



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)

# Hydrauliöljyn laadun seuranta työkoneessa

Anturin paikan määrittäminen

Pekka Mononen

Opinnäytetyö, tammikuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Tammikuu 2023**  
**Konetekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU

Tekijä  
Pekka Mononen

Nimeke  
Hydrauliöljyn laadun seuranta työkoneessa : Anturin paikan määrittäminen

Toimeksiantaja  
Mantsinen Group Ltd Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hydrauliöljyn laatua mittaavan anturin paikka työkoneessa. Työn toimeksiantaja Mantsinen Group Ltd Oy valitsi anturin, jolle tämä suunnitelma tehtiin. Työn tarkoituksena oli myös tarkastella anturin soveltuvuutta öljyn lämpötilan muuttuessa työkoneessa.

Opinnäytetyössä suunniteltiin toimeksiantajan valitsemalle anturille työkoneeseen paikka, jossa paine ja virtausnopeus ovat anturin raja-arvojen sisällä. Paikan määrittämisessä käytettiin apuna tehdaskäytössä olevaa anturin toimintamallia, jota sovellettiin voimakkaasti. Työn menetelmänä käytettiin VDI 2221-suunnittelumetodia sekä Ullrich & Eppinger-tuotannonkehitysmetodia.

Työssä kehitettiin anturille työkoneeseen soveltuva järjestelmä, jossa anturilla on paikka sivuvirtauslinjassa ennen paluusuodatinta. Järjestelmässä öljyn laatua voidaan seurata reaaliajassa ja suodattamattomana. Järjestelmä on mahdollista valmistaa ja koeajaa, jonka jälkeen sitä voidaan soveltaa muihinkin konemalleihin sekä valmistaa siitä myytävä lisävaruste.

Kieli  
suomi

Sivuja 45  
Liitteet 3  
Liitesivumäärä 5

Asiasanat  
tuotekehitys, laadunvalvonta, hydrauliöljy



**THESIS**  
**January 2023**  
**Degree Programme in Mechanical Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND

**Author**  
Pekka Mononen

**Title**  
Monitoring the Quality of Hydraulic oil in a Mobile Machine  
Commissioned by  
Mantsinen Group Ltd Oy

**Summary**

The purpose of this thesis was to design the location of a hydraulic oil quality sensor on a machine. The client Mantsinen Group Ltd Oy selected the sensor for which this design was made. The purpose of the thesis was also to examine the suitability of the sensor for use on a machine where the oil temperature changes.

In the thesis, the sensor selected by the client was to design a place in the machine where the pressure and flow rate are within the limits of the sensor. The location was determined using a sensor operating model from a factory, which was heavily applied. The VDI 2221 design method and the Ullrich & Eppinger production development method were used as the methodology for the work.

The work developed a system for the sensor, where the sensor is located in the side flow line before the return filter. In this system, oil quality can be monitored in real time and unfiltered. The system can be manufactured and tested, then applied to other machine models and made into an accessory for sale.

**Language**  
Finnish

Pages 45  
Appendices 3  
Pages of Appendices 5

**Keywords**  
Product development, quality control, hydraulic oil

# Sisältö

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1    | Johdanto .....   | 5  |
| 1.1  | Öljy on voimansiirron väline .....                                   | 5  |
| 1.2  | Opinnäytetyön aihe .....   | 5  |
| 1.3  | Mantsinen Group Ltd Oy .....   | 6  |
| 1.4  | Toimeksianto .....   | 7  |
| 1.5  | Opinnäytetyön rajaus .....   | 8  |
| 2    | Öljyn laadun ja ennakoivan huollon merkitys .....                    | 8  |
| 3    | Hydrauliöljy .....   | 9  |
| 3.1  | Viskositeetti .....  | 9  |
| 3.2  | Idealiset ominaisuudet hydrauliöljylle ja öljysäiliön merkitys ..... | 10 |
| 3.3  | Öljyn sähkönjohtavuus .....  | 11 |
| 3.4  | Ilman erottuvuus öljystä .....                                       | 12 |
| 4    | Laaduntarkkailu .....  | 12 |
| 4.1  | Puhtausluokitus .....  | 12 |
| 4.2  | Laaduntarkkailun keskeisimmät muodot .....                           | 15 |
| 4.3  | Off-line näyte .....   | 15 |
| 4.4  | Online-näyte .....   | 16 |
| 4.5  | Optinen mittaus .....  | 17 |
| 4.6  | Puhtausanalyysointilaitteisto .....                                  | 18 |
| 4.7  | In-line-näyte .....  | 19 |
| 4.8  | Induktiivinen anturi .....   | 19 |
| 4.9  | In-line-näytteenottopaikka .....                                     | 20 |
| 4.10 | Sähkönjohtavuutta seuraava anturi .....                              | 21 |
| 4.11 | Virtausoppi .....  | 21 |
| 5    | Tuotekehitystoiminta .....   | 22 |
| 5.1  | Yleistä tuotekehitystoiminnasta .....                                | 22 |
| 5.2  | Työskentelymetodiikka .....  | 23 |
| 5.3  | Vaatimusluettelo .....   | 24 |
| 5.4  | Sopivan muunnelman valinta .....                                     | 25 |
| 5.5  | Suunnittelu .....  | 25 |
| 5.6  | Luovuus .....  | 26 |
| 5.7  | Ideoiden generointi .....  | 26 |
| 5.8  | 635 Metodi .....   | 28 |
| 5.9  | Luonnostelu .....  | 28 |
| 6    | Toteutus .....   | 28 |
| 6.1  | Vaatimuslista .....  | 28 |
| 6.2  | Morfologinen taulukko .....  | 29 |
| 6.3  | Kytkenän suunnittelu .....   | 29 |
| 6.4  | Viskositeetin vaikutuksen arvioiminen .....                          | 29 |
| 6.5  | Pumpun ja sivuvirtauksen mitoittaminen .....                         | 30 |
| 6.6  | Säiliön rakenne .....  | 35 |
| 6.7  | Painehäviöt järjestelmässä .....                                     | 38 |
| 7    | Pumpun teho .....  | 42 |
| 8    | Lopputulos .....   | 43 |
| 9    | Yhteenveto .....   | 44 |
| 10   | Lähteet .....  | 45 |

## Lyhenteet ja standardit

|              |   |
|--------------|---|
| SFS ISO-4406 | Hydrauliteknikka. Hydraulisen nesteen puhtausluokitus. (Kauranne, Kajaste & Violenius 2013) |
| ISO 3448     | Hydrauliteknikka. viskositeettiluokitus. (Kauranne ym. 2013)                                |
| VDI 2221     | Koneensuunnitteluoppi. Tuotekehitysmetodi. (Pahl & Beitz 1990)                              |
| Liitteet     |   |
| Liite 1      | Vaatimusluettelo  |
| Liite 2      | Morfologinen taulukko   |
| Liite 3      | Pumpun tekniset tiedot  |
| Liite 4      | O-rengasuran mitoittaminen  |

# 1 Johdanto

## 1.1 Öljy on voimansiirron väline

Hydrauliöljyä voimanvälittäjänä on käytetty työkoneissa yleisesti vaijerikoneiden sijasta niiden joustavan toimintatavan vuoksi. Öljyn käyttö luo mahdollisuuksia, mutta tuo haasteita koneen suunnitteluun sekä huoltoon. Hydrauliöljyn laatu on ratkaisevaa koneiden huoltovälien määrittämisessä ja luontoarvoja miettiessä.

Nykyaikaisessa työkoneessa hydrauliöljyn laatu on tärkeää laitteiden tarkkojen toleranssien sekä toimintavarmuuden kannalta. Työkoneita käytetään usein satamissa ja tehtailla osana logistiikkaa. Koneet operoivat jopa kriittisissä osissa logistiikkaketjua, jolloin niiden vioittumisesta johtuva ylimääräinen pysäytys aiheuttaa laajoja ongelmia.

## 1.2 Opinnäytetyön aihe

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hydrauliöljyn laadun tarkkailua reaaliajassa. Jos koneeseen tulee piilevä vika, joka näkyy öljyssä jo ennen komponentin hajoamista, voidaan kyseinen koneen osa vaihtaa välttämättä suunnittelematon pysäytys. Hajotessaan komponentti, esimerkiksi sylinterin tiiviste tai pumppu, päästää järjestelmään suuria määriä hiukkasia, jotka kuluttavat järjestelmää aina vain lisää.

Hiukkaset ovat hyvin pieniä, mikroskooppisen kokoisia ja voivat tarttua karkeille pinnoille järjestelmässä. Jos komponentti on ehtinyt hajota, kaikkia järjestelmään päässeitä hiukkasia on vaikea saada pois järjestelmästä vaihtamatta öljyä tai suodatinta. Öljyn ja suodattimen vaihdon jälkeen saatetaan tarvita vauriosta riippuen vielä useita öljyllä huuhteluja. Jos näistä toimista ei ole apua, joudutaan komponentit purkamaan osiin ja pesemään mekaanisesti.

Öljyä käytetään suuria määriä. Yhdessä koneessa sitä saatetaan käyttää jopa useita kuutioita, joten sen käyttöiän jatkaminen on kustannustehokasta ja luon-  
toystävällistä. Kun järjestelmään pääsee hiukkasia vaurion yhteydessä, on  
myös huolenaihetta siihen, mitä kaikkea se voi jatkossa aiheuttaa.

Öljyn laatua voivat heikentää työkoneen erilaiset hyvinkin vaihtelevat käyttöolo-  
suhteet. Laatuun vaikuttaa myös työkoneen käyttötapa ja huollon puute. Vaikka  
koneet valmistettaisiin laadukkaasti, edellä mainitut asiat vaikuttavat niin, ettei  
koneen tai komponentin elinajanodote ole sama eri puolilla maailmaa. Huolto-  
ohjelman mukaiset öljynvaihdot voidaan tehdä joissain tapauksissa liian aikai-  
sin, mutta toisaalta komponenttien kestoikä pitenee, mitä laadukkaampaa öljy  
on. Tästä johtuen aikainen öljynvaihto voi olla kustannustehokkaampaa.

### **1.3 Mantsinen Group Ltd Oy**

Mantsinen Group Ltd Oy on pohjoiskarjalainen perheyrittäjä, joka on perustettu  
vuonna 1963. Ensimmäisinä vuosina yhtiön toiminta perustui puun kuljetukseen  
pienemmässä määrin. Toiminta käynnistettiin aikana, jolloin metsätalouden työt  
olivat hyvin yleisiä Pohjois-Karjalassa ja metsäteollisuus Suomessa oli nousu-  
suhdanteessa. Luonnollinen tapa kehittyä parempaan johti yrityksen laajentami-  
seen. Etenkin tuotannon tehokkuuden parantaminen on kuulunut yrityksen kehi-  
tykseen alusta alkaen. (Mantsinen Group 2022.)

Yritys alkoi tuottaa logistiikkapalveluita 1970-luvulla, jolloin perehdyttiin pikkuhil-  
jaa koneiden tuotantokapasiteetin parantamiseen. Alkuun yritys urakoi ajan mal-  
liin kuuluvalla tavalla eli puutavara-autoilla ja niiden nostureilla. Kävi ilmi, että  
tuohon aikaan umpinaisten puutavaravaunujen purkaminen olisi helpompaa, jos  
vaunuun näkisi. Hyväksi osoittautui pyöräalustainen kaivinkone materiaali-  
puomilla ja korotetulla hytillä varustettuna. Yritys alkoi muunnella näistä kaivin-  
koneista terminaalikäyttöön sopivampia. Koneiden runkoa ja puomia vahvistet-  
tiin jo ennen käyttöönottoa kohdista, jotka oli todettu käytössä aiemmin hei-  
koiksi. (Mähönen 2022, 44–45, 50, 66–67.)

Mantsinen on ollut mukana muun muassa suunnittelemassa Uimaharjun sellu-  
tehtaan puunsyöttöä 90-luvun vaihteessa. Yritys pystyi luomaan tehtaan syötön  
koneille ja materiaalin saapumiselle mahdollisimman tehokkaaksi. Tämä vah-  
visti Mantsisen asemaa markkinoilla. (Mähönen 2022, 76.)

Mantsisen toiminta kansainvälistyi 1990-luvulla. Koneita modifioitiin ja ensim-  
mäinen materiaalinkäsittelykone toimitettiin satamakäyttöön. Noihin aikoihin  
käytiin keskusteluja maailmalla suurimman materiaalikoneen valmistajan  
kanssa yhteistyöstä, sillä omat resurssit eivät vielä riittäneet tositoimiin tuoteke-  
hityksessä. Valitettavasti ulkomaiset yritykset eivät arvostaneet tarpeeksi Mant-  
sisen pyrkimyksiä. Tämä johti prototyypin valmistukseen ja oman tuotannon  
aloittamiseen tehokkaiden koneiden valmistamiseksi. Nykyään tuo yritys on  
suurimpia kilpailijoita. (Mähönen 2022, 118.)

2000- luvun vaihteessa yhtiö jakautui logistiikkapalveluihin sekä materiaalinkä-  
sittelykoneiden valmistukseen. (Mähönen 2022, 132.)

Nykyään logistiikkapalvelut toimivat Suomessa Raumalla, Äänekoskella, Uima-  
harjussa ja Imatralla. Materiaalinkäsittelykoneita valmistetaan ympäri maapalloa  
erilaisiin tarpeisiin, satamiin, metsä ja terästeollisuuteen kuin kierrätysteollisuu-  
teenkin. Mantsisella on tuotannossa maailman suurin hydraulinen materiaalinkä-  
sittelykone M300. (Mantsinen Group 2022.)

Maailmalla yritys on ollut tunnettu luotettavuudesta ja siitä, että asiakasta ei jä-  
tetä pulaan missään tilanteessa.

#### **1.4 Toimeksianto**

Opinnäytetyön toimeksiantona oli öljynlaadun mittapisteen tai anturin paikan  
määrittäminen koneessa. Tarkoitus oli todeta paikka tai laite, jonka läheisyyteen  
anturi olisi järkevää asettaa kiinteästi. Öljyn mittaaminen on monimutkainen  
operaatio, sillä öljyssä voi olla ilmaa, vettä, erilaisia metalleja, kemikaaleja, hiek-  
kaa, kumia, ruostetta ja muovia.

Ei varsinaisesti ole olemassa yhtä ja ainoaa tapaa todeta mitä kaikkea öljyn seassa liikkuu, ja miten se vaikuttaa järjestelmän kuntoon. Tarkoitus on pystyä toteamaan järjestelmästä itsestään irtoavien partikkelien olemassaolo. Pyrkimyksenä oli kuitenkin myös selvittää, mitä asiaa kannattaa kriittisesti tutkia öljystä.

