

Heikki Loikkanen

# Laboratoriotestilaitteen automatisointi

Opinnäytetyö

insinööri AMK

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Heikki Loikkanen
Työn nimi	Laboratoriotestilaitteen automatisointi
Toimeksiantaja	Andritz Oy
Vuosi	2021
Sivut	41 sivua, liitteitä 1 sivua
Työn ohjaaja(t)	Hannu Honkanen, Antton Lahnalampi

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aihe oli sellumassan suotautumisvastusta mittaavan testilaitteen automatisointi. Työ tehtiin Savonlinnan kuitulaboratorioon, jossa vanha mittalaitteisto oli toiminnassa. Tällä uudistuksella haluttiin varmistaa testauslaitteiston toimintavarmuus tulevaisuudessa ja automatisoida nykyistä testausprosessia.

Opinnäytetyöhön kuului mittauslaitteiston suunnittelu, asennus ja koko mittausjärjestelmän toiminnan tarkastus. Työn alkuvaiheessa tutkittiin vanhan mittausohjelman toimintaperiaate ja laskentatapa. Näiden tietojen avulla suunniteltiin uusi mittalaitteisto ja ohjelma. Työssä käytettiin nykyaikaisia prosessiautomaatiotekniikan instrumentteja ja mittausohjelma tehtiin LabVIEW-ohjelmistolla.

Suotautumisvastus lasketaan mittaamalla mahdollisimman tarkka syrjäytysnesteen virtausnopeus vakioaineella. Mittauksen aikana myös syrjäytysnesteen lämpötilan pitää olla lähes vakio. Vanhan mittalaitteiston virtausmittaus oli toteutettu hydrostaattisen paineen avulla, jolla saatiin tarkkoja mittaustuloksia. Uudessa mittalaitteistossa käytettiin elektromagneettista virtausmittaria, jotta saataisiin yksinkertaistettua mittalaitteistoa. Haasteena työssä oli todentaa uuden virtausmittausmenetelmän riittävä tarkkuus. Uuden mittalaitteiston toiminnan varmistamiseksi hankimme eri tavalla suotautuvia massanäytteitä ja teimme niistä vertailevat testit sekä uudella että vanhalla laitteistolla.

Työ saatiin valmiiksi monien haasteiden jälkeen. Mittalaitteistosta saatiin yksinkertainen ja helppokäyttöinen kokonaisuus, jota on tarvittaessa helppo laajentaa uusilla komponenteilla. Virtausmittarin näyttämällä testauksella ja vertailutesteillä totesimme uuden virtausmittausmenetelmän olevan riittävän tarkka kyseisiin mittauksiin.

**Asiasanat:** LabVIEW, ohjelmointi, DD-testilaitte, automaatio

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Heikki Loikkanen
Thesis title	Automatization of laboratory test equipment
Commissioned by	Andritz Oy
Time	2021
Pages	41 pages, 1 pages of appendices
Supervisor	Hannu Honkanen, Antton Lahnalammi

## ABSTRACT

The topic of this thesis was the automation of a test device measuring the permeability resistance of pulp. The work was carried out at the FiberLaboratory in Savonlinna, where the old measuring equipment was in operation. The aim of this reform was to ensure the operational reliability of the testing equipment in the future and to automate the current testing process.

The thesis included the design, installation, and functional inspection of the entire measurement system. At the beginning of the work, the operation principle and calculation method of the old measurement program were studied. Modern process automation technology instruments were used in the work and the measurement program was performed with the LabVIEW software.

The permeability resistance is calculated by measuring the exact flow rate of the displacement fluid at constant pressure. During the measurement, the temperature of the displacement fluid must also be almost constant. The flow measurement of the old measuring equipment had been carried out using hydrostatic pressure, which gave accurate measurement results. The new measuring equipment used an electromagnetic flowmeter to provide simplified measuring equipment. The challenge in this work was to verify the sufficient accuracy of the flow measurement method.

To ensure the operation of the new measuring equipment, we obtained differently favorable mass samples and performed comparative tests on them with both new and old equipment.

The work was completed after many challenges. The measuring equipment became a simple and easy-to-use set that can easily be expanded with new components if necessary. By testing the flow meter and by running comparison tests, we found the new flow measurement method to be sufficiently accurate enough to measure the flow rate of the displacement fluid.

**Keywords:** LabVIEW, programming, DD-test -equipment, automation

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PROSESSIAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ .....	7
2.1	Instrumentit.....	7
2.1.1	Mittalaitteet .....	7
2.1.2	Toimilaitteet .....	7
2.2	Automaatioprosessin käsitteet.....	8
2.2.1	Prosessi.....	8
2.2.2	Mittaaminen ja säätäminen .....	8
2.2.3	Säätöpiiri.....	8
2.2.4	Takaisinkytkentä .....	9
2.2.5	Säädin.....	9
2.2.6	PID-säätö.....	9
3	DD-TESTILAITTE .....	10
3.1	Vanhan testilaitteen toimintaperiaate.....	12
3.2	Testitulosten laskenta .....	14
3.3	Testauksen modernisointi.....	15
3.4	Uuden testilaitteen toimintaperiaate.....	15
4	MITTAUSLAITTEISTO .....	16
4.1	DAQ-moduuli .....	17
4.2	Lämpötila mittaukset.....	18
4.3	Paine- ja virtausmittaukset.....	19
4.4	Ohjaukset .....	21
5	LABVIEW-OHJELMOINTI .....	21
5.1	Front panel .....	22
5.1.1	Testin aloitus.....	22
5.1.2	Testausvaihe .....	23
5.1.3	Testin lopetus .....	25

5.2	Block diagram .....	26
5.2.1	Projektihakemisto .....	27
5.2.2	DD-testin mittausten tallennus .....	28
5.3	Excel-tiedostoon kirjoittaminen .....	31
6	TULOSTEN ANALYSOINTI .....	33
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	35
	LÄHTEET .....	37
	KUVALUETTELO	
	LIITTEET	

Liite 1. DAQ-moduuli kytkentäkaavio

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus on yli 20 vuotta vanhan suotautumistestilaitteen automatisointi nykyaikaisilla instrumenteilla, datankeräysjärjestelmällä ja siihen tehtävällä ohjelmistolla. Uudistuksella halutaan varmistaa laitteiston toimintavarmuus tulevaisuudessa ja automatisoida työstä testausprosessia niiltä osin kuin se on mahdollista. Perinteisesti testiä on käytetty sellumassan suotautumisvastuksen testaukseen, mutta viime vuosina sen käyttöä on laajennettu muidenkin biotuotteiden suotautumisvastuksen testaamiseen. Tämän työn toimeksiantaja käyttää testistä saamiaan tuloksia teknologiansa kehityksessä sekä teknologiansa hyödyntämisessä kaupallisessa tarkoituksessa. Testitulosten perusteella mitoitetaan tuotantomittakaavan laitteita pääsääntöisesti selluteollisuuteen.

Työ tehdään Savonlinnan Kuitulaboratorioon, jossa on vanha testilaitte toiminnassa. Työhön kuuluu vanhan mittauslaitteiston toimintaperiaatteen selvittäminen ja mittaustulosten todentaminen, uuden laitteiston suunnittelu ja asennus, jonka jälkeen tehdään ohjelmiston ja datankeräyksen ohjelmointi ja koko järjestelmän toiminnan testaus. Työssä käytetään National Instrumentin LabVIEW-ohjelmistoa, datankeräyslaitteistoa ja teollisuudessa käytettäviä laadukkaita automaatioinstrumentteja.

Mittausjärjestelmä testataan virtausmittarin näyttämän tuloksen todentamisella ja hankkimalla eri tavalla suotautuvia massanäytteitä kahdelta eri tehtaalta, jotka testataan sekä vanhalla että uudella mittalaitteistolla. Saatuja tuloksia verrataan keskenään ja arvioidaan uuden mittauslaitteiston paikkaansa pitävyys. Työn kirjallisessa osuudessa käydään läpi lyhyesti prosessiautomaation käsitteet, DD-testilaitteen toimintaperiaate, laitteiston esittely ja kytkennät sekä valmiin ohjelman toiminta. Pohdinnassa arvioidaan valmiin laitteiston toimintavarmuus ja mahdolliset kehittämisideat.

## **2 PROSESSIAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ**

Prosessiautomaatio tarkoittaa automaattista mittaus- ja säätöjärjestelmää.

Tässä työssä automatisoinnilla saadaan mittauksista tarkempia lyhyemmässä ajassa ja samalla helpotetaan laboratoriohenkilökunnan työtä. Seuraavissa luvuissa käsitellään työssä käytettäviä automaation käsitteitä ja komponentteja.

### **2.1 Instrumentit**

Prosessiautomaatiojärjestelmän komponentteja kutsutaan instrumenteiksi. Niillä voidaan määrittää ja ohjata prosessin toimintaa automaattisen ohjauksen avulla. Instrumentit jaotellaan mitta- ja toimilaitteisiin.

#### **2.1.1 Mittalaitteet**

Prosessiautomaation mittalaitteilla eli antureilla mitataan jotakin prosessisuuretta esimerkiksi lämpöä, painetta tai virtausta. Anturi muuttaa prosessisuureen joksikin verrannolliseksi arvoksi, jota automaatiojärjestelmä pystyy käsittelemään. Anturissa on yhdistettynä tuntoelin ja lähetin. Tuntoelin mittaa suureen, esimerkiksi vastuksen, ja lähetin muuttaa tiedon standardimuotoon prosessijärjestelmälle. Standardiviestit ovat virta- tai jänniteviestejä. Käytössä olevat virtaviestit ovat 4–20 mA ja 0–20 mA. Jänniteviestit ovat 1–5 V ja 0–10 V. (Pihkala 2010, 9.)

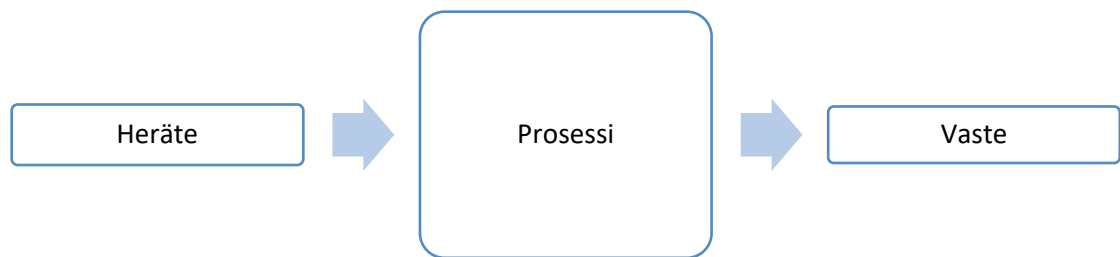
#### **2.1.2 Toimilaitteet**

Prosessiautomaatiossa toimilaitteet ohjaavat prosessin toimintaa, esimerkiksi paineenalennusventtiili ohjaa veden painetta tai lämmitysvastus veden lämpötilaa. Automaatiojärjestelmä ohjaa toimilaitteita virtaviestillä 0–20 mA tai 4–20 mA, mutta myös potentiaalivapaan releen kautta jänniteohjauksena 24 VDC tai 230 VAC.

## 2.2 Automaatioprosessin käsitteet

### 2.2.1 Prosessi

Prosessi on järjestelmä, jossa erilaiset mekaaniset, sähköiset, kemialliset ja fysikaaliset ilmiöt vaikuttavat erilaisten aineiden olomuotojen siirtoon tai muutokseen. Prosessi voidaan kuvata lohkokaaavana, jossa prosessiin vaikuttavat tulomuuttujat ovat herätteitä ja lähtömuuttujat ovat vasteita (kuva 1).



Kuva 1. Prosessin lohkokaavio

### 2.2.2 Mittaaminen ja säätäminen

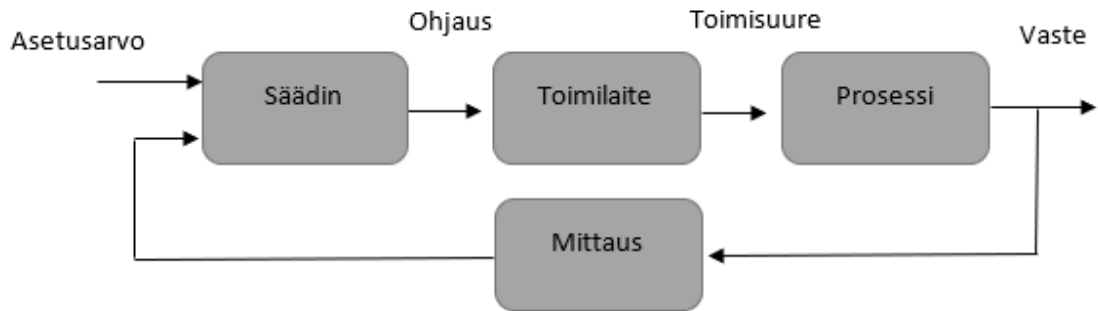
Mittaaminen tarkoittaa tietyn ominaisuuden suuruuden määrittämistä verrattuna johonkin tiettyyn pisteeseen. Esimerkiksi ilmanpainetta verrataan yleisesti maan pinnalla olevaan ilmanpaineeseen, joka on niin sanotusti normaali ilmanpaine. Automaatiojärjestelmä ei kuitenkaan pysty ohjaamaan toimilaitteita ilman mittaustietoja eri muuttujista. Mittauksien pitää olla riittävän nopeita ja tarkkoja, jotta voidaan ohjaukset suorittaa oikein. Mittaamisessa pitää huomioida mittalaitteiden tarkkuus, mittausalue, erottelukyky ja epätarkkuus. Tietyin väliajoin mittauslaitteita pitää kalibroida, koska niillä on ajan myötä taipumus epätarkkoihin mittaustuloksiin. Tätä kutsutaan ajautumavirheeksi. Kalibroinnilla selvitetään mittalaitteen lukeman virhe verrattuna referenssimittalaitteen lukemaan eri olosuhteissa ja tietyllä hetkellä. (Kippo & Tikka 2008, 21.)

Säätäminen tarkoittaa mittaustietojen ja säätöarvojen perusteella laskettua toimilaitteen ohjausta eli tällä pyritään ohjaamaan lähtömuuttujaa kohti ennalta määrättyä tavoitearvoa.

