

Mikko Hietamäki

**TARKKUUSROTAATIOVISKOSIMETRIN SUUNNITTELU JA  
VALMISTUS**

**TARKKUUSROTAATIOVISKOSIMETRIN SUUNNITTELU JA  
VALMISTUS**

Mikko Hietamäki  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Mikko Hietämäki  
Opinnäytetyön nimi: Tarkkuusrotaatioviskosimetrin suunnittelu ja valmistus  
Työn ohjaaja: Helena Tolonen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018  
Sivumäärä: 31 + 9 liitettä

---

Työssä suunniteltiin tarkkuusrotaatioviskosimetri Oulun ammattikorkeakoulun fysiikan insinööriopiskelijoille laboratoriotöihin. Työn tilaajana oli fysiikan opettaja Hannu Sarkkinen. Fysiikan laboratorioon haluttiin valmistaa entistä tarkempi viskosimetri.

Työssä tutkittiin, miten rotaatioviskosimetrit toimivat, ja sen perusteella suunniteltiin rotaatioviskosimetrin toimintaperiaatteet. Suunnittelussa otettiin huomioon lähtötiedot ja vaadittavat tarkkuudet eri komponenteille. Teorialaskuista saaduilla tuloksilla määritettiin komponenttien koot, joiden pohjalta tehtiin suunniteltu kokoonpano. Tarkkuusrotaatioviskosimetrin suunnittelun apuna käytettiin kirjallisuutta ja internetlähteitä, joista selvitettiin rotaatioviskosimetrin toiminta ja siihen liittyvät teoriat.

Suunnittelun pohjalta rakennettiin toimiva rotaatioviskosimetri. Valmistamisessa hyödynnettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloja ja siellä olevia laitteita. Valmistus aloitettiin osien saatavuuden selvittämisestä. Osien valmistukseen käytettiin koululta hankittuja raakamateriaaleja ja kaupasta ostettuja osia. Osat valmistettiin sorvilla, 3D-printtauksella, vesileikkuukoneella ja CNC-laitteilla. Osien viimeistely tehtiin maalaamalla, hiomalla ja hiekkapuhaltamalla.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimiva rotaatioviskosimetri ja työohje fysiikan insinööriopiskelijoille. Projekti ei onnistunut tuottamaan oletettua tarkkuutta vaativaa viskosimetriä, mutta laite on käytössä opetuksen ohella.

---

Asiasanat: viskositeetti, rotaatioviskosimetri, koneensuunnittelu

## **ALKULAUSE**

Tämä insinöörityö on tehty kevään 2017 aikana ja viimeistelty kevään 2018 alussa. Työssä valmistettiin tarkkuusrotaatioviskosimetri Oulun ammattikorkeakoulun fysiikan laboratorion käyttöön. Laite tukee toisen vuoden fysiikan insinööriopiskelijoiden opiskelua. Työn tilaaja oli lehtori Hannu Sarkkinen ja ohjaava opettaja oli lehtori Helena Tolonen. Laite valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa, jossa apuna olivat laboratorioassistentti Lassi Kaivosoja, laboratorioinsinööri Tomi Tuononen ja laboratorioteknikko Jari Mahlakaarto. Kiitos työssä auttaneille henkilöille.

28.3.2018

Mikko Hietämäki

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 ROTAATIOVISKOSIMETRIN PERIAATTEET	8
2.1 Viskositeetti	8
2.2 Yleistä rotaatioviskosimetreistä	8
2.3 Tarkkuusrotaatioviskosimetri	9
2.4 Rotaatioviskosimetrilaskut	9
2.4.1 Dynaaminen viskositeetti	10
2.4.2 Leikkausnopeus	10
2.4.3 Leikkausjännitys	10
2.4.4 Kinemaattinen viskositeetti ja lämpötila	11
2.4.5 Kulmanopeus	13
2.4.6 Momentti	13
2.4.7 Viskositeetin kaava	14
2.5 Laitteen oleelliset mitat ja niiden tarkkuudet	14
3 SUUNNITTELU	15
3.1 Esitiedot	15
3.2 Arduino	15
3.2.1 Rakoanturi ja kiekko	15
3.2.2 Lämpöanturi	16
3.3 Kehikko	16
3.4 Narupunnus ja kelat	17
3.5 Astia	18
3.6 Akseli ja sen kiinnitys	18
4 VALMISTUS	20
4.1 Osat ja niiden valmistus	20
4.2 Kokoonpano	23
5 TESTAUS	25
5.1 Mittaustulokset	26

5.1.1 Mitatut arvot	26
5.1.2 Pysyvät arvot	26
5.2 Dynaaminen viskositeetti	27
5.3 Tulosten vertaaminen	27
5.4 Jatkokehittäminen	28
6 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30
LIITTEET	
Liite 1 Työohje	
Liite 2 Tarkkuusrotaatioviskosimetrin käyttöohjeet	

# 1 JOHDANTO

Tässä työssä suunnitellaan, valmistetaan ja koekäytetään tarkkuusrotaatioviskosimetri, joka toimii opetuskäytössä toisen vuoden insinööriopiskelijoille fysiikan opetuslaboratoriossa. Työn on tilannut Oulun ammattikorkeakoulun fysiikan opettaja Hannu Sarkkinen.

Työssä tutustutaan erilaisten rotaatioviskosimetricien toimintaan ja käyttöön. Viskosimetrin suunnittelussa otetaan huomioon pyörimisnopeuden määrittäminen ja lämpötilan mittaaminen sekä tutkitaan mahdollisuutta nesteen lämmittämiseen. Työhön valitaan valmistettavuudeltaan ja tekniikaltaan sopivimmat ratkaisut.

Viskosimetri suunnitellaan ja toteutetaan niin, että laite on helposti liikuteltavissa ja kestää toistuvaa käyttöä mittatarkkuutensa säilyttäen. Laitteella tutkittavan nesteen tulee olla helposti vaihdettavissa ja laitteen osien täytyy olla tarkasti mitattavissa. Opiskelijoille tehdään myös työhöje tulevia opetuskertoja varten.

## 2 ROTAATIOVISKOSIMETRIN PERIAATTEET

### 2.1 Viskositeetti

Viskositeetti ilmenee missä tahansa nesteessä, ja esittää yleisesti nesteen pak-suutta. Tieteellisesti viskositeetti ilmentää nesteen kykyä vastustaa objektien lii-kettä nesteen läpi ja siinä esiintyviä eri nopeudella kulkevia alueita. Laskennalli-  
sesti viskositeetti tarkoittaa leikkausjännityksen suhdetta leikkausnopeuteen. (1.)

Yleensä kun viskositeetistä on kyse, tarkoitetaan sillä dynaamista viskositeettia. On myös olemassa kinemaattista viskositeettiä, joka kuvaa nesteen dynaamisen viskositeetin ja sen tiheyden suhdetta. Tässä työssä keskitytään dynaamisen viskositeetin määrittämiseen. (1.)

Dynaamisen viskositeetin yksikkö on Pa\*s. Yksikkö itsessään on liian suuri ku-vaamaan yleisiä viskositeetin arvoja ja siksi käytetty yksikkö on 1 mPa\*s. Esimerkiksi veden viskositeetti on 1,0020 mPa\*s 20 °C:ssa ja tavallisimpien tutkittavien nesteiden arvot vaihtelevat 1 - 1 000 mPa\*s välillä. (1.)

Viskositeetin arvo vaihtelee lämpötilan mukaan. Lämpötilan noustessa nesteet ovat juoksevampia ja viskositeetin arvo pienenee. Lämpötilan laskiessa nesteet jähmettyvät ja viskositeetin arvo kasvaa. Lämpötilan vaikutus viskositeettiin on huomattava, ja siksi viskositeetin arvot ilmaistaan tietyssä lämpötilassa. (1.)

### 2.2 Yleistä rotaatioviskosimetreistä

Rotaatioviskosimetrejä on kahdenlaisia sen mukaan, mikä osa laitteessa pyörii suhteessa toiseen. Couetten toimintaperiaatteessa nesteastiaa pyöritetään ja sylinteri pysyy paikallaan. Tämä tekniikka ei ole yleisessä käytössä. Searlen toimintaperiaatteessa sylinteriä pyöritetään ja nesteastia pysyy paikallaan. Searlen toimintaperiaate on käytössä useimmissa rotaatioviskosimetreissä. (2.)

Rotaatioviskosimetreissä viskositeetin määrittäminen perustuu sylinterin ja astian pintojen keskeiseen liikkeeseen. Pinnat liikkuvat vastakkaisiin suuntiin toisiinsa nähden. Nesteen ominainen viskositeetti pyrkii hidastamaan pintojen liikettä sitä enemmän, mitä suurempi viskositeetti on. (3.)



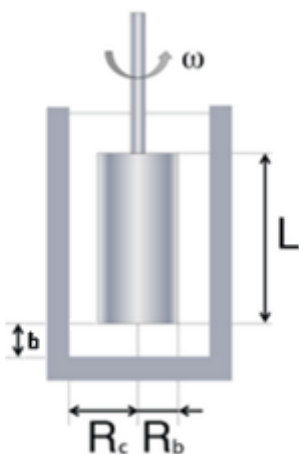
Kaupallisessa käytössä olevat viskosimetrit vaihtelevat käyttötarpeen mukaan. Niiden ominaisuuksia ovat lämpötilan mittaaminen, nesteen lämmittäminen ja vaihteleva pyörimisnopeus. Niiden toiminta perustuu moottorin tarvitseman vääntömomentin ja akselin pyörimisnopeuden tutkimiseen. Pyörimisnopeus saadaan selville mittaamalla akseliin kiinnitettyä kiekkoa optisella sensorilla. (2.)

