



Kosteusantureiden kalibrointi- tavat ja toimintatapaohjeen val- mistus

Mikko Viitala

OPINNÄYTETYÖ
maaliskuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen

VIITALA, MIKKO:

Kosteusantureiden kalibrointitavat ja toimintatapaohjeen valmistus

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 29 sivua
maaliskuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka Michell HygroCal100-kalibrointilaitetta käytetään kosteusanturien kalibroinnissa, ja laatia laitteen käyttöä varten toimintatapaohje.

Tutkimuksen jälkeen verrattiin Tampereen yliopistolla käytettäviä RH/T-mittalaitteiden kalibrointimenetelmiä toisiinsa.

Tampereen yliopistolla käytettävät kalibrointitavat eroavat toisistaan kalibroinnissa käytettävän referenssikosteuden osalta. Suolaliuosmenetelmällä referenssikosteus perustuu kylläisellä suolaliuksella luotuun kosteuteen ja Michell HygroCal100-kalibrointilaitteella suoritettu kalibrointi perustuu Michell Optidew Vision chilled mirror-kastepistemittarin avulla mitattavaan referenssiarvoon.

Työssä kerrotaan, mitä on suhteellinen kosteus, kuinka työssä käytetyt anturit ja laitteet toimivat, mikä on toimintatapaohje ja miten se laaditaan.

Työssä laadittu toimintatapaohje toimii Michell HygroCal100-kalibrointilaitteen ohjeena tuleville käyttäjille.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Facility Engineering and Renovation

VIITALA, MIKKO:

The Calibration Methods of Humidity Sensors and Preparation of a Code of Practice

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 29 pages
March 2020

The purpose of this thesis was to study how to use the Michell HygroCal100 calibration device and to develop a code of practice for this device. After the research, calibration methods of the RH/T sensors used at the University of Tampere were compared and a summary of the analysis was created.

The calibration methods used by the University of Tampere differ in the reference humidity used for calibration. With the saline method, the reference humidity is based on the moisture created with saturated saline, and the calibration with the Michell HygroCal100 calibrator is based on the reference value measured with the Michell Optidew Vision chilled mirror dew point meter.

The thesis describes the concept of relative humidity, how the sensors and devices used in the thesis work, the code of practice and how it is prepared.

The code of practice which was developed in this thesis serves as a guide for future users of the Michell HygroCal100 Calibrator.

Key words: humidity sensor, calibration methods, code of practice

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SUHTEELLINEN KOSTEUS %RH	8
2.1	Suhteellinen kosteus pakkasella	9
3	RH/T-mittalaitteen ja kastepistemittarin toiminta	11
3.1	Analogiaulostulolliset RH/T-mittalaitteet	14
3.1.1	Vaisala HMP-230 (233)	15
3.1.2	Vaisala HMT-310 (317)	16
3.2	Digitaaliulostulolliset RH/T mittalaitteet	17
3.2.1	Rotronic	17
3.3	Kastepistemittalaite	19
3.3.1	Michell Optidew Vision	19
4	Mittalaitteiden kalibrointi.....	22
4.1	Mitä on kalibrointi	22
4.2	Viritys	22
4.3	Referenssi	22
4.3.1	Referenssi tässä tapauksessa.....	23
4.4	Kalibrointimenetelmät.....	23
4.4.1	Suolaliuosmenetelmällä luotu tasapainokosteus	24
4.4.2	Michell HygroCal100	26
5	Mittausmenetelmien vertailu ja luotettavuus	30
6	Testien kulku.....	31
6.1	Tavoitteet	31
6.2	Esivalmistelu	31
6.3	Kalibrointi	32
7	Toimintatapaohje	34
7.1	Järjestys.....	34
7.2	Selkeys.....	34
7.3	Kerrottavat asiat	34
8	Pohdinta.....	36
8.1	Kalibrointi	36
8.2	Toimintatapaohje.....	36
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET.....	40
	Liite 1. Toimintatapaohje.....	40
	Liite 2. VAISALA Oy:n antureiden vertailu- ja kalibrointidata	1

Liite 3. Antureiden tulosten vertailu suolaliuokseen 2

LYHENTEET JA TERMIT

%RH	Suhteellinen kosteus φ
Vk	Kyllästyskosteus
Pk	Kyllästyspaine
Pa	Pascal
T	Lämpötila °C θ
V	Voltti
A	Ampeeri
mA	Milliampeeri
C	Kapasitanssi SI=F (Faradi) =C/V (coulombi voltia kohti)
TEC	Kiinteä termostaattisesti säätävä jäähdytin
LED	Light-Emitting Diode
R	yleinen kaasuvakio
Esim.	Esimerkiksi

1 JOHDANTO

Rakenteiden rakennusfysikaalisella toimimisella tarkoitetaan rakenteiden eristävyttä ja kosteusteknistä toimivuutta. Rakenteiden toimivuuden varmistamisesta saadaan selvyys erilaisilla suureilla. Kaikista oleellisimpia suureita mittauksissa ovat kuitenkin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaaminen. Tähän on eri valmistajilla omia mittalaitteita. Yhdessä mittapäässä on kuitenkin yleensä kaksi anturia, joilla mitataan lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. Näiden suureiden tarkka mittaaminen vaatii kuitenkin mittalaitteiden säännöllisen kalibroinnin ja mahdollisen virittämisen, jotta pystyttäisiin olemaan varmoja mittaustuloksista ja varmistuttaisiin tulosten vertailukyvystä toisiinsa. Opinnäytetyön aiheena oli kirjoittaa RH/T- mittalaitteista ja niiden kalibrointimenetelmistä, sekä niiden eroista.