### **1.5 Opinnäytetyön rajaus**

Työn aikana oli tarkoitus luoda paikka öljyanturille, joka oli jo valittuna etukäteen Mantsisen toimesta. Olosuhde anturille tuli olla stabiili, ja mahdollisesti suunnitella anturin paikka niin, että laaduntarkkailujärjestelmää voidaan soveltaa kaikkiin Mantsisen konemalleihin.

Optimaalinen tilanne olisi ollut seurata konetta tuhansia tunteja, ja nähdä mitä muutoksia öljyn laadussa tapahtuu. Tämä ei ollut kuitenkaan opinnäytetyön suppeuden vuoksi mahdollista. Näin ollen tavoitteena oli luoda perusta jatkossa toteutettavalle öljynlaadun seurannalle koneissa.

## **2 Öljyn laadun ja ennakoivan huollon merkitys**

Öljyn laatua tarkkailemalla saadaan tietoa mahdollisesta ennakoivan huollon tarpeesta. Ennakoiva huolto on sitä tärkeämpää, mitä enemmän kone on vuositasolla käytössä. Huolto ei kosketa ainoastaan konetta. Huoltoon linkittyvät myös turvallisuus, luotettavuus ja tuottavuus.

Pidemmällä aikavälillä mitattuna voidaan todeta öljyjärjestelmän toimivuus syntyvien trendien avulla. Tällöin olisi hyvä saada dataa useammasta eri koneesta, jolloin trendien vertailu tuottaa luotettavia tuloksia. Näin voidaan asettaa koneelle turvalliset toimintarajat. Lyhyen ja pitkän aikavälin mittaustuloksissa syntyy eroja. Järjestelmän kuluminen ja öljyn laadun heikkeneminen kiihtyy ja kasvattaa itseään, ellei sitä todeta ajoissa. Voi syntyä vaaratilanteita, sekä järjestelmähäiriöitä. (Anttonen, ym. 2018.)

### 3 Hydraulioöljy

#### 3.1 Viskositeetti

Nesteen viskositeetti kuvaa nesteen virtauksen vastusta. Viskositeetin tulisi olla juuri tietynlainen käyttökohteen ja olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi liian suuri viskositeetti aiheuttaa vastusta ja mahdollisen vaurion pumppuun kavitoinnin seurauksena. Toisaalta liian pieni viskositeetti näkyy voitelun heikentymisenä ja sisäisinä vuotoina. (Kauranne ym. 2013, 121.)

Viskositeetti on erittäin riippuvainen lämpötilasta. Lämpötilan noustessa viskositeetin arvo laskee ja lämpötilan laskiessa arvo nousee. (Kauranne ym. 2013, 121.) Standardinmukainen ISO-viskositeettiluokitus on jaettu osiin (taulukko 1).

| ISO VG -luokka<br>(Viscosity Grade) | Keskiviskositeetti<br>$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$<br>[cSt] | Alaraja<br>$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$<br>[cSt] | Yläraja<br>$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$<br>[cSt] |
|-------------------------------------|---|--|--|
| 2                                   | 2,2   | 1,98   | 2,42   |
| 3                                   | 3,2   | 2,88   | 3,52   |
| 5                                   | 4,6   | 4,14   | 5,06   |
| 7                                   | 6,8   | 6,12   | 7,48   |
| 10                                  | 10  | 9,00   | 11,0   |
| 15                                  | 15  | 13,5   | 16,5   |
| 22                                  | 22  | 19,8   | 24,2   |
| 32                                  | 32  | 28,8   | 35,2   |
| 46                                  | 46  | 41,4   | 50,6   |
| 68                                  | 68  | 61,2   | 74,8   |
| 100                                 | 100   | 90,0   | 110  |
| 150                                 | 150   | 135  | 165  |
| 220                                 | 220   | 198  | 242  |
| 320                                 | 320   | 288  | 352  |
| 460                                 | 460   | 414  | 506  |
| 680                                 | 680   | 612  | 748  |
| 1000                                | 1000  | 900  | 1100   |
| 1500                                | 1500  | 1350   | 1650   |
| 2200                                | 2200  | 1980   | 2420   |
| 3200                                | 3200  | 2880   | 3520   |

Taulukko 1 ISO-viskositeettiluokat (Kauranne ym. 2013, 122.)

### 3.2 Ideaaliset ominaisuudet hydraulioöljylle ja öljysäiliön merkitys

Nesteen ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti järjestelmän toimintaan. Viskoositeetti tulee asettaa sopivaksi lämpötilaan sekä komponentteihin. Öljyn tulee kestää kuumia lämpötiloja eikä se saa aiheuttaa kemiallisia reaktioita järjestelmään. Kauranteen ym. (2013, 120) mukaan muita erilaisissa järjestelmissä olevia vaatimuksia öljylle ovat:

- hyvä voitelukyky
- suuri puristusarvokerroin
- pieni tiheys
- kyky johtaa lämpöä hyvin
- vähäinen vaahtoaminen
- kyky erottaa ilmaa hyvin
- alhainen höyrynpaine
- ominaisuuksien stabiilius käytössä
- hyvä suodatettavuus

Öljysäiliön rakenteella on merkitystä öljyn laadulle. Normaalisti työkonetekniikassa hydraulikkasäiliön kokoon vaikuttavat jäähdytysteho, tilan hallinta ja järjestelmän pumpun tuotto. Näistä suurin vaikuttava tekijä on jäähdytysteho. (Kauranne ym. 2013, 412).

Säiliön väliseinät jäykistävät rakennetta, samalla vähentäen melua. Väliseinän ei aina tarvitse olla kiinteä. Joissakin tapauksissa käytetään verkkomaista levyä, jonka on tarkoitus edistää kuplien erottumista. Levy asennetaan kaltevaan asentoon öljyn kulkusuuntaan nähden, jolloin ilman erottuminen on tehokkaampaa. (Kauranne ym. 2013, 412.)

Teollisuudessa järjestelmän säiliön koon tulee olla 2-5 kertaa pumppujen tuoton suuruinen. Mobiilikoneissa suositus on sen sijaan 1-2-kertainen ja näissä järjestelmissä jäähdytystehoa on lisätty erillisellä jäähdyttimellä. (Kauranne ym. 2013, 412.)

### 3.3 Öljyn sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuus ei ole kovin suurta teollisuuden hydraulikkaöljyllä. Toisinaan öljyssä on mahdollista nähdä jopa pieniä energiapurkauksia johtuen öljyn ominaisuuksista etenkin suodattimen läpi virratessa. (Opetushallitus 2022.)

Uusien öljylaatujen ominaisuuksia on pyritty parantamaan lisäaineilla. Parannuksilla voidaan esimerkiksi estää vaahtoutumista, korroosiota, kulumista ja muun muassa hapettumista. Toisaalta lisäaineet parantavat viskositeetti-indeksiä, estävät likapartikkeleita yhdistymästä toisiinsa, puhdistavat pintoja sekä lisäävät paineenkestoa hetkellisesti. (Opetushallitus 2022.)

Lisäaineiden käyttö vaikuttaa voimakkaasti öljyn sähkönjohtavuuteen ja tekee mittaamisen tulkinasta haastavaa. Erilaiset lisäaineet, kuten polymeerit reagoivat lämpötilaan: lämpötilan kasvaessa myös polymeerit kasvavat. (Leyers 2022.)

Sähkönjohtavuutta on alettu mitata alun perin lentokoneissa lentopetroltiin syntyvän sähköisen jännitteen vuoksi. Jännitteen purkautuminen tapahtuu sille otollisissa olosuhteissa, joten ilmiötä on alettu tutkia. Myöhemmin nesteiden sähkönjohtavuutta on alettu soveltaa nesteen laadunvalvontaan koska erilaiset poikkeamat merkitsevät muutosta laadussa. (Opetushallitus 2022.)

Erilaisilla nesteillä on oma dielektrisyysarvo, jota kuvataan arvolla picosiemensia metrillä, (pC/m). Erilaisilla öljynlisäaineilla, ilmakuplilla ja lämpötilalla viskositeetin kautta on suora vaikutus arvoon ja ne pitäisi pyrkiä erottamaan mitatuista arvoista tai erottaa kuplat suurimmaksi osaksi pois ennen mittausta. Hyvänä esimerkkinä on sinkkiditiofosfaatit öljyssä, jotka lisäävät korroosion ja paineenkestoa. (Lindner 2022.)

Käytännössä katsoen sähkönjohtavuuden mittaamista voidaan verrata optiseen anturiin. Sähkönjohtavuuden mittaaminen antaa vähän enemmän viitteitä hiukasten materiaalista kuin optinen mittausta. (Lindner 2022.)

### 3.4 Ilman erottuvuus öljystä

Öljy on ilmaa huomattavasti tiheämpää, joten ilma pyrkii eroamaan öljystä kuplina. Ilmanerotuskyky kertoo millä nopeudella ilmakuplat nousevat pintaan öljystä erotuttuaan. Öljyissä käytetään erilaisia lisäaineita vaahtoutumisen välttämiseksi. Toinen vaikuttava asia on öljysäiliön rakenne. (Hara 1989, 170–172.)

## 4 Laaduntarkkailu

### 4.1 Puhtausluokitus

Koska nykyaikaisissa työkoneissa komponenttien välykset ovat minimaalisen pieniä, tulee öljynlaadun olla suhteessa näiden virtauskanavien ja suuttimien sekä venttiilien välysten kanssa. Nesteessä kulkevia epäpuhtauksia on helpompi kuvata niiden kokojakaumalla kuin niiden määrällä, koska partikkeleita on hyvin monen kokoisia. Tällä tavalla on helpompaa todeta, vastaako nesteen laatu sille annettuja vaatimuksia. (Kauranne ym. 2013, 384.)

Hiukkasten määrää kuvataan standardin ISO-4406-mukaan kolmella eri kokoluokalla, jotka ovat yli 4 mikronin hiukkaset, yli 6 mikronin hiukkaset ja yli 14 mikronin hiukkaset. Menetelmän tarkoitus on lajitella hiukkaset koon mukaan eri luokkiin. ISO-4406-standardissa tilavuus on 1 ml. (Kauranne ym. 2013, 386.)

Standardin SAE AS 4059-mukaan hiukkaset jaetaan kuuteen eri luokkaan, ja näytekokoo on 100 ml. (taulukko 2). Hiukkaslaskenta voidaan suorittaa esimerkiksi hiukkaslaskurilla tai mikroskoopilla. Laskentamallissa yksi hiukkaslaskuri on kalibroitu Standardin ISO-4402-standardin mukaan. (Kauranne ym. 2013, 385.)

Laskentamallissa kaksi laskenta suoritetaan standardin ISO-11171 mukaan kalibroidulla hiukkaslaskurilla tai elektronimikroskoopilla. Tässä laskentamallissa

hiukkasen koko määräytyy hiukkasen projisoitua pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisijana. (Kauranne ym. 2013, 385.)

| Laskenta           | Hiukkaskoko [ $\mu\text{m}$ ]                             |                   |                   |                   |      |       |
|--------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------|
|                    | > 1   | > 5               | > 15              | > 25              | > 50 | > 100 |
| I                  | > 1   | > 5               | > 15              | > 25              | > 50 | > 100 |
| II                 | > 4   | > 6               | > 14              | > 21              | > 38 | > 70  |
| Puhtaus-<br>luokka | Kokoluokkakoodi ja sallitut hiukkasmäärät* (kpl / 100 ml) |                   |                   |                   |      |       |
|                    | A   | B                 | C                 | D                 | E    | F     |
| 000                | 195   | 76                | 14                | 3                 | 1    | 0     |
| 00                 | 390   | 152               | 27                | 5                 | 1    | 0     |
| 0                  | 780   | 304               | 54                | 10                | 2    | 0     |
| 1                  | 1560  | 609               | 109               | 20                | 4    | 1     |
| 2                  | 3120  | 1217              | 217               | 39                | 7    | 1     |
| 3                  | 6250  | 2432              | 432               | 76                | 13   | 2     |
| 4                  | $1,25 \cdot 10^4$   | 4864              | 864               | 152               | 26   | 4     |
| 5                  | $2,50 \cdot 10^4$   | 9731              | 1731              | 306               | 53   | 8     |
| 6                  | $5,00 \cdot 10^4$   | $1,95 \cdot 10^4$ | 3462              | 612               | 106  | 16    |
| 7                  | $10,0 \cdot 10^4$   | $3,89 \cdot 10^4$ | 6924              | 1224              | 212  | 32    |
| 8                  | $20,0 \cdot 10^4$   | $7,79 \cdot 10^4$ | $1,39 \cdot 10^4$ | 2449              | 424  | 64    |
| 9                  | $40,0 \cdot 10^4$   | $15,6 \cdot 10^4$ | $2,77 \cdot 10^4$ | 4898              | 848  | 128   |
| 10                 | $80,0 \cdot 10^4$   | $31,1 \cdot 10^4$ | $5,54 \cdot 10^4$ | 9796              | 1696 | 256   |
| 11                 | $1,60 \cdot 10^6$   | $62,3 \cdot 10^4$ | $11,1 \cdot 10^4$ | $1,96 \cdot 10^4$ | 3392 | 512   |
| 12                 | $3,20 \cdot 10^6$   | $1,25 \cdot 10^6$ | $22,2 \cdot 10^4$ | $3,92 \cdot 10^4$ | 6784 | 1024  |

Taulukko 2 Hiukkasten kokoluokat (Kauranne ym. 2013, 385.)

Järjestelmän paine vaikuttaa suoraan puhtausluokituksiin, joskin laitevalmistaja voi ilmoittaa omat ohjeensa tämän lisäksi (taulukko 3). Taulukossa ilmoitetut arvot ovat päteviä käyttöalueella 160-210 baaria. (Kauranne ym. 2013, 388.)

| Komponentti                  | Puhtausluokkasuositus |          |              |
|------------------------------|-----------------------|----------|--------------|
|                              | ISO 4406              | NAS 1638 | SAE AS 4059* |
| Suuntaventtiili              | 21/18/15              | 10       | 11A/9B/9C    |
| Virtaventtiili               | 21/18/15              | 10       | 11A/9B/9C    |
| Paineventtiili, säätävä      | 21/18/15              | 10       | 11A/9B/9C    |
| Sylinteri                    | 21/18/15              | 10       | 11A/9B/9C    |
| Hammaspyöräkoneet            | 21/18/15              | 10       | 11A/9B/9C    |
| Mäntäkoneet                  | 20/18/15              | 9        | 10A/9B/9C    |
| Siipikoneet                  | 20/17/14              | 9        | 10A/8B/8C    |
| Proportionaaliventtiili      | 20/16/13              | 9        | 10A/7B/7C    |
| Servoproportionaaliventtiili | 18/16/13              | 8        | 8A/7B/7C     |
| Servoventtiili               | 17/14/11              | 7        | 7A/5B/5C     |
| Servosylinteri               | 17/14/11              | 7        | 7A/5B/5C     |

Taulukko 3 komponenttien puhtausluokitus. (Kauranne ym. 2013, 388.)

