyseilla on selvitetty esimerkiksi laitteiden voiteluöljyjen viskositeettia, laitteen materiaalien kulumista, epäpuhtauksien määrää voiteluöljyssä ja voiteluöljyn fysikaalisia ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi veden määrä öljyssä ja öljyn kokonaishappoluku. (Stora Enso.)

Kuitulinjan ennakoivaa kunnossapitoa halutaan tehostaa voiteluhuollon kehityksellä, josta yksi osa on öljyanalyysit. Öljyanalyysien kehittämistä varten täytyi ensimmäiseksi rajata analyysiin otettavat osaston laitteet. Laitteiden rajauskriteereiksi valikoitui öljymäärältään yli 200 litraiset hydraulikkakoneikot, öljymäärältään yli 100 litraiset vaihdelaatikot ja öljymäärältään yli 60 litraiset A-kriittiset vaihdelaatikot. Osastolta valitut laitteet on esitelty taulukossa 3. Rajauksen avulla osaston laitteista pystyttiin rajaamaan yli 80 % pois analyysistä. Vaikka suurin osa osaston laitteista jää öljyanalyysin ulkopuolelle, niin öljyanalyysi on silti

kattava. Tämä johtuu siitä, että valittujen laitteiden kokonaisöljymäärä on yli 80 % osaston kaikkien laitteiden öljymäärästä. Tämä tekee tästä öljyanalyysistä tehokasta ja merkityksellistä.

Öljyanalyysiin otettavien laitteiden valinnan jälkeen täytyy ennakkohuolto muodostaa käytettyyn toiminnanohjausjärjestelmään. Öljyanalyysi täytyy suunnitella. Sitä varten täytyy päättää aikataulu, jonka mukaan öljyanalyysia suoritetaan. Aikataulun lisäksi täytyy päättää mittauspisteet, joista mittaukset otetaan, sekä standardisoida mittaus. Mittauksen standardisointi on tärkeää, jotta eri ajankohtina ja eri henkilöiden suorittamien mittausten tulokset ovat vertailukelpoisia. Toiminnanohjausjärjestelmään kerättyjen mittausten avulla voidaan seurata osaston laitteiden öljyjen kunnan kehittymistä sekä laitteiden kunnan kehittymistä.

Öljyanalyysien avulla voidaan tehostaa kunnossapitoa. Tässä työssä suunniteltavan öljyanalyysin avulla voidaan seurata osaston laitteiden ja niiden öljyjen kuntoa tehokkaasti. Analyysiin on valittu vain alle 20 % kaikista osaston laitteista. Tästä huolimatta öljyanalyysillä saadaan kattava käsitys kaikista osaston laitteiden ja niiden öljyjen kunnosta, koska öljyanalyysiin valittujen laitteiden kokonaisöljymäärä on yli 80 % osaston kaikkien laitteiden öljymäärästä. Öljyanalyysin avulla kunnossapidon resursseja voidaan kohdentaa tehokkaasti ja järkevästi sekä välttää ylimääräisiä materiaali- ja työkustannuksia.

Mielestäni tässä opinnäytetyössä onnistuttiin pääsemään haluttuihin tavoitteisiin. Opinnäytetyössä pystyttiin rajaamaan kuitulinjojen laitteista ne, jotka otetaan mukaan öljyanalyysiin sekä selvittämään näiden laitteiden edustettavuus kaikkiin osaston laitteisiin nähden. Kuitulinjojen öljyanalyysien kehitys on nyt saatu hyvälle alulle, mutta sen kehittäminen jatkuu vielä tulevaisuudessa, jotta öljyanalyysit saadaan osastolla käyttöön.