Opinnäytetyö kirjoitettiin Tampereen yliopiston rakennetun tiedekunnan rakennusfysiikan ryhmälle. Opinnäytetyön tekijä tulee itse tekemään kalibrointeja mittalaitteille, joten opinnäytetyö opettaa häntä samalla yhteen hänen työtehtävistään.

Perinteisesti kalibroitaessa on käytetty suolaliuosmenetelmää referenssinä, sekä kosteuden muodostamistapana ja tähän on luotettu. Nykyään on kuitenkin olemassa erilaisia kalibrointilaitteita, sekä erilaisia suhteellisen kosteuden mittaamiseen soveltuvia laitteita. Näiden avulla opinnäytetyössä on tutkittu mikä menetelmä toimii missäkin tapauksessa. Opinnäytetyössä on pyritty tuomaan menetelmien ja mittaustapojen hyviä ja huonoja puolia esiin.

Opinnäytetyön ohessa opinnäytetyön tekijä on valmistanut toimintatapaohjeet työssä käytetyille kalibrointilaitteille. Opinnäytetyön tekijä avaa myös toimintatapaohjeen tekoprosessia tässä opinnäytetyössä.

Rakennusfysikaalisissa laboratoriomittauksissa kosteusanturit ovat kovalla kuormituksella. Mittalaitteiden vakio kalibrointiväli on n. 1 vuosi. Antureiden ollessa kovalla kuormituksella pitkiä mittauksia korkeissa kosteuksissa +85%RH täytyy anturit tarkastaa vähintäänkin kokeen alkaessa ja loppuessa referenssiä vasten

sellaisissa olosuhteissa, joissa anturin oletetaan oleva mittausjakson aikana. Jos tarkastuskierroksella havaitaan eroavaisuuksia, on tällöin anturi, kalibroitava ja viritettävä. Lisäksi on dokumentoitava aika, jolloin anturi on kalibroitu, lähtötilanne, mahdolliset uudet kertoimet ja tarkastuskierrokseen liittyvät yksityiskohdat.

Työn tavoitteena oli kertoa tästä prosessista mahdollisimman yksityiskohtaisesti samalla avaten lukijalle vaiheiden merkityksellisyyttä, mitattavia suureiden toimintaa. Lisäksi työn tavoitteena oli valmistaa sähköiselle kalibrointilaitteelle toimintatapaohje, jossa on kerrottu mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja selkeästi laitteen toiminnasta. Toimintatapaohjeessa on kaikki vaadittavat asiat kokeen suorittamiseen ja mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisemiseen.

Työn tavoitteina oli kertoa mitattavista suureista, kalibroitavista laitteista, kalibrointitavoista, toimintatapaohjeesta ja työn kulusta.

2 SUHTEELLINEN KOSTEUS %RH

Suhteellinen kosteus merkitään suureella %RH, eli % relative humidity.

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan jotain prosentuaalista määrää tietyn lämpötilan kyllästyskosteuspitoisuudesta. Tietty lämpötila pystyy sisältämään tietyn määrän kosteutta. Tätä kutsutaan kyllästyskosteudeksi (γ_{sat}). Tässä tietyssä lämpötilassa vesihöyryn määrän kasvaessa yli kyllästyskosteuden, kosteus tiivistyy vedeksi. Tämän voi havaita kylmien vesiputkien pinnalla tiivistyneenä kosteutena kuumana kesäpäivänä, jolloin kuuma ilma pystyy sitomaan itseensä huomattavasti enemmän kosteutta, mitä n. +5 °C oleva kupariputken välittömässä läheisyydessä hallitseva lämpötila.

Vesihöyryn määrän ollessa alle kyllästyskosteuden, kosteus on suhteellinen kosteus (%RH) kyllästyneestä kosteudesta. Tämän huomaa taas kylminä talvipäivinä, kun ulkona oleva kylmä pakkasilma pystyy sitomaan vain murto-osan kosteutta sisällä olevaan lämpötilaan verrattuna.

Tiedettäessä kosteuden määrä ja lämpötila, voidaan ilman suhteellinen kosteus laskea. Esimerkiksi:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{sisä}} &= \text{Sisälämpötila (°C)} = 20 &> \gamma_{\text{sat}} &= \text{kyllästyskosteus (g/m}^3\text{)} = 17,28 \\ \Theta_{\text{ulko}} &= \text{Ukolämpötila (°C)} = -15 &> \gamma_{\text{sat}} &= \quad \quad \quad -||- \quad \quad \quad = 1,38 \\ \varphi &= \text{Suhteellinen kosteus (%RH)} \end{aligned}$$

Jos ilman paineen oletetaan olevan normaali (101325 Pa) ja kosteuslisiä ei oteta huomioon?

$$\varphi = 100 \frac{\gamma}{\gamma_{\text{sat}}}$$

KAAVA 1. Rakennusfysiikka kurssin materiaali 6 Materiaalien ja ilman kosteus
J. Vinha 18.03.2019 (s.5)

$$\varphi = 100\% * \frac{1,38 \text{ g/m}^3}{17,28 \text{ g/m}^3} > \varphi = 100\% * 0,0799 > \varphi = 7,99\%$$

2.1 Suhteellinen kosteus pakkasella

Suhteellisen kosteuden mittaaminen alle 0 °C vaikuttaa, että mitataanko kosteus jään vai veden yli. Rakennusfysikaalisissa mittauksissa ja laskentaohjelmissa otetaan jäätyminen huomioon. Meteorologisissa mittauksissa ei yleensä oteta tätä huomioon.