### 2.3 Tarkkuusrotaatioviskosimetri

Suunniteltavan rotaatioviskosimetrin tärkein ominaisuus on sen tarkkuus. Tarkkuuteen vaikuttavat komponenttien mitat, mittatyövälineet, lämpötilavaihtelut ja sylinterin pyörimisnopeus. Liian nopea pyörittäminen voi aiheuttaa turbulenssia nesteessä keskipakovoiman takia (2). Tarpeeksi hitailla nopeuksilla nesteen virtaus on laminaarista eli nesteen partikkelien ajatellaan liikkuvan suoraviivaisesti liikkeen suuntaan (2). Siksi suunniteltu kulmanopeus rajoitetaan 3 s:iin/kierros, jolloin virtauksen oletetaan olevan laminaarista.

### 2.4 Rotaatioviskosimetrilaskut

Viskositeetin määrittämiseen tarvitaan useampi arvo systeemistä. Näihin kuuluvat muun muassa astian sisäsäde  $R_c$ , sylinterin kulmanopeus  $\omega$ , sylinterin säde  $R_b$  ja nesteen korkeus sylinterillä  $L$  (2). Viskositeetin arvoon vaikuttaa myös sylinterin ja nesteastian sisäpinnan keskeinen pohjaväli  $b$  (4). Kuvasta 1 nähdään viskositeetin määrittämiseen tarvittavia mittoja.



KUVA 1. Astian ja sylinterin dimensiot (2)

### 2.4.1 Dynaaminen viskositeetti

Dynaaminen viskositeetti kuvaa nesteen kykyä vastustaa liikettä. Se saadaan laskettua kaavasta 1 (2).

$$\tau = \eta\gamma \quad \text{KAAVA 1}$$

$\eta$  = dynaaminen viskositeetti (Pa\*s)

$\tau$  = leikkausjännitys ( $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ )

$\gamma$  = leikkausnopeus ( $\frac{1}{\text{s}}$ )

### 2.4.2 Leikkausnopeus

Leikkausnopeus kuvaa nestepartikkelin kulmanmuutosta ajan funktiona (5, s. 36). Seinämän ja pohjan leikkausnopeudet saadaan laskettua kaavoilla 2 ja 3 (4).

$$\gamma_a = \frac{\omega \times R_b}{R_c - R_b} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$\gamma_b = \frac{\omega \times r}{b} \quad \text{KAAVA 3}$$

$\gamma_a$  = seinämään liittyvä leikkausnopeus

$\gamma_b$  = pohjaan liittyvä leikkausnopeus

$r = R_b$  = pohjasäde (m)

$b$  = astian ja sylinterin keskeinen pohjaväli (m)

$\omega$  = sylinterin kulmanopeus ( $\frac{1}{\text{s}}$ )

$R_b$  = sylinterin säde (m)

$R_c$  = nesteastian sisäsäde (m)

### 2.4.3 Leikkausjännitys

Leikkausjännitys kuvaa tangenttivoiman suhdetta pinta-alaan (5, s. 35). Seinämän ja pohjan leikkausjännitykset saadaan johdettua kaavasta 4 (4).

$$F = \tau A = \eta\gamma A \quad \text{KAAVA 4}$$

$\tau_a = \eta\gamma_a$

$\tau_b = \eta\gamma_b$

$F$  = nesteeseen kohdistuva voima (N)

$A$  = tapauskohtainen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$\tau_a$  = seinämään liittyvä leikkausnopeus ( $\frac{1}{s}$ )

$\tau_b$  = pohjaväliin liittyvä leikkausnopeus ( $\frac{1}{s}$ )

#### 2.4.4 Kinemaattinen viskositeetti ja lämpötila

Kinemaattinen viskositeetti kuvaa nesteen sisäistä kykyä vastustaa liikettä. Työssä käytetyn öljyn dynaaminen viskositeetti saadaan laskettua kinemaattisen viskositeetin avulla käyttäen kaavaa 5. (6.)

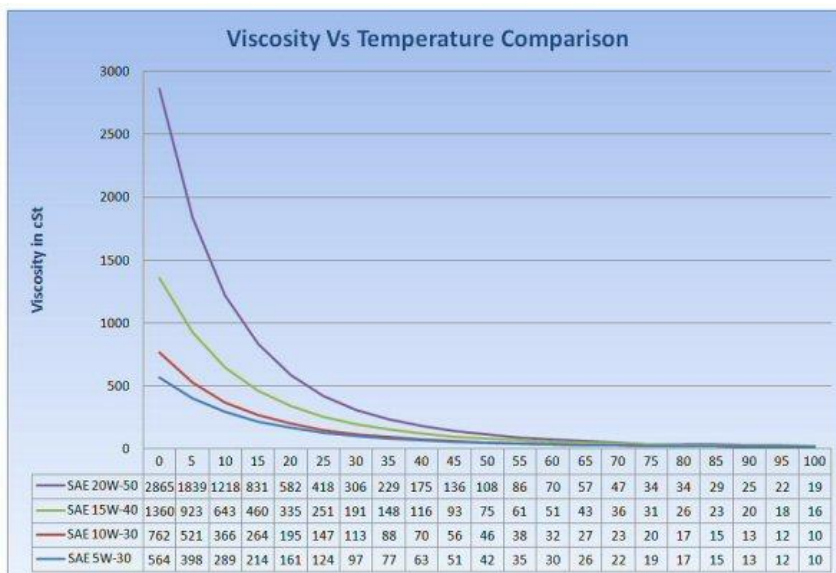
$$\eta = \nu \rho$$

KAAVA 5

$\nu$  = kinemaattinen viskositeetti ( $\frac{\text{mm}^2}{s} = \text{cSt}$ )

$\rho$  = nesteen tiheys ( $\frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$ )

Tutkittavan öljyn SAE 20W-50 kinemaattinen viskositeetti on  $582 \frac{\text{mm}^2}{s}$  20 °C:ssa (7). Kuvasta 2 arvioidaan viskositeetin muuttuvan lineaarisesti 20:n ja 25 °C:n välillä. Kaavalla 6 saadaan selvitettyä muutoksen määrää.



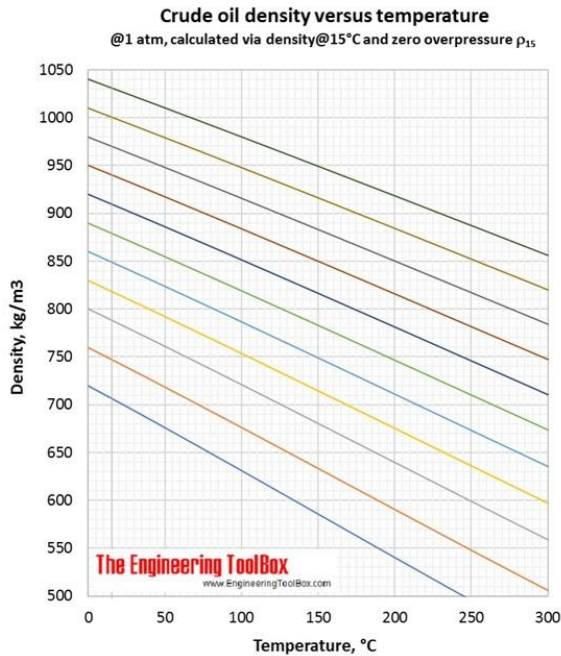
KUVA 2. Lämpötilan vaikutus kinemaattiseen viskositeettiin (7)

$$\frac{\Delta \nu}{\Delta T} = \frac{\nu_{25} - \nu_{20}}{(25 - 20) ^\circ C} = \frac{(418 - 582) \frac{\text{mm}^2}{s}}{5 ^\circ C} = -32,8 \frac{\text{mm}^2}{^\circ C}$$

KAAVA 6

$\frac{\Delta \nu}{\Delta T}$  = kinemaattisen viskositeetin muutos lämpötilan suhteen ( $\frac{\text{mm}^2}{^\circ C}$ )

Kaavassa 7 on käytetty kuvan 3 mukaisia arvoja. Siitä nähdään tiheyden muuttuvan lineaarisesti lämpötilan suhteen. Tutkittavan öljyn SAE 20W-50 tiheys on  $883 \frac{g}{mm^3}$  20 °C:ssa (8).