Kuitulinjoilla tehtävillä öljyanalyyseilla voidaan tulevaisuudessa tehostaa osaston voiteluhuoltoa sekä mahdollisesti vähentämään osastolla tapahtuvia voitelusta johtuvia laiterikkoja, laitteiden ja prosessien vikatoimintoja sekä kunnossapidosta johtuvia tuotannon menetyksiä. Lisäksi osaston voiteluhuollon kehittäminen öljyanalyysien avulla vähentää öljyjen vaihdoista koituvia kustannuksia. Näitä ovat esimerkiksi öljyn hankinnasta aiheutuvat kustannukset. Ilman öljyanalyyseja öljyjä voidaan vaihtaa turhaan, jolloin syntyy ylimääräisiä öljyn hankintakustannuksia. Jäteöljyjen kierrätyksestä syntyy myös kustannuksia. Näitä kustannuksia syntyy enemmän, jos vielä riittävän hyvässä kunnossa olevia öljyjä vaihdetaan turhan aikaisin, vaikka ne olisivat vielä käyttökuntoisia. Kun öljyanalyysien avulla on selvitetty öljynvaihtoa tarvitsevat kohteet, voidaan henkilöstö resurssit jakaa tehokkaasti. Turhat öljynvaihdot sitovat kunnossapitohenkilöstöä, joka voitaisiin hyödyntää muissa kunnossapitoa tarvitsevilla kohdilla. Öljynvaihdot vaativat aina huoltokatkon, joissa halutaan huoltaa mahdollisimman tehokkaasti kohteita, joita ei voida korjata tai huoltaa tuotannon

aikana. Öljyanalyysit voidaan pääsääntöisesti tehdä myös tuotannon aikana, mikä mahdollistaa kunnossapitokatkosten etukäteisen suunnittelun tarvittavien öljynvaihtojen osalta. Öljyanalyysien avulla saavutetaan tehokkaampi voiteluhuolto sekä tuotantotehokkuus. Niiden avulla voidaan saavuttaa taloudellisia sekä ekologisia säästöjä, mitä kaikilla aloilla halutaan tänä päivänä saavuttaa.

## Lähteet

Besanjideh, M., Nassab, S. & A. Gandjalikhan. 2016. Effect of Lubricant Compressibility on Hydrodynamic Behavior of Finite Length Journal Bearings Running under Heavy Load Conditions. *Journal of mechanics*. Vol.32 (1) Viitattu 10.4.2023. Saatavissa DOI: 10.1017/jmech.2015.51

Etra. Verkkokauppa. Viitattu 10.5.2023. Saatavissa  
<https://www.etra.fi/fi/kiinnitystarvikkeet-e200/putkitulpat-ja-voidenipat-e2049/voidenipat-din-71412-m-kierre-e204970/voidenipat-din-71412-m-kierre-zn-h1-suora-e20497001>

Grega, G. 2004. Synthetic lubricants can save energy, boost efficiency. *Industrial Maintenance & Plant Operation*. Vol.65 (7). Viitattu 10.4.2023. Saatavissa  
[https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN\\_LUT/vvk1gv/cdi\\_proquest\\_reports\\_211074739](https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/vvk1gv/cdi_proquest_reports_211074739)

Gula, N. 2007. New, complex blends of oils extend the time between changes. *Service Station & Garage Management*. Vol.37 (8). Viitattu 10.4.2023. Saatavissa  
[https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN\\_LUT/vvk1gv/cdi\\_proquest\\_reports\\_209926666](https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/vvk1gv/cdi_proquest_reports_209926666)

Kalam, M., Masjuki, H., Cho, H., Mosarof, M., Mahmud, M., Chowdhury, M. & Zulkifli, N. 2017. Influences of thermal stability, and lubrication performance of biodegradable oil as an engine oil for improving the efficiency of heavy duty diesel engine. *Fuel (Guildford)*. Vol.196. Viitattu 10.4.2023. Saatavissa DOI: 10.1016/j.fuel.2017.01.071

Kara W. 1989. *Voiteluaineet. Valmistus, ominaisuudet, käyttö*. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Kunnossapito menestystekijä. Oppimateriaali Opetushallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.4.2023. Saatavissa  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e01\\_voiteluaineet\\_perusteet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e01_voiteluaineet_perusteet.html)