$$P_{Y,sat} = a \left(b + \frac{\theta}{100} \right)^n$$

KAAVA 2. Korrelaatiokaava jään yli (DIN 4108-5)

Lämpötilan ollessa: 0 °C ≤ Θ ≤ 30 °C

$$a = 288,68 \quad b = 1,098 \quad n = 8,02$$

$$\Theta = \text{Lämpötila} + 20 \text{ °C}$$

$$P_{Y,sat} = 288,68 \left(1,098 + \frac{20}{100} \right)^{8,02}$$

$$P_{Y,sat} = 2338,19 \text{ Pa}$$

$$\varphi = 100 \frac{2338,19}{2338} = 100,008\% \text{ Osapainetaulukossa ilmoitetusta.}$$

Lämpötilan ollessa: -20 °C ≤ Θ ≤ 0 °C

$$a = 4,689 \quad b = 1,486 \quad n = 12,3$$

$$\Theta = -15 \text{ °C}$$

$$P_{Y,sat} = 4,689 \left(1,486 + \frac{-15}{100} \right)^{12,3}$$

$$P_{Y,sat} = 165,39 \text{ Pa}$$

$$\varphi = 100 \frac{165,385 \text{ Pa}}{164 \text{ Pa}}$$

$$= 100,85 \text{ % veden yli}$$

$$\Theta = -12 \text{ °C}$$

$$P_{Y,sat} = 4,689 \left(1,486 + \frac{-12}{100} \right)^{12,3}$$

$$P_{Y,sat} = 217,33 \text{ Pa}$$

$$\varphi = 100 \frac{217,33 \text{ Pa}}{221 \text{ Pa}}$$

$$= 98,34 \text{ % veden yli}$$

TAULUKKO 1. Vesihöyryn osapaineita ja vesihöyrypitoisuuksia eri lämpötiloissa ilmakehän normaalissa paineessa 101325 Pa (Björkholtz 1987, 44)

T °C	$P_{\gamma sat}$ Pa	γ_{sat} g/m ³	T °C	$P_{\gamma sat}$ Pa	γ_{sat} g/m ³
-20	102	0,87	10	1235	9,45
-19	112	0,95	11	1319	10,06
-18	122	1,04	12	1409	10,71
-17	135	1,14	13	1503	11,38
-16	149	1,25	14	1603	12,10
-15	164	1,38	15	1709	12,86
-14	182	1,52	16	1821	13,65
-13	200	1,67	17	1940	14,49
-12	221	1,83	18	2065	15,37
-11	243	2,01	19	2198	16,30
-10	267	2,20	20	2338	17,28
-9	292	2,40	21	2486	18,31
-8	319	2,61	22	2642	19,40
-7	348	2,84	23	2806	20,54
-6	379	3,08	24	2980	21,74
-5	412	3,33	25	3164	23,00
-4	448	3,60	26	3357	24,32
-3	485	3,89	27	3561	25,71
-2	525	4,19	28	3775	27,17
-1	567	4,51	29	4001	28,70
0	611	4,85	30	4239	30,31
1	659	5,21	31	4489	31,99
2	709	5,58	32	4753	33,75
3	762	5,98	33	5029	35,60
4	818	6,40	34	5320	37,54
5	878	6,84	35	5625	39,56
6	942	7,31	36	5945	41,68
7	1009	7,80	37	6282	43,90
8	1080	8,32	38	6634	46,21
9	1155	8,87	39	7004	48,63

3 RH/T-mittalaitteen ja kastepistemittarin toiminta

RH/T-mittapäät mittaavat nimensä mukaan kahta arvoa lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta. Lähes kaikissa nykyaikaisissa kosteuden mittaamiseen käytettävissä antureissa mitataan jonkin tunnetun materiaalin kapasitanssin (C) muutosta. Antureita kutsutaan siis kapasitiivisiksi suhteellisen kosteuden antureiksi.

Materiaalissa on kaksi elektrodia, joiden väliltä mitataan kapasitanssia. Kapasitanssi kasvaa materiaalin kastuessa (elektrodien välinen johtavuus kasvaa). Kapasitanssin kasvaessa elektrodien sähkövarausten itseisarvojen summa (Q) kasvaa anturin elektrodien välisen potentiaalieron (U) ollessa vakio esim. 10 V. Anturille säädetään tietty jännite esim. 10 V.

Anturin kapasitanssin kasvaessa kasvaa samalla myös anturin varaus, muttei lineaarisesti. Jotta varauksen kasvusta saadaan lineaarinen, täytyy vaste muuttua lineaariseksi analogisesti, tai digitaalisesti. Yleensä digitaalisesti.

Laitteiden omat digitaaliset muutoskaavat ovat yleensä liikesalaisuuksia, joten niitä ei ole saatavilla. Muutos on kuitenkin erittäin pieni tyypillisesti 0,2–0,5 pF 1%: n suhteellisen kosteuden muutokselle, eli 2-5 faradin kymmenesmiljoonasosaa. (Denes K. Roveti 1.7.2001)

Tästä voidaan laskea yksinkertaistettuna, että suhteellisen kosteuden ollessa 25%, kapasitanssin ollessa 0,35 pF ja potentiaalieron ollessa 10V anturin sähkövaraus laskee 100% suhteellisesta kosteudesta $10V > Q = 10V - (0,35pF * 10V * 75\%) = 9,9997375V$ Voisikin sanoa, että tällainen anturi on eräänlainen kondensaattori, jonka varaus muuttuu kosteuden muuttuessa.