KUVA 3. Tiheyden suhde lämpötilaan (9)

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta T} = \frac{\rho_{15} - \rho_0}{(15 - 0)^\circ C} = \frac{(880 - 890) \frac{g}{mm^3}}{15^\circ C} = -\frac{2}{3} \frac{\frac{g}{mm^3}}{^\circ C}$$

KAAVA 7

Kaavojen 6 ja 7 avulla voidaan laskea dynaamisen viskositeetin arvo eri lämpötiloissa.

$$\eta(T) = (v_{20} + ((T - 20^\circ C) * \frac{\Delta v}{\Delta T})) * (\rho_{20} + ((T - 20^\circ C) * \frac{\Delta \rho}{\Delta T}))$$

KAAVA 8

$T$  = tutkittavan nesteen lämpötila (°C)

$v_{20}$  = SAE 20W-50 -öljyn kinemaattinen viskositeetti 20 °C:ssa

$\rho_{20}$  = SAE 20W-50 -öljyn tiheys 20 °C:ssa

$$\eta(20) = (582 \frac{mm^2}{s} + ((20^\circ C - 20^\circ C) * -32,8 \frac{\frac{mm^2}{s}}{^\circ C})) * (883 \frac{g}{mm^3} + ((20^\circ C - 20^\circ C) * -\frac{2}{3} \frac{\frac{g}{mm^3}}{^\circ C}))$$

$$\eta(20) = \left(582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} + 0\right) * \left(883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} + 0\right) = 0,5139 \text{ Pa} * \text{s}$$

$\eta(20)$  = öljyn dynaaminen viskositeetti 20 °C:ssa

### 2.4.5 Kulmanopeus

Kulmanopeuden selvittämisessä käytetään hyväksi Arduinolta saatua pulssitie-toa, jonka perusteella saadaan selville sylinterin kulmanopeus. Kulmanopeus tarkoittaa kierrosten suhdetta aikaan. Kulmanopeus lasketaan kaavalla 9 (6, s. 304).

$$\omega = 2\pi f \quad \text{KAAVA 9}$$

$$\omega = \text{kulmanopeus} \left(\frac{1}{\text{s}}\right)$$

$$f = \frac{1}{n} = \text{taajuus} \left(\frac{1}{\text{s}}\right)$$

$$n = \text{kierrosaika (s)}$$

### 2.4.6 Momentti

Leikkausjännityksen laskussa tarvittava punnuksen aiheuttama momentti saadaan kaavoilla 10 - 11. Momenttia laskettaessa täytyy ottaa huomioon kiihtyvyyden arvo ja vaikuttava säde, joka on akseliin liitettävän lankakelan säde. Momentti saadaan laskettua punnuksen massan, lankakelan säteen ja kiihtyvyyden avulla. Punnuksen ollessa vapaapudotuksessa siihen vaikuttaa putoamiskiihtyvyys. Momentti lasketaan kaavoilla 10 ja 11 (7, s. 729 - 733).

$$F = ma \quad \text{KAAVA 10}$$

$F$  = punnuksen aiheuttama voima (N)

$$M = FR_a$$

$$a = g = \text{putoamiskiihtyvyys} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$M = mgR_a = M_a + M_b \quad \text{KAAVA 11}$$

$M$  = punnuksen aiheuttama momentti (Nm)

$m$  = punnuksen paino (kg)

$R_a$  = lankakelan säde (m)

$$M_a = F_a R_b = \tau_a A_a R_b = \eta \frac{\omega \times R_b}{R_c - R_b} \times 2\pi R_b L \times R_b = \eta \frac{2 \times \pi \omega \times R_b^3 \times L}{R_c - R_b}$$

$$M_b = \eta \frac{\pi \omega \times R_b^4}{2b}$$

$M_a$  = seinämän vaatima momentti (Nm)

$M_b$  = pohjan vaatima momentti (Nm)

$L$  = nesteen korkeus sylinterillä (m)

### 2.4.7 Viskositeetin kaava

Aikaisempien laskujen avulla saadaan viskositeetti laskettua kaavalla 12.

$$\eta = \frac{nmgR_a}{2\pi^2 R_b^3 \left( \frac{R_b}{2b} + \frac{2L}{R_c - R_b} \right)} \quad \text{KAAVA 12}$$

### 2.5 Laitteen oleelliset mitat ja niiden tarkkuudet

Mittausvirheen arvoon vaikuttaa käytettävä mittausväline. Putoamiskiihtyvyyden arvona käytetään Oulun arvoa (12). Putoamiskiihtyvyyden arvo oletetaan tarkaksi.

Valmistuksessa asetetut arvot ja niiden mittatarkkuudet ovat seuraavat:

- sylinterin säde  $R_b = (0,0900 \pm 0,0001)$  m
- nesteastian sisäsäde  $R_c = (0,0920 \pm 0,0001)$  m
- pohjaväli  $b = (0,0400 \pm 0,0001)$  m
- putoamiskiihtyvyys  $g = 9,8224 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Massan tarkkuuteen vaikuttaa käytetty puntari. Kierrosajan tarkkuus on yhtä kuin Arduinon päivitysnopeus. Arvot ovat esimerkkinä ja mitatut arvot poikkeavat näistä.

Mitattavat arvot ovat seuraavat:

- nesteen korkeus sylinterillä  $L = (0,080 \pm 0,005)$  m
- punnuksen massa  $m = (0,500 \pm 0,001)$  kg
- lankakelan säde  $R_a = (0,0400 \pm 0,0001)$  m
- kierrosaika  $n = (3,000 \pm 0,010)$  s
- lämpötila  $T = (20,0 \pm 0,5)$  °C

## **3 SUUNNITTELU**

### **3.1 Esitiedot**

Tarkkuusrotaatioviskosimetrin suunnittelussa täytyy ottaa huomioon osien mitat ja niiden tarkkuus. Viskositeetin laskentatarkkuuteen vaikuttaa usea valmistettava komponentti ja tulokset vaihtelevat suunnittelu-, valmistus- ja mittausvaiheissa.

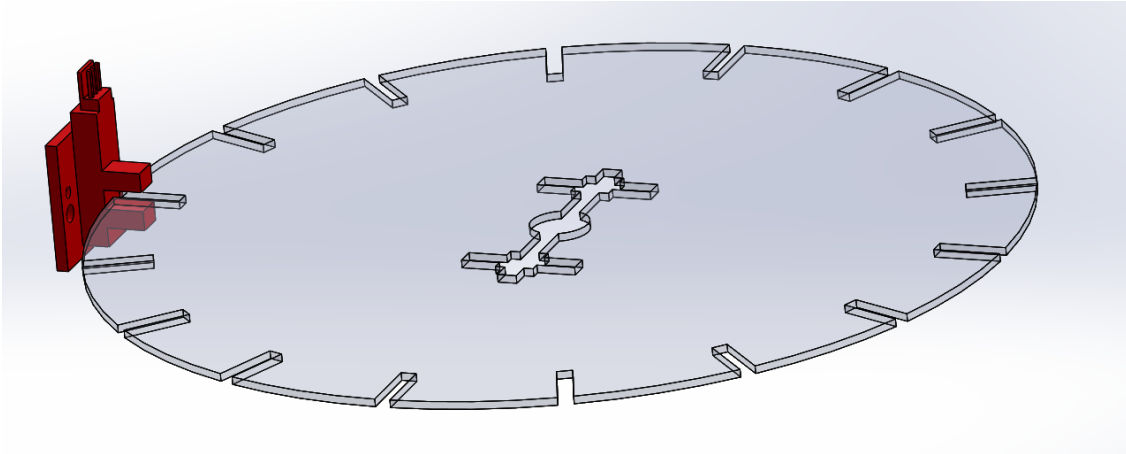
Viskositeettia mitatessa täytyy laskuissa ottaa huomioon mittatyökalujen tarkkuus, joka vaikuttaa lopputulokseen. Tällöin komponentit täytyy suunnitella riittävän kokoisiksi, jotta tuloksen tarkkuus säilyy. Valmistettavien komponenttien mitat eivät tule vastaamaan täydellisesti suunniteltuja mittoja ja siksi epätarkkuus lisääntyy.

### **3.2 Arduino**

Tarvittavat mittaustiedot saadaan kahdelta anturilta. Valoanturi mittaa sylinterin pyörimisnopeutta ja lämpöanturi mittaa tutkittavan nesteen lämpöä. Lämpöanturi on sijoitettu nesteastian ulkokehälle. Antureista saadut tiedot menevät Arduinon kautta tietokoneelle. Saadut arvot käsitellään Excelissä ja niistä lasketaan kiekon pyörimisnopeus.

#### **3.2.1 Rakoanturi ja kiekko**

Rakoanturin tehtävänä on mitata sylinterin pyörimisnopeutta. Se saadaan selville mittaamalla akseliin liitettyä kiekkoa, joka on rei'itetty koko reunan pituudelta tietyin välimatkoin. Rakoanturi havaitsee kiekkoon tehdyt reiät ja ilmoittaa niistä Arduinolle vaihtelevalla jännitteellä. Kiekon kiinnitys toteutettiin 3D-tulostamalla osat, jotka lukitsevat kiekon akseliin. Käytetty anturi on Sharpin optinen anturi GP1A05. Kuvasta 5 näkee anturin ja kiekon suhteen toisiinsa. Kiekko kiinnittyy akseliin keskellä olevien reikien avulla.