### 2.2.3 Säätopiiri

Säätopiiri koostuu prosessista, toimilaitteista, mittauslaitteista ja säätimestä. Säädin saa tietoa mittalaitteilta ja annetuista asetusarvoista, joiden mukaan

säätää toimilaitetta. Toimilaitte vaikuttaa sähköisesti, mekaanisesti, pneumaattisesti tai hydraulisesti prosessin suureiden oloarvoihin. Tässä työssä säätöpiiri koostuu syrjäytyspaineen säädöstä. Säätimelle asetetaan tavoitepaine ja säädin saa mittaustiedon vasteesta. Näiden perusteella säädin laskee virheen, jonka mukaan säädin ohjaa toimilaitetta ja toimitus vaikuttaa prosessiin eli syrjäytysnesteeseen paineeseen (kuva 2).



Kuva 2. Säätöpiirin periaatekuva

#### 2.2.4 Takaisinkytkentä

Takaisinkytkentä tarkoittaa vasteesta mitattua signaalia, joka vaikuttaa prosessin alussa olevaan säätöön eli se on vertailusignaali asetusrvolle (kuva 2). Takaisinkytkennällä voidaan reagoida nopeasti ulkoisiin häiriöihin ja muutoksiin. Takaisinkytkentä voi myös aiheuttaa epästabiilisuutta lähtösignaalissa, jos säätöä ei ole tehty oikein.

#### 2.2.5 Säädin

Säädin on säätöpiirin laite, joka käsittelee mittaussignaalia, vertaa sitä asetusrvoon ja laskee niiden välisen erosuureen. Lopuksi säädin laskee säätöalgoritmin parametrien avulla ohjausarvon lähtömuuttujalle, joka ohjaa virtaviestillä säätöpiirissä olevaa ohjainlaitetta. Säädin toimii säätöpiirissä itsenäisesti ja pyrkii pitämään mittausrvon mahdollisimman lähellä asetusrvoa. (Kippo & Tikka 2008, 35.)

#### 2.2.6 PID-säätö

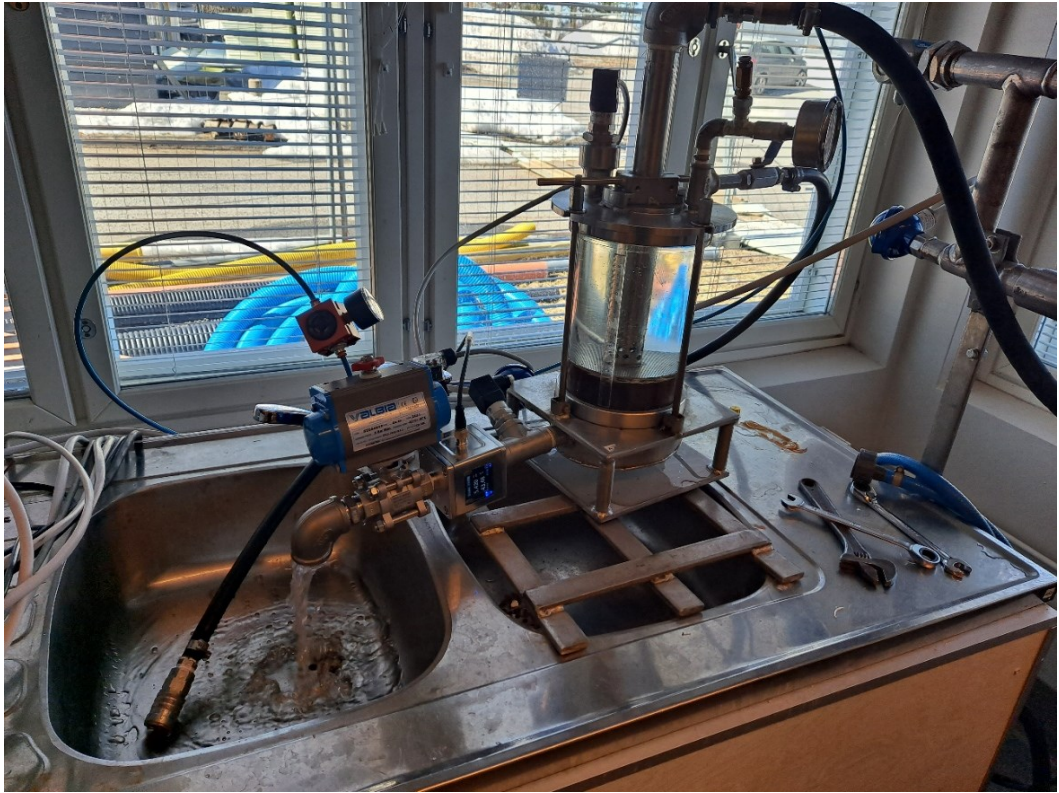
Yleisin teollisuuden käytössä oleva säädin on PID-säädin (proportional-integral-derivative, PID). PID-säädin on rakenteeltaan varsin yksinkertainen ja sitä

käytetään sovelluksissa, missä on useita säätöön vaikuttavia häiriötekijöitä. PID-säätimestä voidaan käyttää erilaisia yhdistelmiä tarpeen mukaan, kuten P, PI- ja PD-säätimiä. Yleisimmät prosessiohjaukset pystytään hallitsemaan PI-säätimellä.

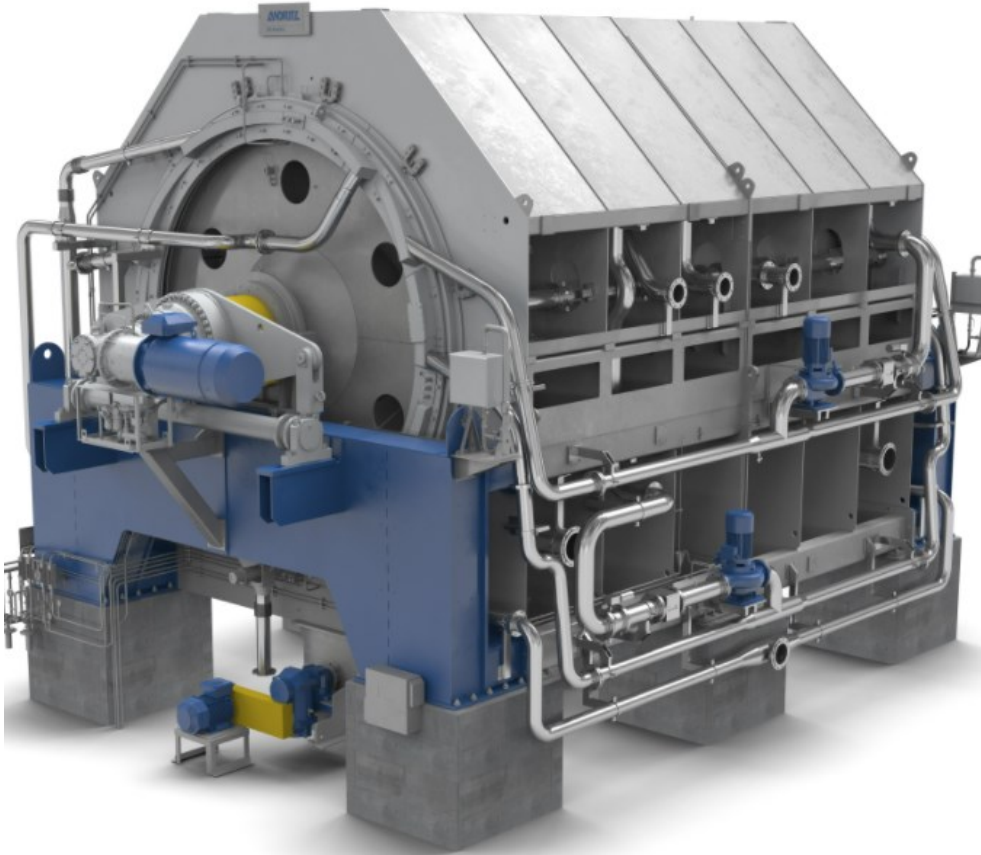
PID-säädin laskee ohjauksen kolmen eri muuttujan summasta. P-osa (proportional) säätimen lähtö riippuu erosuureesta, joka on painotettu vahvistavalla kertoimella. P-säätö on yksinkertainen ja aiheuttaa huojuntaa lähtösignaaliin. I-osa (integral) integrointiaika, jota käytetään P-osan kanssa. PI-säädössä, integroiva osa kasvaa, jos erosuure  $> 0$  ja vähenee, jos erosuure  $< 0$ . PI-säätö poistaa P-osan lähtösignaalin huojunnan, jonka ansiosta lähtösignaali saavuttaa asetusarvon. D-osa (derivative) derivointiaika kuvaa erosuureen muutosnopeutta. Käytännössä D-osaa voitaisiin sanoa ennakoivaksi säädöksi, jota käytetään tilanteissa, joissa kuormitus muuttuu. (Kippo & Tikka 2008, 130.)

### **3 DD-TESTILAITE**

DD-testilaite on laboratorio käytössä oleva suotautumisvastuksen testaukseen kehitetty laite (kuva 3). Testillä mallinnetaan DD-pesurin (Drum Displacer<sup>TM</sup>, DD-pesuri) toimintaa (kuva 4). DD-pesuri on selluteollisuudessa yleisesti käytössä oleva sellumassapesuri. Pesurit valmistaa Andritz Savonlinna Works Oy. (Sarkki 2020.)



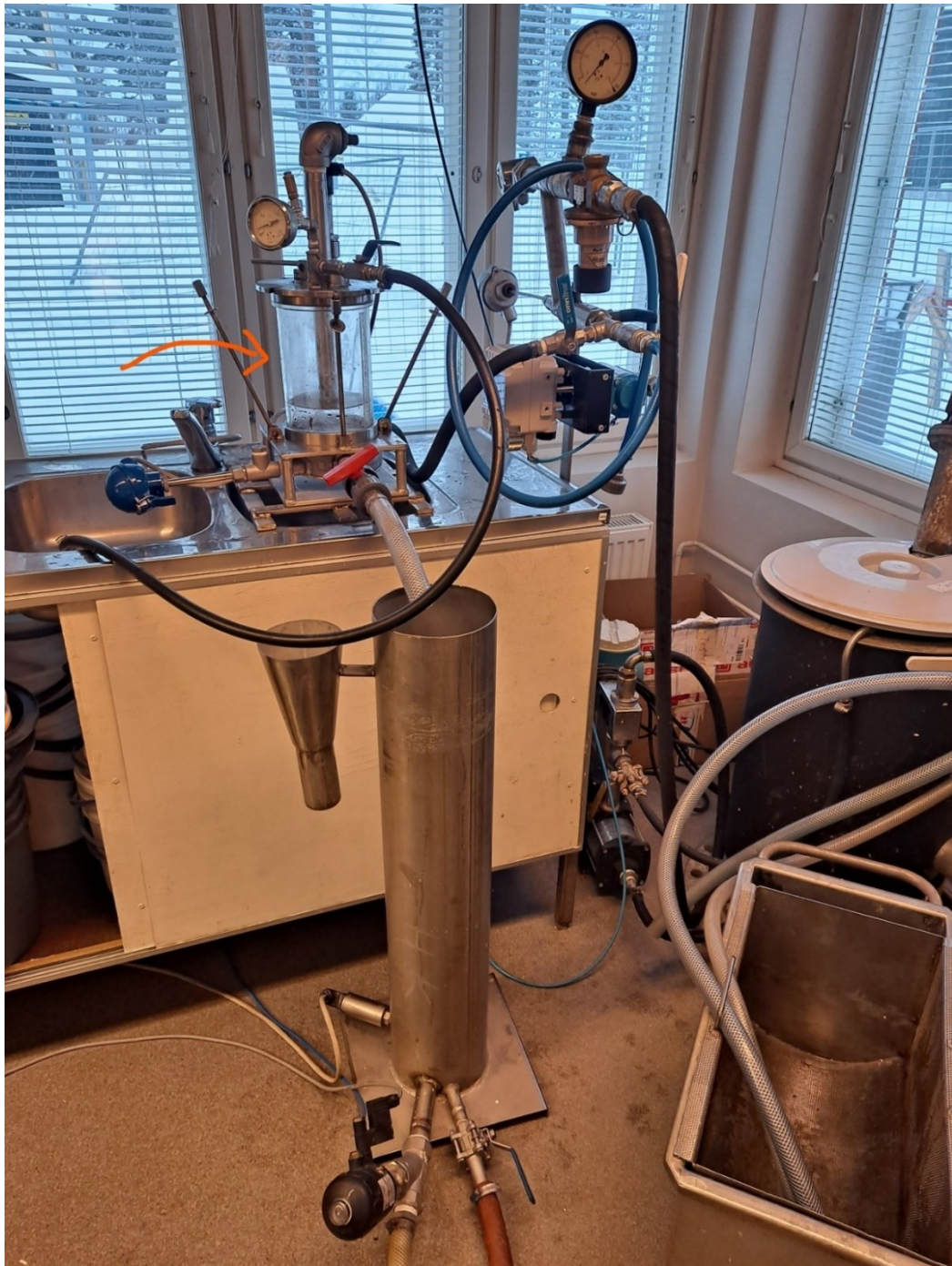
Kuva 3. DD-testilaite



Kuva 4. Andritz DD-Washer™ (Andritz Oy 2022)

### 3.1 Vanhan testilaitteen toimintaperiaate

DD-testillä määritetään keskimääräinen nesteen syrjäytysnopeus (millimetriä sekunnissa, mm/s) massakakun läpi (kaava 2). Testi aloitetaan punnitsemalla 66.4 g kuivaksi laskettua sellumassaa. Massa on laskettu testerin pinta-alasta siten, että 50 mm kakun korkeuteen päästään 10 % pesusakeudella. Tämän jälkeen massa keitetään kiehuvaan ja kaadetaan testilaitteen kammioon (kuva 5). Kammiossa suodatus tapahtuu kahden reikälevyn lävitse, jotka ovat molemmin puolin kakkua.