Hydrauliijärjestelmän käyttöpaineen merkitys nähdään taulukossa 3. Esimerkiksi ajopiirissä, jossa paine on jopa 600 bar puhtausluokka tulee huomioida viisi luokkaa paremmaksi. Servopiirillä ohjataan hydrauliikan eri toimintoja, täällä paine on noin 35 bar ja puhtausluokka on heikompi. Öljynlaatu tulee kuitenkin huomioida suurimman vaatimuksen mukaan.

| Käyttöpainetaso | Puhtausluokan muutos  |
|-----------------|-----------------------|
| 0–100 bar       | 3 luokkaa heikommaksi |
| 100–160 bar     | 1 luokka heikommaksi  |
| 160–210 bar     | Ei muutosta           |
| 210–250 bar     | 1 luokka paremmaksi   |
| 250–315 bar     | 2 luokkaa paremmaksi  |
| 315–420 bar     | 3 luokkaa paremmaksi  |
| 420–500 bar     | 4 luokkaa paremmaksi  |
| 500–630 bar     | 5 luokkaa paremmaksi  |

Taulukko 4 käyttöpaineen vaikutus puhtausluokkaan. (Kauranne ym. 2013, 385.)

## 4.2 Laaduntarkkailun keskeisimmät muodot

Puhtaustasoa mitattaessa mittapisteen valinnassa on otettava huomioon järjestelmän viskositeetti, lämpötila, paine sekä dynamiikka. Öljyn kemiallisia ominaisuuksia tai vesipitoisuutta tarkastellessa näytteen voi ottaa mistä tahansa kohdasta, jossa öljy virtaa mittapisteen ohi, ja järjestelmä on käyntilämpöinen. (Anttonen, ym. 2018, 39.)

Suoraan järjestelmästä öljystä analysoidaan erilaisilla mittareilla viskositeetti, kiintoaine (ppm%) sekä vesipitoisuus (ppm%). Laboratoriotutkimuksia vaativia ominaisuuksia ovat vaahtoaminen, hapettumisen identifiointi (IR), vieraat ainesosat ja lisäaineet. Myös öljynlaatu, kokonaishappoluku (TAN) sekä viskositeetti-indeksi vaativat laboratoriotutkimuksen. (Anttonen, ym. 2018, 12–13, 39.)

## 4.3 Off-line näyte

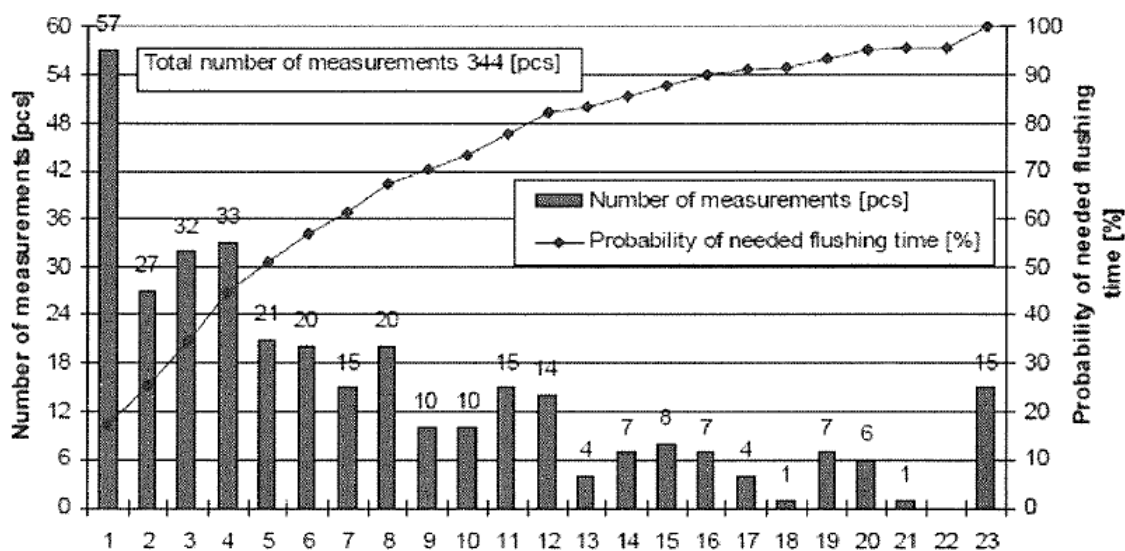
Perinteisin tapa tarkkailla öljyä on ottaa näyte linjasta erilliseen pulloon eli off-line näyte. Menetelmä on ollut käytössä kauan, ja nykyään sitä pidetään jo vanhentuneena. Pullonäyte lähetetään tutkittavaksi laboratorioon, josta näytteen tulokset saadaan noin viikon kuluessa. Pullonäytettä otettaessa on erittäin tärkeää saada näyte ilman että siihen sekoittuu ulkoisia tekijöitä. Näytteenottovälineissä on letku ja imuputki, jonka avulla näyte saadaan suoraan linjasta (kuva1).



Kuva 1 näytteenottovälineet. (Fluidlab 2022.)

Pullonäytteen luotettavuudessa on uusimpien tutkimusten perusteella ongelmia. Vuosina 2009-2010 tehdyn selvityksen perusteella todettiin, että pullonäyte on likaisempi kuin online-näyte. Tämä perustuu öljyn pieneen tilavuuteen pullossa. Jos näyte likaantuu ulkoisista syistä, on näyte absoluuttisesti mitattuna likaisempaa. Näin ollen vaikka ulkoa tulleen lian määrä olisi todella pieni, on näytteessä järjestelmän kokoon verraten paljon likaa. (Anttonen ym. 2018, 37–38.)

Tutkimusten yhteydessä on ilmennyt, ettei näytettä ole helppoa saada ilman ihmillisiä virheitä. Näytteenottajan tulisikin olla kokenut ja koulutettu henkilö. Näytteeseen pääsee useimmiten likaa, jos näytteenottoletkua ei huuhdella tarpeeksi. Huuhtelun tulisi kohteesta riippuen kestää jopa useita kymmeniä minuutteja (kaavio 1). Lisääntynyt likaisuus ilmenee useimmiten hiukkaskoolla 6-14 mikronia. (Anttonen ym. 2018, 37–38.)



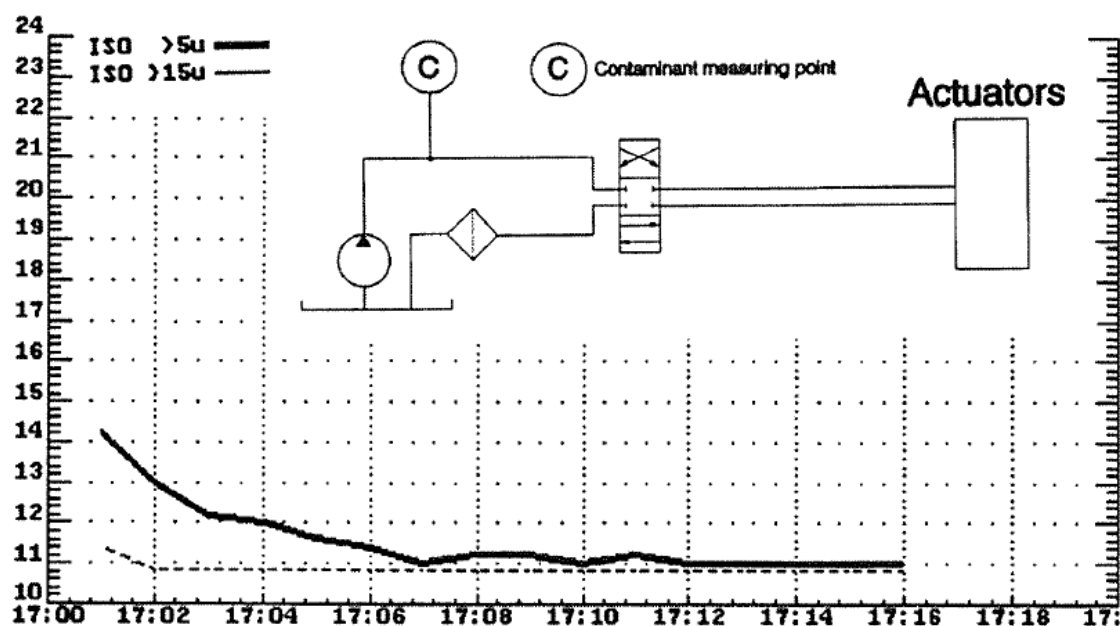
Kaavio 1 aika ennen puhdasta näytettä. (Anttonen ym. 2018.)

#### 4.4 Online-näyte

Online-näytettä varten on järjestelmään tehty valmiiksi erillinen lenkki eli sivuvirtaus varsinaiseen öljyputkeen. Öljy kulkee anturille ja takaisin järjestelmään tämän sivuvirtauksen kautta. Olisi tärkeää saada sekä sivuvirtaan että varsinaiseen linjaan yhtä suuri virtausnopeus luotettavan näytteen saamiseksi. Mittaus

tulisi tapahtua dynaamisesti turbulenttisen virtauksen kohdalta (Anttonen ym. 2018, 13–14.)

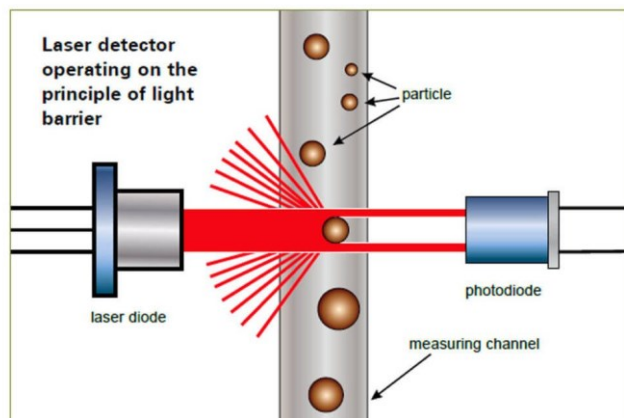
Näytteenottoaika voi olla myös pikaliittimillä varustettu, jolloin letku ja anturi kiinnitetään jokaisella kerralla erikseen. Tässä tulee huomioida huuhtelu, ettei esimerkiksi edellisestä kohteesta pääse likaa häiritsemään näytettä (kaavio 2). Online-näytteenottoaika voi olla myös erillinen kannettava salkku, jossa on pikaliittimet kuten koneen linjassa. Salkussa on kiinteä analysaattori, joka tutkii öljyn laatua.



Kaavio 2 huuhtelun merkitys (Anttonen. ym. 2018,16.)

#### 4.5 Optinen mittaus

Optinen mittaus perustuu valonsäteeseen, joka lähetetään mitattavan öljykana-  
van läpi (kuva 2). Perille vastaanottimeen tullut valo kuvastaa hiukkasten kokoa.  
(Noria Corporation 2022.)

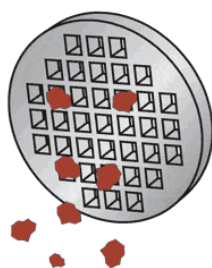


Kuva 2 optisen anturin toiminta. (deltafluid 2022.)

Jos öljy on kovin saastunutta ja tummaa, valo ei välttämättä pääse perille vastaanottimeen, jolloin näytteen tulkinta on hankalaa ja epätarkkaa. Järjestelmä on yksinkertainen, mutta hyvin herkkä ilmaisemaan valonsädettä hajottavia ilmakuplia ja liukenemattomia lisäaineita öljyssä. (deltafluid 2022.)

#### 4.6 Puhtausanalysaattori

Puhtausanalysaattorissa on verkko (kuva 3), joka koostuu useista samankokoisista aukoista. Analysaattori on käytännössä kannettava laite, joka voi sisältää myös lämpötilan, kosteuden ja viskositeetin mittauksen. (Noria Corporation 2022.)



Kuva 3 verkkotukkeumaperiaate. (Noria Corporation 2022.)

Mittaus vaatii jatkuvaa tasaista painetta. Se perustuu verkon yli syntyvään paine-eroon. Nesteen väri, vesi, ilma ja partikkelien määrä eivät vaikuta anturin toimintaan. Menetelmä on tarkka mitattaessa seulaverkkoon jäävien hiukkasten

kokoa, mutta suurien hiukkasten kokoa joudutaan arvioimaan extrapoloimalla. (Noria Corporation 2022.)

#### **4.7 In-line-näyte**

In-line-näyte on putkessa valmiiksi oleva kiinteä paikka, jossa anturi mittaa järjestelmän puhtautta reaaliajassa. Tällöin vältytään mahdolliselta epäilyltä, että näytteessä olisi ylimääräistä likaa ja laatua voi tarkkailla jatkuvasti.

Tulokseen vaikuttavat öljyn virtausnopeus anturin läpi, viskositeetti, kalibrointi, sekä ympäristötekijät. Ympäristötekijöitä ovat lämpö, värinä ja magneettikentät. (Anttonen ym. 2018, 21.)

In-line-mittauksissa käytetään ferromagneettisia, induktiivisia ja ei-ferromagneettisia antureita. Näiden lisäksi voidaan in-line-mittauksessa käyttää sähköjohtavuutta, dielektrisyysvakiota sekä vesipitoisuutta mittaavia antureita (Anttonen ym. 2018, 21.)