*KUVA 5. Kiekko ja rakoanturi*

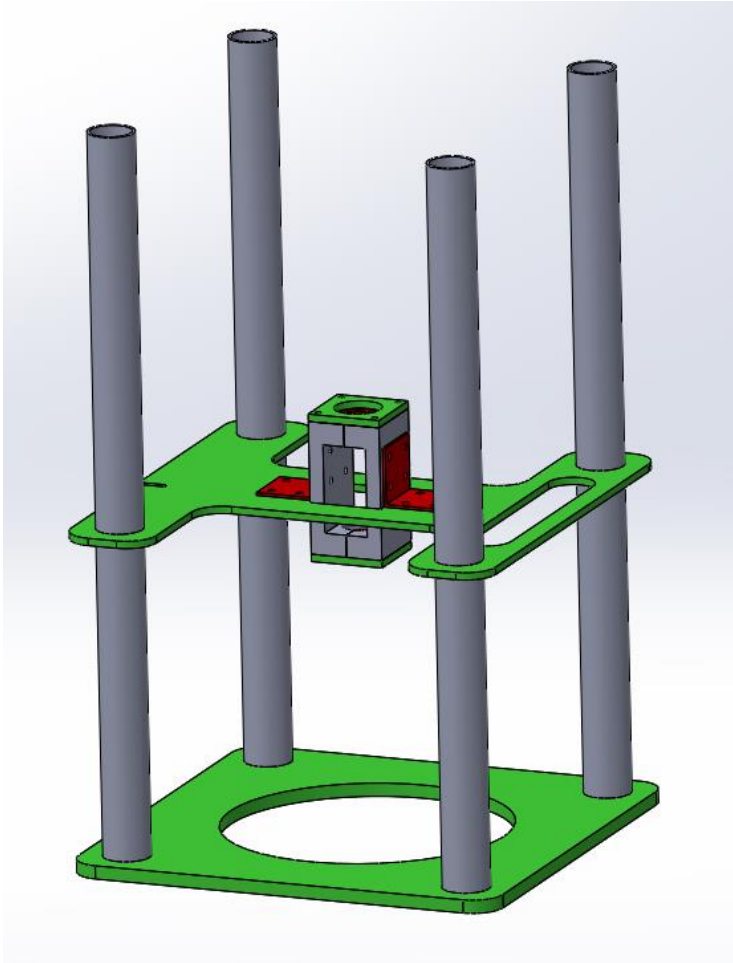
### **3.2.2 Lämpöanturi**

Lämpöanturin tehtävä on mitata nesteen lämpötilaa havaintokerran alussa ja lopussa. Sylinterin pyörittäminen lämmittää tutkittavaa nestettä. Tässä työssä lämpenemisen oletetaan olevan vähäistä eikä sitä oteta huomioon. Lämpötilaa käytetään viskositeetin laskemiseen. Käytettävä anturi on Dallasin digitaalinen lämpötila-anturi DS18B20.

### **3.3 Kehikko**

Rotaatioviskosimetrin kehikon suunnittelu alkoi komponenttien sijoittelusta. Suunnittelussa otettiin huomioon vaadittavat ominaisuudet, kuten vaihdettava neste ja tarvittavat mittaukset. Kehikosta suunniteltiin kaksi eri versiota, jotka erosivat sillä, kuinka nesteastia vaihdetaan ja miten mittauksia tehdään. Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa komponentit sijaitsevat levyllä. Levyä nostamalla päästään käsiksi nesteastiaan ja sylinteriin. Kuvasta 6 nähdään kehikon eri komponentit. Kehikko koostuu pohja- ja kattolevystä ja pystyputkista.

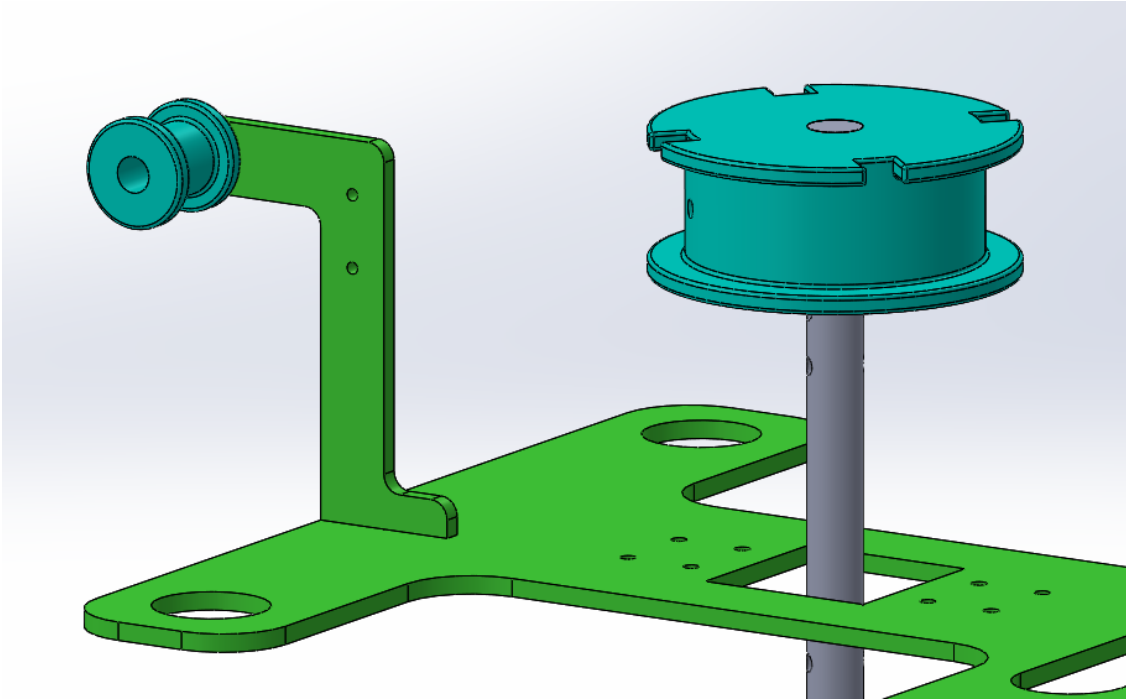




*KUVA 6. Kehikon komponentit*

### **3.4 Narupunnus ja kelat**

Suunnitteluvaiheessa tehdyissä laskuissa saatiin määriteltyä punnuksen paino ja lankakelojen halkaisijat. Näiden tietojen perusteella alettiin suunnitella komponentteja ja niiden tukirakenteita. Lankakelojen suunnittelussa täytyi ottaa huomioon niiden valmistustapa, kiinnitystapa ja yleinen sijoittelu, jotta lankapunnusyhdistelmä pääsisi vapaasti putoamaan putoamiskihtiyyden vaikutuksesta. Keloista tehtiin myös tarpeeksi suuret, jotta lanka ei kiertyisi liikaa kelojen ympärille. Kuvassa 7 nähdään komponentit suunnitteluvaiheessa.



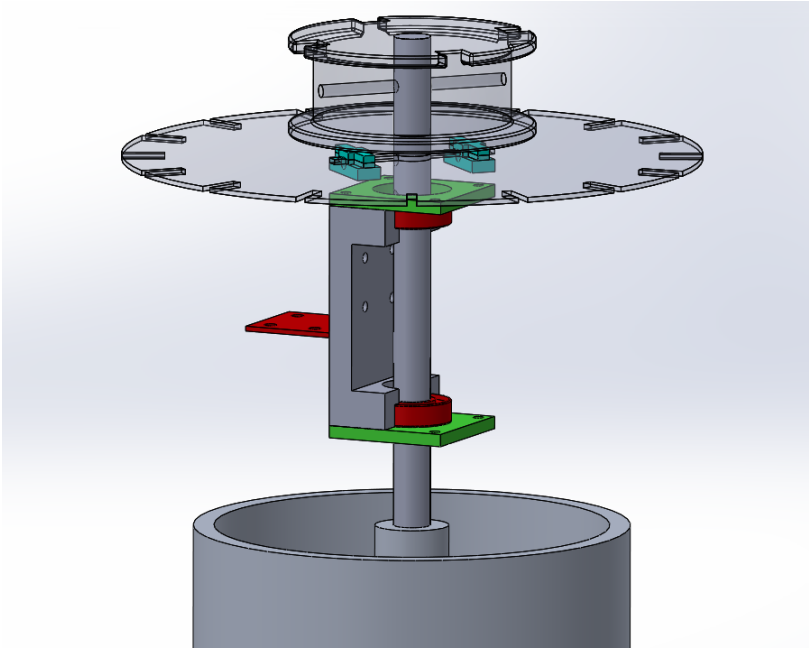
*KUVA 7. Suunnitellut kelat ja niiden sijainti*

### **3.5 Astia**

Astian suunnitteluun kului paljon aikaa sen kriteerien vuoksi. Astian täytyi olla mahdollisesti läpinäkyvä ja tarpeeksi suuri mittatarkkuuden parantamiseksi. Sopivaa astiaa etsittiin kaupoista ja samalla tutkittiin sen valmistamista. Valmiit kaupasta saatavat astiat olivat joko liian kalliita tai niiden mittatarkkuus oli kyseenalaista, joten astia päätettiin valmistaa Oulun ammattikorkeakoulun tiloissa. Astia toteutettiin yhdistämällä pohjalevy ja putki. Näin astiasta saatiin mittatarkka, mutta läpinäkyvyyttä ei voitu toteuttaa.

### **3.6 Akseli ja sen kiinnitys**

Akselin suunnittelussa huomioitiin akseliin kiinnittyvät komponentit ja niiden mitat. Koululta hankitut kuulalaakerit määrittivät akselin halkaisijan. Kuulalaakerit sijoitettiin riittävälle etäisyydelle toisistaan, jotta punnuksesta aiheutuva vääntö ei vaikuttaisi akseliin. Akselin pituus määritettiin sylinterin, laakereiden ja lankakelan mukaan. Sylinterin kiinnitys toteutettiin akseliin tehdyillä kierteillä. Muut komponentit kiinnitettiin poraamalla reikiä akseliin suunnitelluille kohdille. Kuvasta 8 näkee akselin ja siihen kiinnitetyt komponentit.