Kuva 5. Vanha DD-testilaitteisto

Testissä syrjäytysnesteinä käytetään n. 60 asteista vettä, mutta vesi pitää lämmittää n. 65 asteiseksi huomioiden veden lämpötilan tasaantuminen testin aikana. Syrjäytysneste säiliössä on sähkövastus ja sekoitin, jolla vesi lämmitetään. Lämpötilaa seurataan analogisella mittarilla. Kammio suljetaan ja laskeaan syrjäytysnestettä massakakun päälle kammio täyteen, siten ettei ilmaa jää yhtään kammioon. Ennen mittauksen alkua kammion kyljessä olevasta asteikosta luetaan kakun paksuus millimetreissä ja syötetään ohjelmaan. Tämän jälkeen aloitetaan mittaus, avataan pohjaventtiili kammioista ja ajetaan syrjäytysnestettä 0,8 baarin paineella massakakun läpi. Testin aikana painetta säädetään käsikäyttöisellä paineenalennusventtiilillä, niin että paine pysyy 0,8 baarin läheisyydessä koko ajan.

Testissä mitataan kakun läpi menneen syrjäytysnesteiden keskimääräinen tilavuusvirta ( $\text{dm}^3/\text{min}$ ) sellaiselta ajanjaksolta, jossa paine, virtausnopeus ja virtaavan nesteen lämpötilat ovat tasaantuneet. Kammioista tuleva suodos laskeaan kartion muotoiseen astiaan, josta paine-ero tunnistimella ohjelma pystyy havaitsemaan suodostilavuuden tietyllä ajanjaksolla ja laskemaan suodoksen tilavuusvirran (kuva 5). Mittauksen ensimmäisessä vaiheessa suodosta valutetaan 16,5 litraa, jonka aikana lasketaan ensimmäinen virtausnopeus (`feed_flow`). Tämän jälkeen kammio tyhjenee automaattisesti ja aloittaa uudelleen täytön. Toisen täyttövaiheen aikana ohjelma laskee toisen vertailevan virtausnopeusarvon (`feed_flow_collection`) (kuva 6). Mittaus loppuu, kun suodosta on tullut vähintään 4 litraa uudelleen täytön aikana ja kun virtausnopeus on tasaantunut riittävästi. Mittauksen päättymisen jälkeen syötetään ohjelmaan kakun korkeus.

Lopuksi massakakkua kuivataan  $105\text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa, kunnes paino ei enää muutu ja kuivan kuidun massa määritetään punnitsemalla. Punnitustulosta tarvitaan laskennassa. Yleensä samasta massasta tehdään vähintään kaksi eri testiä, joista saatujen tilavuusvirta-arvojen perusteella lasketaan lopullinen keskimääräinen nesteen syrjäytysnopeus (kaava 1). Mittauksen aikana 100 millisekunnin välein ohjelma tallentaa kakun yläpuolisen paineen, suodoksen tilavuuden, suodoksen virtausnopeuden sekä syrjäytysnesteiden ja suodoksen lämpötilat.

<b>Feed_flow</b>	<b>5,88 l/min</b>		
T_below_cake	63,07 °C		
T_feed	64,57 °C		
V_filtrate	5,09 l		
<b>p_over_cake</b>	<b>81,30 kPa</b>		
<b>Feed_flow (collection): 5,96 l/min</b>			
<b>Cake height during test (mm) : 37</b>			
<b>Cake weight during test (g) : 67,54</b>			

Kuva 6. Kuvankaappaus vanhoista mittaustuloksista (Xamk kuitulaboratorio 2021)

### 3.2 Testitulosten laskenta

Keskimääräisen syrjäytysnopeuden (mm/s) määrittämiseen tarvitaan massakakun alku- ja loppupaino sekä testisarjojen keskimääräiset tilavuusvirrat (feed\_flow ja feed\_flow\_collection).

Syrjäytysnopeus mittauksessa voidaan laskea kaavasta 1 (Syrjäytystesti ohje 2002).

$$S_m = 1,256 \frac{mm}{s} * V \quad (1)$$

jossa,	$S_m$	syrjäytysnopeus mittauksessa	[mm/s]
	$V$	syrjäytysnesteen tilavuusvirta	[dm <sup>3</sup> /min]

Testin molemmista vaiheista feed\_flow ja feed\_flow\_collection -arvoista lasketaan omat syrjäytysnopeudet ( $S_{m1}$  ja  $S_{m2}$ ).

Keskimääräisen syrjäytysnopeuden laskennassa pitää huomioida kuiva-aineen ja kuivatun massakakun painon poikkeama.

Keskimääräinen syrjäytysnopeus saadaan kaavasta 2 (Syrjäytystesti ohje 2002).

$$S_k = \frac{(S_{m1} + S_{m2})}{2} + 0,155 \text{ mm/s} * (m_{loppu} - m_{alku}) \quad (2)$$

jossa,	$S_k$	keskimääräinen syrjäytysnopeus	[mm/s]
	$S_{m1}$	syrjäytysnopeus mittaus 1	[mm/s]
	$S_{m2}$	syrjäytysnopeus mittaus 2	[mm/s]
	$m_{loppu}$	kuivatun massakakun paino	[g]
	$m_{alku}$	kuiva-aine paino alussa (66.4 g)	[g]

Lopullisen tuloksen saamiseksi pitää vielä laskea keskiarvo kaikkien testisarjojen väliltä.

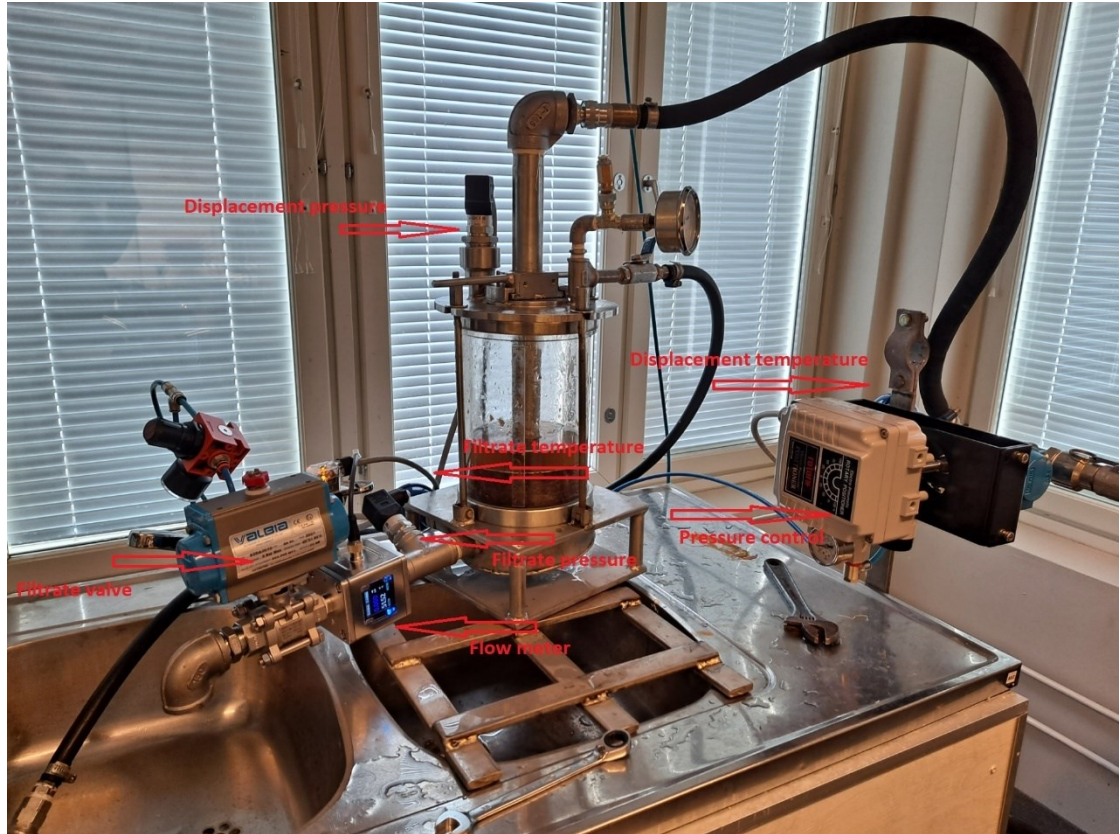
### 3.3 Testauksen modernisointi

Vanha testilaitteisto on ollut käytössä jo 20 vuotta. Laite on toiminut lähes moitteetta tuon ajan. Tällä työllä halutaan varmistaa laitteiston toimintavarmuus tulevaisuudessakin ja automatisoida työlästä testausprosessia niiltä osin kuin se on mahdollista. Vanhan laitteiston ja ohjelmiston iästä johtuen kommunikointi ja ohjelman ajo nykyaikaisella PC:llä, ja mahdollinen systeemin laajentaminen uusiin mittausarpeisiin ei onnistuisi, joten mittauslaitteisto rakennettiin kokonaan uudestaan.

### 3.4 Uuden testilaitteen toimintaperiaate

Testilaitte automatisoidaan uusilla mittaus- ja ohjausinstrumenteilla. Muuten alkuperäinen laitteisto pysyy tässä vaiheessa samana. Kuvassa 7 on esitelty laitteistossa käytettävät instrumentit. Lämpötilantunnistimet tulevat syrjäytystnesteen (displacement temperature) ja suodoksen (filtrate temperature) mittaukseen. Syrjäytystnesteen paineensäätöön tulee sähköpneumaattinen paineensäädin (pressure control), jota ohjataan PID-säädöllä. Tätä varten asennetaan painetunnistimet kakun ylä- (displacement pressure) ja alapuolelle (filtrate pressure). Virtausnopeus mitataan elektromagneettisella virtausmittarilla (flow meter), josta saadaan myös toinen suodoksen lämpötila tarvittaessa. Virtausmittarin perään asennetaan sähköpneumaattinen venttiili (filtrate

valve), jolla ohjataan suodoksen virtaus alkamaan. Veden lämmitys ja pumpaus voitaisiin automatisoida myös, mutta se jää tässä vaiheessa myöhempään ajankohtaan. Uudessa ohjelmassa mittausravot tallennetaan Excel-tiedostomuotoon, muilta osin toimintaperiaate pysyy samana.



Kuva 7. Uusi testilaitteisto

#### 4 MITTAUSLAITTEISTO

Tässä työssä käytetään National Instrumentin valmistamaa prosessimittauslaitteistoa eli DAQ (data acquisition and control system, DAQ) -järjestelmää. DAQ-järjestelmä tarkoittaa sähköisten ja fyysisten ilmiöiden mittausta ja ohjausta, kuten virtaa, jännitettä, painetta, virtausta, lämpötilaa tai ääntä. DAQ-laitteisto koostuu datankeräysalustasta, siihen asennettavista in- ja outputkorkeista ja tietokone ohjelmistosta. Luvuissa 4.1–4.4 on kerrottu tarkemmin laitteistosta. DAQ-alustalle yhteensopivia ohjelmointikieliä on mm. MatLab, PythonC ja LabVIEW. Tähän työhön valitsin LabVIEW-mittausohjelmiston, koska graafinen ohjelmointiympäristö mahdollistaa ohjelmien nopean implementoinnin, testauksen ja muokkauksen. National Instrumentin DAQ-laitteiston kommunikointi PC:n kanssa onnistuu myös saumattomammin, kun käytössä on saman valmistajan ohjelmisto.

#### 4.1 DAQ-moduuli

National Instrument cDAQ 9178 -datankeräysalusta on kahdeksalla korttipaikalla oleva alusta erilaisille mittaus- ja säätökorteille (kuva 8). Tässä työssä käytetään kolmea erilaista korttia, joista kerrotaan seuraavissa luvuissa. Projektiin valittiin tarkoituksella riittävän suuri alusta, että siihen jää laajennusvara mahdollisia jatkoja varten. DAQ-alusta liitetään tietokoneeseen USB-kaapelilla ja virransyöttönä on 230 VAC. Kun LabVIEW-ohjelmisto on tietokoneella ja alusta kytketään USB-kaapelilla tietokoneeseen, jossa on tarvittavat kortit kiinni, on tällöin järjestelmä valmis toimintaan ja ohjelmointiin. Alustalle on saatavilla yli 60 erilaista C-sarjan korttia lähes kaikille anturityypeille ja ohjauksille (National Instrument 2021).

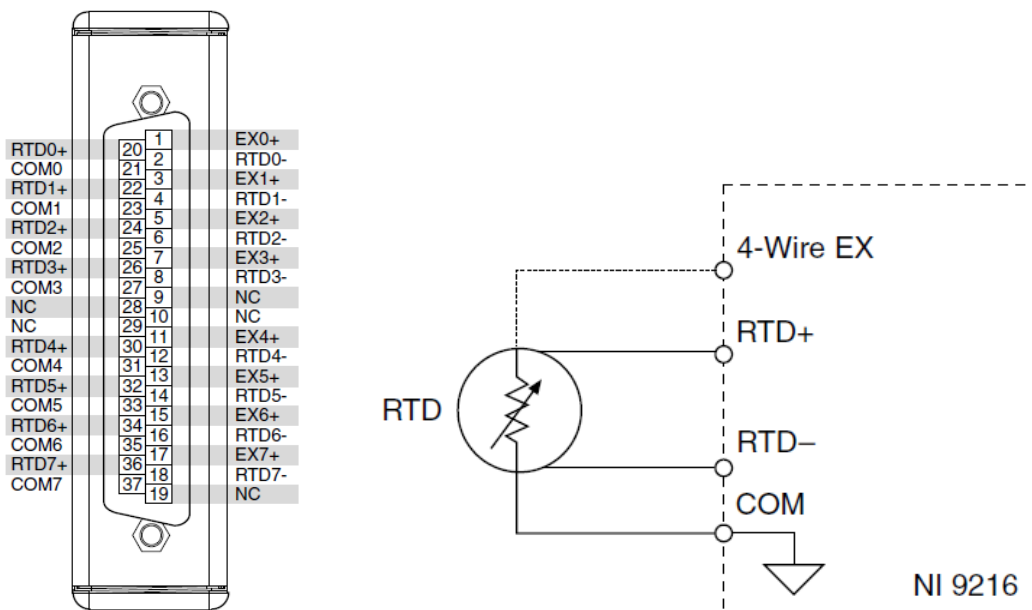
Kortit kytketään alustaan painamalla, joten tämän tyyppinen mittaus ja datankeräysalusta on kätevä varsinkin silloin, kun samaa järjestelmää käytetään useissa eri paikoissa. Järjestelmän mukauttaminen juuri kohteeseen käyväksi on nopeaa ja helppoa.