Kunnossapito menestystekijä a. Oppimateriaali Opetushallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.4.2023. Saatavissa  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e03\\_voiteluaineet\\_voiteluoljyt.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e03_voiteluaineet_voiteluoljyt.html)

Kunnossapito menestystekijä b. Oppimateriaali Opetushallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.4.2023. Saatavissa  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e05\\_voiteluaineet\\_voitelurasvat.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e05_voiteluaineet_voitelurasvat.html)

Kunnossapito menestystekijä c. Oppimateriaali Opetushallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.4.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e06\\_voiteluaineet\\_kiinteat.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e06_voiteluaineet_kiinteat.html)

Kunnossapito menestystekijä d. Oppimateriaali Opetushallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.4.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e08\\_voitelulaitteet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e08_voitelulaitteet.html)

Kunnossapito menestystekijä e. Oppimateriaali Opeturhallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 9.5.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_2-3\\_kunnossapidon\\_toiminnot\\_ennen\\_vian\\_ilmenemista.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_2-3_kunnossapidon_toiminnot_ennen_vian_ilmenemista.html)

Kunnossapito menestystekijä f. Oppimateriaali Opeturhallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e09\\_voitelujarjestelmat\\_keskusvoitelu.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e09_voitelujarjestelmat_keskusvoitelu.html)

Kunnossapito menestystekijä g. Oppimateriaali Opeturhallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e10\\_voitelujarjestelmat\\_kiertovoitelu.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e10_voitelujarjestelmat_kiertovoitelu.html)

Kunnossapito menestystekijä h. Oppimateriaali Opeturhallitus. Verkkoaineisto. Viitattu 16.5.2023. Saatavissa

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e04\\_voiteluaineet\\_lisaaineet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e04_voiteluaineet_lisaaineet.html)

Machinery Lubrication. Verkkoaineisto. Viitattu 17.2.2023. Saatavissa

<https://www.machinerylubrication.com/Read/28766/what-is-lubrication>

Machinery Lubrication.a. Verkkoaineisto. Viitattu 17.2.2023. Saatavissa

<https://www.machinerylubrication.com/Read/660/changing-oil-synthetic>

Machinery Lubrication.b. Verkkoaineisto. Viitattu 17.2.2023. Saatavissa

<https://www.machinerylubrication.com/synthetic-oil-31800>

Rafiq, M., Shafique, M., Azam, A., Ateeq, M., Khan, I.A. & Hussain, A. 2020. Sustainable, Renewable and Environmental-Friendly Insulation Systems for High Voltages

Applications. Molecules (Basel, Switzerland). Vol.25 (17). Viitattu 10.4.2023. Saatavissa

DOI: 10.3390/molecules25173901

SAP. Verkkoaineisto. Viitattu 9.5.2023. Saatavissa

<https://www.sap.com/finland/products/scm/apm/what-is-predictive-maintenance.html>

Shapiro, J. 2008. Save energy with fewer oil changes. Machine Design. Vol.80 (18).

Viitattu 10.4.2023. Saatavissa

[https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN\\_LUT/vvk1gv/cdi\\_proquest\\_reports\\_217225857](https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/vvk1gv/cdi_proquest_reports_217225857)

Scott, T. & Eagleson, M. 1988. Concise encyclopedia of biochemistry. E-kirja.

SKF. Verkkoaineisto. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa

<https://www.skf.com/group/products/lubrication-management/system-components/supply-units/oil-supply-units/flowline>

Stora Enso. Stora Enso sisäinen intranet. Viitattu 28.5.2023. Saatavissa: vaatii salasanan

Stora Enso a. Verkkoaineisto. Viitattu 1.4.2023. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

Sundquist H. 1986. Tribologian perusteet. Helsinki: Kyriiri Oy.