*KUVA 8. Akseli ja liittyvät komponentit*

## 4 VALMISTUS

### 4.1 Osat ja niiden valmistus

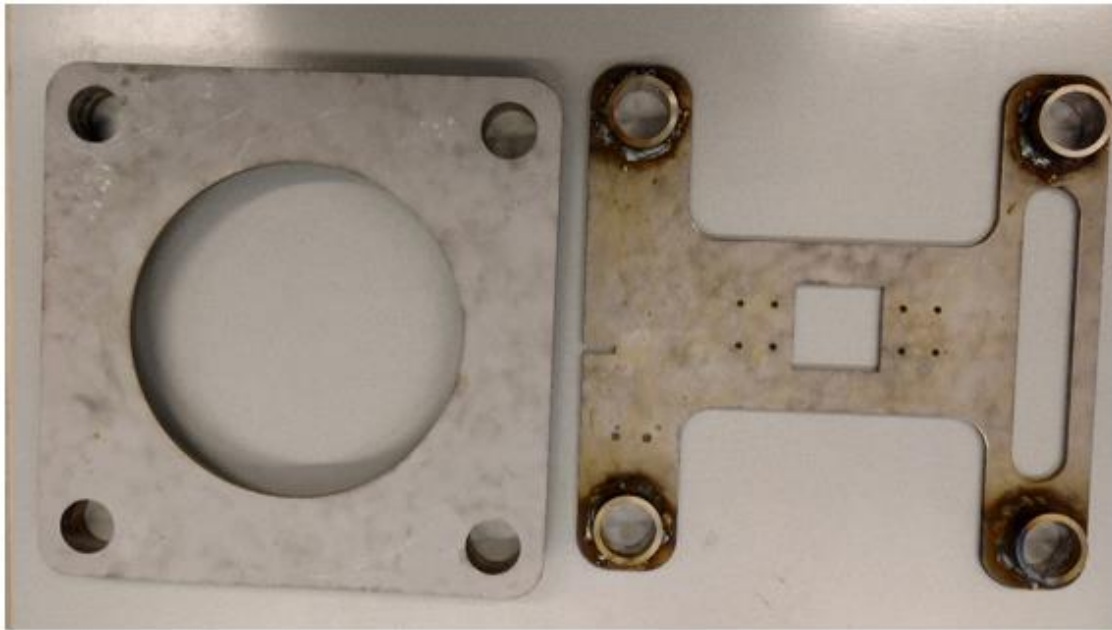
Valmistusvaihe aloitettiin selvittämällä, mitä komponentteja voitaisiin valmistaa koululta saatavista materiaaleista. Laitteessa käytetty Arduino Uno ja siihen liitettävät sensorit saatiin koululta. Viskosimetrin nesteastia ja sylinteri tilattiin paikalliselta jälleenmyyjältä putkena ja tankona. Nämä saatiin lopulliseen muotoon koulussa työstämällä CNC-koneella. Loput viskosimetrin komponenteista valmistettiin koulun tiloissa. Komponenttien valmistus tapahtui vaiheittain. Kuvasta 9 näkee laitteen osat eri työstövaiheissa.



*KUVA 9. Laitteen osat eri vaiheissa*

Ensimmäisenä valmistettiin laitteen pohja- ja kattolevy. Materiaalina oli S355-rakenneteräs. Osien 3D-piirrosten pohjalta luotiin tiedostot vesileikkuukoneelle, joissa määritettiin työstöradat, materiaalitiedot ja työstöparametrit. Tässä vaiheessa huomattiin nesteastian ja pohjalevyn suunnittelussa tullut mittavirhe, joka

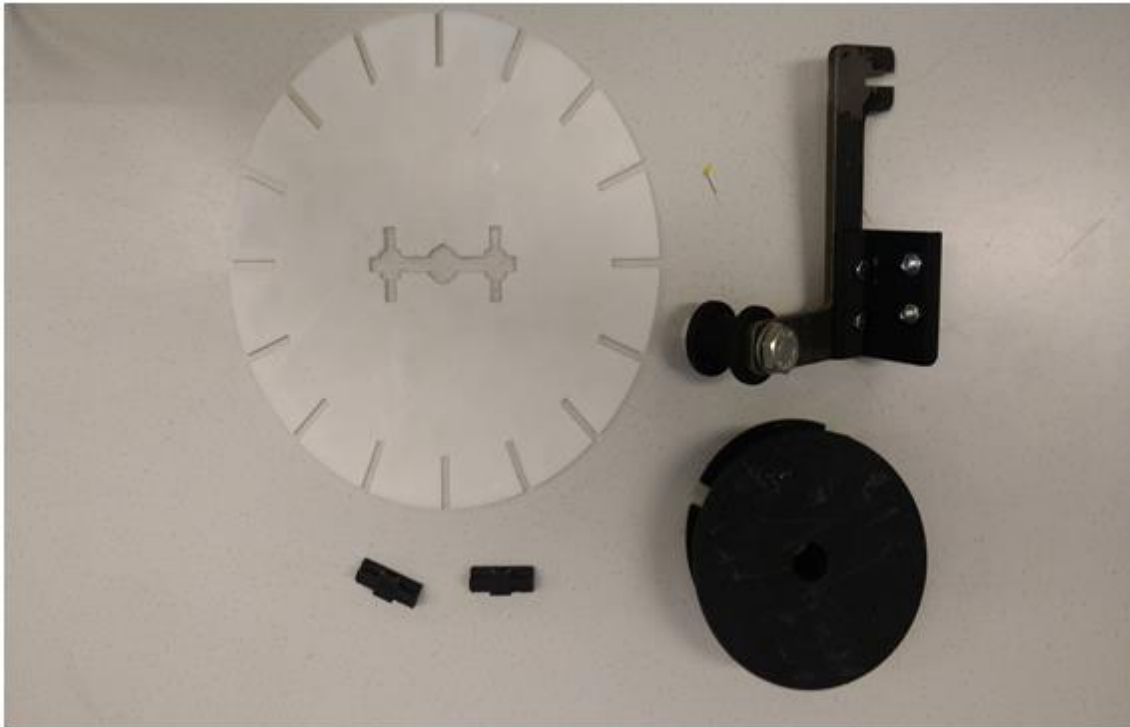
korjattiin leikkuun aikana. Vesileikkuun jälkeen kappaleet huuhdeltiin, kuivattiin ja hiekkapestiin pinnanlaadun parantamiseksi. Leikatut osat näkyvät kuvassa 10.



*KUVA 10. Vesileikatut osat*

Seuraavaksi valmistettiin kehikkoon kuuluvat putket, akseli ja sen kiinnikkeet. Vesileikkauksen jälkeen kappaleet hiottiin. Putkeen tehtiin reiät kattolevyn kiinnittämiseksi. Akseliin tehtiin kierre sorvilla, jotta se voitiin liittää sylinteriin. Lisäksi akseliin tehtiin reiät pystyporalla siihen liitettäviä osia varten.

Valmistuksessa hyödynnettiin 3D-tulostusta. Tulostettavia osia olivat punnuksen kelat, kiekonkiinnitin, kiekko sekä tuet Arduinolle ja anturille. Tulostettavat komponentit tehtiin ABS muovista. Tulostuksen jälkeen keloja täytyi hioa ja porata, jotta osat sopisivat yhteen. Työn edetessä kiekko korvattiin vesileikatulla osalla tarkkuuden parantamiseksi. Kuvasta 11 näkee tulostetut osat.



*KUVA 11. 3D-tulostetut osat*

Laitteen hankalimmat kappaleet työstettiin sorvilla ja viisiakselisella CNC-koneella. Työstetyt osat olivat sylinteri, nesteastia ja kuulalaakerikiinnikkeet. Osien teossa ilmeni monia hankaluuksia esimerkiksi osien koossa, tarkkuudessa ja työstömenetelmissä.

Nesteastian valmistus aloitettiin hitsaamalla laippa putkeen kiinni, jonka jälkeen sen pinta hiottiin. Nesteastian korkeutta jouduttiin muuttamaan, jotta se pystyttäisiin työstämään. Kuulalaakerikiinnikkeen suunnitelmaa muutettiin sitä työstäessä ja siihen liittyvät laakerituet täytyi tehdä uudestaan suunnitteluvirheen takia.

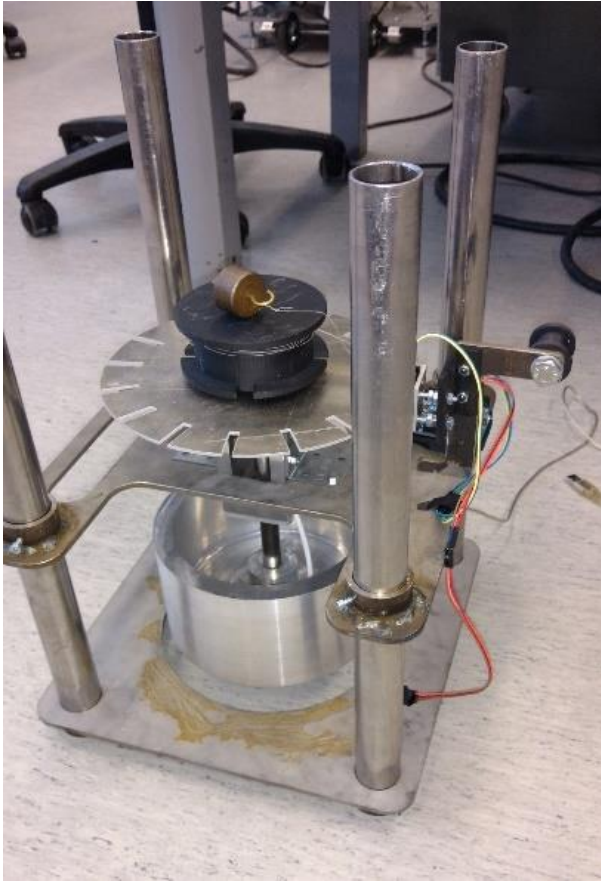
Sylinteri työstettiin sorvilla. Sylinterin ulkopintaa piti työstää sekä sorvilla että CNC-koneella, jotta pinta saatiin sopivaksi. Sylinterin valmistus aloitettiin nesteastian valmistuttua, jotta sille saataisiin oikeat arvot viskositeetilaskut huomioon ottaen. Kuvasta 12 nähdään kyseiset komponentit.