#### **4.8 Induktiivinen anturi**

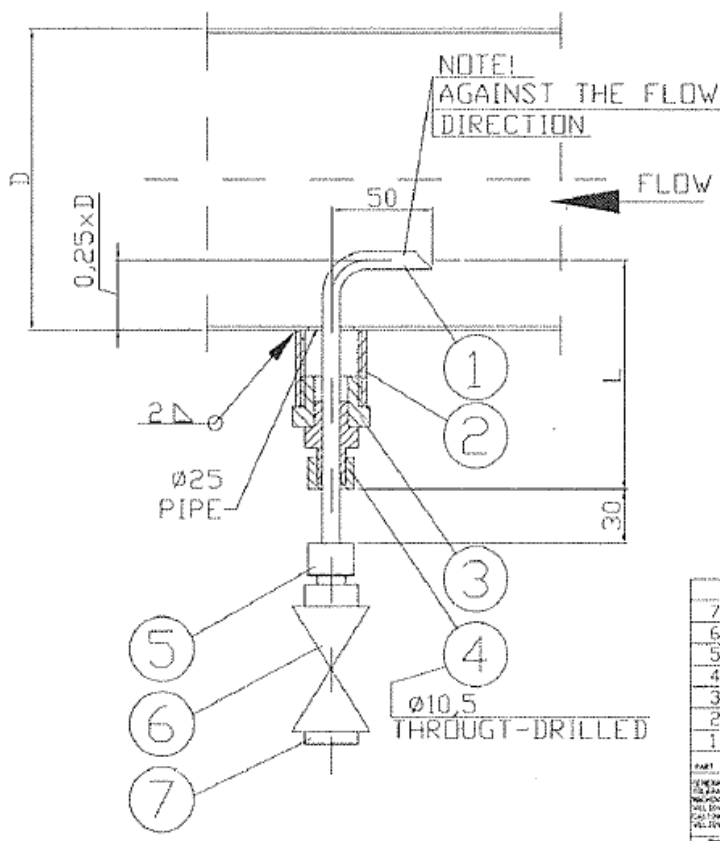
Induktiivisella anturilla voidaan havaita ferromagneettiset ja ei-ferromagneettiset hiukkaset sekä suurikokoiset ilmakuplat. Käytettävän virtauskanavan koko vaikuttaa erottelutarkkuuteen. Tästä esimerkkinä halkaisijaltaan seitsemän millimetrin virtauskanavalla on mahdollista havaita ferromagneettisia hiukkasia alkaen 70-mikronin kokoluokasta. (Anttonen ym. 2018, 21.)

Ei-ferromagneettisia hiukkasia halkaisijaltaan seitsemän millimetrin virtauskanavalla voidaan havaita alkaen noin 200 mikronin luokasta. Ilman ollessa optisten laitteiden käytössä häiritsevä, tulisi virtaus saada paineelliseksi mittauskohdalla. Toinen vaihtoehto on poistaa ongelmaa valmistajan kautta ohjelman parametreillä (Anttonen ym. 2018, 21.)

Induktiivinen anturi on mahdollista sijoittaa esimerkiksi säiliön pohjalle tai matalaan virtausnopeuteen keräämään metallihiukkasia. Virtaus tulee olla sen verran pieni, etteivät hiukkaset irtoa virran mukaan. Anturin data kuvaa hiukkasten määrää, joka kertyy anturin pinnalle. Anturia on mahdollista puhdistaa ohjelmoimalla se demagnetisoitumaan, jolloin hiukkaset irtoavat pois. (Anttonen ym. 2018, 27.)

#### 4.9 In-line-näytteenottoaika

Jotta järjestelmän tilasta saataisiin mahdollisimman luotettava yleiskuva, tulisi öljynäyte ottaa paluulinjasta. Työkoneiden paluuputkistoissa virtaus voi vaihdella nolasta jopa satoihin litroihin minuutissa. Vaikka virtaus olisi tasainen, pienet hiukkaset kulkevat virran mukana pikemminkin keskellä kuin putken laidalla. Näytteenottoputki tulee siis asentaa vastavirtaan irti putken laidasta (kuva 4) (Anttonen ym. 2018, 17.)



Kuva 4 näytteenottopiste imulinjassa. (Anttonen ym. 2018, 17.)

Kuvassa neljä on kuvattu ohjeenmukainen In-line-näytteenottoaika. Sen putki on tarkoituksella tietyn matkan päässä paluuputken reunasta, mutta ei kuitenkaan keskellä. Kyseinen ohje on määritelty raskaassa teollisuudessa, jossa virtaus putkistossa on huomattavasti tasaisempaa kuin liikkuvassa kalustossa. On kuitenkin mahdollista saada virtaus optimaaliseksi erilaisten venttiilien avulla, sovellamme tässä työssä raskaan teollisuuden ohjetta liikkuvaan kalustoon.

#### 4.10 Sähkönjohtavuutta seuraava anturi

Uusin tapa öljynlaadun mittaamisessa on sähkönjohtavuuden tutkiminen. Menetelmä on ollut käytössä ilmailualalla, meriteollisuudessa sekä raskaassa teollisuudessa yleensäkin. Laitteiden yleistyminen ja tekniikan halpa hinta on luonut mahdollisuuden asentaa laitteisto liikkuvaan kalustoon.

Anturi on kalibroitu tietyssä lämpötilassa, josta vastaa laitevalmistaja. Kalibrointia verrataan vallitsevaan lämpötilaan, ja arvioidaan öljynlaatua valmistajan algoritmien mukaan. Kerätty data on nähtävissä erillisellä ohjelmalla, josta voidaan edelleen arvioida öljyn tilaa, muutoksia sekä syntyviä trendejä. Anturilla on mahdollista havainnoida öljyn lämpötilaa, kosteutta (vettä), erilaisia metalli ja muovipartikkeleita, sekä viskositeettiä. (Hydrotechnik 2022.)

Valmistajilla on monenlaisia antureita ja erilaisia ohjelmia, jotka eroavat toisistaan. Sähkönjohtavuutta mittaaville antureille ei ole olemassa standardia, jonka mukaan laitteet kalibroidaan, vaan jokainen laitetoimittaja vastaa kalibroinnista omalla tavallaan. (Anttonen ym, 2018.)

#### 4.11 Virtausoppi

Hydrauliöljyn liikettä mitataan soveltamalla Reynoldsin kaavaa. Reynoldsin luvun (Re) selvittämisessä käytetään viskositeettiä  $\frac{m^2}{s}$ , virtausnopeutta  $\frac{m}{s}$ , poikkileikkauksen piiriä  $m$  ja hydraulista halkaisijaa  $m$ . Virtaus muuttuu laminaarista

turbulenttiseksi siirtymäalueen kautta, jossa molemmat virtaustyytit ovat yhdessä. Muuttuvia tekijöitä kaavassa ovat virtausnopeus, ja viskositeetti lämpötilan avulla. (Kauranne ym. 2013, 29.)

Kriittinen piste pyöreillä sileäpintaisilla putkilla on 2000-2300 Re. Tämä tarkoittaa rajapintaa, jonka yli tai ali voidaan todeta, että virtaus on varmasti turbulenttia tai laminaaria. (Kauranne ym. 2013, 29.) Käytännössä täytyy pyrkiä virheiden välttämiseksi asettamaan virtaus parametrejä muuttamalla niin, ettei olla kriittisen pisteen lähellä.

Hydrauliteknikassa virtauksille käytetään laskennallista keskiarvoa, joka määritellään seuraavasti: Laminaari virtausnopeus =  $0,5 \cdot V_{\max}$  ja Turbulenttinen virtausnopeus =  $0,88 \cdot V_{\max}$ . Kanavan reunassa virtaus on käytännössä minimi, kun taas keskellä maksimi. Näytteenottoa määrittäessä tulee ensin selvittää, onko virtaus turbulenttista vai laminaaria. Turbulenttinen virtaus on niin pyörteilevä, että pienet hiukkaset kulkevat jopa hetkellisesti vastavirtaan ja sivuttain edestakaisin. Laminaari virtaus on virtaviivaista, ja suoraa. (Kauranne ym. 2013, 28.)

## 5 Tuotekehitystoiminta

### 5.1 Yleistä tuotekehitystoiminnasta.

Nykyaikana tuotteita alkaa olla niin paljon, että voi olla ehkä jopa hankalaa kehittää jotain uutta. Toisaalta, laitteet alkavat olla niin monimutkaisia, että niiden kehityksen helpottamiseksi on luotu erilaisia menetelmiä. Yhden laitteen ympärillä voi olla kymmeniä ihmisiä suunnittelemassa laitteen yksittäisiä osia. On siis tärkeää, että otetaan kaikkien tarpeet huomioon heti alussa ja tuotekehityksen matkalla.

Tuotekehitys on prosessi, jonka aikana ratkaistaan joukko erilaisia ongelmia, tavoitteena on saada aikaan valmis tuote. Prosessin aikana kehitys jaetaan osiin,

joiden tarkoituksena on jakaa kehitys jälleen pienempiin osiin. Kaiken tarkoituksena on paloitella asioita ja tutkia niitä monelta kantilta, erilaisten sidosryhmien kanssa. Ilman näitä toimenpiteitä on olemassa suuri mahdollisuus, ettei kaikki tule kuulluksi eikä lopputulos tyydytä kaikkia osapuolia.

## 5.2 Työskentelymetodiikka

Rakennesuunnittelu perustuu konetekniikassa suunnittelijan kokemuksiin ja saatuun koulutukseen. Lähtökohtaisesti ratkaistessa uutta ongelmaa voi kokeenkin asiantuntijan osaaminen olla koetuksella. Ongelma voi olla hyvin monitieteellinen ja erilaisien asiantuntijoiden apua tarvitseva. Koska puhumme yleisesti hyvin monimutkaisista asioista ja erilaisten suureiden yhtälöistä, on hyvä muistaa erilaisten henkilöiden inhimillisen ajattelun erityispiirteet, sekä kyvyt ja rajoitukset. (Pahl & Beitz 1990, 17, 31–34.)

On hyvin ymmärrettävää, että suunnittelija voi olla urautunut tekemään asioita tietyllä tavalla, omalla hyväksi todetulla tyylillä. Tämä voi johtaa hyvien jopa mahtavien ideoiden toteutumatta jäämiseen. Joskus ihmismieltä täytyy herkitellä ajattelemaan toisin. On olemassa diskursiivinen työskentelytapa, jossa työskentely tapahtuu askeleittain, keskustellen, ja yhdessä arvioiden. Lopulliseen tulokseen päästään yhdistämällä tieteellinen lähestymistapa, sekä ihmisen luontainen mielikuvitus, tuomalla niitä lähemmäksi toisiaan ja sekoittamalla keskenään. On hyvä kyseenalaistaa jo keksittyä tuttua asiaa, toisaalta ei kannata mennä alueelle, jonka tiedetään johtavan harhaan. Esitetään tehtävälle heti alussa tietyt raamit, jonka sisällä ideoidaan. (Pahl & Beitz 1990, 34–36.) Esimerkiksi kuinka leveä pohjapanssari traktoriin tehdään? Lause itsessään sisältää raamin ”pohja”.

Luovaa työskentelyä voi haitata jatkuva työstä toiseen hyppääminen, kun taas portaittain etenevä suunniteltu työskentelytapa, johon liittyy tiedon hakua, ryhmätyöskentelyä keskusteluineen stimuloi luovuutta. (Pahl & Beitz 1990, 36.) On yhteisesti sovittu, että koneiden ja laitteiden kanssa työskennellessä käytämme ainetta, energiaa ja signaalia kuvaavia suureita.

### 5.3 Vaatimusluettelo

VDI 2221 mukainen tuotekehitys alkaa vaatimuslistan luomisella. Listaan kerätään mahdollisimman paljon informaatiota suunnittelijoita varten, näin jokainen saa kuvan siitä mitä olemme tekemässä. Listalla olevat asiat asettavat raamit tulevalle tehtävälle. Tällä tavoin voidaan päästä nopeasti alkuun ja mikä tärkeintä: oikeaan suuntaan kohti tavoitetta. (Pahl & Beitz 1990, 64.)

Listalla käsitellään vaatimuksia sekä toivomuksia, jotka kuvaavat kappaleen toimintoja. Vaatimukset ovat asioita, jotka tulee välttämättä ottaa huomioon rakenteessa, ja joita ilman rakenne tulee hylätä. Näitä ovat esimerkiksi mitat, pintakäsittely, paineenkesto sekä muut vastaavat asiat. Toivomukset ovat asioita, jotka helpottavat esimerkiksi huoltoa tai liikuteltavuutta. Asiat, jotka eivät olennaisesti muuta kustannuksia tai olomuotoa ja kestävyyttä mutta ovat mukava lisä kuitenkin. Erottelu täytyy tehdä myöhemmässä vaiheessa tulevan evaluoinnin vuoksi. (Pahl & Beitz 1990, 64.)

Tämä dokumentti on asiakirja, jonka puoleen jokainen projektissa oleva voi kääntyä suunnitellessaan omaa osaansa toiminnoista. Dokumentissa ei käsitellä vielä aivan yksityiskohtaisesti asioita, kuten esimerkiksi korroosionkestävyys antaa suunnittelijalle tilaa tehdä oman ammattitaidon mukaan päätöksiä, jotka johtavat lopputulokseen. Esitetty asia voi olla sanallinen tai lukuarvolla ilmoitettu. Sanallinen ilmaisu ei saa antaa kuitenkaan liian suurta epävarmuutta tehtävän lopputuloksesta. (Pahl & Beitz, 64.)

Tuotteen vaatimuslista voidaan jakaa osiin niin että jokainen osasto käsittelee oman osaamisensa alla olevia asioita. Esimerkiksi kaivinkoneessa: moottori, hydrauliliikka, runko, sähkö, hytti ja vaihteistot. Vaatimuslistaa voidaan muuttaa myöhemmässä vaiheessa, koska todennäköisesti aihealueiden rajapinnoissa tapahtuu yhteensovittamisia. Muutoksia saa tehdä ainoastaan nimetty henkilö, esimerkiksi projektinjohtaja. Vaatimuslista toimitetaan kaikille osastoille, mukaan lukien yrityksenjohto. Kun dokumentti on valmis, se on dokumentoitava asiakirja. Myöhemmässä vaiheessa jos tarvitaan tehdä päivityksiä laitteeseen,

on helppo käyttää vanhaa listaa pohjana, jonka avulla voi esittää kysymyksiä. (Pahl & Beitz 1990, 64–67.)

#### **5.4 Sopivan muunnelman valinta.**

Evaluoinnin voittaja ei välttämättä tarvitse olla luonnosten paras, vaan prosessin aikana kehitetään koko ajan. Voi käydä niinkin että, valitaan kahdesta mallista hyviä ominaisuuksia ja tehdään niistä yksi uusi malli. Suurissa rakennelmissa on mahdollista, että ratkaisuvaihtoehtoja syntyy paljon, vaikka edellisessä tehtävässä onkin raamit olemassa.