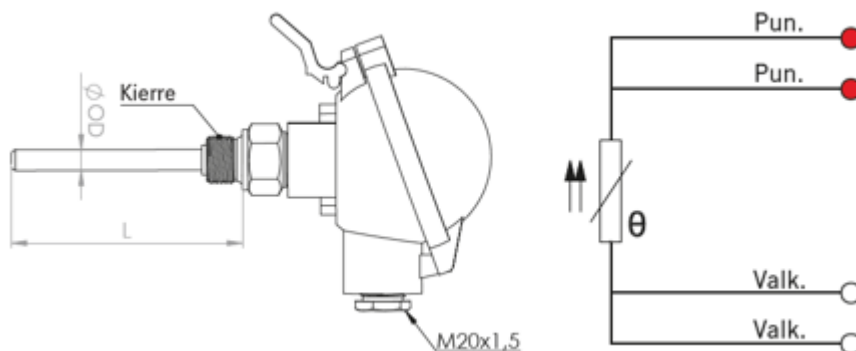
Kuva 8. NI cDAQ 9178 -moduuli

## 4.2 Lämpötila mittaukset

NI 9216 on 8-kanavainen analoginen RTD-kortti (resistance temperature detector, RTD). Ainoastaan lämpötilan mittauksia varten alueella 0–400 Ω. NI 9216 on sopiva 3- ja 4-johdimisten RTD-mittausten kanssa, ja se tunnistaa automaattisesti kanavaan liitetyn RTD-tyyppisen lämpötilatunnistimen eli ohjelmassa ei tarvita skaalata erikseen mitattua vastusarvoa vastaamaan kyseistä lämpötilaa. (Getting started guide NI-9216 2015.)



Kuva 9. NI 9216 -RTD-kortin kytkentäkaavio (Getting started guide NI-9216 2015)



Kuva 10. Pt-100 lämpötila-tunnistin (Lapp automaatio tuotelehti 2020)

Tässä työssä käytettävät lämpötilan mittaussanturit ovat malliltaan Pt-100, joten kyseinen vastuslämpötilan kortti sopii hyvin käyttötarkoitukseen. Pt-100 tarkoittaa vastusanturia, jossa 0 °C lämpötilassa on 100 Ω vastusta. Lämpötila-

lantunnistus  $-40$ – $+250$  °C. Tunnistimet kytketään kuvien 9 ja 10 mukaisella tavalla RTD-mittauskorttiin nelijohdin järjestelmällä. Tyypillisesti tämän tyyppisiä antureita käytetään energia- ja voimalaitostekniikassa, prosessi- ja kemianteollisuudessa, koneen- ja laivanrakennuksessa ja tehdastekniikassa.

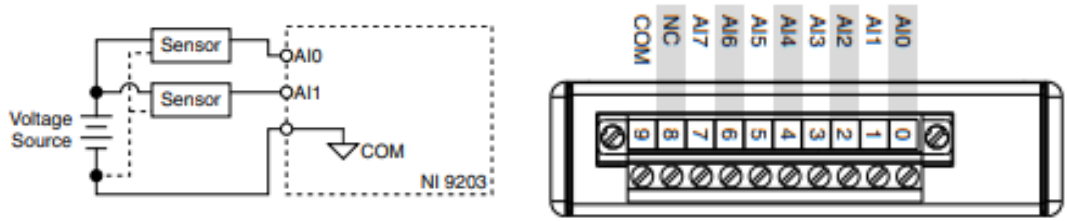
Lämpötilan tunnistimissa on standardisoitu tyyppikoodi (W-B-6K-N-50-G1/2-4-A-CB), josta selviää anturin ominaisuudet.

jossa,	W	Pt-100 vastusanturi	
	B	liitäntäkierre	
	6K	suojataskun halkaisija	[mm]
		K = ei kaulaputkea	
	N	liitäntärasia NA	
	50	upotussyvyys	[mm]
	G1/2	Kierrekoko	["]
	4	Pt-100 johdinluku	
	A	Pt-100 tarkkuusluokka A (vakio)	
	CB	keraaminen kytkentäpala	

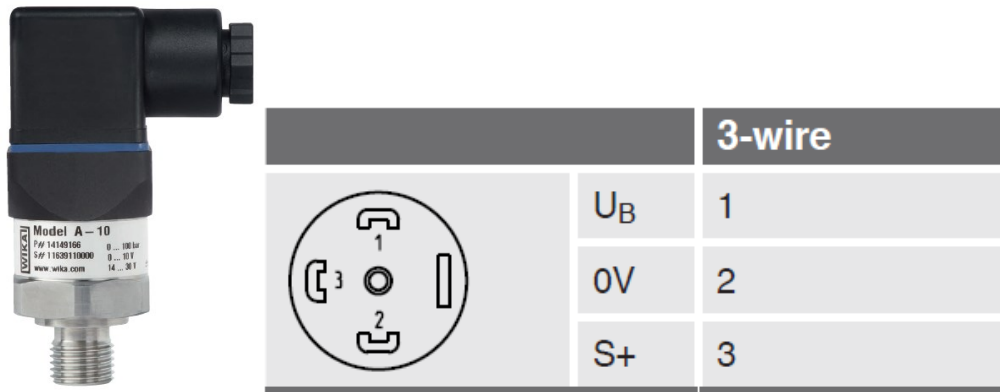
### 4.3 Paine- ja virtausmittaukset

Painelähetimet ja virtausmittari kytketään NI 9203 -korttiin, jossa on 8-analogista virrantulokanavaa ja tuloalueet voidaan ohjelmoida  $\pm 20$  mA tai 0–20 mA. Mittaukset vaativat aina ulkoisen jännitelähteen virtaviestin vahvistamiseen. Kortin resoluutio on 16-bittiä, ja jokaisella kanavalla on ylijännitesuojaus. (Getting started guide NI-9203 2015.)

Painelähettimeksi valittiin Wika A-10, joka on yleisesti käytössä teollisuuden mittaus- ja ohjaustekniikassa. Mittausalue 0–2,5 baria (abs), syöttöjännite 8–20 VDC ja ulostulo signaali 4–20 mA. Painelähetin kytketään NI 9203 -korttiin (kuva 11). Painelähetimen 1 napaan kytketään syöttöjännite ja navasta 2 in-put korttiin (kuva 12).



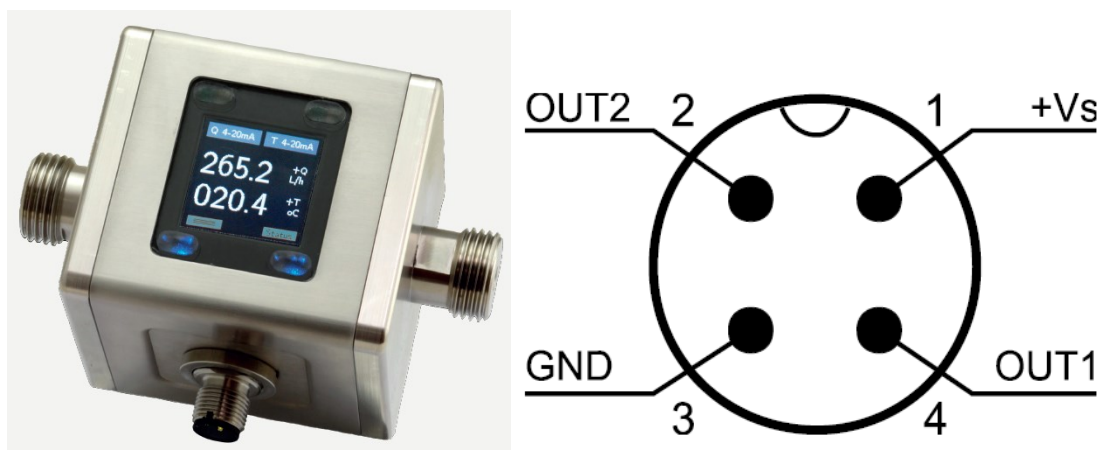
Kuva 11. NI 9203 -kytkentäkaavio (Getting started guide NI-9203 2015)



Kuva 12. Painelähetin (Operating instructions 2022)

Virtausmittariksi valittiin elektromagneettinen Siemens Sitrans FM-100, jonka mittausalue on 0–25 l/min. Virtausmittarissa on kaksi ulostuloa ja ne voi ohjelmoida tarpeen mukaan. Ulostulo on mahdollista saada jännite-, virta-, taajuus- tai pulssiviestinä. (Sitrans FM100 operating instructions 2021.)

Tässä työssä virtausmittarista otettiin lämpötila (out 1) ja virtaustieto (out 2) 4–20 mA virtatietona. Kytkeä NI 9203 -korttiin kuvien 11 ja 13 mukaisesti. Tarkempi kytkentäkaavio löytyy liitteestä 1.

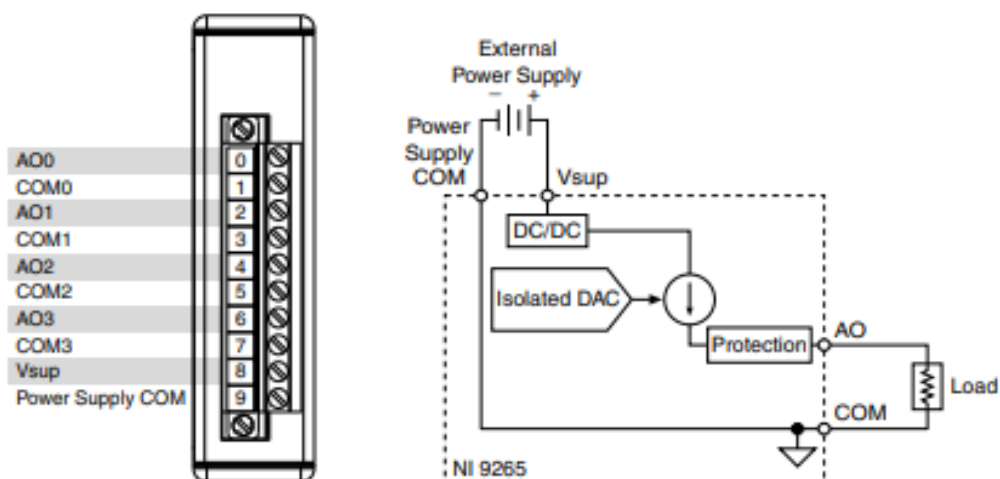


Kuva 13. FM-100 -virtausmittari (Sitrans FM100 operating instructions 2021)

#### 4.4 Ohjaukset

NI 9265 on analoginen output-kortti alueella 4–20 mA, ja sitä käytetään virtaohjattujen toimilaitteiden liittämiseen ja ohjaamiseen. Kortti tarvitsee aina ulkoisen jännitelähteen saadakseen aikaan tarvittavan virran toimilaitteelle. (Getting started guide NI-9265 2015.)

Tässä työssä korttiin liitetään sähköpneumaattinen paineensäädin ja sähköpneumaattinen on/off-venttiili (kuva 14). Syrjäytysnesteen paine pidetään vakaana mittauksen ajan sähköpneumaattisella paineensäätimellä. Toimilaite on palloventtiili, jossa on jousipalautus. Paineensäädintä ajetaan 4–20 mA:n virtaviestillä ja paineensäädin muuttaa paineilman avustuksella toimilaitteen asentoa. Tarkempi kytkentäkaavio löytyy liitteestä 1.



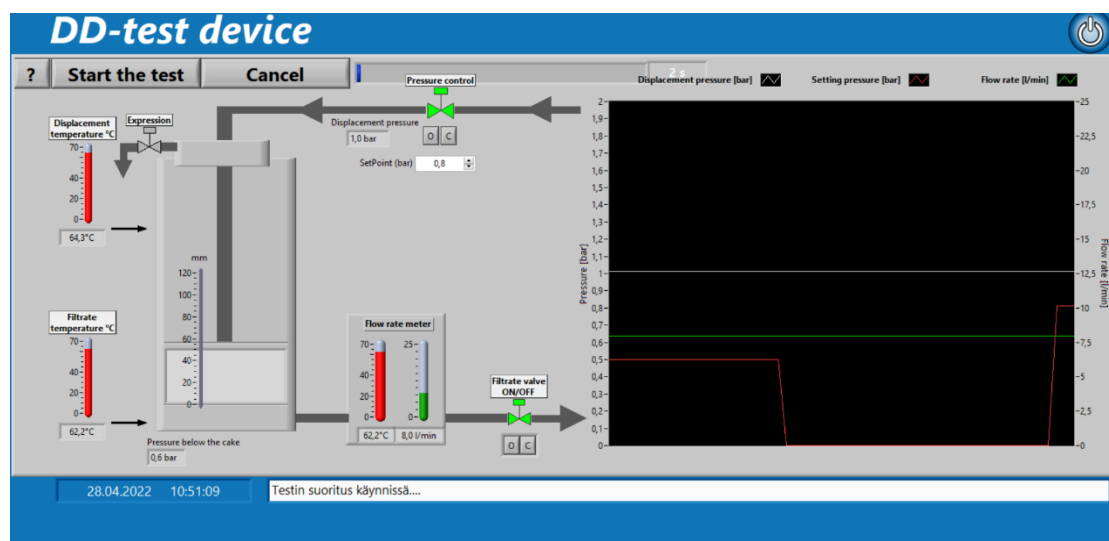
Kuva 14. NI 9265 -kytkentäkaavio (Getting started guide NI-9265 2015)

## 5 LABVIEW-OHJELMOINTI

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) on visuaalinen ohjelmointiympäristö automaattisiin mittaus- ja testausjärjestelmiin. Se on National Instrumentin kehittämään graafiseen G-ohjelmointikieleen perustuva ohjelmointiympäristö. LabVIEW koostuu kahdesta eri tasosta ohjelmassa: etupaneelistä (Front Panel) ja takapaneelistä eli lohkokaaaviosta (Block Diagram).