*KUVA 12. Valmis nesteastia, kiinnike ja sylinteri*

## **4.2 Kokoonpano**

Laitteen kokoonpano aloitettiin sovittamalla aikaisemmin valmistetut osat yhteen. Pohja- ja kattolevy vaativat eniten työstöä siihen liittyvien osien takia. Ruuvien reiät täytyi kierteittää ja levyihin tehtiin muutama reikä muutosten takia. Laakerikiinnikettä sovitettaessa kattolevyä jouduttiin hiomaan, jotta kiinnike saataisiin paikalleen. Putket oli tarkoitus alun perin hitsata, mutta kiinnitystapaa vaihdettiin, jotta tarkkuutta saataisiin parannettua. Kokoonpanon suurimmat ongelmat johtuivat suunnitteluvirheistä ja laitteen monimutkaisuus aiheutti suuren työmäärän. Kuvassa 13 nähdään valmis kokoonpano.

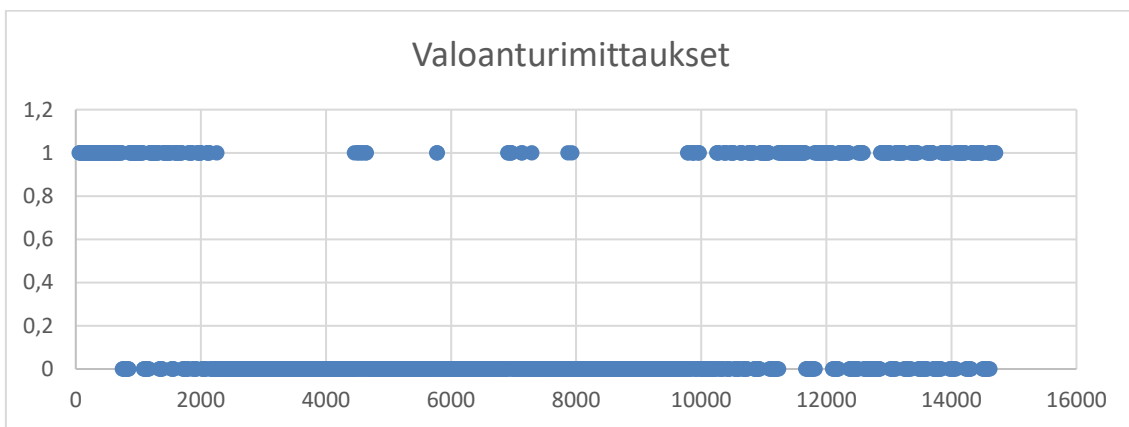


*KUVA 13. Valmis kokoonpano, kuvasta puuttuu nesteastia*



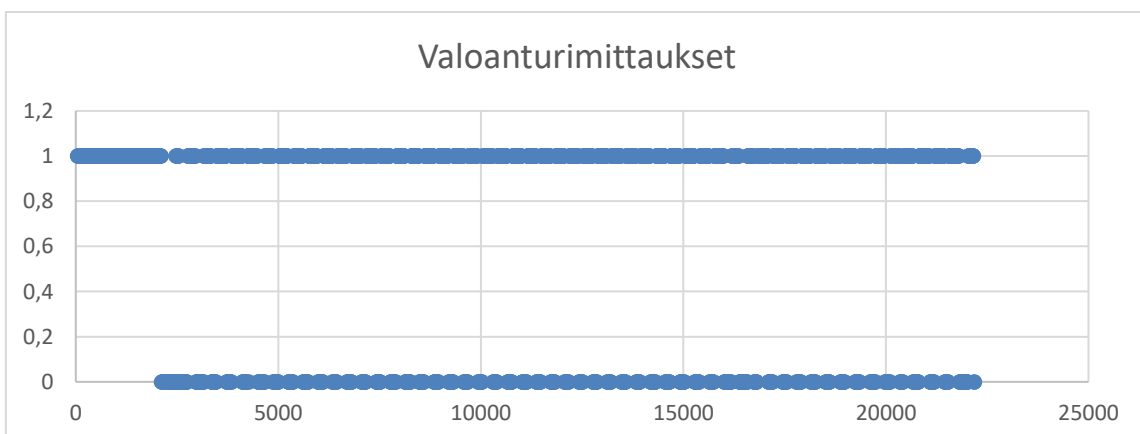
## 5 TESTAUS

Laitteen käyttöönotto vaati testausta ja tulosten arvioimista. Testaus toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä testiajossa käytettiin nesteinä vettä. Veden viskositeetti on paljon pienempi kuin tutkittavan öljyn. Tällöin viskosimetri pyöri liian nopeasti, jotta tarkkoihin tuloksiin olisi päästy. Valoanturi ei ehdi reagoida tarpeeksi nopeasti rakoihin. Kuvasta 14 nähdään Arduinolta Exceliin siirretty data. Pystyitasossa on anturitieto raoista ja pinnoista. Raon arvo on 1 ja pinnan 0. Vaakatasossa on testissä kulunut aika millisekunteina.



*KUVA 14. Valoanturilta saadut epämääräiset mittaukset vedellä mitattuna*

Toisessa testissä käytettiin SAE 20W-50 -öljyä. Kuvasta 15 nähdään, että mitaustulokset ovat tarkempia kuin vedellä tehdyt mittaukset.



*KUVA 15. SAE 20W-50 -öljyllä saatu tarkempi mitaustulos*

## 5.1 Mittaustulokset

Kuvasta 15 nähdään, että mittaustulos on virheetön ja siihen liittyvän datan avulla voidaan määrittää kierrosaika  $n$ . Exceliin siirretyistä ajoista ja anturitiedoista laskettiin yhteen kierrokseen kulunut aika. Kierrosaika saatiin laskemalla kiekon rakenteen mukaisesti 16: raon ja 16:n pinnan mittaamiseen kulunut aika. Laskettava kierros valittiin testin keskeltä, jotta alussa ja lopussa esiintyvät epäsäännöllisyydet eivät tulisi mukaan laskuihin.

### 5.1.1 Mitatut arvot

Kierrosaika laskettiin kiekon rakenteen mukaisesti vertaamalla aikaa kierroksen alussa ja lopussa. Nesteen korkeus  $L$  mitattiin mittatikulla, jonka tarkkuus oli 0,001 m. Punnuksen massa mitattiin puntarilla, jonka tarkkuus oli 0,005 kg. Lankakelan säde mitattiin työntömitalla, jonka tarkkuus oli 0,0001 m. Lämpötila mitattiin anturilla, jonka tarkkuus oli 0,50 °C.

$$n = T_{16pinta} - T_{1raako} = 13,826 \text{ s} - 8,130 \text{ s} = 5,694 \text{ s}$$

$T_{16pinta}$  = Aika, joka on kulunut testin käynnistämisestä. 16. pinta, viimeinen anturidata kyseisestä pinnasta.

$T_{1raako}$  = Aika, joka on kulunut testin käynnistämisestä. 1. rako, ensimmäinen anturidata kyseisestä raosta.

$$\text{Nesteen korkeus } L = (0,059 \pm 0,001) \text{ m}$$

$$\text{Punnuksen massa } m = (0,200 \pm 0,005) \text{ kg}$$

$$\text{Lankakelan säde } R_a = (0,0399 \pm 0,0001) \text{ m}$$

$$\text{Lämpötila } T = 21,30 \pm 0,50 \text{ °C}$$

### 5.1.2 Pysyvät arvot

Pysyvät arvot mitattiin ennen kokoonpanoa, eikä niitä voi mitata laitetta käytettäessä.

$$\text{Sylinterin säde } R_b = (0,0900 \pm 0,0001) \text{ m}$$

$$\text{Nesteastian sisäsäde } R_c = (0,0920 \pm 0,0001) \text{ m}$$

$$\text{Pohjaväli } b = (0,0400 \pm 0,0001) \text{ m}$$

## 5.2 Dynaaminen viskositeetti

Mittaustulosten avulla voidaan määrittää laitteella saatu dynaamisen viskositeetin arvo. Laskentaan käytetään kaavaa 12.

$$\eta = \frac{nmgR_a}{2\pi^2 R_b^3 \left( \frac{R_b}{2b} + \frac{2L}{R_c - R_b} \right)} \quad \text{KAAVA 12}$$

$$\eta = \frac{5,694 \text{ s} * 0,20 \text{ kg} * 9,8224 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,0399 \text{ m}}{2\pi^2 * (0,09 \text{ m})^3 \left( \frac{0,090 \text{ m}}{2 * 0,040 \text{ m}} + \frac{2 * 0,059 \text{ m}}{0,092 \text{ m} - 0,090 \text{ m}} \right)}$$

$$\eta = 0.386 \text{ Pa} * \text{s}$$

Tuloksena saadaan tutkittavan öljyn dynaaminen viskositeetti lämpötilassa 21,3 °C. Jotta tulosta voi verrata lähteistä löytyviin tietoihin, täytyy laskea verratun öljyn viskositeetti 21,3 °C:ssa käyttämällä kaavaa 8.

$$\eta_T = (v_{20} + ((T - 20^\circ\text{C}) * \frac{\Delta v}{\Delta T})) * (\rho_{20} + ((T - 20^\circ\text{C}) * \frac{\Delta \rho}{\Delta T})) \quad \text{KAAVA 8}$$

$$\eta_{21,3} = \left( 582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} + \left( (21,3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * -32,8 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}^\circ\text{C}} \right) \right) * \left( 883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} + \left( (21,3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * -\frac{2}{3} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3^\circ\text{C}} \right) \right)$$

$$\eta_{21,3} = \left( 582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} - 42,64 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right) * \left( 883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} - \frac{2,6}{3} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3^\circ\text{C}} \right) = 0,476 \text{ Pa} * \text{s}$$

## 5.3 Tulosten vertaaminen

Tuloksia verratessa huomataan, että laitteella mitattu viskositeetin arvo on huomattavasti pienempi kuin teoreettinen arvo. Tulosten eroon on monta tekijää, joista suurimpana on laitteen valmistustavasta johtuneet epätarkkuudet. Laitteen nesteastia ja sylinteri pyörivät epäkeskeisesti, lankaan kohdistuu ylimääräistä kitkaa ja pohjavälin pituus on epätarkka. Muita tekijöitä ovat mittaustarkkuus, lämpötila-anturin tarkkuus sekä dynaamisen viskositeetin arvioiminen lähteistä löytyneillä tiedoilla.