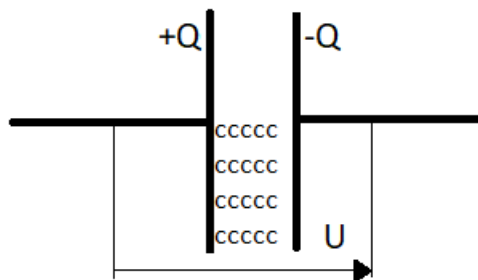
$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = U \cdot C$$

C= kapasitanssi

Q= sähkövaraus

U= potentiaaliero

KAAVA 3. Kapasitanssi. (Tekniikan kaavasto, Tammertekniikka s.119)



KUVA 1. Havainnollistava kuva. Mitä enemmän kosteutta, sitä korkeampi kapasitanssi (C), sitä vahvempi silta muodostuu elektrodien välille ja sitä suurempi varaus anturissa on.

Lämpötilaa mitatessa mitataan yleensä vastusta. Tällaista antureita kutsutaan resistiivisiksi lämpötila-antureiksi.

Rakennusfysikaalisissa mittauksissa lämpötilojen vaihtelu on yleisesti ottaen pientä, joten sitä voidaan mitata tarkasti. Yleisimmin käytetty anturi näissä tapauksissa on pt100 anturielementti. pt tarkoittaa, että anturielementti on platinaa ja 100 tarkoittaa, että mitattavan lämpötilan ollessa 0 °C on mitattavan vastuksen arvo n. 100Ω (Produal 2019). Vastusarvo nousee n. 0,39Ω/°C. Tämän arvon anturin oma tekniikka muuttaa digitaalisesti analogiseksi ulostulosignaaliksi. 0...10V Lämpötilaa mitattaessa -40...+80 °C $\frac{10V}{40+80(^{\circ}C)} = 0,08333V/^{\circ}C$

TAULUKKO 2. Pt100 anturielementin vastusarvon muuttuminen lämpötilan muuttuessa. Pro dual (http://d3w3cpsosewcdn.cloud-front.net/produal/sites/9/2016/06/27212821/Sensor_characteristics_fi.pdf)

Lämpötila (°C)	Vastus (Ω)
20	107,8
10	103,9
0	100
-10	96,1
-20	92,2

Opinnäytetyössä käytetty kastepistemittari toimii "Chilled-mirror" teknologialla. Mittapäässä on peili, jonka lämpötilaa muuttamalla saadaan muodostettua kastepiste peilin pinnalle. Peilin pintalämpötila säätyy termoelektroniseen ilmiöön perustuvan peltier-elementin avulla, joka pystyy viilentämään pientä peiliä erittäin nopeasti kastepisteen muodostavaan lämpötilaan, jopa -80°C asti (MICHELL 2013.)

Mittapäässä sijaitseva LED heijastaa valoa kirkkaalle peilipinnalle. Mittapään valoilmasin havainnoi, milloin peilipinnalta ei enää heijastu valoa. Jos valoa ei enää tunnisteta peilin pinnalta, tiedetään että peilin pinnalle on tiivistynyt kosteutta, tällöin Peltier-elementti lopettaa välittömästi peilin viilentämisen.

Tiedettäessä peilin pinnan lämpötila ja erillisen lämpötila-anturin avulla mitattu ympäröivän ilman lämpötila, voidaan laskea empiirisistä kaavoista kaikki kyseisen ilman kosteusominaisuudet. Mittapää toistaa tätä rutiinia määrätyn väliajoin, jotta tieto kosteusominaisuuksista olisi mahdollisimman reaaliaikaista.

MICHELL:n omaa mittausohjelmaa käyttämällä voidaan mittarista ottaa USB-väylää pitkin digitaalista ulostulosignaalia. Laitteesta saa myös laitteen muuttamaan analogista arvoa analogiaulostulon kautta. Näin mittalaitteistoa voidaan käyttää esim. MICHELL HygroCal100 kalibrointilaitteessa.

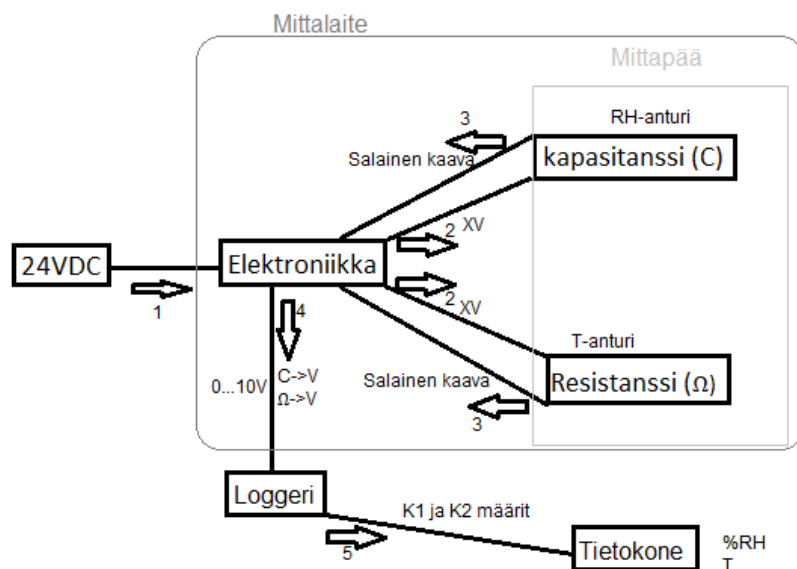
3.1 Analogiaulostulolliset RH/T-mittalaitteet

Analogiset anturit mittaavat yleensä jotain tunnettua arvoa, joka muuttuu mittapään olosuhteiden muututtua. Mitattava suure määrittää mitattavan arvon. Kaikki RH- ja T- anturit mittaavat analogista tunnettua arvoa halutusta olosuhteesta.