## 5.1 Front panel

Mittaussovelluksen etupaneeli näkyvässä on kaikki testilaitteen instrumentit näkyvillä PI-kaavion muodossa (kuva 15). Trendinäyttöön tulee testin asetus-paine punaisella värillä, valkoisella syrjäytysnesteen paine ja vihreällä virtausnopeus. Paineensäätimessä ja suodosventtiilissä on käsikäyttö painikkeet ilmausta varten ja venttiilin kuvakkeessa vihreä indikaattorivalo silloin, kun venttiili on aktiivinen. Testin aikana suodoksen indikaattori alkaa vilkkumaan, jos suodoksen lämpötila tippuu alle 59 °C. Alareunassa olevassa palkissa näkyy testausvaiheen tila. Kun testi alkaa, ylhäälle keskelle tulee näkyviin mittauksen kesto-aika sekunneissa. Tarvittaessa paineensäätimen PID-säätimet saa näkyviin viemällä hiiren SetPoint-painikkeen päälle, painamalla hiiren oikeanpuoleista painiketta ja valitsemalla ”View PID Settings” tai vastaavasti piilotettua ”Hide PID Settings”. Ohjelmasta poistutaan painamalla oikealta ylhäältä virtapainiketta. Testikäyttäjän ohjeet avautuvat kysymysmerkistä.

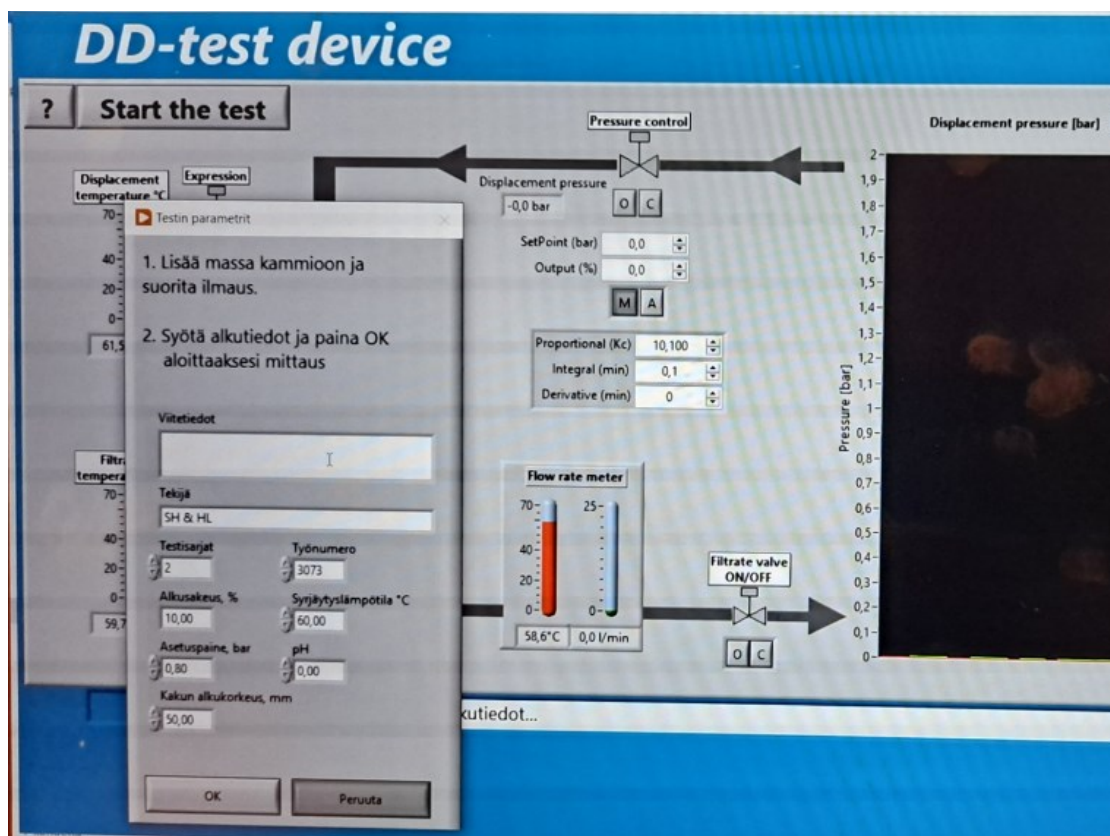


Kuva 15. Front panel DD-testilaite

### 5.1.1 Testin aloitus

Testi aloitetaan painamalla ”Start the test” (kuva 15) ja näkymään ponnahtaa ”Testin parametrit” dialogi, johon syötetään alkutiedot kuvan 16 mukaan. Tässä vaiheessa kammioon kaadetaan massa, suljetaan ja suoritetaan ilmaus. Ilmaus tehdään avaamalla käsikäyttöinen hana painekammion päältä ja painamalla etupaneelin näytöstä paineensäädin aktiiviseksi ”o” painikkeesta, tällöin paineensäädin avautuu 32 %. Kun ilma on poistunut, suljetaan hana ja

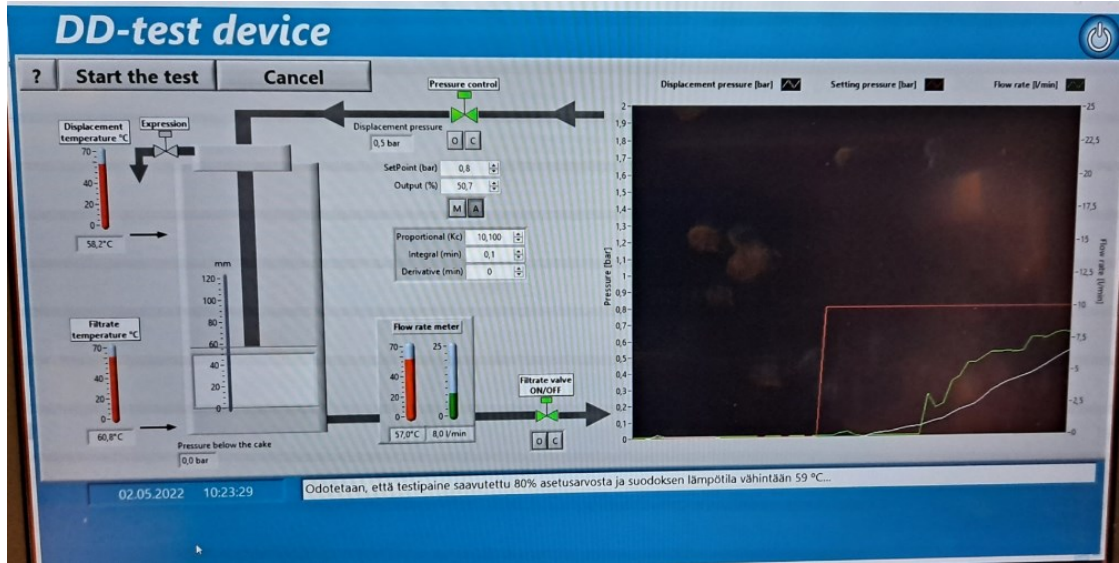
paineensäädin "c" painikkeesta. Syötettävät parametrit tallentuvat suoraan Excel-tiedostoon mittauksen päätyttyä. Testisarjoja voi valita 1–3 väliltä, mutta yleensä kaikista massoista tehdään kaksi sarjaa. Työnumero tarkoittaa kansiota johon mittaus tallentuu. Siinä käytetään juoksevaa numerointia, joten tuloksia ei ole mahdollista tallentaa päällekkäin samaan kansioon. Kun ilmaus on suoritettu ja tiedot täytetty, voidaan mittaus aloittaa painamalla "OK" -painiketta tai keskeyttää mittaus painamalla "PERUUTA".



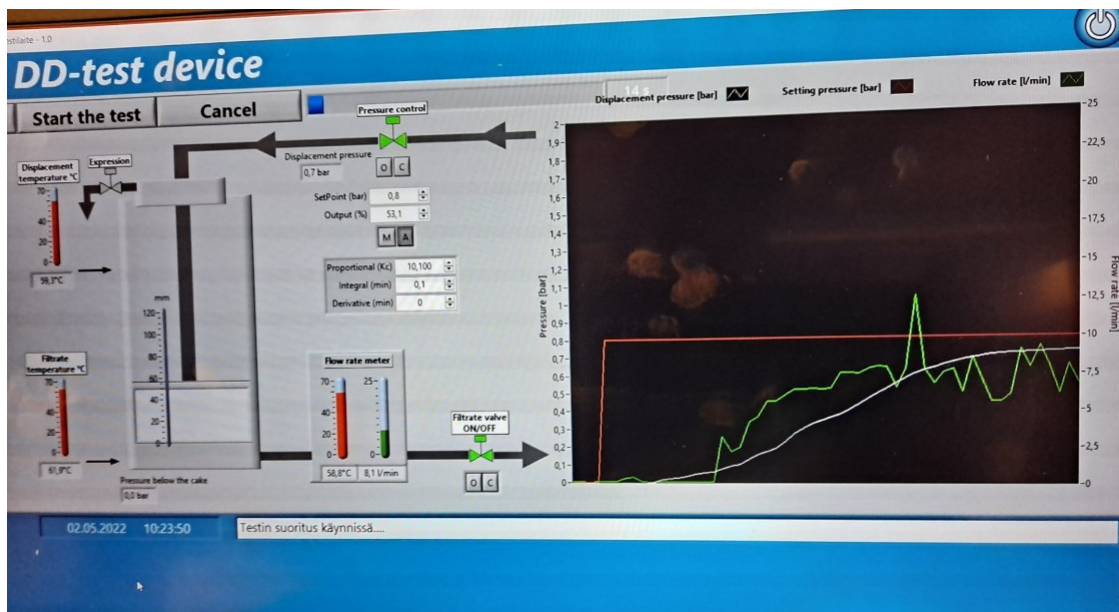
Kuva 16. Testin parametrit

### 5.1.2 Testausvaihe

Alkuvaiheen jälkeen ohjelma avaa suodosventtiilin, siirtää paineensäätimen automaatti asentoon ja alkaa nostamaan painetta kammiossa. Mittausdatan tallennus alkaa vasta sen jälkeen, kun paineen asetusarvo ja suodoksen tavoite lämpötila on saavutettu (kuva 17). Näiden ehtojen toteuduttua alkaa datan tallennus. Ohjelma ottaa 100 millisekunnin välein näytteitä kaikista lämpötiloista, paineista ja virtauksesta. Testausaika on määritelty loppumaan silloin, kun viimeisimmän 30 sekunnin aikana virtaus ei ole huojunut enempää kuin 0,1 l/min tai 5 minuutin aika on tullut täyteen. Mittausaika näkyy sekunteina näytön yläosassa (kuva 18).



Kuva 17. Testauspaineen odotus

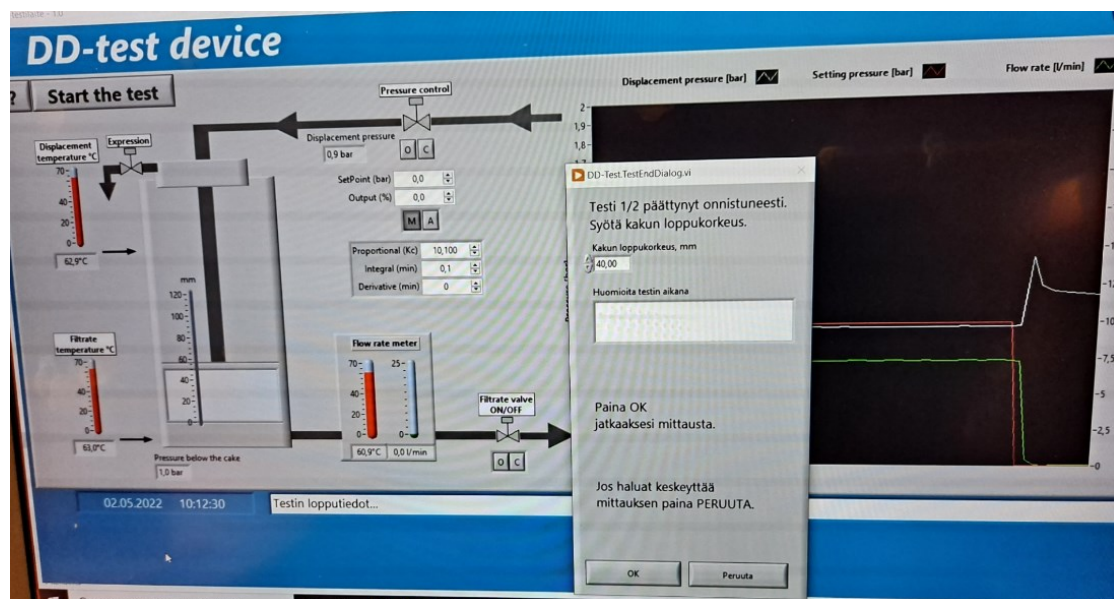


Kuva 18. Testi käynnissä

Testauksen aikana pitää huolehtia siitä, että syrjäytysneste ei loppu säiliöstä ja syrjäytysnesteen lämpö pysyy tavoitelämpötilassaan. Myös kakun korkeutta pitää arvioida kammion kyljestä olevasta asteikosta. Virtausmittarista voi seurata testin aikana suodoksen virtausta ja lämpötilaa (kuva 19). Kun mittaus on valmis ponnahtaa "TestEnd" -dialogi esiin (kuva 20). Dialogiin merkitään kakun loppukorkeus testin aikana ja mahdolliset huomiot liittyen mittaukseen. Painamalla "OK" ohjelma siirtyy testisarjan seuraavaan vaiheeseen ja kuvan 16 dialogi ilmestyy näyttöön. Tässä vaiheessa ladataan uusi massa ja jatketaan mittauksia samalla tavalla.