Tässä kohdassa on hyvä rajata jälleen erilaisia ratkaisuja pois esimerkiksi kustannusten vuoksi. Taulukko antaa helposti kaikille osapuolille käsityksen mitä on tapahtumassa ja mahdollisuuden vaikuttaa asiaan omalla asiantuntijuudellaan.

Tehtävän selventämiseksi luodaan taulukko, jossa ilmenee erilaisia tuotteen kannalta tärkeitä kriteerejä, rakenteen tulee olla toteutettavissa. On edelleen mahdollista saada paljon hyväksytyjä toteutettavissa olevia ratkaisuja. Jos näin käy voidaan niitä evaluoida uudelleen jatkossa, ei ole tarkoitus päättää sitä yhtä ja oikeaa. (Pahl & Beitz 1990, 134.)

Kaksi näistä kriteereistä tulee todennäköisesti olemaan sellaisia, joihin voidaan vastata: kyllä tai ei. Lisäksi voi olla sarakkeita, jotka vaativat tarkempaa tutkimusta ja perustelua arvioinnin aikaansaamiseksi. Tietoa on hankittava koska tiedonpuutteen takia hylkäystä ei voi tehdä. Jos valintavaihtoehtoja on vähän, voidaan päätös tehdä vapaamuotoisesti kriteerien mukaan. (Pahl & Beitz 1990, 134.)

#### **5.5 Suunnittelu**

Monissa yrityksissä on oma ennalta sovittu tuotekehityspolku, jota sovitusti noudatetaan. Tuotekehitystä tarvitaan osin jo senkin takia, että laitteet ja koneet

voivat koostua monista tuhansista osista, joita suunnittelee joukko ihmisiä. On helpompaa, kun kaikilla on oma tehtävä ja rajapinnoissa keskustellaan avoimesti.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tuotekehityksen vaiheeseen, jossa kehitetään jo olemassa olevaa tuotetta. Lähtökohtaisesti meillä on valittuna anturi järjestelmään, määritetään paikka, sekä kiinnitysmuoto. Kyseessä on osatoiminto, laite johon anturi on kytketty. Kokonaisuus on jaettu erilaisiin osatoimintoihin, jota kutsutaan kokonaisrakenteeksi.

## 5.6 Luovuus

Luovuudella tarkoitetaan käytännönläheistä ajattelutapaa, jossa etsitään perinteisestä poikkeavaa ratkaisua ongelmaan. Menetelmään kuuluu jokaisen tiimin jäsenen osallistuminen sekä erityisesti sitoutuminen ongelmanratkaisuun. Ratkaisuun päästäkseen ongelma täytyy olla osallistujalle mieluisa, ja tarpeellinen. (Hietikko 2015, 95–98.)

Usein asioita huomaa käsittelevänsä myös työn ulkopuolella, joskus parhaat ideat tulevat esille unissa. On siis tärkeää ymmärtää, että ideat eivät välttämättä tule juuri kun päättää keksiä jotain uutta. Usein ihmisillä on tapana ajatella ensin emotionaalisesti, vasta sitten vapautuneesti. Tällä emotionaalisella ajattelulla voidaan estää helposti vapaata ajattelua, ajatuksen virtaa, hullua luovuutta jopa kuningasajatuksia. Yrityksen vastuulla on siis tulos ja suunnittelijoiden vapaus. Ihmisille vapauksia antamalla tulee tulosta. (Hietikko 2015, 95–98.)

## 5.7 Ideoiden generointi

Ideoita pystytään luomaan tehokkaasti ajattelemalla normaalista poikkeavalla tavalla. Suunnittelijan tulisi pystyä ajattelemaan tuttuakin asiaa ikään kuin ulkopuolinen, riippumattomalla tavalla. Asiasta riippumattomaksi voi päästä esimerkiksi kysymällä itseltään erilaisia kysymyksiä kuten: miten saisin leivonnaisista

maukkaampia? (Hietikko 2015, 98.) Jos ajattelisin vain laittaa sokeria, voisin unohtaa, että hunajaa on olemassa. Ideoita voidaan kehittää myös pitämällä esimerkiksi aivoriihi, jonka aikana tiimi heittelee ajatuksia ja sparraa toinen toistaan parempiin ideoihin.

Aivoriiehen osallistuu 5-12 henkilöä noin kahden tunnin ajaksi. Ryhmän vetäjän on hyvä olla tottunut ihmistuntija, joka yrittää saada kaikki osallistumaan. Kaikki ideat kirjataan ylös kuitenkin arvioimatta niitä vielä. Ajatuksena on, että määrä tuottaa laatua. Ideat arvioidaan tämän jälkeen esimerkiksi laittamalla merkki omasta mielestä hyvän ratkaisun perään.

Jos ideoinnin aikana vastaan tulee jokin suuri ongelma, on hyvä jakaa se pienempiin osiin ja pyrkiä ratkaisemaan se sitten. Luovat persoonat pyrkivät siirtämään ajattelutoimintaa alitajunnan puolelle. Tämä voi olla joillekin tehokas tapa, mutta toisinaan ajattelu saattaa jäädä tehottomaksi unohtuessaan alitajuntaan, siitä huolimatta, että alitajunta hoitaa asiaa koko ajan. (Tuomaala 1995, 31.)

Tästä pääsee eteenpäin keskustelemalla asiasta ääneen jonkun kanssa. Keskustelun aikana saattaa huomata kuinka ongelma ratkeaa kuin itsestään. Jos näin ei tapahdu voi pyytää keskustelukumppania kysymään hyvinkin helppoja kysymyksiä aiheesta. On myös hyvä ymmärtää, että kiireestä muistuttaminen vain pahentaa asioita. (Tuomaala 1995, 31.)

Tarkoituksena on, että jokainen osallistuja voisi osallistua vapautuneesti. Jos osallistujat jännittävät tai nolostuvat jo etukäteen esittämästään asiasta, voidaan aivoriihi todeta epäonnistuneeksi. Ideoita voidaan yhdistää, ja kehittää niin pitkään, että havaitaan ongelman ja idean looginen kohtaaminen. (Pahl & Beitz 1990, 106–105.)

## 5.8 635 Metodi

Aivoriihen tyyppinen ratkaisu on menetelmä, jossa kuusi osallistujaa kirjoittaa paperille kolme ideaa, jonka jälkeen paperi annetaan vieressä olevalle. Kaveri kirjoittaa edellisen ratkaisujen jatkokehitelmiksi kolme ideaa, tätä jatketaan niin kauan, kunnes kierros on käyty läpi. (Pahl & Beitz 1990, 106.)

Metodi voi olla helppo, jos ryhmässä on hyvin introvertteja luonteita. Paperille kirjoittaminen on helpompaa kuin asioiden ääneen kertominen ja tiimin johtamiseen liittyvät ongelmat ovat käytännössä ohitettu. (Pahl & Beitz 1990, 106.)

## 5.9 Luonnostelu

Tässä vaiheessa on hyvä pitää kynä ja paperia aina lähetyvillä, koskaan ei tiedä milloin idea tuotteesta ilmenee. Toisaalta se voi kadota yhtäkkiä, jos sitä ei kirjaa ylös. Esimerkiksi taiteilijat tunnetaan persoonina, jotka käyttäytyvät normaalista poiketen, luoden silloin kun se oikea hetki on. Luonnostelu auttaa myös paremmin käsittämään mitä olemme tekemässä. Vaativinkin suunnittelu-työ parhaimmillaan on sanatonta keskustelua piirretyn aineiston ja piirtäjän välillä. (Tuomaala 1995, 44.)

# 6 Toteutus

## 6.1 Vaatimuslista

Vaatimusluetteloa (liite 1) tehdessä pidettiin kokous, jossa ideoitiin erilaisia variaatioita ja mahdollisia haasteita sekä mahdollisuuksia. Yrityksellä oli hyvin selkeä kuva mitä tehtävässä tulisi saavuttaa, näin ollen vaatimuslistan luominen oli helppoa ja selkeää, eikä sitä tarvinnut muokata jälkikäteen.

## 6.2 Morfologinen taulukko

Vaatimuslistan ja ideoinnin perusteella pystyttiin luomaan morfologinen taulukko, jossa erilaiset toiminnot on pisteytetty. Kun otetaan huomioon, ettei olla luomassa aivan uutta konetta taikka laitetta, suunnitteluprosessin lyhentäminen on luontevaa. Taulukon avulla kävi ilmi että, mittaliitäntä imuputkeen tehdään lohkokonaksi, jossa on valmiiksi tulpalla suljettu liitos. Lohkossa yhdistyy paluulinjat puomilta sekä jäähdytysöljynkierto.

## 6.3 Kytken suunnittelu

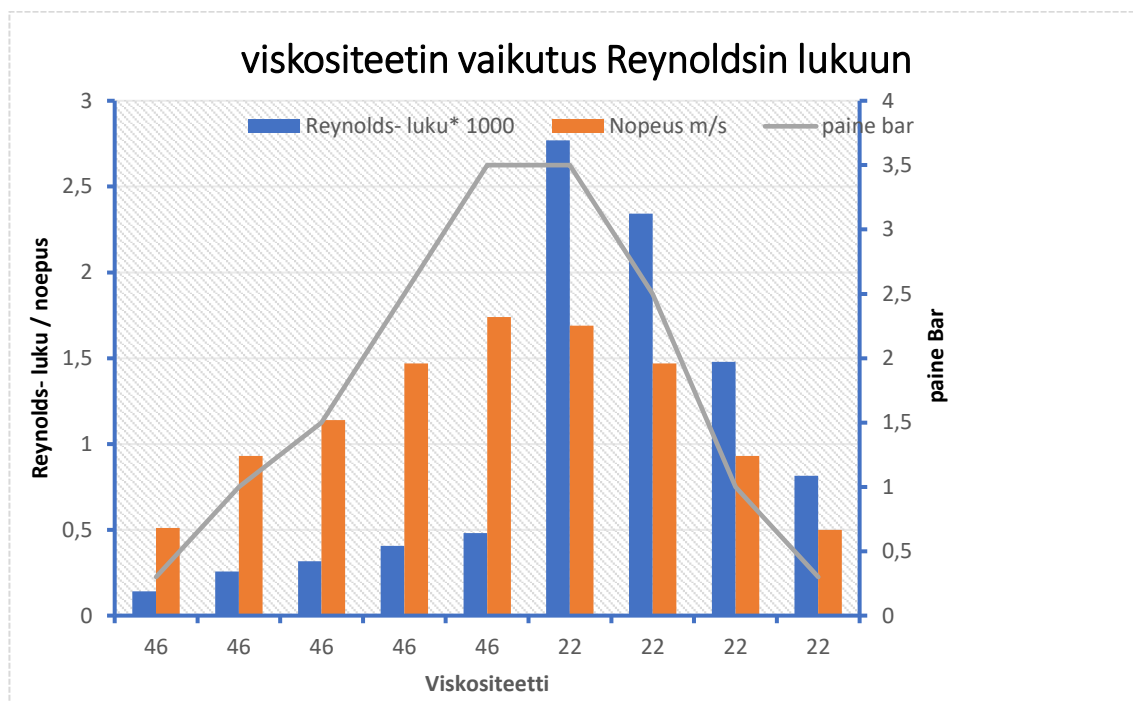
Ensi alkuun tutustuttiin koneen malliin Creo-mallinnuksen kautta. On helpompaa saada yleiskuva hydraulikan paluujärjestelmästä tällä tavalla, kun muita komponentteja ei ole peittämässä näkymää. Aluksi päätettiin mitata paluupainetta eri kohdista: ennen jäähdytintä, jäähdyttimen jälkeen ja verrannollisesti tankista vapaasta tilasta ennen imusuodatinta.

Tankin paine on siinä mielessä tärkeä tietää, että voimme asentaa paluun mahdollisimman pieneen vastapaineeseen öljypinnan alapuolella kohtaan, jossa on jo valmiiksi nipan paikka. Koeajolla hydraulioiljyn lämpötila nostettiin 40-asteeseen, jonka aikana nauhoitimme painetta Hydac-mittalaitteistolla. Jälkeenpäin dataa analysoitiin toimistolla, jossa tehtiin laskelmia paluukanavaan liitettävän sivukierron määrittämiseksi.

## 6.4 Viskositeetin vaikutuksen arvioiminen

Kaaviossa kolme näemme viskositeetin vaikutuksen öljyn käyttäytymiseen. Tästä voimme todeta, että paine tulisi olla noin 1 bar tai alle, muutoin Reynoldsin luku  $Re$  kasvaa suureksi koneen ollessa lämmin. Että  $Re$  olisi alle sallitun arvon ja tilavuusvirta  $q_v$  4l minuutissa toteutuu, tulee virtausnopeuden  $v$ , olla

alle 1m / s. Kaaviossa viskositeetti on kuvattu 40 ja 70-asteen (celsius) lämpötiloissa, ensiasennus öljyllä ISO VG 46.



Kaavio 3 viskositeetin vaikutus Reynoldsin lukuun.

Koska tulovirtakanavassa paine-ero tankkiin nähden ja tilavuusvirta vaihtelevat koneen toimintojen mukaan, on mahdotonta pysyä anturin raja-arvoissa. Säiliö tälle välille tulee tällöin tarpeeseen.

## 6.5 Pumpun ja sivuvirtauksen mitoittaminen

Lähtökohtana on ollut 4 litraa minuutissa anturin ohi, joten päädyttiin pumppuun (kuva 3), jonka tuotto on 5 litraa minuutissa. Pumppu sijoitetaan koneeseen samalle tasolle kuin liitoskohta paluulinjassa, koska siellä on sopivasti tilaa suoja-peltien alla.



Kuva 5 pumppu. (Hydac 2022)

Kun ajatellaan että säiliössä, johon pumppu tuottaa virtausta, tulisi olla mahdollisimman rauhallinen öljyn liike ilmakuplien määrän vähentämiseksi tulee tällöin virtauksen säiliöön olla rauhallinen.