Tzanakis, I., Hadfield, M., Thomas, B., Noya, S.M., Henshaw, I. & Austen, S. 2012. Future perspectives on sustainable tribology. Vol.16 (6). S. 4126-4140. Viitattu 15.5.2023.

Saatavissa DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.064

Weng, L., Wang, H., Feng, D., Liu, W. & Xue, Q. 2008. Tribological behavior of the synthetic chlorine- and fluorine-containing silicon oil as aerospace lubricant. Industrial lubrication and tribology. Vol.60 (5). S. 216-221. Viitattu 10.4.2023. Saatavissa DOI: 10.1108/00368790810895132

YTM. Verkkoaineisto. Viitattu 11.5.2023. Saatavissa <https://www.ytm.fi/oljyanalyysi-ja-oljyn-kunnonvalvonta/>

YTM a. Verkkoaineisto. Viitattu 15.5.2023. Saatavissa

[https://www.ytm.fi/tuotteet/voitelu/lincoln-keskusvoitelujarjestelmat/?gclid=Cj0KCQjwslejBhDOARIsANYqkD0IbDFCCK9C-ih-YtlzAvbzSYBcZ4AYzGjoBfeiDKZHGQTwZrA8poaAvIDEALw\\_wcB](https://www.ytm.fi/tuotteet/voitelu/lincoln-keskusvoitelujarjestelmat/?gclid=Cj0KCQjwslejBhDOARIsANYqkD0IbDFCCK9C-ih-YtlzAvbzSYBcZ4AYzGjoBfeiDKZHGQTwZrA8poaAvIDEALw_wcB)

YTM b. Verkkoaineisto. Viitattu 28.5.2023. Saatavissa

<https://www.ytm.fi/laboratoriopalvelut-teollisuus-oljy/>

YTM c. Verkkoaineisto. Viitattu 28.5.2023. Saatavissa <https://www.ytm.fi/tuotteet/oljyn-online-kunnonvalvonta-buhler/>

Zener. Verkkoaineisto. Viitattu 17.2.2023. Saatavissa  
<https://www.zener.fi/voimansiirto/hammasvaihdemoottorit/>

Liite 1. Osaston laitteet, joista vihreät on valittu öljyanalyyysiin

Kohde	Öljyn määrä, l	Kohde	Öljyn määrä, l
Laite 1	4,5	Laite 131	48
Laite 2		Laite 132	4
Laite 3		Laite 133	53
Laite 4	4,5	Laite 134	35
Laite 5		Laite 135	4,2
Laite 6		Laite 136	5
Laite 7	0,9	Laite 137	
Laite 8		Laite 138	17
Laite 9	0,25	Laite 139	0,6
Laite 10	0,25	Laite 140	107
Laite 11	0,25	Laite 141	107
Laite 12	4,2	Laite 142	107
Laite 13	2,2	Laite 143	4,2
Laite 14	420	Laite 144	
Laite 15	405	Laite 145	9
Laite 16	328	Laite 146	290
Laite 17	45	Laite 147	9

Laite 18	45	Laite 148	9
Laite 19	50	Laite 149	9
Laite 20	11	Laite 150	9
Laite 21	200	Laite 151	21
Laite 22	200	Laite 152	9
Laite 23	190	Laite 153	21
Laite 24	4,7	Laite 154	290
Laite 25	300	Laite 155	9
Laite 26	800	Laite 156	21
Laite 27	4,7	Laite 157	290
Laite 28	1000	Laite 158	9
Laite 29	1850	Laite 159	21
Laite 30	2,2	Laite 160	290
Laite 31	2,2	Laite 161	4,2
Laite 32		Laite 162	4,2
Laite 33	0,9	Laite 163	4,2
Laite 34	0,9	Laite 164	4,2
Laite 35	2,2	Laite 165	
Laite 36	2,2	Laite 166	