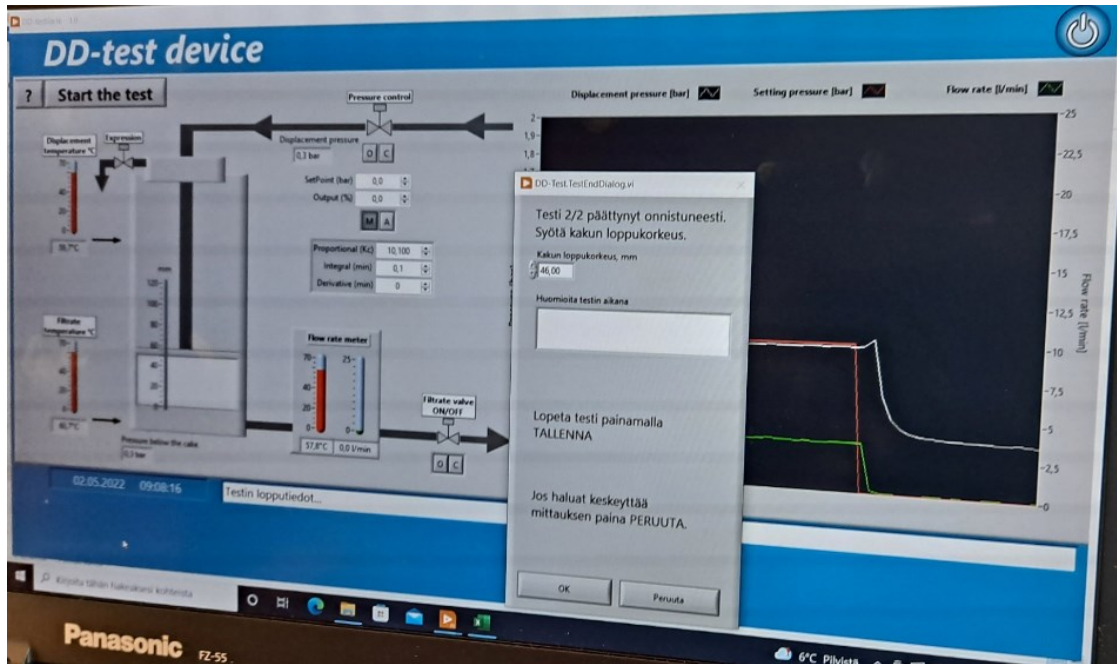
Kuva 19. Virtausmittari



Kuva 20. Ensimmäinen sarja suoritettu

### 5.1.3 Testin lopetus

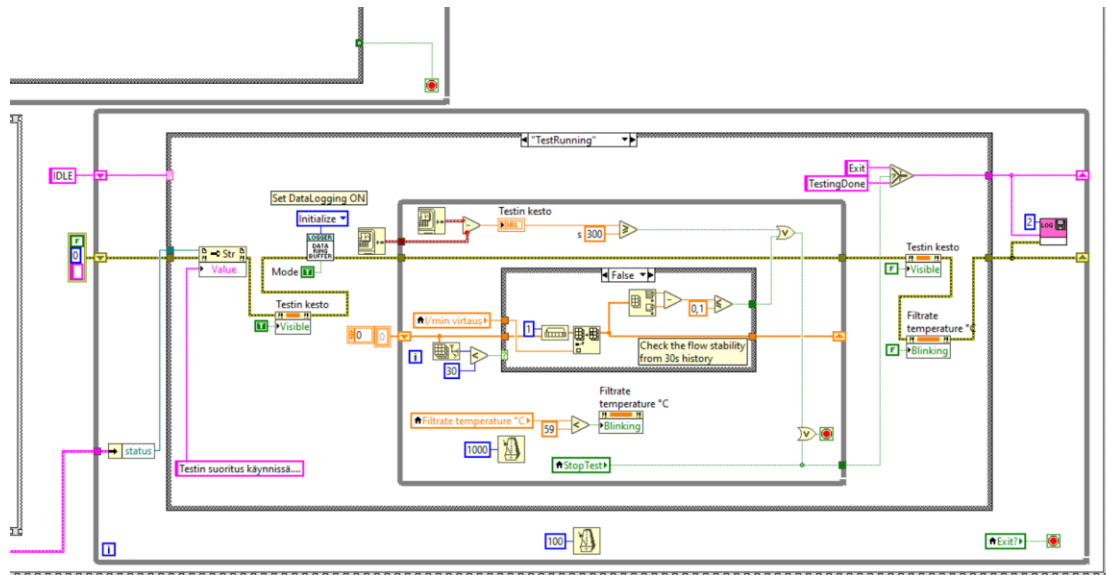
Testausvaiheen lopussa ilmestyy kuvan 21 "Test End" -dialogi, johon kirjoitetaan viimeisen kakun loppukorkeus ja mahdolliset huomiot testistä. Tämän jälkeen "OK" -painikkeella tiedot tallennetaan Excel-tiedostoon. Tallennuksen onnistumisen merkiksi tulee teksti "Tallennus valmis". Tämän jälkeen ohjelma palaa etupaneelin päänäkymään.



Kuva 21. Testin lopetus

## 5.2 Block diagram

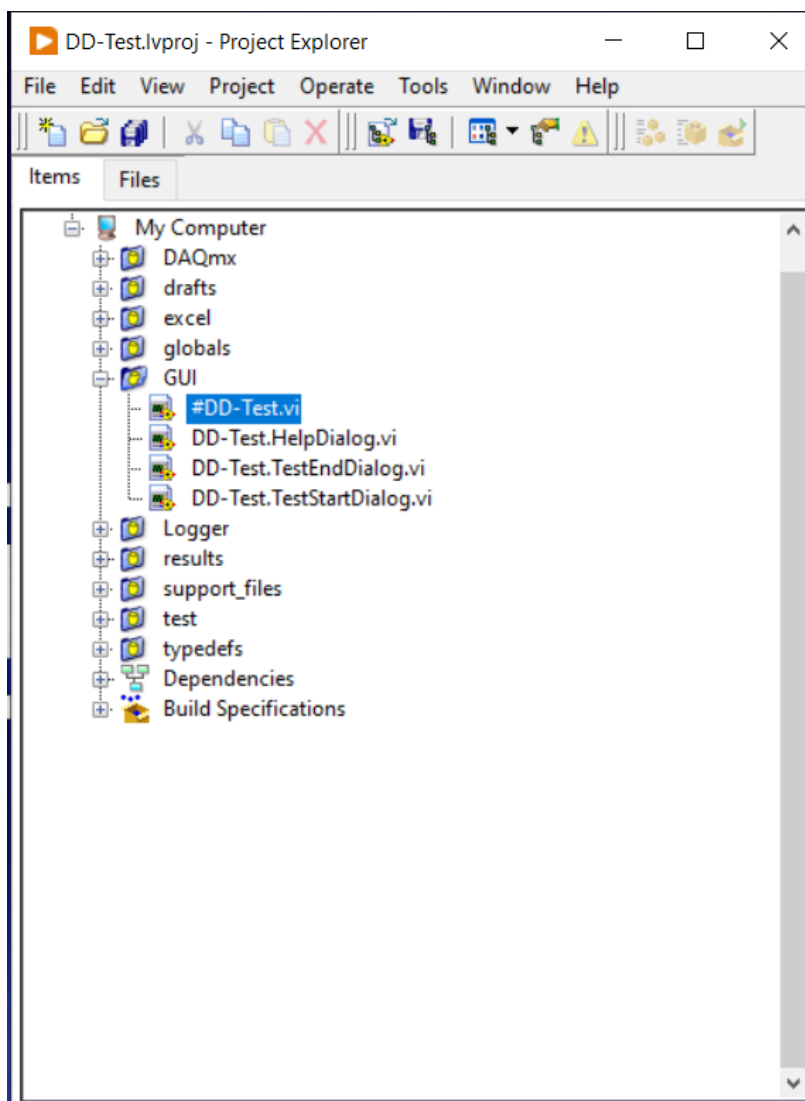
Takapaneelissa on itse ohjelmakoodi, joka koostuu erilaisista silmukoista ja sekvensseistä, joissa ohjelma pyörii halutulla tavalla. Näiden sisällä on yhteen johdotettuja virtuaalilohkoja (kuva 22). Virtuaalilohkot voivat olla esimerkiksi virtuaali-instrumentteja, laskutoimituksia, vertailuja, signaalin muuttamista ja käsittelemistä, aliohjelmaa ja paljon muuta. Jokaisesta ohjelmasta muodostuu vi-päätteinen tiedosto, joka sisältää aina oman etu- ja takapaneelin. Pääohjelma on tässä testilaitteessa DD-test.vi. Tämän ohjelman koodissa herätetään tarvittaessa jokin tietty aliohjelma paikalle projekti hakemistosta, joka taas pyöriin ohjelmassa määritellyn ajan.



Kuva 22. Block diagram

### 5.2.1 Projektihakemisto

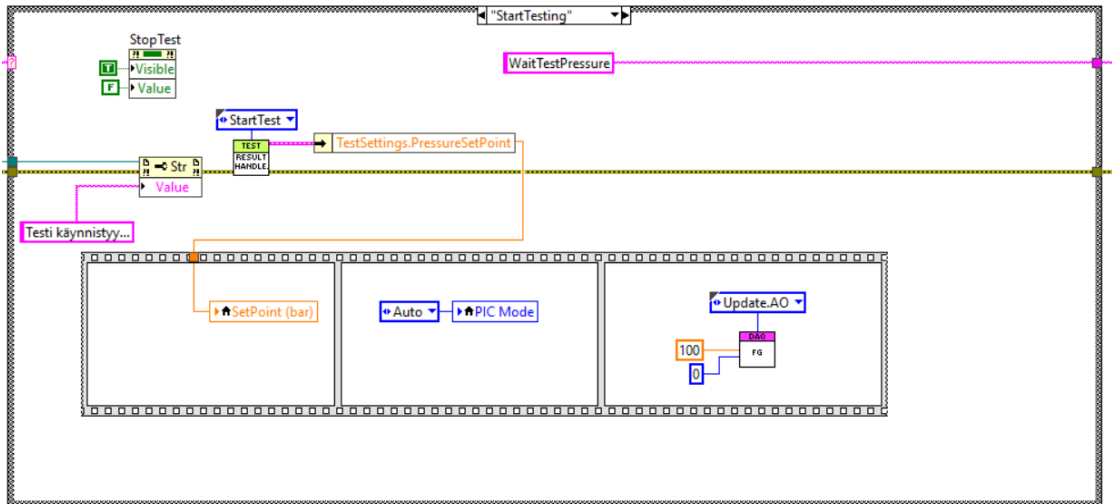
Testilaitteen ohjelmasta on rakennettu projekti, joka sisältää kaikki ohjelman tarvittavat aliohjelmat ja tiedostot (kuva 23). Ohjelma on koottu useista erilaisista aliohjelmista, joiden avulla pääohjelmakoodi on saatu yksinkertaisemmaksi ja helpommin luettavaksi. Projektihakemistosta on nopea etsiä ohjelman jokin tietty kohta, esimerkiksi, jos on tarve muuttaa "TestStartDialog" -aliohjelmaa, löytyy aliohjelma projektihakemiston kohdasta "GUI" (kuva 23). Projektihakemiston kansioista "support files" löytyy DD-test.ini -tiedosto, josta ohjelma hakee PID-säädön alkuarvot, tulosten tallennuksen ja "TestResults-Template" tiedostojen polut. Jos PID-säätöjä haluaa muuttaa siten, että säädöt jäävät muistiin, pitää arvot käydä muuttamassa tänne.



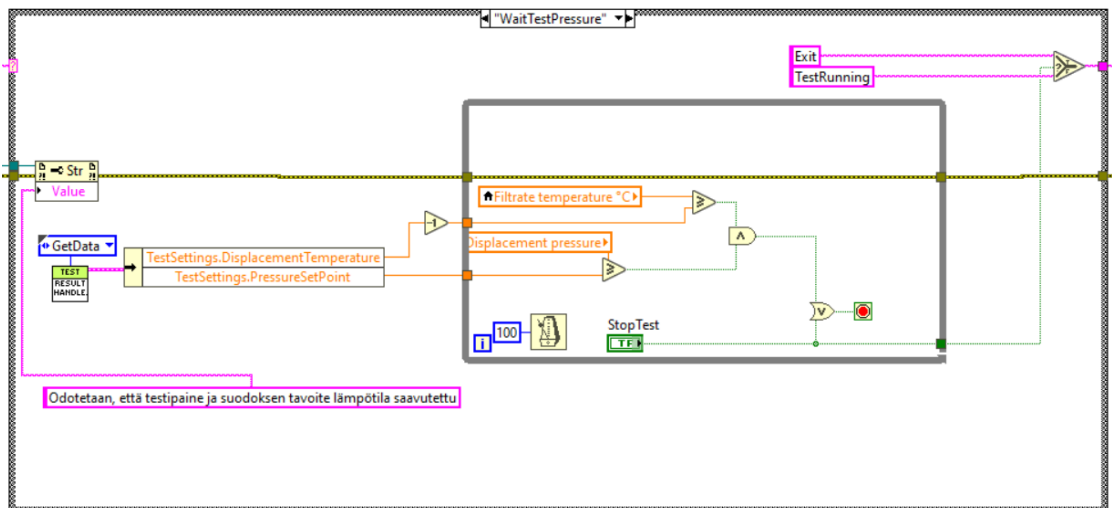
Kuva 23. DD-testin projektihakemisto

## 5.2.2 DD-testin mittauksen tallennus

Tässä luvussa selvennän, kuinka mittausdatan tallennus on määritelty ohjelmakoodissa. Tallennus määritelmät löytyvät pääohjelmasta DD-test.vi. Ohjelmassa testin kulku pyörii samassa silmukassa vaiheesta toiseen. Kuvassa 24 on tilanne, jossa ohjelma on sillä hetkellä, kun alkutiedot on syötetty ja painettu "OK" -painiketta (kuva 16). Tässä silmukassa ohjelma asettaa asetuspaineen, siirtää PID-säätimen automaattikäytölle ja avaa suodosventtiilin. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy välittömästi silmukkaan odottamaan testin alkumäärittely ehtojen täyttymistä (kuva 25).