Letkun halkaisija pumpulta säiliöön voidaan määrittellä kaavalla (1) jossa sopiva letkun koko on arvioitu olevan  $\frac{3}{4}$  osa tuumaa.

$$v = \frac{qv}{a} \tag{1}$$

Missä

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| $v$  | Nopeus                          |
| $a$  | Letkun poikkipinta-ala          |
| $qv$ | Tilavuusvirta Litraa minuutissa |

Kaavan (1) mukaan nopeudeksi letkussa pumpun ja säiliön välillä saadaan.

$$\frac{\frac{5l}{min}}{\pi \frac{(19 mm)^2}{4}} = 0,293 \frac{m}{s}$$

Reynoldsin luku nesteen liikkeelle pyöreissä kanavissa todetaan kaavalla (2)

$$\frac{v \cdot d}{\mu} \tag{2}$$

Missä

|       |                   |
|-------|-------------------|
| $v_1$ | virtausnopeus     |
| $d$   | Letkun halkaisija |
| $\mu$ | Viskositeetti     |

Reynoldsin luku letkussa ennen säiliötä on laskettu kaavalla, jossa huomioidaan lämpötilan olevan 70 astetta Celciusta. Tässä kohtaa halutaan huomioida suurin mahdollinen arvo, joka toteutuu viskositeetin ollessa matala.

Tarkasteltaessa pyöreitä sileäpintaisia kanavia raja-arvo turbulenttisen ja laminaarisen välillä on noin 2000-2300. Käytämme tätä raja-arvoa laskennassa. Reynoldsin luku pumpun ja säiliön välillä saadaan kaavalla (2)

$$\frac{0.657842 \frac{m}{s} \cdot 19 \text{ mm}}{\frac{2,2^{-5} m^2}{s}} = 568,136$$

Kitkavastuskertoimia laskiessa, kun todetaan että virtaus on laminaarista, voidaan käyttää yksinkertaista kaavaa (3)

$$\lambda = \frac{64}{re} \quad (3)$$

Missä

|           |                      |
|-----------|----------------------|
| $\lambda$ | Virtausvastuskerroin |
| $re$      | Reynoldsin luku      |

Voimme siis todeta, että virtaus on suhteellisen rauhallinen.

Kun olemme tekemisissä työkoneen kanssa, joutuu säiliön kokoa miettimään sijoituksen ja painon kannalta ja optimoida tankki siten sopivaksi.

Päädyimme kokoluokkaan 6 litraa, luoden sen mahdollisimman sopivaan paikkaan ja kokoon säiliötä ympäröivien komponenttien mukaan.

Helpon ja yksinkertaisen rakenteen aikaansaamiseksi päädyimme valmistamaan säiliön  $150\text{mm} \cdot 150\text{mm} \cdot 330\text{mm}$  rhs putkesta, jonka toinen pääty on avattava. Säiliön koko muotoutui kiinnityspisteen mittojen mukaan, huomioiden ulkoiset tekijät, jolloin tilavuus lasketaan kaavalla (4)

$$p \cdot l \cdot k \quad (4)$$

$$0,14\text{m} \cdot 0,14\text{m} \cdot 0,33\text{m} = 0,006468\text{m}^3$$

Joka on noin 6,5 litraa.

Säiliöstä jakautuu kaksi letkua, joista yksi letku anturille ja toinen paluulinjaksi tankkiin. Tankkilinja tarvitaan purkamaan pumpun tuottamaa ylimääräistä virtausta. Käytännössä säiliö on piste, jossa virtaus jakaantuu kahteen osaan osien virtauksen määrä todetaan kaavalla (5)

$$qv1 = qv2 + qv3 \quad (5)$$

Missä

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| $qv1$ | säiliöön menevä virtaus   |
| $qv2$ | säiliöstä lähtevä virtaus |
| $qv3$ | säiliöstä lähtevä virtaus |

Voimme tarkistaa virtaukset kaavalla (2)

$$\frac{4l}{\text{min}} + \frac{1l}{\text{min}} = 0,000083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Joka on 5 litraa minuutissa.

Seuraavaksi tulee tarkastella letkun kokoa ja mahdollisen kuristimen tarvetta paluussa ja välisäiliöstä tankkiin olevalla linjalla, missä anturi sijaitsee. Kuristimen pinta-ala saadaan laskettua kaavasta (1), muuttamalla kaava muotoon

$$a = \frac{qv}{v}$$

Jolloin

$$\frac{4l/min}{\frac{0,5m}{s}} = 0,000133m^2$$

Josta saadaan pinta-alan kaavalla halkaisijaksi 0,013 m

Puolen tuuman letkun sisähalkaisija on 12,7 mm, joka on lähimpänä saatua arvoa. Tähän linjaan ei siis tarvita kuristusta. Seuraavaksi lasketaan kuristimen koko toiselle kanavalle. Kanavan virtaus voidaan laskea rinnakkaisen kuristuksen kaavalla (6). (Kauranne ym. 2013 46–47).

$$qv1 = \frac{a1}{a1 + a2} \cdot qvt$$

(6)

Missä

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| $qv1$ | Tilavuusvirta ensimmäisessä linjassa |
| $a1$  | Pinta-ala ensimmäisessä linjassa     |
| $qvt$ | Tilavuusvirta ennen jakautumista     |
| $a2$  | Pinta-ala toisessa linjassa          |

Soveltamalla kaavaa (7) saamme tankkilinjan kuristimen pinta-alaksi:

$$1,33^{-4}m^2 \cdot \left( \frac{5l}{\frac{min}{4l}} \right) - 1 = 0,000033m^2$$

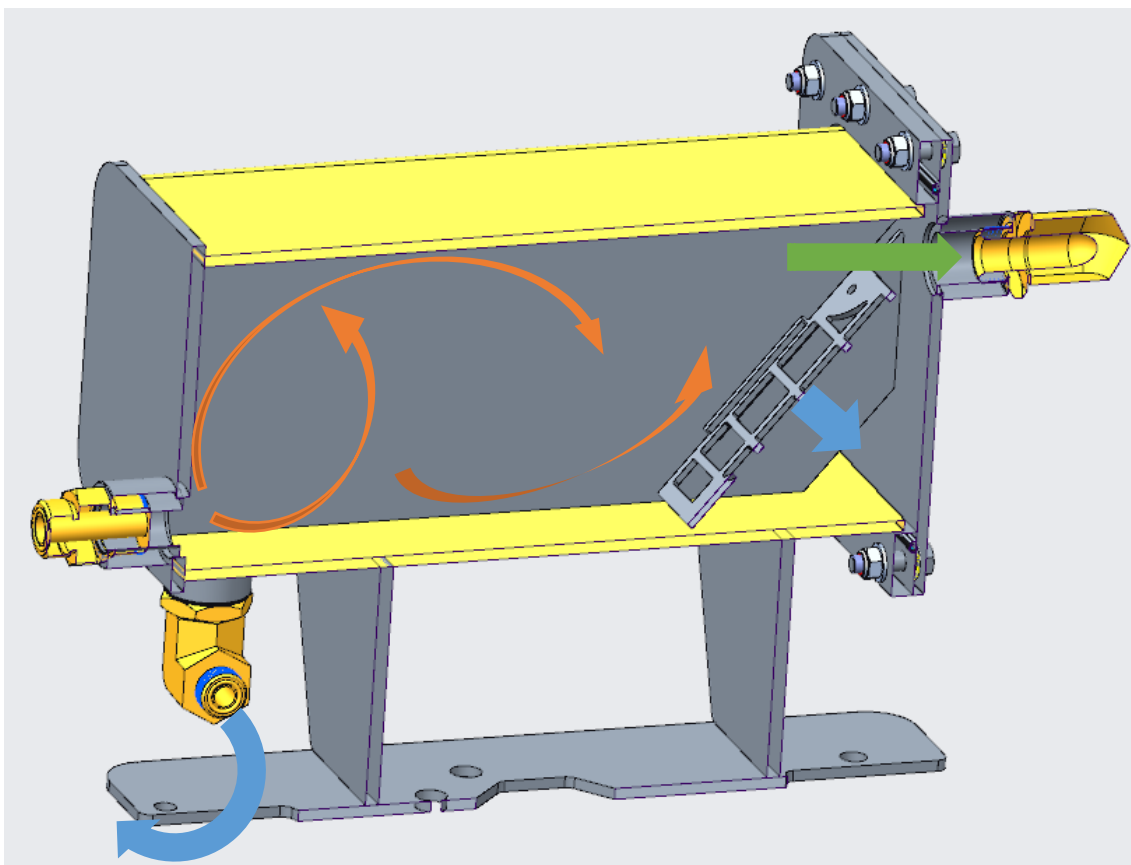
Joka on pinta-alan kaavaa soveltamalla 6,5 mm.

Molemmissa linjoissa voi siis käyttää ½ tuuman letkua.

## 6.6 Säiliön rakenne

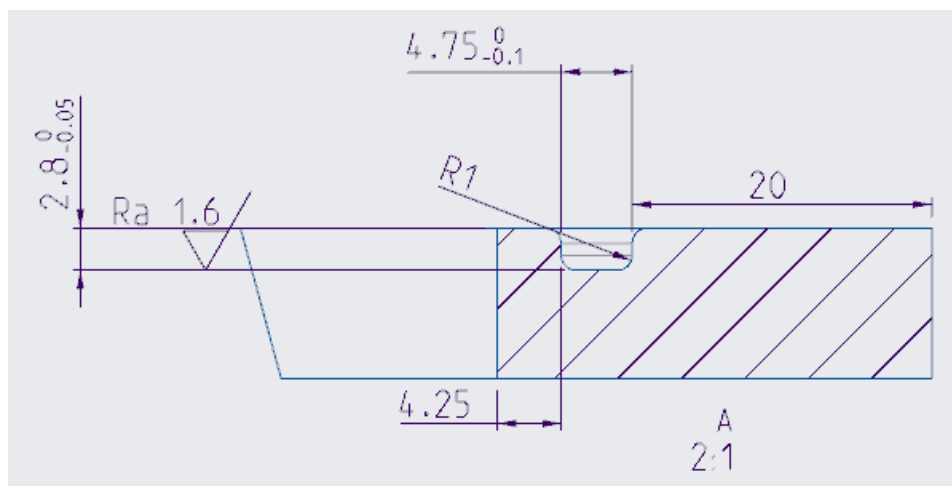
Tässä järjestelmässä ei tarvitse jäähdytystehoa, jolloin säiliön koko ja sisäinen muoto määräytyvät tilan ja ilman erottuvuuden suhteessa. RHS- putki on jaettu kahteen osaan väliseinällä. Puolivälissä tätä kiertoa on erotusverkko, jonka tarkoitus on ohjata ilmakuplat paluukanavaan.

Ilmakuplien määrää ja kokoa ei tiedetä vielä, joten verkolle luotiin alusta, johon voidaan tarpeen vaatiessa vaihtaa eri kokoisia verkkoja. Tämä mahdollistaa säiliön käytön eri konemalleissa riippumatta siitä, onko tarkkaan tiedossa, millainen ilmakuplien määrä muodostuu eri järjestelmissä. Esimerkiksi öljynlaadut, joita eri puolilla maailmaa käytetään sekä eri koneissa olevat hydraulikan rakenteet vaikuttavat olosuhteisiin. Öljynkiertoa säiliön sisällä esitetään kuvassa kuusi, missä oranssi väri indikoi sisään tulevaa, sininen anturille menevää ja vihreä, paluukiertoa tankkiin.



Kuva 6 öljysäiliön leikkaus.

Säiliön toinen pääty on hitsattu umpeen ja toinen pääty on avattava. Pääty täyttyy tiivistää, joten tiivistekksi mitoitettiin varastotavarana oleva o-rengas, ja sille ura (kuva 7). Päätylaipan oikean asennon löytämiseksi on päätyyn ja kiinnityslaippaan on tehty pieni lovi (kuva 8).

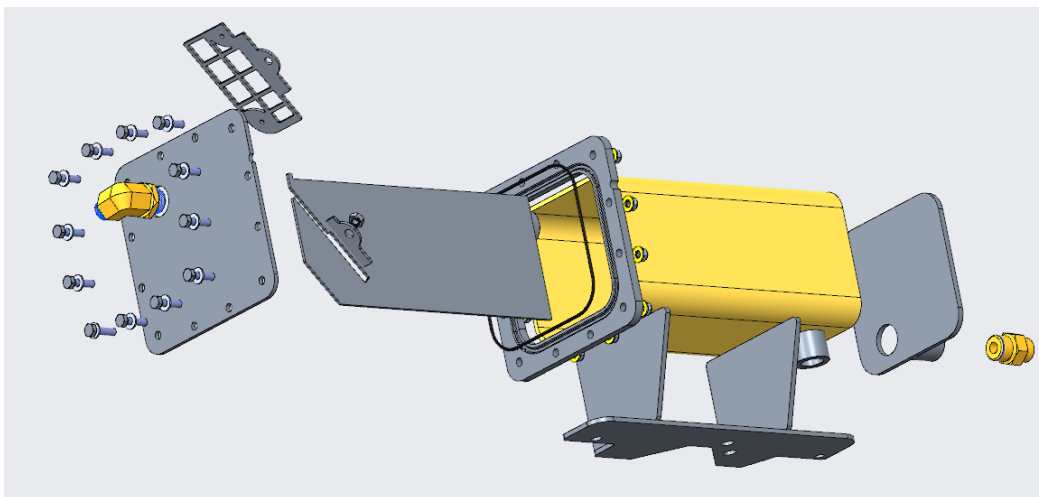


Kuva 7 O-rengasura piirustuksessa.

Nippa, jonka kautta öljy pääsee anturille, on sijoitettu säiliön alaosaan, jolloin öljy pääsee purkautumaan pois säiliöstä verkon vaihdon yhteydessä. Kuvissa viisi ja kuusi on esitetty säiliön päädyn yksityiskohtia.