Tässä työssä käytetyt "analogiset" anturit ovatkin oikeastaan analogisesta digitaaliseksi ja digitaalisesta analogiseksi signaaleiksi muuttavia mittalaitteita, eli todellisuudessa mittalaitteet ovat muuten digitaalisia, mutta ulostulo on analoginen.

Mittalaitteista saa yleensä analogista signaalia vasta sen jälkeen, kun anturin oma elektroniikka on aluksi mitannut arvon analogisesti ja muuttanut sen digitaalisesti joksikin tunnetuksi analogiseksi arvoksi valmistajan omien kaavojen avulla. Todellisuudessa siis anturi laskee itse mitattavat suureet ja lähettää tiedot analogisena signaalina käyttäjälle esim. 0...10 V.

Anturin käyttäjän työksi siis jää muuttaa tämä jo kerran laskettu signaali vastaamaan kulmakertoimen ja siirtymän avulla halutuksi suureeksi V->%RH, V->T



KUVIO 1. Havainnollistava kuva. 1. Mittalaitteelle syötetään käyttöjännite. 2. Elektroniikka lähettää anturille jotain tiettyä jännitettä. Anturi muuttaa jännitettä olosuhteen mukaan ja lähettää jännitteen takaisin elektroniikalle. 4. Elektroniikka muuttaa saadun tiedon esim. 1...10V ja lähettää tämän tiedon ulostulosignaalin tiedonkeruulaitteelle. 5. Tietokone muuttaa käyttäjän antamien kertoimien K1 ja K2 avulla tiedon luettavaksi tiedoksi esim. lämpötilaksi ja suhteelliseksi kosteudeksi.

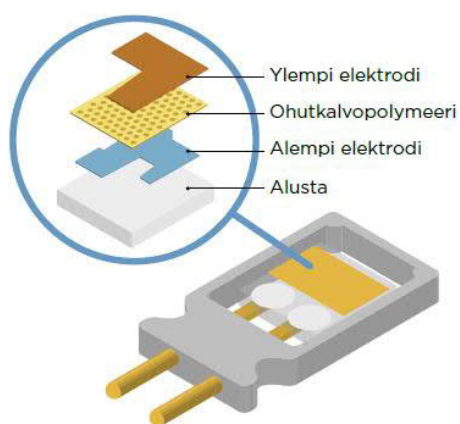
3.1.1 Vaisala HMP-230 (233)

Vaisala käyttää mittalaitteissaan omaa erittäin tarkaksi todettua HUMICAP®-kosteudenmittaustekniikkaa.

HUMICAP® on kapasitiivinen ohutkalvopolymeerianturi. Anturissa on kolme ”kalvoa”, jotka ovat ylhäältä alaspäin ylempi elektrodi, ohutkalvopolymeeri, alempi elektrodi ja näiden alla alusta. Mittaus perustuu kapasitanssin mittaukseen. Tässä tapauksessa kapasitanssia mitataan neulojen välissä sijaitsevalla ohutkalvopolymeerin kapasitanssin mittaamiseen. (VAISALA 2012).

Anturi on ohjelmoitu mittaamaan välillä $-40 \dots +80$ °C. Anturi on tarkkuudeltaan ± 1 %RH (0...90 %RH), ± 2 %RH (90...100 %RH) (VAISALA 1998, 68).

Vaisalan mittalaitteista saa ulostulosignaalin myös digitaalisena, jolloin laitteisiin hankitaan lisäksi tiedonkeruulaitteet.



HUMICAP-anturin rakenne

KUVA 2. VAISALA Oy:n suhteellisen kosteuden mittaamisen mullistanut HUMICAP anturi. (Vaisala HUMICAP® -anturi suhteellisen kosteuden (RH) mittaamiseen s.2)



KUVA 3. Kuvassa VAISALA Oy:n valmistama näytöllinen HMP-233 mittalaite. (<https://www.torontosurplus.com/vaisala-hmp233-d2c0a2aa23a1a3b-humidity-and-temp-transmitter.html>)

3.1.2 Vaisala HMT-310 (317)

Erittäin tarkka uudenaikainen RH/T mittalaite, joka toimii samalla periaatteella kuin edellä mainittu HMP-230. HMT-310 on vain kompaktimpi ja tarkempi. HMT-317 ohjelmoitu mittaamaan väliltä $-20\dots+80$ / $-60\dots+180$ °C. Anturi on tarkkuudeltaan $\pm 0,6\%RH$ ($0\dots40\%RH$) ja $\pm 1,0\%RH$ ($40\dots97\%RH$). (VAISALA 2017, 2)



KUVA 4. Kuvassa VAISALA Oy:n valmistama HMT-317 mittalaite (<https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmt310>)

3.2 Digitaaliulostulolliset RH/T mittalaitteet

Digitaalinen anturi tarkoittaa anturia, joka mittaa analogista signaalia ja muuttaa sen digitaaliseksi. Mittalaite/-pää on soveltuva anturin valmistajan tiedonkeruulaitteeseen. Tiedonkeruulaite muuttaa itsenäisesti anturin keräämän tiedon lämpötilaksi ja suhteelliseksi kosteudeksi. Laitteen voi yleensä liittää tietokoneeseen datan tarkempaa tarkastelua varten.