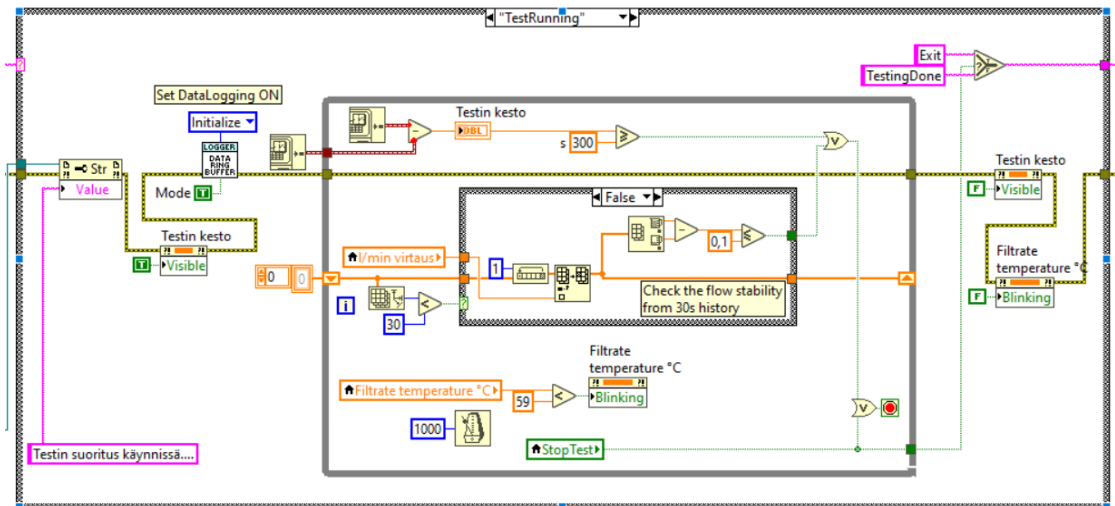


Kuva 24. Testin aloitus



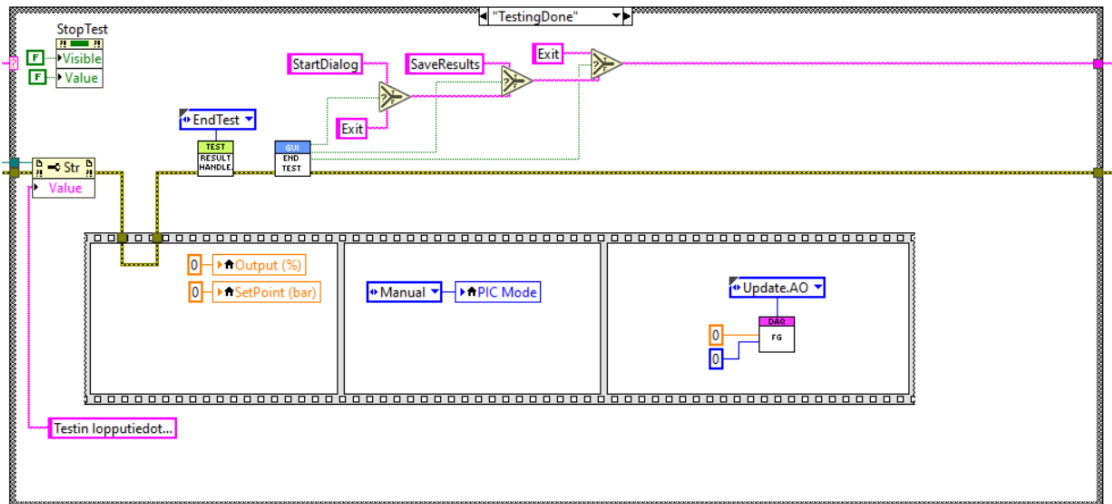
Kuva 25. Testipaineen odotus

Kuvan 25 silmukkaan on määritely mittauksen datan tallennuksen ehdoiksi asetuspaineen ja suodoksen tavoitelämpötilan saavuttaminen. Kun kyseiset ehdot täyttyvät, siirtyä ohjelma kuvan 26 silmukkaan.

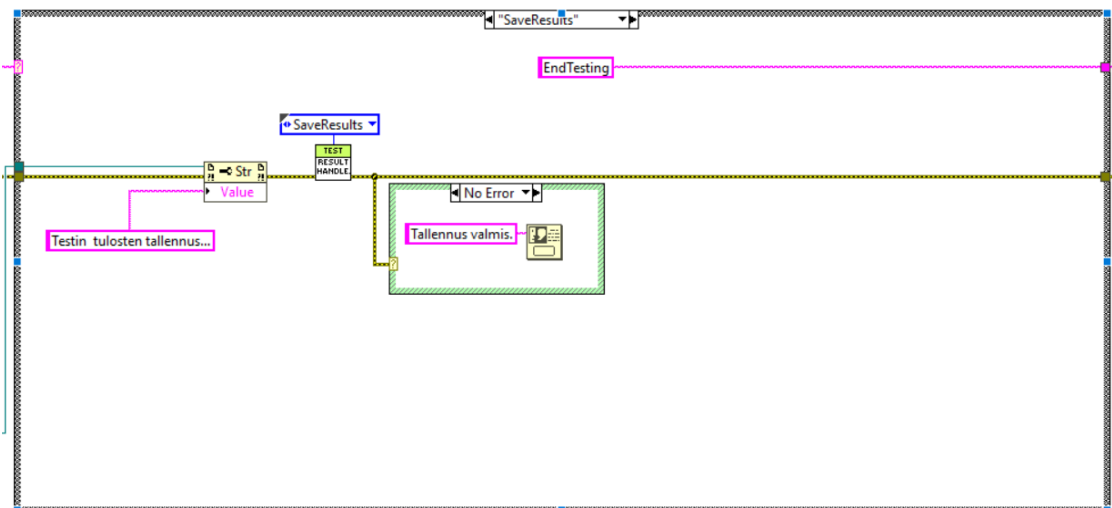


Kuva 26. Testi käynnissä

Kuvassa 26 mittaus on käynnissä ja testin kestoaika kirjoitetaan etupaneelinäkymään. Tässä silmukassa ohjelma lukee 30 sekunnin takaista virtauksen tallennushistoriaa yhden sekunnin välein. Jos virtausnopeus on tasaantunut arvoon  $\pm 0,1$  l/min viimeisimmän 30 sekunnin aikana, ohjelma lopettaa mittauksen tai viimeistään kun on kulunut 300 sekunnin aika. Mahdollisissa mittauksen aikana tapahtuvissa häiriöissä ohjelmaan on koodattu suodatin, joka poistaa kaikki NaN (Not a Number) -merkinnät mittausdatasta. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy kuvan 27 silmukkaan. Tässä kuvan 27 silmukassa ohjelma sulkee paineensäätimen ja suodosventtiilin sekä asettaa paineensäätimen manuaalitilaan. Sen jälkeen se jatkaa mittaussarjan seuraavaan vaiheeseen tai lopettaa mittauksen siirtymällä kuvan 28 silmukkaan, jossa ohjelma tallentaa mittausdatan tiedostoon. Tallennus tapahtuu projektihakemiston "Results" -kansioon, johon ohjelma luo automaattisesti uuden työnnumerolla olevan kansioon.



Kuva 27. Testi valmis



Kuva 28. Datan tallennus

### 5.3 Excel-tiedostoon kirjoittaminen

Ohjelman projekti hakemiston "SupportFiles"-kansioon on tallennettu valmis Excel-taulukkopohja, johon ohjelma tallentaa mittaustiedot (kuva 29). Ohjelma luo jokaiselle mittaukselle oman työnumeroa vastaavan kansion projektihakemiston "Results"-kansioon. Excel-tiedoston nimeksi tulee YYYYMMDD-HHMMSS eli päivämäärä ja testin alkamisen kellonaika. Tyhjässä taulukossa on ainoastaan kakun kuivapaino ja laskukaavat. Laskennassa käytettävät kaavat on esitelty luvussa 3.2. Tiedostossa on kaksi välilehteä, joista toiselle tulee mittauksista tallentunut data (kuva 31) ja toisella välilehdellä suoritetaan laskenta, joissa käytetään datalehden tietoja (kuva 30).

	A	C	E	F	G	I	K	L	P	R	T	V
1												
2	MILL	0			DISPL. SPEED	mm/s	#JAKO/0!			DATE	0.1.1900	
3	PULP				FIBER LENGTH	mm				MADE BY	0	
4					KAPPA NUMBER							
5	Sample date				VISCOSITY, CED	ml/g				COMMENTS:		
6	Sampling point				SV (/ / 0.15 mm)	%						
7	Sample number				CSF	ml						
8					SR							
9					pH		0					
10												
11	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s				
12			Default value	Real value	kg/m2	bar	start /mm	end /mm	l/min	Meter reading	AVERAGE	
13												
14			66.4									
15			66.4									
16			66.4									
17												#JAKO/0!
18									Feed_flow - collection (l/min)			
19					Käsin syötettävät arvot							
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												

Kuva 29. TestResultsTemplate.xls

Taulukon DDtestResults välilehdelle tulee kaikki mittaus data omiin sarakkeisiin alkaen rivistä 34 (kuva 31). Jokainen eri testisarja tallentuu vierekkäin samoille riveille. Riveille 3–14 tallentuu "TestStart"-dialogin alkutiedot ja riveille 15–21 tallentuu testin aikana mitatut keskimääräiset lämpötila-, paine-, ja virtausarvot sekä suodoksen tilavuus. Rivillä 23 on syötetty kakun loppukorkeus ja rivillä 25 mahdolliset ohjelmassa syötetyt kommentit mittauksen aikana. Näistä rivien 3–25 tiedoista haetaan arvot "Frontpage"-välilehdelle kuvan 30 mukaisesti. Laskenta on valmis sen jälkeen, kun saadaan massakakkujen painot kuivatuksen jälkeen. Kuivapainot lisätään keltaisilla maalattuihin soluihin. Lopullinen keskimääräinen syrjäytysnopeus löytyy soluista K2 ja V17.

	A	C	E	F	G	I	K	L	P	R	T	V
1												
2	MILL	HÄ1 jälkeen 16.11.21			DISPL. SPEED	mm/s	9.58			DATE	02.05.2022	
3	PULP				FIBER LENGTH	mm				MADE BY	SH & HL	
4					KAPPA NUMBER							
5	Sample date				VISCOSITY, CED	ml/g				COMMENTS:		
6	Sampling point				SV (/ / 0.15 mm)	%						
7	Sample number				CSF	ml						
8					SR							
9					pH		0					
10												
11	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s				
12			Default value	Real value	kg/m2	bar	start /mm	end /mm	l/min	Meter reading	AVERAGE	
13												
14	1	63.1	66.4	64.32	4.9	0.8	50.00	45.00	7.57	9.50	9.18	
15	2	63.0	66.4	62.10	4.7	0.8	50.00	45.00	8.47	10.64	9.97	
16			66.4							#ARVO!		
17												9.58
18												

Kuva 30. Tiedostoon tallentuneet tulokset, Frontpage

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
3	Reference	HA1 jälkeen 16.11.21						Reference	HA1 jälkeen 16.11.21						
4	User	SH & HL						User	SH & HL						
5	Data	02.05.2022						Data	02.05.2022						
6	Time	10:06:46						Time	10:22:58						
7	Target basic parameters							Target basic parameters							
8	Target displacement temperature (°C)	60						Target displacement temperature (°C)	60						
9	Target pressure (bar)	0,8						Target pressure (bar)	0,8						
10	Initial cake height (mm)	50						Initial cake height (mm)	50						
11	Target initial cake consistency (%)	10						Target initial cake consistency (%)	10						
12	pH	0						pH	0						
13	REPEAT	2						REPEAT	2						
14	VERSION	1						VERSION	1						
15	Feed_flow (l/min)	7,396						Feed_flow (l/min)	8,066						
16	T_below_cake (°C)	63,05						T_below_cake (°C)	62,973						
17	T_feed (°C)	62,901						T_feed (°C)	62,778						
18	V_filtrate (l)	37,953						V_filtrate (l)	42,546						
19	p_over_cake (bar)	0,777						p_over_cake (bar)	0,772						
20															
21	Feed_flow - collection (l/min)	7,565						Feed_flow - collection (l/min)	8,472						
22															
23	Cake height during test (mm)	45						Cake height during test (mm)	45						
24	Cake weight during test (g)	Not from test software						Cake weight during test (g)	Not from test software						
25	Comments							Comments							
26	Channels	Name	Unit					Channels	Name	Unit					
27	ch00	virtaus	l/min					ch00	virtaus	l/min					
28	ch01	lämpötila virtaus	°C					ch01	lämpötila virtaus	°C					
29	ch02	Kakun yläpuolinen paine	bar					ch02	Kakun yläpuolinen paine	bar					
30	ch03	Kakun alapuolinen paine	bar					ch03	Kakun alapuolinen paine	bar					
31	ch04	Syrjäytysneste lämpötila	V					ch04	Syrjäytysneste lämpötila	V					
32	ch05	Suodos lämpötila	V					ch05	Suodos lämpötila	V					
33	t/s	ch00	ch01	ch02	ch03	ch04	ch05	t/s	ch00	ch01	ch02	ch03	ch04	ch05	
34	0	7,573	57,627	0,65	0,006	59,7	60,9	0	6,55	57,523	0,64	0,009	58,3	61,2	0
35	0,101	7,074	57,633	0,65	0,005	59,7	60,9	0,099	6,927	57,586	0,65	0,01	58,3	61,2	0
36	0,201	6,535	57,683	0,65	0,005	59,7	60,9	0,199	7,333	57,58	0,65	0,009	58,3	61,2	0
37	0,3	6,043	57,585	0,66	0,005	59,7	60,9	0,299	7,588	57,571	0,65	0,01	58,3	61,2	0
38	0,4	5,756	57,633	0,66	0,005	59,7	60,9	0,4	7,662	57,603	0,65	0,009	58,3	61,2	0
39	0,501	5,636	57,657	0,66	0,005	59,7	60,9	0,5	7,662	57,566	0,65	0,01	58,3	61,2	0
40	0,601	5,546	57,692	0,66	0,004	59,7	60,9	0,6	7,647	57,581	0,65	0,01	58,3	61,2	0
41	0,701	5,402	57,646	0,66	0,005	59,7	60,9	0,7	7,563	57,635	0,66	0,01	58,3	61,2	0
42	0,8	5,387	57,706	0,66	0,006	59,7	60,9	0,799	7,407	57,659	0,66	0,01	58,3	61,2	0
43	0,902	5,382	57,593	0,66	0,005	59,7	60,9	0,901	7,247	57,64	0,66	0,011	58,4	61,2	0
44	1,001	5,384	57,67	0,67	0,005	59,7	61	1	7,12	57,735	0,66	0,011	58,4	61,2	0
45	1,101	5,364	57,607	0,67	0,005	59,7	61	1,099	7,21	57,721	0,66	0,011	58,4	61,2	0
46	1,202	5,461	57,7	0,67	0,006	59,7	61	1,199	7,479	57,669	0,66	0,01	58,4	61,2	0
47	1,3	5,637	57,676	0,67	0,006	59,7	61	1,301	7,775	57,69	0,66	0,01	58,4	61,3	0

Kuva 31. Tiedostoon tallentunut data sivu

## 6 TULOSTEN ANALYSOINTI

Vanhan mittalaitteiston tulosten paikkaansa pitävyys pitäisi pystyä todentamaan, että saataisi vertailukohta uudelle mittausjärjestelmälle. 20 vuoden aikana paine- ja lämpötilatunnistimet ovat saattavat hiljalleen ajautua, mikä vaikuttaa lopullisiin tuloksiin. Painetunnistimet testasin kalibraattorilla huonelämpötilassa, ja heittoa oli 2–3 kPa. Lämpötilatunnistimien mittaustarkkuus ei vaikuta merkittävästi lopulliseen laskentaan, joten tarkistin vain näyttämän vertailuna infrapunamittarin arvoon.