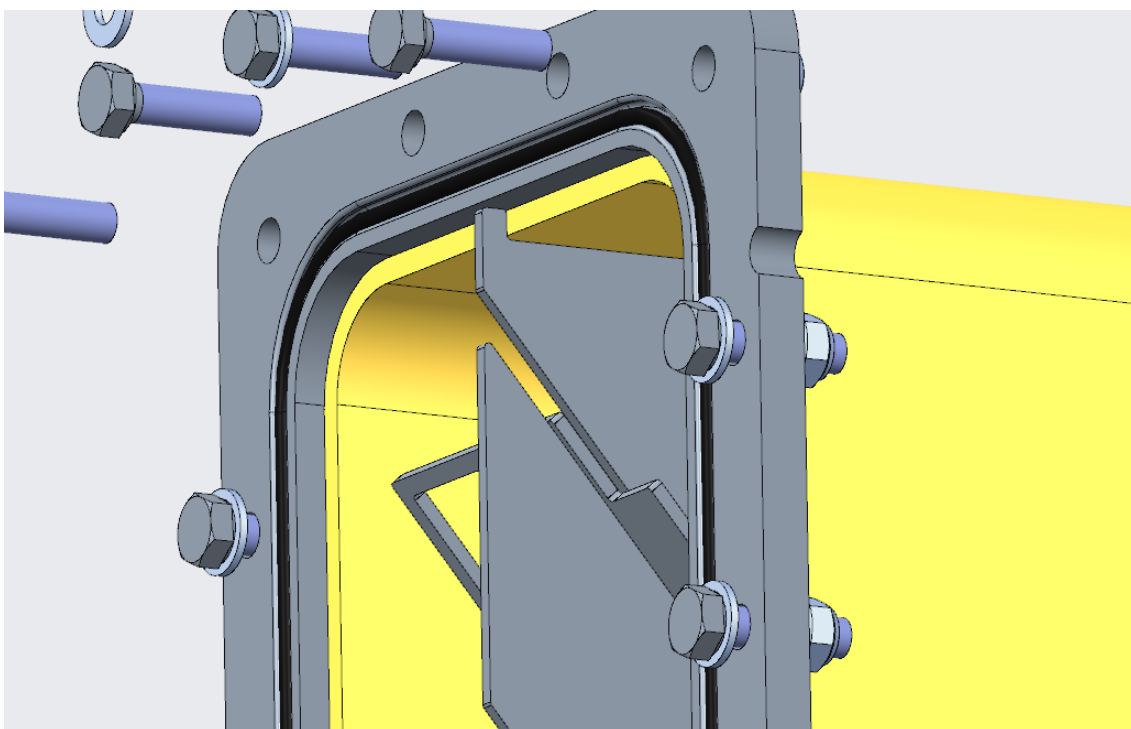
Väliseinän suunnittelussa on otettu huomioon seinän asennettavuus hitsattaessa. Väliseinässä on pieni uloke, jonka tarkoituksena on asettaa kappale oikeaan korkoon, jolloin hitsatessa on tarpeen mitata vain matka sivuseiniin.

Kuvassa kahdeksan näkyy väliverkon alustan kiinnitys. Rakenne on koitettu luoda mahdollisimman yksinkertaiseksi verkon vaihtoa ajatellen. Alustan saa pois yhden ruuvin poistamalla ja vetämällä alustaa uraa pitkin yläviistoon. Itse verkko kiinnitetään kahdella pienemmällä ruuvilla ja aluslevyillä. Verkko on 45-asteen kulmassa, joka helpottaa ilmakuplien suurenemista ja pintaan nousumista.



Kuva 8 räjäytyskuva säiliöstä.

Päätylaippa on koholla RHS-putkeen päästä, jolloin kulmaan muodostuu pienenä, joka on helppo suorittaa. Väliseinän uloke yläreunassa on samalla tasalla laipan kanssa, joka helpottaa paikoittamista. Kappaleet, jotka menevät sisäkkäin ovat suunniteltu niin, että leikkauksessa on jätetty varaa sauman tunkeumalle sekä kappaleiden asennettavuudelle.



Kuva 9 päädyn rakenne.

## 6.7 Painehäviöt järjestelmässä

Kaikissa hydraulijärjestelmissä syntyy painehäviöitä, jotka vastustavat nesteen virtausta. Tässä tapauksessa häviöt koostuvat letkun sisäseinän vastuksesta, korkeuserosta, tankin huohottimen pitämästä paineesta sekä paine-erosta kuristimen yli. Kaavan (3) mukaan saamme kitkalliset vastukset letkun sisäseinä- mistä.

$$\frac{64}{568,136} = 0,112649$$

Kuristimen yli vallitseva paine- ero lasketaan kaavalla (7)

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{qv}{cq \cdot a} \right)^2 \quad (7)$$

Missä

|            |                      |
|------------|----------------------|
| $\Delta p$ | paine-ero            |
| $\rho$     | öljyn tiheys         |
| $qv$       | tilavuusvirta        |
| $a$        | kuristimen pinta-ala |
| $cq$       | kitkavastuskerroin   |

Kaavan (7) mukaan

$$\frac{858 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left( \frac{\frac{1l}{min}}{0,611 \cdot 3,3^{-5} m^2} \right)^2 = 293,119 Pa$$

Kokonaisvastusten summalle on voimassa kaava (8)

$$\Delta p_{kok} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v \quad (8)$$

Missä

|                |                                |
|----------------|--------------------------------|
| $deltap_{kok}$ | Kokonaisvastus                 |
| $\lambda$      | Kitkalliset vastukset linjassa |
| $l$            | Linjan pituus                  |
| $d$            | Letkun halkaisija              |
| $\rho$         | Öljyn tiheys                   |
| $v$            | Öljyn nopeus                   |

Tässä vaiheessa lasketaan kaikille letkuille sekä säiliölle vastukset:

Letkulle 1 on voimassa kaava (7)

$$p_{letku1} = 0,112649 \cdot \frac{2,1m}{0,19m} \cdot \frac{858kg}{m^3} \cdot \left(0,293915 \frac{m}{s}\right)^2 = 46.1 Pa$$

Säiliössäkin on vastusta hieman, joten se täytyy ottaa mukaan laskelmiin.

Säiliön osalta Reynoldsin luku saadaan kaavalla (2). Reynoldsin lukua varten täytyy selvittää säiliön virtaus, joka saadaan kaavalla (1)

$$\frac{\frac{5l}{min}}{68,5mm \cdot 140mm} = 0,00869 \frac{m}{s}$$

Reynoldsin lukua varten muutetaan neliöputken pinta-ala ympyrän halkaisijaksi käyttämällä kaavaa (9)

$$\sqrt{\frac{a \cdot 4}{\pi}} \quad (9)$$

Missä

a           Rhs-palkin sisäleikkauksen pinta-ala, josta on vähennetty väliseinän paksuus.

Säiliön Reynoldsin luku pätee kaavalla (8) ja (9)

$$0,00869 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{0,00959 m^2 \cdot 4}{\pi}} = 43,6477$$

Säiliön kitkalliset vastukset saadaan kaavalla (3)

$$\frac{64}{43,6477} = 1,46629$$

Säiliön kokonaisvastuksille on voimassa kaava (8)

$$\text{deltap}_{\text{säiliö}} 1,46629 \cdot \frac{330 \text{ mm} \cdot 2}{0,110501} \cdot \frac{868 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left(0,00869 \frac{m}{s}\right)^2 = 0,283723 \text{ Pa}$$

Käytännössä voidaan siis todeta, ettei säiliössä ole merkittävää vastusta. Letkulle, joka haarautuu säiliöstä anturille, Reynoldsin luvulle on voimassa kaava (2), käytämme tästä nimeä  $\text{pletku}_a$

$$\frac{0,5 \frac{m}{s} \cdot 12,7 \text{ mm}}{\frac{2,2^{-5} m}{s}} = 288,36$$

Samalle letkulle kitkallisen vastuksen kerroin on voimassa kaavalla (3)

$$\frac{64}{288,36} = 0,225197$$

Letkun kokonaisvastukselle on voimassa kaava (7).

$$\text{pletku}_a = 0,225197 \cdot \frac{1,2 m}{0,127 m} \cdot \frac{858 kg}{2} \cdot \left(0,526273 \frac{m}{s}\right)^2 = 50252,8 \text{ Pa}$$

Seuraavaksi lasketaan vastukset letkulle, joka haarautuu paluukierroksi. Tämän letkun päässä on kuristin virtauksen rajoittamiseksi, käytämme tälle nimitystä  $p_{letku_k}$

Nopeudeksi letkulle on voimassa kaava (1)

$$\frac{\frac{1l}{min}}{\pi \cdot \frac{(0,0127m)^2}{4}} = 0,131568 \frac{m}{s}$$

Reynoldsin luvulle on voimassa kaava (2)

$$\frac{0,131568 \frac{m}{s} \cdot 12,7 \text{ mm}}{\frac{2,2^{-5}m^2}{s}} = 75,9506$$

Kitkallisen vastuksen laskemiseksi on voimassa kaava (3)

$$\frac{64}{75,9506} = 0,842653$$

Kokonaisvastukseksi letkulle on voimassa kaava (7).

$$p_{letku_k} = 0,842653 \cdot \frac{1,2m}{0,127m} \cdot \frac{858kg}{2} \cdot \left(0,131568 \frac{m}{s}\right)^2 = 59,1 \text{ Pa}$$

Nyt kun järjestelmän tuottamat vastukset ovat tiedossa, voimme laskea kokonaispainehäviöt järjestelmästä.

$$deltap + p_{letku_1} + deltap_{säiliö} + p_{letku_a} + p_{letku_k} = 605,4 \text{ Pa}$$

## 7 Pumpun teho

Järjestelmän tarvittavaa tehoa laskettaessa on voimassa jatkuvuusyhtälön Kaava, kaava (10).

$$p_1 \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 + p_{tf} = \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + p_f + t_p \quad (10)$$

Missä

|          |   |
|----------|---|
| $p_1$    | Paine pumpun kaulalla                   |
| $\rho$   | Öljyn tiheys                            |
| $v_1$    | Nopeus ennen pumppua                    |
| $g$      | Putoamiskiihtyvyys                      |
| $h_1$    | Pumpun imukorkeus                       |
| $p_{tf}$ | Pumpun paine-ero                        |
| $v_2$    | Nopeus pumpun jälkeen                   |
| $h_2$    | Korkeus jolle neste on tarkoitus nostaa |
| $p_f$    | Painehäviöt linjastossa                 |
| $t_p$    | Tankkipaine                             |

$$\begin{aligned} 20kPa \cdot 858 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{0,5m}{s}\right)^2 + 858 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \\ = 858 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{0,5m}{s}\right)^2 + 858 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2m \cdot 605,4 Pa + 30_{kPa} \end{aligned}$$

Josta saamme selville, että pumpun imu ja painepuolella on erilaiset paineet.

$$p_{tf} + 30214,5Pa = 148973 Pa$$

Kun vähennämme imupuolella olevan paineen, joka on yhtäläisyysmerkin vasemmalla puolella tarvittavasta paineesta yhtäläisyysmerkin oikealla puolella, saamme selville pumpun tarvittavan tehon.

$$p_{tf} = 118759 Pa$$

Tehoa laskettaessa on huomioitu pumpun olevan samalla korkeudella imuliitännän kanssa, tällöin tältä osuudelta ei tule imupaineen aiheuttamaa tehontarvetta. Pumpun tarvitsema tehon tarve lasketaan kaavalla (11)

$$p_{otto} = \frac{ptf \cdot qv}{\eta} \quad (11)$$

Missä

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| $p_{otto}$ | Tarvittava teho: Wattia |
| $ptf$      | Pumpun paine-ero        |
| $qv$       | Tilavuusvirta           |
| $\eta$     | Pumpun hyötysuhde       |

$$\frac{118759 \text{ Pa} \cdot \frac{5 \text{ l}}{\text{min}}}{90\%} = 11 \text{ W}$$

Pumpun teknisiin tietoihin verrattuna teho riittää tässä tapauksessa. Tarvittava teho kertoo myös siitä, etteivät kanavat ole liian pieniä mikä aiheuttaisi turhaa energian hukkaa.

## 8 Lopputulos

Tuloksena on kustannustehokas kompaktin kokoinen lisälaitte, jolla öljyn laatua voidaan mitata reaaliajassa anturin toimittajan asettamissa puitteissa. Laitte voidaan asentaa kaikkiin kohteisiin, joissa pumpun imukanavan paine ei ylitä 0,5 bar-mikä on pumpun vaatimus tässä tapauksessa.

Jatkossa on mahdollista selvittää olisiko olemassa pumppua, joka kestää painepiikit öljyn ollessa kylmää kuten kaaviosta 1 ilmenee. Tai mahdollisesti käyttää laitetta vasta kun järjestelmä on lämmennyt tarvittavaan arvoon. Tämän voisi toteuttaa aktivoitumaan automaattisesti koneen parametreilla. Tässä

kokoluokassa 24 V-pumppua, joka kestää jatkuvaa käyttöä sekä painetta imu-  
kaulalla, sekä lisäksi olisi pakkasenkestävä on ollut haastava löytää.

## 9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli määritellä paikka hydraulioiljyn laatuanturille.  
Prosessin aikana muistui mieleen virtausopin menetelmät, jotka olivat jo koulu-  
aikana mielenkiintoisia. Työn aikana, virtausoppia sai harjoittaa enemmän ja se  
on ollut mielenkiintoa ylläpitävä aihe. Toinen merkittävä aihe mielestäni oli tuo-  
tekehitysoppi. Moni asia mitä siitä olen lukenut, on kirjoitettu vuosikymmeniä sit-  
ten, mutta ajatukset ovat hyvin ajankohtaisia.

Yhtenä vaatimuksena oli määritellä ilmakuplien vaikutus anturiin ohi virtaavassa  
öljyssä. Tämä osoittautui suureksi haasteeksi, ja työtä muutettiin niin että ilma-  
kuplien mahdollinen vaikutus minimoidaan muilla tavoin.

Jatkoa ajatellen, mikäli laite tulee koekäytön jälkeen tuotantoon, tekisin vielä an-  
turin liitännän kuten raskaassa teollisuudessa on ollut tapana. Tuolloin öljyssä  
olevien ilmakuplien määrää voidaan vielä pienentää entisestään. Tämänlai-  
sessa asennuksessa tulisi huomioida pumpun paineenkestävyys imupuolella,  
sekä ilmakuplien vaikutus pumpun kestoikään.

Kokonaisuutena prosessi on edennyt hyvin, vaikkakin alkuvaihe oli kovin nopea,  
minkä jälkeen täytyi hidastaa tahtia muiden tehtävien vaatiessa aikaa. Tuona ai-  
kana ajatukset saivat aikaa sopivasti asettua. Kaiken kaikkiaan työ on ollut  
opettavainen. Ajattelutyössä on annettava aikaa itselle ja haettava oikea lähde  
tietoa varten.