Digitaaliset mittapäät ja -laitteet ovat käyttäjäystävällisempiä, eikä vaadi niin paljon perehtyneisyyttä, kuin analogiaulostulolliset mittaustavat. Tällaisten mittalaitteiden mukana tulee yleensä valmistajan oma tietokoneohjelma, millä voi vaihdella asetuksia ja tarkastella tuloksia.

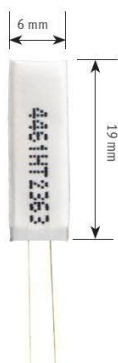
Digitaaliulostulolliset mittalaitteet saadaan yleensä mittaamaan itsenäisesti helpommin ja hankalampiin paikkoihin kompaktin koon puolesta.

Kaikkia opinnäytetyössä käytettyjä mittalaitteita olisi voinut käyttää digitaaliulostulolla, mutta vain alla olevaa mittalaitteistoa käytettiin digitaaliulostulolla tämän helpon käyttöliittymän vuoksi.

3.2.1 Rotronic

Opinnäytetyössä on käytetty myös Rotronicin valmistamaa mittalaitetta, jossa käytetään HYGROMER HT-1 anturia kosteuden mittaamiseen, joka käyttää kapasitiivista mittaussuunnitelmaa erona se, että kyseisessä anturissa käytetään elektrodien (Pelkät langat) välissä kangasta, joka on opinnäytetyön tekijän mielestä huomattavasti alkeellisempi ja täten häiriöherkempi ja omaa pitemmät taantumisajat.

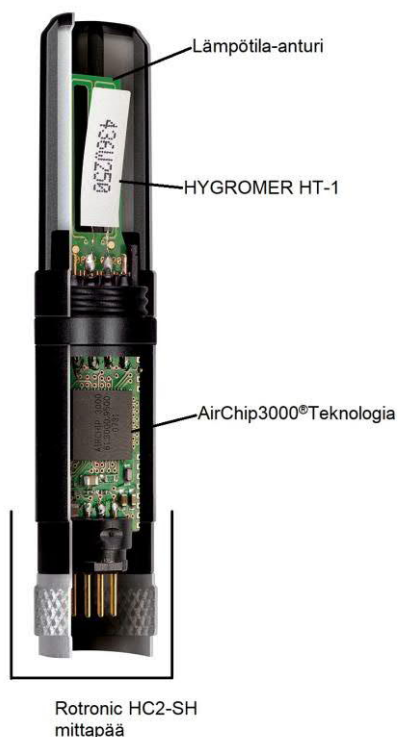
HT-1 anturi sijaitsee lämpötila-anturin kanssa Hygroclip HC2-SH mittapääkotelossa. Osana mittapään elektroniikkaa on AirChip3000® -siru, joka toimii Rotronicin mittapään aivoina. Tämä mahdollistaa jokaisen mittapään kalibroinnin omana laitteenaan. Tämä tarkoittaa sitä, että mittapäiden ei tarvitse olla varastointitilanteessa tiedonkeruulaitteessa kiinni, sillä kalibrointitiedot ovat mittapäässä itsessään. (Rotronic 2019).



KUVA 4. Rotronicin käyttämä HygroMer HT-1 – Rotronic USA Suhteellisen kosteuden mitta-anturi. (HygroMer HT-1 – Rotronic USA PDF)



KUVA 5. Rotronic HI-NT3 tiedonkeruulaite. (Rotronic HygroLog HL-NT Data LoggerInstruction Manual)



3.3 Kastepistemittalaite

Kastepistemitta toimintaa kuvailtu kohdassa 2.

3.3.1 Michell Optidew Vision

Kastepistemittapää toimii Chilled mirror- teknologialla, joka koostuu peilistä lämpötilan säädöllä ja optisesta kosteuden ilmaisujärjestelmästä.

Ilman kulkeutuessa mittapääkotelon avoimesta osasta peilipinnan yli tiivistyy ilman kosteus peilipinnalle, sillä hetkellä vallitsevassa ilman lämpötilassa riippuen suhteellisesta kosteudesta ja vallitsevasta ilmanpaineesta. Optista järjestelmää käytetään havaitsemaan tämä kohta.

Tätä tietoa käytetään peilin lämpötilan säätämiseen ja peilipintaan kondensoituneen kosteuden paksuuden ylläpitoon.

LED-valon valonsäde on ohjattu peilipintaan, jonka intensiteetti on suuri. Kun peilipinnalle kondensoituu kosteutta, pinnan heijastusominaisuudet muuttuvat siten,

että valoa heijastuu vähemmän valoanturiin. Kuvailmasin mittaa peilipinnasta heijastuvaa valoa ja vertaa sitä puhtaan peilin heijastamaan valoon.

Näitä optisen järjestelmän havaitsemia signaaleja käytetään kiinteän termoelektronisen puolijohdejäähdyttimen ohjaus ohjelmaan, joka lämmittää, tai jäähdyttää peilipintaa pitääkseen kondensoituneen kosteuden muodostumisen ja haihtumisen vakiona peilipinnalla. Peilin lämpötilaa mitataan PT100- platinaresistanssilämpötila-anturilla, joka mittaa tarkasti pinnan lämpötilaa.