Tulosten analysointia ja vertailua varten otimme massanäytteitä kahdelta eri tehtaalta useammasta eri pesuvaiheesta. Sellun eri käsittelyvaiheissa massan tiheys ja koostumus on erilainen, joten se vaikuttaa olennaisesti suotautumisvastukseen. Kaikista näytteistä tehtiin kahden sarjan vertailutestit vanhalla ja uudella laitteistolla. Kuvassa 32 on testitulokset massasta 1. Vaalealla pohjalla on uuden mittauslaitteiston tulokset ja keltaisella vanhan laitteiston tulokset. Laskenta on toteutettu samalla tavalla vanhassa ja uudessa mallissa.

Tuloksista havaitsemme, että mittaukset ovat tuottaneet hyvin lähelle samat tulokset. Huomioitavaa on suodoksen lämpötilan ja kakun loppukorkeuden

merkitys tuloksissa. Näitä arvoja ei ole huomioitu laskennassa. Vanhassa mitauksessa näkyy lämpötilan kohdalla asetustempötila, kun taas uudessa mitauksessa lämpötilan laskettu keskimääräinen arvo. Syrjäytysnesteen lämpötila vaikuttaa kumminkin olennaisesti suotautuvuuteen, myös kakun loppukorkeudessa on 7 millimetrin ero.

	A	C	E	F	G	I	K	L	N	P	R	T	V
1													
2	MILL	HA1 jälkeen 16.11.21			DISPL. SPEED	mm/s	9,98				DATE	02.05.2022	
3	PULP				FIBER LENGTH	mm					MADE BY	SH & HL	
4					KAPPA NUMBER								
5	Sample date				VISCOSITY, CED	ml/g							
6	Sampling point				SV (// 0.15 mm)	%					COMMENTS:		
7	Sample number				CSF	ml							
8					SR								
9					pH		0						
10													
11	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	OF CAKE		WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s		
12			Default value	Real value	kg/m <sup>2</sup>	bar	start /mm	end /mm		l/min	Meter reading	AVERAGE	
13													
14	1	63.1	66.4	64.32	4.9	0.8	50.00	45.00		7.57	9.50	9.18	
15	2	63.0	66.4	62.10	4.7	0.8	50.00	45.00		8.47	10.64	9.97	
16			66.4								#ARVO!		
17												9,98	
18										Feed_flow - collection (l/min)			
19													
20					Käsin syötettävät arvot								
21	DD-testit												
22	MILL				DISPL. SPEED	mm/s	9,96				DATE	4.2.2022	
23	PULP	HA1 jälkeen 16.11.2023			FIBER LENGTH	mm							
24					KAPPA NUMBER								
25	Sample date				VISCOSITY, CED	ml/g							
26	Sampling point				SV (// 0.15 mm)	%							
27	Sample number				CSF	ml							
28					SR								
29					pH								
30													
31													
32	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	FILTRATE AMOUNT	WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s			
33			Default value	Real value	kg/m <sup>2</sup>	bar	start /mm	end /mm	dm <sup>3</sup> /min	dm <sup>3</sup> /min	Curve	Meter reading	AVERAGE
34	1	60	66.4	64.09	4.8	0.8	50	38.00	8.07	8.04	10.14	10.10	9.76
35	2	60	66.4	62.91	4.7	0.8	50	38.00	8.56	8.47	10.75	10.64	10.15
36													9,96
37									Feed_flow(collection)	Feed_flow			
38													

Kuva 32. Vertailu tulokset massa 1

Kuvassa 33 on testitulos massasta 2, joissa on jo selvästi eroavaisuuksia. Virtausnopeus vanhassa testissä on keskimäärin 5,51 l/min ja uudessa 3,6 l/min. Kuivapainoissa ei ole kumminkaan suuria eroja, mutta kakun loppukorkeudessa oli 5 mm ero.

	A	C	E	F	G	I	K	L	P	R	T	V
1												
2	MILL				DISPL. SPEED	mm/s	4,55			DATE	02.05.2022	
3	PULP				FIBER LENGTH	mm				MADE BY	SH & HL	
4					KAPPA NUMBER							
5	Sample date				VISCOSITY, CED	ml/g				COMMENTS:		
6	Sampling point				SV (/ / 0.15 mm)	%						
7	Sample number				CSF	ml						
8					SR							
9					pH		0					
10												
11	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s				
12			Default value	Real value	kg/m2	bar	start /mm	end /mm	l/min	Meter reading	AVERAGE	
13	1	60,3	66,4	65,62	4,9	0,8	50,00	46,00	3,77	4,73	4,61	
14	2	60,7	66,4	67,55	5,1	0,8	50,00	46,00	3,43	4,31	4,49	
15			66,4							#ARVO!		
16											4,55	
17												
18												
19					Käsin syötettävät arvot				Feed_flow - collection (l/min)			
20												
21	MILL				DISPL. SPEED	mm/s	6,41			MADE BY	SH	
22	PULP				FIBER LENGTH	mm						
23					KAPPA NUMBER							
24	Sample date	15.11.2021			VISCOSITY, CED	ml/g						
25	Sampling point	11:45			SV (/ / 0.15 mm)	%						
26	Sample number				CSF	ml						
27					SR							
28					pH		Standard					
29												
30	TEST NO.	TEMPERATURE °C	WEIGHT OF CAKE, g	SQUARE LOAD	PRESSURE	THICKNESS OF CAKE	WASH WATER FLOW	DISPLACEMENT SPEED, mm/s				
31			Default value	Real value	kg/m2	bar	start /mm	end /mm	dm3/min	Curve	Meter reading	AVERAGE
32	1	60	66,4	68,86	5,2	0,8	50	41,00	4,51	5,65	5,66	6,04
33	2	60	66,4	67,46	5,1	0,8	50	41,00	5,27	6,61	6,62	6,78
34												6,41
35												

Kuva 33. Vertailu tulokset massa 2

Kaikkia vanhalla laitteistolla tehtyjä testejä ei ole vertailtu uuden laitteen avulla tehtyjen mittauksien kanssa, koska osassa oli testauksen aikana tullut jonkinlaisia häiriöitä, esimerkiksi viivettä suodosventtiilin avautumisessa ja painehäiriöitä. Myöhemmin havaittiin, että vanhan mittalaitteiston paine-erotunnistimessa tuli ajautumaa keräyssuppilon lämmitessä ja se aiheutti paikoin virhettä mittaukseen. Uuden mittalaitteiston virtausmittari tarkastettiin laskemalla mittauksessa saatava suodos mitta-astiaan ja vertaamalla ohjelmiston ilmoittamaan suodosmäärään. Kannulla mitattiin n. 3,450 l ja ohjelma näytti 3,651 l. Ero syntyy lähinnä siitä, kun osa suodoksesta meni lattialle mittauksen aikana.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä onnistuttiin hyvin alkukankeudesta huolimatta. Vanhan mittausohjelman selvittely ja graafisen ohjelmointikielen opiskelu vei paljon aikaa. Myös LabVIEW-lisenssin myöhästymisen tuotti osaltaan ongelmia. Onneksi ohjelmointiapua löytyi melkein naapurista ja siitä kiitokset Mikko Pesoselle.

Mittausohjelmasta saatiin aikaan selkeä ja helppokäyttöinen kokonaisuus, jolla pystytään nopeuttamaan mittausprosessia ja helpottamaan laboratoriohenkilökunnan työtä. Nykyisellä yksinkertaisella virtausmittauksella saadaan aikaan luotettavampia ja tasaisempia mittaustuloksia verrattuna vanhaan laitteistoon.

Mittaustuloksista voidaan todeta, että elektromagneettinen virtausmittausmittari soveltuu riittävällä tarkkuudella kyseisen keskimääräisen syrjäytysnopeuden mallintamiseen laboratorio olosuhteissa. Mittauksen kokonaiskesto 5 minuutin tai viimeisen 30 sekunnin aikainen virtauksen tasaisuus todettiin riittäviksi, jotta voidaan määrittää lopullinen keskimääräinen syrjäytysnopeus [mm/s].

Kehitysmahdollisuuksia olisi kuitenkin vielä syrjäytysnesteen syötön automatisoinnissa ja tarkemmassa syrjäytysnesteen lämpötilan hallinnassa. Pitäisi myös miettiä, onko laskennassa tarvetta huomioida testin aikainen todellinen suodoksen lämpötila jonkinlaisella kertoimella ja kakun loppukorkeuden merkitys lopulliseen tulokseen. Tällä hetkellä kakun loppukorkeuden arviointi on hankala katsoa luotettavasti, koska kakku ei koskaan painu tasaisesti, vaan se pitää määrittää arvioimalla.

Ohjelma on tarkoitus kääntää EXE-tiedostoksi viimeisten säätöjen jälkeen. Muutos ehdotuksia ohjelmaan olisi paineensäädön parametrien asetus eri tavalla suotautuvan massan mukaan. Tällöin saataisiin aikaan hieman lyhyempi mittaus ja vielä tarkempi paineen säätö mittauksen alkuvaiheessa.

## LÄHTEET

Getting started guide NI 9265. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374067g.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Getting started guide NI 9203. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374070e.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Getting started guide NI 9216. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/376921c.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita.

National Instrument. 2021. WWW-sivusto. Saatavissa: <http://www.ni.com>. [viitattu 31.3.2022].

Pihkala, J. 2010. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2.painoksen toinen muuttumaton lisäpainos. Helsinki: Opetushallitus.

Sarkki, S. 2020. Syrjäytystestin kehitys ja analyysitarkkuuden parantaminen. Kaakkois-suomen ammattikorkeakoulu, XAMK. Biotuotetekniikka. Opinnäyte-työ. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202102011763> [viitattu 8.3.2022].

Sitrans FM100 operating instructions. 2021. Siemens. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.siemens.fi> [viitattu 28.4.2022].

Syrjäytystesti ohje. 2002. Andritz Oy. Fiberflow research center. Moniste.

## KUALUETTELO

Kuva 1. Prosessin lohkokaavio

Kuva 2. Säättöpiirin periaatekuva

Kuva 3. DD-testilaite

Kuva 4. Andritz DD-Washer™. Andritz Oy. 2022. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/fiberline/dd-washer> [viitattu 4.5.2022].

Kuva 5. Vanha DD-testilaitteisto

Kuva 6. Kuvankaappaus vanhoista mittaustuloksista. 2021. Xamk kuitulaboratorio.

Kuva 7. Uusi testilaitteisto

Kuva 8. NI cDAQ 9178 -moduuli

Kuva 9. NI 9216 -RTD-kortin kytkentäkaavio. Getting started guide NI 9216. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/376921c.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Kuva 10. Pt-100 lämpötila-tunnistin. Lapp automaatio tuotelehti. 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.epicsensors.fi/fileadmin/user\\_upload/downloads/sensor2/fi/1\\_EPIC\\_SENSORS\\_kierteellinen\\_lampotila-anturi\\_ilmан\\_kaulaputkea.pdf](https://www.epicsensors.fi/fileadmin/user_upload/downloads/sensor2/fi/1_EPIC_SENSORS_kierteellinen_lampotila-anturi_ilmан_kaulaputkea.pdf) [viitattu 24.4.2022].

Kuva 11. NI 9203 -kytkentäkaavio. Getting started guide NI 9203. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374070e.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Kuva 12. Painelähetin. Operating instructions. 2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.wika.fi/upload/OI\\_A\\_10\\_en\\_de\\_fr\\_es\\_6240.pdf](https://www.wika.fi/upload/OI_A_10_en_de_fr_es_6240.pdf) [viitattu 24.4.2022].

Kuva 13. FM-100 -virtausmittari. Sitrans FM100 operating instructions. 2021. Siemens. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.siemens.fi> [viitattu 28.4.2022].

Kuva 14. NI 9265 -kytkentäkaavio. Getting started guide NI 9265. 2015. National Instrument. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374067g.pdf> [viitattu 13.3.2022].

Kuva 15. Front panel DD-testilaite

Kuva 16. Testin parametrit

Kuva 17. Testauspaineen odotus

Kuva 18. Testi käynnissä

Kuva 19. Virtausmittari

Kuva 20. Ensimmäinen sarja suoritettu

Kuva 21. Testin lopetus

Kuva 22. Block diagram

Kuva 23. DD-testin projektihakemisto

Kuva 24. Testin aloitus

Kuva 25. Testipaineen odotus

Kuva 26. Testi käynnissä

Kuva 27. Testi valmis

Kuva 28. Datan tallennus

Kuva 29. TestResultsTemplate.xls

Kuva 30. Tiedostoon tallentuneet tulokset, Frontpage

Kuva 31. Tiedostoon tallentunut data sivu

Kuva 32. Vertailu tulokset massa 1

Kuva 33. Vertailu tulokset massa 2