## 10 Lähteet

- Anttonen, P., Holmila, A., Jortikka, V-M., Julku, M., Jåfs, R., Kakko, J., Kallio, P., Lahtinen, J., Luomala, V., Luotamo, J-P., Nurmi, T., Näivä, J., Rinkinen, J., Vainio, K., Ylönen, V. 2018. Öljyn kunnossapito. Helsinki: Promaint.
- Deltafluid. 2022. Monitoring in line. <https://www.deltafluid.com/fluidcare/en/product/monitoring-in-line/>. 05.10.2022.
- Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: BoD-Books on Demand.
- Hydac. 2023. <https://www.hydac.com/shop/fi-fi/3013893>. 04.01.2023.
- Hydrotechnik. 2022. product catalog. [https://www.hydrotechnik.com/fileadmin/hydrotechnik/download/HT\\_Catalog.pdf](https://www.hydrotechnik.com/fileadmin/hydrotechnik/download/HT_Catalog.pdf). 06.10.2022.
- Kauranne, J., Kajaste, J., Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. Helsinki: Sanna Pro.
- Leyers, J. 2018. General Industry. How to avoid electrostatic discharges in hydraulic oils. <https://www.q8oils.com/general-industry/electrostatic-discharges-hydraulic-oils/>. 17.09.2022.
- Lindner, M. 2013. Oil Condition Monitoring Using Electrical Conductivity. <https://>. 14.10.2022.
- Mantsinen Group. 2022. Mantsinen Group. <https://mantsinen.com/fi/mantsinen-group/>. 16.09.2022.
- Mähönen, H. 2022. Mantsisen matka maailmalle. Keuruu: Otavan kirjapaino oy.
- Noria Corporation. 2022. Automatic Particle Counters for Fluid Contamination Control. <https://www.machinerylubrication.com/Read/351/particle-counters>. 05.10.2022.
- Opetushallitus. 2022. voiteluaineet: lisäaineet. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_e04\\_voiteluaineet\\_lisa-aineet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e04_voiteluaineet_lisa-aineet.html). 06.10.2022.
- Pahl, G., Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: WSOY.
- Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Jyväskylä: Gummerus.

## Vaatusluettelo

| Muutos<br>Pvm. | KV, VV, T |  |
|----------------|-----------|--|
| 28.10.2022     | vv        | Materiaali   |
|                |           | Hydrauliputki imuputkeen ja tarvittavat letkut eteenpäin.    |
| 28.10.2022     | T         | Aikataulu  |
|                |           | Suunnitelmat valmis joulukuun alkuun.                        |
| 28.10.2022     | KV        | Geometria  |
|                |           | Painemittapisteeseen asennus                                 |
| 28.10.2022     | KV        | Komponentit  |
|                |           | Mantsinen toimittaa tarvittavat materiaalit.                 |
| 28.10.2022     | KV        | Piirustukset ja suunnitelmat                                 |
| 28.10.2022     | T         | Optiot   |
|                |           | Painemittapiste sekä öljynäytteenottopiste samassa lähdössä. |
| 28.10.2022     | V         | Paluukierto  |
|                |           | Tankkiin, öljypinnan alapuolelle.                            |
| 28.10.2022     | V         | Virtaus anturin ohi  |
|                |           | Tasainen laminaari virtaus.                                  |

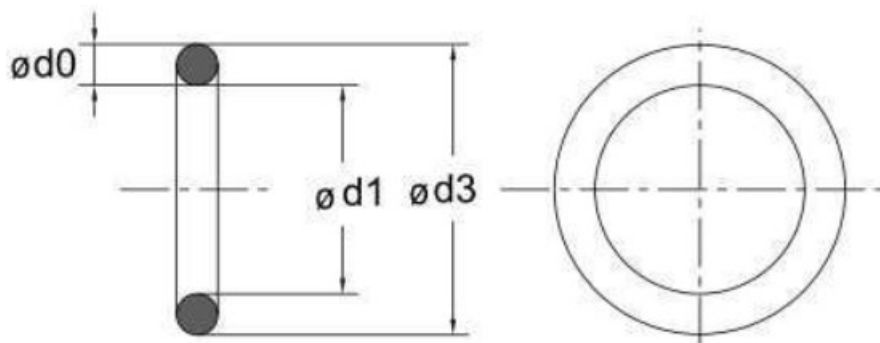
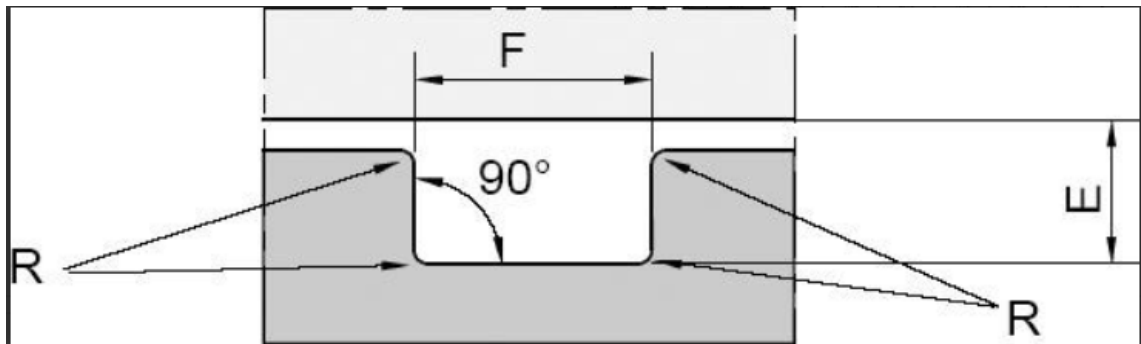
## Morfologinen taulukko

|                     |                                 |                                       |   |   |   | Valintalista anturin kiinnitykselle. |  |   |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|--|---|
|                     |                                 |                                       |   |   |   |                                      | Sum.   |   |
|                     |                                 | Helppo asennus                        |   |   |   |                                      |  |   |
|                     |                                 | Vaatuslistan mukainen                 |   |   |   |                                      |  |   |
|                     |                                 | Mantsinen Oy mielipide                |   |   |   |                                      |  |   |
|                     |                                 | Virtauslaskelmien mukaan mahdollista. |   |   |   |                                      |  |   |
| Ratkaisuvaihto ehto |                                 | A                                     | B | C | D | Huomioita.                           |  |   |
| 1                   | Kiinnitys                       | Mittapisteeseen                       | x | x | x | x                                    |  | 4 |
|                     |                                 | Kierretävä kiinnitys                  | x | x |   | x                                    |  | 4 |
|                     |                                 | Laippakiinnitys                       |   |   |   | x                                    |  | 1 |
| 2                   | Hanan paikka                    | Ennen anturia                         | x |   |   |                                      | Totesimme ettei hana ole tärkeä.                                   | 1 |
|                     |                                 | Anturin jälkeen                       | x |   |   |                                      |  | 1 |
| 3                   | Paluukierto                     | Tankkiin                              | x | x | x | x                                    |  | 4 |
|                     |                                 | Paluuputkeen                          |   |   |   |                                      |  |   |
| 4                   | Asennuspaikka                   | Mittapisteeseen                       | x | x | x | x                                    |  | 4 |
|                     |                                 | Blokissa joka yhdistää paluuputket    | x | x | x | x                                    |  | 4 |
|                     |                                 | Juuri ennen paluusodatinta            |   | x |   | x                                    |  | 2 |
|                     |                                 | Paluuputken alimmassa kohdassa        |   | x |   | x                                    |  | 2 |
| 5                   | Vaihtoehtoinen asennuspaikka    | Tankin sisällä                        |   |   |   |                                      | Konemallissa M60 Tämä ei ole mahdollista.                          | 0 |
|                     |                                 | Kotelovuotolinjassa                   | x | x | x | x                                    | Laitamme myöhemmässä vaiheessa, jos paluulinjan laitteisto toimii. | 4 |
| 6                   | Lisäpumppu ulkoiselle kierrolle | Asennetaan                            | x | x | x | x                                    |  | 4 |

## Pumpun tekniset tiedot

### Operation Data

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Operating pressure           | max. 10 bar  |
| Pressure at the suction port | <ul style="list-style-type: none"> <li>● max. -0.4 bar suction underpressure</li> <li>● max. 0.5 bar overpressure</li> </ul>                                 |
| Medium                       | Mineral oil to DIN 51524 Part 1 and Part 2   |
| Permissible contamination    | ≤ NAS 12   |
| Temperature of medium        | -20 °C to +80 °C for mineral oil   |
| Viscosity                    | See characteristic curves  |
| Ambient temperature          | -20 °C to +40 °C   |
| Mounting position            | No restrictions  |
| RPM                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● min. 1,000 rpm</li> <li>● max. 2,000 rpm</li> </ul> Direction of rotation – right-turning (view of motor fan wheel) |
| Drive (only MFZP)            | Drive type: electric motor<br>Current type: three-phase current<br>For power and voltage see model code<br>Protection class: IP 55<br>Insulation class: F    |
| Volumetric efficiency        | >90% (at $v = 40 \text{ mm}^2/\text{s}$ )  |

**O-rengasuran mitoittaminen**

| O-renkaat        | Uran mitoitus               |                                   |                                 |                             |                   |                  |                     |             |                   |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------|-------------------|
|                  | Dynaaminen käyttö           |                                   |                                 |                             | Staattinen käyttö |                  |                     |             | Pyörityssäde<br>R |
|                  | Poikki-<br>leikkaus<br>mm Ø | Uran<br>syvyys<br>E +0,00<br>0,05 | Uran leveys F +0,10 -0,00       |                             | Laippatiiviste    |                  | Muu staattiset osat |             |                   |
|                  |                             |                                   | Edestakainen<br>F +0,10<br>0,00 | Pyörivä<br>F +0,10<br>-0,00 | Uran syvyys       | Uran leveys      | Uran syvyys         | Uran leveys |                   |
| E +0,00<br>-0,05 |                             |                                   |                                 |                             | F +0,10           | E +0,00<br>-0,05 | F +0,10             |             |                   |
| 1,00 - 1,02      | 0,81                        | 1,57                              | 1,20                            | 0,88                        | 1,57              | 0,73             | 1,30                | 0,2         |                   |
| 1,20             | 1,00                        | 1,80                              | 1,40                            | 0,82                        | 1,80              | 0,88             | 1,60                | 0,2         |                   |
| 1,25 - 1,27      | 1,04                        | 1,85                              | 1,45                            | 0,85                        | 1,85              | 0,92             | 1,70                | 0,2         |                   |
| 1,30             | 1,10                        | 1,90                              | 1,50                            | 0,88                        | 1,90              | 0,95             | 1,80                | 0,2         |                   |
| 1,42             | 1,16                        | 2,08                              | 1,60                            | 0,96                        | 2,08              | 1,03             | 2,00                | 0,2         |                   |
| 1,50 - 1,52      | 1,24                        | 2,16                              | 1,70                            | 1,02                        | 2,16              | 1,10             | 2,20                | 0,2         |                   |
| 1,60 - 1,63      | 1,30                        | 2,20                              | 2,10                            | 1,10                        | 2,20              | 1,15             | 2,20                | 0,5         |                   |
| 1,78             | 1,45                        | 2,40                              | 2,30                            | 1,20                        | 2,40              | 1,30             | 2,30                | 0,5         |                   |
| 1,83             | 1,50                        | 2,45                              | 2,35                            | 1,20                        | 2,45              | 1,30             | 2,40                | 0,5         |                   |
| 1,98 - 2,00      | 1,60                        | 2,70                              | 2,50                            | 1,50                        | 2,70              | 1,55             | 2,40                | 0,5         |                   |
| 2,08             | 1,70                        | 2,75                              | 2,50                            | 1,60                        | 2,75              | 1,65             | 2,50                | 0,5         |                   |
| 2,21             | 1,80                        | 3,00                              | 2,55                            | 1,70                        | 3,00              | 1,75             | 2,70                | 0,5         |                   |
| 2,40             | 2,10                        | 3,25                              | 2,70                            | 1,90                        | 3,25              | 2,00             | 2,90                | 0,5         |                   |
| 2,46             | 2,15                        | 3,30                              | 2,75                            | 1,95                        | 3,30              | 2,00             | 3,00                | 0,5         |                   |
| 2,50             | 2,20                        | 3,40                              | 2,80                            | 2,00                        | 3,40              | 2,05             | 3,10                | 0,5         |                   |
| 2,62             | 2,30                        | 3,60                              | 2,90                            | 2,10                        | 3,60              | 2,20             | 3,20                | 0,5         |                   |
| 2,75             | 2,45                        | 3,70                              | 3,10                            | 2,20                        | 3,70              | 2,30             | 3,40                | 0,5         |                   |
| 2,95 - 3,00      | 2,65                        | 4,05                              | 3,35                            | 2,40                        | 4,05              | 2,50             | 3,70                | 0,5         |                   |
| 3,15             | 2,85                        | 4,25                              | 3,50                            | 2,50                        | 4,25              | 2,60             | 3,90                | 0,5         |                   |
| 3,50 - 3,53      | 3,10                        | 4,80                              | 3,90                            | 2,80                        | 4,80              | 2,90             | 4,30                | 1,0         |                   |
| 4,00             | 3,55                        | 5,50                              | 4,35                            | 3,30                        | 5,50              | 3,50             | 4,60                | 1,0         |                   |
| 4,50             | 4,00                        | 6,20                              | 4,90                            | 3,70                        | 6,20              | 3,90             | 5,20                | 1,0         |                   |
| 5,00             | 4,40                        | 6,80                              | 5,50                            | 4,10                        | 6,80              | 4,30             | 5,70                | 1,0         |                   |
| 5,33             | 4,80                        | 7,20                              | 5,80                            | 4,40                        | 7,20              | 4,60             | 6,10                | 1,0         |                   |
| 5,50             | 4,95                        | 7,50                              | 6,30                            | 4,55                        | 7,50              | 4,70             | 6,30                | 1,0         |                   |
| 5,70             | 5,15                        | 7,80                              | 6,35                            | 4,70                        | 7,80              | 4,80             | 6,50                | 1,0         |                   |
| 6,00             | 5,40                        | 8,20                              | 6,70                            | 4,95                        | 8,20              | 5,20             | 6,90                | 1,0         |                   |
| 6,30 - 6,35      | 5,55                        | 8,60                              | 7,00                            | 5,20                        | 8,60              | 5,30             | 7,10                | 1,0         |                   |
| 7,00             | 6,10                        | 9,50                              | 7,80                            | 5,80                        | 9,50              | 5,90             | 8,00                | 1,5         |                   |
| 8,00             | 7,20                        | 10,80                             | 8,90                            | 6,70                        | 10,80             | 6,80             | 9,30                | 1,5         |                   |
| 8,40             | 7,55                        | 11,40                             | 9,40                            | 7,00                        | 11,40             | 7,20             | 9,60                | 1,5         |                   |
| 10,00            | 9,00                        | 13,70                             | 11,20                           | 8,30                        | 13,70             | 8,50             | 11,40               | 1,5         |                   |
| 12,00            | 10,40                       | 16,40                             | 13,40                           | 10,00                       | 16,40             | 10,20            | 13,70               | 1,5         |                   |