## 5.4 Jatkokehittäminen

Laitteen tarkkuutta voidaan parantaa jatkossa vaihtamalla osia sekä työstää ongelmallisia osia laitteesta. Nykyinen lankakela voidaan vaihtaa laakeroituun keelaan, joka ei hidasta langan liikkumista. Sylinteri voidaan työstää sorvaamalla pyörimään keskeisemmin. Lämpötilan tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä tarkempaa mittaria. Laitteen mahdollinen jatkokehitys tapahtuu tilaajan suunnitelmien mukaisesti.

## 6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin tarkkuusrotaatioviskosimetri Oulun ammatti-korkeakoulun toisen vuoden insinööriopiskelijoille fysiikan laboratorioon. Työ aloitettiin tutkimalla markkinoilla olevia rotaatioviskosimetrejä ja niiden ominaisuuksia. Näiden tietojen perusteella valittiin konsepti rotaatioviskosimetrin toiminnalle. Laitetta suunniteltaessa otettiin eritoten huomioon komponenttien mittatarkkuus, jotta laitteesta tulisi mahdollisimman tarkka.

Tuotekehitysprosessi alkoi selvittämällä rotaatioviskosimetrien toiminta ja viskositeetin mittaustavat. Saaduilla teorioilla ja niihin perustuvilla laskuilla alettiin määrittää komponentteja ja niiden kokoja. Suunnittelu tehtiin pääasiassa Solidworks 3D -CAD-ohjelmalla. Suunniteltua kokoonpanoa käytiin näyttämässä ohjaavalle opettajalle ja työn tilaajalle aika-ajoin. Tapaamisista saatiin rakentavaa palautetta laitteen toiminnasta ja mahdollisista muutoksista. Samalla tavalla selvitettiin laitteen lopullinen kokoonpano.

Valmistusvaihe aloitettiin osien tilauksella ja selvittämällä tarvittavien komponenttien mahdollinen saatavuus koululta. Valmistus eteni vaiheittain eri työstövälineitä käyttäen. Laboratoriossa työskentely vei suunniteltua enemmän aikaa suunnitteluvaiheessa tehtyjen virheiden takia. Lopulta laite saatiin koottua, vaikka työhön jäi pieniä puutteita.

Opinnäytetyötä tehdessä esiintyi useita haasteita. Laitteen vaatima mittatarkkuus aiheutti ongelmia ja muutoksia komponenttien suunnitteluvaiheessa. Osien valmistus ja muokkaus veivät paljon aikaa. Kokoonpanossa ja testauksessa huomattiin, ettei laite toiminut halutulla tarkkuudella.

Projektin tavoitteet saatiin toteutettua ja laitteen tarkkuutta on mahdollista tehdä paremmaksi myöhemmin. Parannettavaa laitteessa on muun muassa nesteastian ja sylinterin epäkeskeinen pyöriminen.

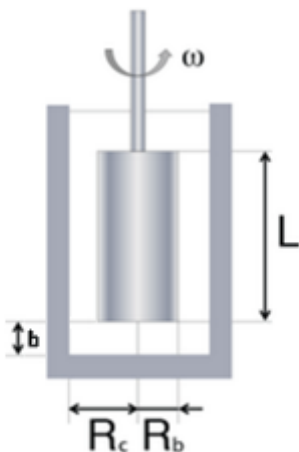
## LÄHTEET

1. Viscosity. Teoksessa Elert, Glenn (toim.) The Physics Hypertextbook. Opus in profectus. 1998–2018. Saatavissa: <http://physics.info/viscosity/> . Hakupäivä 15.4.2017.
2. Measuring Principles. Viscopedia | A free encyclopedia for viscosity. Saatavissa: <http://www.viscopedia.com/methods/measuring-principles/> . Hakupäivä 1.2.2017.
3. Defining viscosity. Viscopedia | A free encyclopedia for viscosity. Saatavissa: <http://www.viscopedia.com/basics/defining-viscosity/> . Hakupäivä 1.2.2017.
4. Nikitipoulos, Dimitri 2002. Problem #4. Saatavissa: [http://me.lsu.edu/~me-niki/me2833/Tests/E3/Final\\_ME2833F98\\_Sol.html](http://me.lsu.edu/~me-niki/me2833/Tests/E3/Final_ME2833F98_Sol.html) . Hakupäivä 08.5.2017
5. Elger, Donald – Williams, Barbara – Crowe, Clayton – Roberson, John 2014. Engineering Fluid Mechanics. 10., osin uudistettu laitos. Asia: Wiley.
6. Ranowsky, Amanda 2015. What is the Difference Between Dynamic and Kinematic Viscosity. Saatavissa: <http://www.cscscientific.com/csc-scientific-blog/whats-the-difference-between-dynamic-and-kinematic-viscosity> . Hakupäivä 24.2.2018
7. Engineering ToolBox, 2017. Density of crude oil as function of temperature. Saatavissa: [https://www.engineeringtoolbox.com/crude-lubricant-lubricating-oil-density-temperature-gravity-volume-correction-ASTM-D1250-d\\_1938.html](https://www.engineeringtoolbox.com/crude-lubricant-lubricating-oil-density-temperature-gravity-volume-correction-ASTM-D1250-d_1938.html) . Hakupäivä 24.2.2018
8. RAVENOL Formel Diesel Super SAE 20W-50. Ravenol. Saatavissa: <http://www.ravenol.de/en/products/usage/d/Product/show/p/ravenol-formel-diesel-super-sae-20w-50.html> . Hakupäivä 24.2.2018

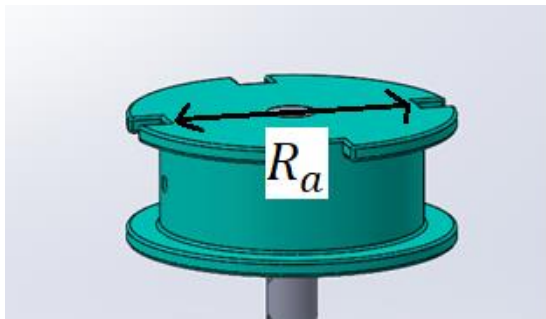
9. Automotive Fluids - Lubricating Oils & Greases, Fuels, Coolants & Brake Fluids. Kewengrineering. Saatavissa: [http://www.kewengineering.co.uk/Auto\\_oils/oil\\_viscosity\\_explained.htm](http://www.kewengineering.co.uk/Auto_oils/oil_viscosity_explained.htm) . Hakupäivä 24.2.2018
10. Salmi, Tapio 2006. Teknillisen mekaniikan perusteet. 3., osin uudistettu laitos. Tampere: Pressus Oy
11. Valtanen, Esko 2000. Koneenrakentajan taulukkokirja. 11., osin uudistettu laitos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
12. Gravitaatio. Teoksessa Elo, Ismo (toim.) Käyttöfysiikka Oy. 1997. Saatavissa: <http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/5luonnontieteet/fysiikka/fysiikka3/gravitaatio>. Hakupäivä 17.04.2017

***Dynaamisen viskositeetin määrittäminen tarkkuusrotaatioviskosimetrillä*****Teoriaa:**

Työssä tutkitaan SAE 20W-50 -öljyn dynaamista viskositeettia käyttämällä tarkkuusrotaatioviskosimetriä. Rotaatioviskosimetreissä viskositeetin määrittäminen perustuu sylinterin ja astian pintojen keskeiseen liikkeeseen. Pinnat liikkuvat vastakkaisiin suuntiin toisiinsa nähden. Nesteen ominainen viskositeetti pyrkii hidastamaan pintojen liikettä sitä enemmän mitä suurempi viskositeetti on. Kuvasta 1 nähdään laitteen tärkeimmät osat. Huomaa, että L kuvaa nesteen korkeutta sylinterillä, ei itse sylinterin korkeutta.