Opinnäytetyössä käytettävä kastepistemittalaite on Michell Optidew Vision. Laitteisto koostuu kolmesta seitsemään osaan riippuen siitä, mitä laitteella halutaan tehdä. Laitteisto on varustettu pöytämällin näytöllisellä yksiköllä. Laitteistoa voidaan siis käyttää pienimpänä pakettina itsenäisesti, tällöin laitteisto koostuu itse laitteesta (Optidew Vision), lämpötila-anturista ja kastepistemittapäädstä. Mittalaitteen mittaamia arvoja voidaan täten lukea laitteen näytöltä.

Laitteisto voidaan myös kytkeä tietokoneeseen, jolloin vaaditaan käyttöön soveltuva ohjelmisto. Laitteiston ja tietokoneen ollessa yhteydessä pystyy mittapäiden mittaamia tietoja tallentamaan itse määritellyllä mittausvälillä ja mittausajan jaksolla, joka auttaa datan käsittelyssä. Mittauksen tarkkailussa auttaa myös mittauksen aikana päivittyvä graafi.

Laitteisto voidaan kytkeä myös analogiaulostulona. Näin laitteesta saadaan analogista tietoa toiseen laitteeseen kytkettynä. Tätä ominaisuutta on käytetty laitteiston kytkemisessä Michell HygroCal100 -kalibrointilaitteeseen.

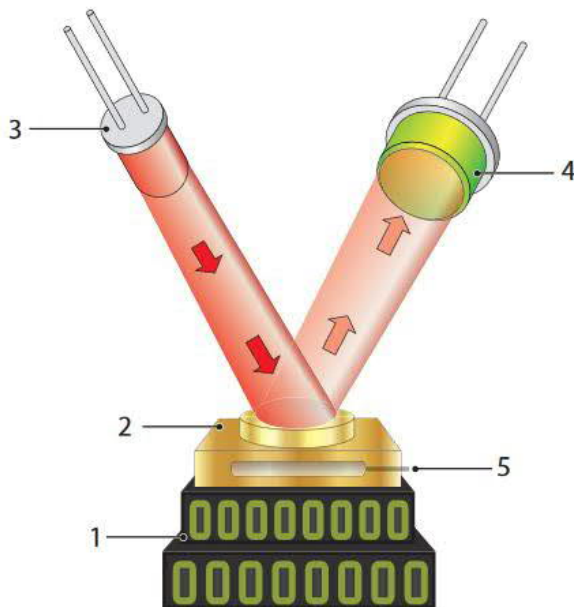
-40...+90 °C

<0,5...100 %RH

Tarkkuus 0,1 %RH ja °C. (MICHELL 2013)



KUVA 5. Michell Optidew Vision kastepistemittapää ulkoisella lämpötilan mittauksella ja näytöllisellä mittalaitteella. (Optidew & Optidew Vision High Performance Optical Dew-Point Transmitter User's Manual s. 0)



KUVA 6. (1) Termoelektroninen puolijohdejähdytyn. (Eng. solid state thermoelectric cooler.), (2) Peilipinta, (3) LED, (4) Kuvailmasin, (5) PT100 platinaresistanssi lämpötila-anturi (http://www.michell.com/uk/documents/Optidew_vision_97144_UK_Datasheet-V6.pdf, 5.)

4 Mittalaitteiden kalibrointi

4.1 Mitä on kalibrointi

Kalibrointi tarkoittaa kalibroitavan kohteen korjaamista ja tarkentamista jollekin oikeaksi tunnetulle korkeudelle, kohdalle, käyrälle jne.

Kalibroinnissa on oleellista tietää lähtökohta, tavoiteltu arvo, säätötapa, lopputulos, tarkastus ja päätelmä.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään RH/T-mittalaitteiden kalibroimiseen. Kalibroinnissa on käytetty kahta eri kalibrointitapaa (Tarkkaan ottaen kahta eri mittausmenetelmää.)

4.2 Viritys

Kalibroinnin, eli virheen laskemisen yhteydessä kalibroitava laite yleensä viritetään kalibroinnissa saavutettavien tuloksien perusteella, jotta kalibroitavassa mittalaitteessa ilmennyt virhe saataisiin minimoitua.

4.3 Referenssi

Mittausvirheen suuruutta tutkitaan aina jonkin referenssin kautta, eli mitattua arvoa verrataan referenssiarvoon ja mittalaite viritetään referenssin arvon mukaisesti. Mitä enemmän näitä mittapisteitä on, niin sitä lähemmäs mittalaitteen mitaamat arvot saadaan referenssiarvoa. Referenssiarvoja voidaankin usein määrittää mittasuureesta riippuen useammalla, kuin yhdellä tavalla.

Mittaamisessa voidaan käyttää referenssinä tunnettua mittaa, mutta myös esimerkiksi työssä voidaan käyttää referenssinä jo aiemmin suoritettua työtä. Näissä tapauksissa referenssi tarkoittaa vertailuna kohdetta minkä laatua vastaavaa työtä pystytään suorittamaan.

4.3.1 Referenssi tässä tapauksessa

Referenssinä toimi akkreditoidun valmistajan tehdaskalibroitu kastepistemittari. Vertailua suorittaessa pystyttiin toteamaan referenssin toimivan oletetulla tavalla, sillä sitä verrattiin samalla Vaisalan tehdaskalibroituuihin HMT-317 mittalaitteisiin.

Tässä tapauksessa käytettiin siis referenssimittausmenettelyä, jossa verrataan samalla mittausmenettelyllä saman suureen omaavia mittaustuloksia keskenään.

Mittalaitteiden mittaamat tulokset reagoivat samankaltaisesti muutoksiin, eikä huomattavia poikkeamia muodostunut.