Laite 37	0,9	Laite 167	4,2
Laite 38	78	Laite 168	10
Laite 39	20	Laite 169	17
Laite 40	45	Laite 170	290
Laite 41	4,1	Laite 171	9
Laite 42	200	Laite 172	21
Laite 43	8,3	Laite 173	0,6
Laite 44	3,7	Laite 174	3,3
Laite 45	4,1	Laite 175	1,7
Laite 46	4,1	Laite 176	200
Laite 47	250	Laite 177	5
Laite 48	8,3	Laite 178	56
Laite 49	21	Laite 179	2,8
Laite 50	24	Laite 180	4,2
Laite 51	21	Laite 181	21
Laite 52	5	Laite 182	11
Laite 53	350	Laite 183	36
Laite 54	5	Laite 184	58
Laite 55	350	Laite 185	23,4

Laite 56	25	Laite 186	7
Laite 57	40	Laite 187	1,7
Laite 58	180	Laite 188	1,7
Laite 59	19	Laite 189	1,7
Laite 60	33	Laite 190	1,7
Laite 61	5,1	Laite 191	1,7
Laite 62	10	Laite 192	5,4
Laite 63	54	Laite 193	110
Laite 64	54	Laite 194	24
Laite 65	21	Laite 195	30
Laite 66	5	Laite 196	18
Laite 67	350	Laite 197	24
Laite 68	8,3	Laite 198	3,7
Laite 69	250	Laite 199	5,4
Laite 70	3,7	Laite 200	5,4
Laite 71	8,3	Laite 201	5,4
Laite 72	250	Laite 202	5,4
Laite 73	8,3	Laite 203	60
Laite 74	21	Laite 204	10,8

Laite 75	21	Laite 205	5,4
Laite 76	21	Laite 206	5,4
Laite 77	21	Laite 207	5,4
Laite 78	8,3	Laite 208	5,4
Laite 79	8,3	Laite 209	5,4
Laite 80		Laite 210	5,4
Laite 81	8,3	Laite 211	5,4
Laite 82	8,3	Laite 212	5,4
Laite 83	3,7	Laite 213	5,4
Laite 84	8,3	Laite 214	5,4
Laite 85	3,7	Laite 215	5,4
Laite 86	25	Laite 216	16
Laite 87	3,7	Laite 217	16
Laite 88	8,3	Laite 218	16
Laite 89	5	Laite 219	16
Laite 90	350	Laite 220	16
Laite 91	5	Laite 221	60
Laite 92	350	Laite 222	25
Laite 93	5	Laite 223	16

Laite 94	350	Laite 224	2,1
Laite 95	5	Laite 225	135
Laite 96	350	Laite 226	29
Laite 97	11	Laite 227	2,1
Laite 98		Laite 228	135
Laite 99		Laite 229	
Laite 100		Laite 230	2,1
Laite 101		Laite 231	135
Laite 102		Laite 232	29
Laite 103		Laite 233	2,1
Laite 104	400	Laite 234	135
Laite 105	9	Laite 235	29
Laite 106	107	Laite 236	16
Laite 107	290	Laite 237	3,7
Laite 108	12	Laite 238	55
Laite 109	290	Laite 239	16
Laite 110	9	Laite 240	
Laite 111	21	Laite 241	5,4
Laite 112	3,3	Laite 242	25

Laite 113	92	Laite 243	135
Laite 114	4	Laite 244	30
Laite 115	155	Laite 245	16
Laite 116	290	Laite 246	16
Laite 117	17	Laite 247	16
Laite 118		Laite 248	2,1
Laite 119	32	Laite 249	16
Laite 120		Laite 250	30
Laite 121	10,8	Laite 251	135
Laite 122	7,5	Laite 252	2,1
Laite 123	6	Laite 253	8,5
Laite 124	27	Laite 254	8,5
Laite 125	40	Laite 255	30
Laite 126	105	Laite 256	30
Laite 127	46	Laite 257	22,7
Laite 128	425	Laite 258	22,7
Laite 129	500	Laite 259	450
Laite 130			