*KUVA 1. Rotaatioviskosimetri ja siihen liittyviä suureita*



*KUVA 2. Lankakelan säde R\_a*



**Mittauspöytäkirja**

Kaavoilla 1 ja 2 saadaan laskettua tutkittavan öljyn dynaaminen viskositeetti sen hetkessä lämpötilassa. Kierrosaikaa laskettaessa määritetään yhteen kierrokseen kulunut aika laskemalla valitun raon ensimmäinen aika sekä 16. pinnan viimeinen aika.

$$\eta = \frac{nmgR_a}{2\pi^2 R_b^3 \left( \frac{R_b}{2b} + \frac{2L}{R_c - R_b} \right)}$$

KAAVA 1

$\eta$ = dynaaminen viskositeetti	_____ Pa*s
$n = T_{16pinta} - T_{1väli}$ = kierrosaika	_____ s
$T_{16pinta}$ = viimeinen aika 16. pinnasta	_____ s
$T_{1rajo}$ = 1. aika 1. raosta	_____ s
$m$ = punnusten paino	_____ kg
$g$ = putoamiskiihtyvyyden arvo Oulussa	9,8224 $\frac{m}{s^2}$
$R_a$ = lankakelan säde	_____ m
$R_b$ = sylinterin säde	0,090 m
$b$ = pohjaväli	0,040 m
$R_c$ = nesteastian sisäsäde	0,092 m
$L$ = nesteen korkeus sylinterillä	_____ m

Alla olevalla kaavalla saadaan muutettua tutkittavan öljyn, SAE20W-50, kinemaattinen viskositeetti dynaamiseksi viskositeetiksi. Mittaustuloksista saatu lämpötila syötetään kaavaan, jotta teoreettista arvoa (mitatussa lämpötilassa) voidaan verrata mitattuun arvoon.

$$\eta_T = \left( v_{20} + \left( (T - 20^\circ\text{C}) * -32,8 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}^\circ\text{C}} \right) \right) * \left( \rho_{20} + \left( (T - 20^\circ\text{C}) * -\frac{2}{3} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} \right) \right)$$

KAAVA 2

$\eta_T$ = dynaaminen viskositeetti ( $T$ °C)	_____ Pa*s
$v_{20}$ = kinemaattinen viskositeetti (20 °C)	582 $\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
$\rho_{20}$ = tiheys (20 °C)	883 $\frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$
$T$ = tutkittavan öljyn lämpötila	_____ °C

## Lähtötiedot

Sylinterin korkeus 0,090 m

Tarkista, että reikäkiekko pääsee vapaasti pyörimään, ettei se osu valoanturiin.

1. Mittaa nesteen korkeus  $X$  pinnasta mittatikulla. Haluttu mitta  $L$  saadaan vähentämällä sylinterin korkeudesta mitattu arvo

- $L = 90,0 \text{ mm} - X$

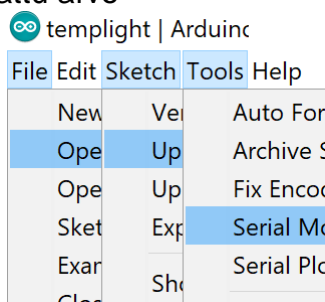
2. Kokeile eri punnuksia

- kierrosaika  $n$  on 3-6 sekuntia.

3. Mittaa lankakelan säde  $R_a$

4. Lataa sketch Arduinoon. Katso Kuva 3.

- Päivitä sketch Arduinoon
- Avaa serial monitor



Kuva 3.

5. Merkitse ylös raportoitu lämpötila  $T$

6. Lisää kenoviivat sketchin mukaan ja päivitä sketch Arduinoon

7. Laita kuvassa 4 näkyvät asetukset

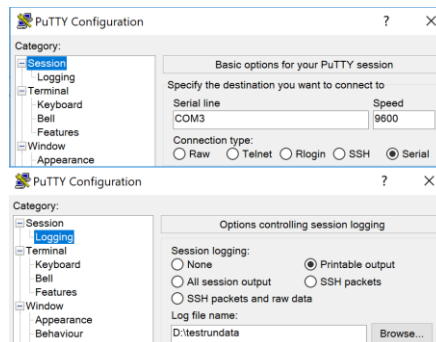
8. Paina Open, Ok ja vapauta punnus

9. Sulje putty ennen kuin punnus on lattialla

10. Avaa tallennettu tiedosto, tallenna .txt

11. Avaa tiedosto Excelissä

- muunna se .csv muotoon
- Delimited, Comma, General



Kuva 4.

12. Valitse Kolumnit A ja B

- Insert -> recommended chart -> Scatter

13. Katso kuvaajasta säännöllinen, virheetön kohta (keskiosalta)

14. Laske A kolumnin avulla yhteen kierrokseen kulunut aika  $n$ 
  - Kiekossa on 16 rako, 16 pintaa
  - Rako on 0, pinta on 1
  - Valitse kolumni B
    - Home -> Conditional formatting -> Highlight -> Equal to
    - Syötä ruutuun 0 ja paina ok
15. Dynaamisen viskositeetin arvon voi nyt laskea kaavalla 1
16. Vertaa kaavalla 1 saatua arvoa kaavasta 2 saatuun arvoon
17. Pohdi mistä virheet voivat johtua. Mistä aiheutuu suurin virhe?

### **Tarkkuusrotaatioviskosimetri**

Tällä laitteella voidaan laskea tutkittavan öljyn dynaamista viskositeettia. Laitteella voidaan tutkia eri öljyjä tarpeen mukaan. Laite on valmistettu opinnäytetyönä keväällä 2018.

### **Mittaustulokset esimerkkinä**

Kierrosaika laskettiin kiekon rakenteen mukaisesti vertaamalla aikaa kierroksen alussa ja lopussa. Nesteen korkeus  $L$  mitattiin mittatikulla, jonka tarkkuus oli 0,001 m. Punnuksen massa mitattiin puntarilla, jonka tarkkuus oli 0,005 kg. Lankakelan säde mitattiin työntömitalla, jonka tarkkuus oli 0,0001 m. Lämpötila mitattiin anturilla, jonka tarkkuus oli 0,50 °C.

$$n = T_{16pinta} - T_{1rako} = 13,826 \text{ s} - 8,130 \text{ s} = 5,694 \text{ s}$$

$T_{16pinta}$  = Aika, joka on kulunut testin käynnistämisestä. 16. pinta, viimeinen anturidata kyseisestä pinnasta.

$T_{1rako}$  = Aika, joka on kulunut testin käynnistämisestä. 1. rako, ensimmäinen anturidata kyseisestä raosta.

Nesteen korkeus  $L = (0,059 \pm 0,001) \text{ m}$

Punnuksen massa  $m = (0,200 \pm 0,005) \text{ kg}$

Lankakelan säde  $R_a = (0,0399 \pm 0,0001) \text{ m}$

Lämpötila  $T = 21,30 \pm 0,50 \text{ °C}$

**Dynaamisen viskositeetin lasku**

Mittaustulosten avulla voidaan määrittää laitteella saatu dynaamisen viskositeetin arvo.

Laskentaan käytetään kaavaa 1.

$$\eta = \frac{nmgR_a}{2\pi^2 R_b^3 \left( \frac{R_b}{2b} + \frac{2L}{R_c - R_b} \right)} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\eta = \frac{5,694 \text{ s} * 0,20 \text{ kg} * 9,8224 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,0399 \text{ m}}{2\pi^2 * (0,09 \text{ m})^3 \left( \frac{0,090 \text{ m}}{2 * 0,040 \text{ m}} + \frac{2 * 0,059 \text{ m}}{0,092 \text{ m} - 0,090 \text{ m}} \right)}$$

$$\eta = 0.386 \text{ Pa} * \text{s}$$

Tuloksena saadaan tutkittavan öljyn dynaaminen viskositeetti lämpötilassa 21,3 °C. Jotta tulosta voi verrata lähteistä löytyviin tietoihin, täytyy laskea verratun öljyn viskositeetti 21,3 °C:ssa käyttämällä kaavaa 2.

$$\eta_T = (v_{20} + \left( (T - 20^\circ\text{C}) * \frac{\Delta v}{\Delta T} \right)) * (\rho_{20} + \left( (T - 20^\circ\text{C}) * \frac{\Delta \rho}{\Delta T} \right)) \quad \text{KAAVA 2}$$

$$\eta_{21,3} = \left( 582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} + \left( (21,3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * -32,8 \frac{\text{mm}^2}{^\circ\text{C}} \right) \right) * \left( 883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} + \left( (21,3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) * \left( -\frac{2}{3} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} \right) \right) \right)$$

$$\eta_{21,3} = \left( 582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} - 42,64 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right) * \left( 883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} - \frac{2,6}{3} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} \right) = 0,476 \text{ Pa} * \text{s}$$

**Tarvittavat ohjelmat laitteelle**

1. Arduino
  - <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
2. Putty
  - <https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/latest.html>
3. Ohje antureille
  - <https://create.arduino.cc/projecthub/TheGadgetBoy/ds18b20-digital-temperature-sensor-and-arduino-9cc806>
4. Onewire sensor library
  - [http://www.pjrc.com/teensy/arduino\\_libraries/OneWire.zip](http://www.pjrc.com/teensy/arduino_libraries/OneWire.zip)
5. Dallas temp library
  - <https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>

**Tarvittavat tiedot laitteesta**

Nesteastian syvyys 130,0 mm

Sylinterin korkeus 90,0 mm

Pohjaväli 40,0 mm

Lankakela 79,8 mm

Öljy SAE 20W-50

- $\nu_{20}$  = kinemaattinen viskositeetti (20 °C)  $582 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$
- $\rho_{20}$  = tiheys (20 °C)  $883 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$

Kiekon kiinnitys on vähän heikko, joten se pitää asetella oikeaan kulmaan siten että se ei osu valoanturiin.

**Arduino sketch**

```
#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

unsigned long time;

void setup(void)

{ // start serial port

  Serial.begin(9600);

  // Start up the library

  sensors.begin();}

void loop(void)

{time = millis();

  Serial.print(time);

  // read the input on analog pin 0:

  int sensorValue = analogRead(A0);

  // sensoriarvon tippuessa alas, anturi ei ole estettynä if (sensorValue < 10)

  { // sensor is free

    Serial.println ("0,");}

  else

  { // sensor is blocked

    Serial.println ("1,");}

  // Lisää kenoviivat kahteen seuraavaan riviin rakoanturilla mitatessa

  sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures

  Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0)); // Why "byIndex"?

  delay (10)
```