4.4 Kalibrointimenetelmät

RH/T- mittalaitteille on monia kalibrointimenetelmiä. Useimmin käytetty menetelmä kuitenkin on suolaliuosmenetelmä.

Suolaliuosmenetelmä on vanha tapa muodostaa tietyt olosuhteet kentällä ja laboratoriossa sillä tähän menetelmään ei tarvita sähköä.

Opinnäytetyössä on myös käytetty Michell HygroCal100- Kalibrointilaitetta, jonka toiminta perustuu kolmen kammion menetelmään. Mittauskammiota kuivattaessa laitteisto puhaltaa kuivausainekammion desikantin läpi ilmaa mittauskammioon, ja vesikammion vesihöyryn kautta kosteaa ilmaa, kun mittauskammion ilmaa halutaan kostuttaa. Täten saadaan haluttu ilman suhteellinen kosteus mittauskammioon, jota ohjataan referenssinä toimivan mittapään avulla.

4.4.1 Suolaliuosmenetelmällä luotu tasapainokosteus

Suolaliuosmenetelmällä tarkoitetaan kalibrointiin luotavan olosuhteen luomista ylikylläisellä suolavesi liuoksella.

Suhteellisen kosteuden luominen ylikylläisellä suolavesiliuoksella perustuu yhteen liuoksen kolligatiivisista ominaisuuksista, joka on höyrynpaineen alenema. Muut kolligatiiviset ominaisuudet ovat kiehumispisteen kohoama, jäätymispisteen alenema ja osmoottinen paine.

Liuoksen höyrynpaine pienenee, sillä liunneen aineen (suolan) höyrynpaine on pienempi mitä liuottimella(veden). Tämä muuttaa veden koostumusta. Raoult'n lain mukaan ideaaliliuoksella höyrynpaine riippuu liuoksen koostumuksesta.

$$p = x_{\text{liuotin}} p_{\text{liuotin}}^* + x_{\text{liuennut}} p_{\text{liuennut}}^*$$

$$p = \text{höyrynpaine} = (pa)$$

x_{liuotin} = liuottimen mooliosuus

p_{liuotin}^* = liuottimen höyrynpaine (pa)

x_{liuennut} = liunneen aineen mooliosuus

p_{liuennut}^* = liunneen aineen höyrynpaine (pa)

KAAVA 4. Raoult'n laki. (Jäätymispisteen alenema 2-2010 s.1)

Liuoksen höyrynpaine siis laskee, sillä liuennut aine ei haihdu liuoksesta.

Kalibroinnissa käytetään apuna ylikylläistä suolavesiliuosta, jolloin liuoksen kolligatiiviset ominaisuudet muodostaa ympärilleen tietyn suolalle ominaisen suhteellisen kosteuden, jota verrataan mittalaitteiden mittaamaan kosteuteen. Tämän lisäksi mittaustuloksia verrattiin referenssinä toimivan mittalaitteen tuloksiin. (Jäätymispisteen alenema 2012)

Ylikylläinen suolaliuos valmistettiin siten, että suolaa ja puhdasta vettä (Ionivaihdettua, tai tislattua) sekoitetaan keskenään niin pitkään, ettei suola enää liukene veteen, vaan se jää pohjalle. Tämä on merkki siitä, että suolaliuos on ylikylläinen.

Joillain suoloilla on myös tärkeää, että ympäristön ja liuoksen lämpötilat ovat oikeat. Tämä saattaa vaikuttaa merkittävästi suhteelliseen kosteuteen ja suolan liukenemiseen. Suoloille on olemassa lasketut määrät veden, suolojen ja lämpötilan suhteen standardissa SFS-EN ISO 12571 liitteissä A ja B.

Suolaliuoksella saavutettavaa suhteellista kosteutta on tutkittu jo vuosisatoja (Darby, J. H., and Yngve, V., The dissociation tensions of certain hydrated chlorides and the vapor pressures of their saturated solutions. J. Am. Chem. Soc. 38, No. 8, 1429 (1916)).

TAULUKKO 3. Suolaliuoksien kyllästämällä saavutettavia suhteellisia kosteuksia.

Suolojen liukeneminen		Liukenemis massat g/l 20°C		Saavutettava RH% 20C	
Nimi	Kaava	Kansio	Standardi		Standardi
Alumiinikaliumsulfaattidodekahydraatti	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	139			
Kaliumkarbonaatti	K_2CO_3	1120	1120		43,16+0,36
Kaliumkloridi	KCl	347	347		85,11+0,29
Kaliumnitraatti	KNO_3	320	0C=133 100C=2470		94,62+0,66
Kaliumsulfaatti	K_2O_4S K_2SO_4	111	25C=120 100C=241		97,59+0,53
Litiumkloridi	LiCl	832	0C=637 95C=1300		11,31+0,31
Magnesiumkloridihexahydraatti	$Cl_2Mg \cdot 6H_2O$	1670			33,07 ± 0,18
Magnesiumnitraatti	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	420	1250		54,38+0,23
Natriumbromidi	NaBr	905	50C=1160 100C=1210		58,20+0,42
Natriumkloridi	NaCl	358	100C=391, 2		75,47+0,14
Natriumnitriitti	$NaNO_2$	820			

4.4.2 Michell HygroCal100

Michell HygroCal100 on kalibrintilaitte, jossa on kolme kammiota kaksi pientä ja yksi iso.

Mittauskammioon luodaan käyttäjän määrittämät suhteelliset kosteudet kahden pienemmän avulla. Kosteuskammio luo kosteutta tislattun veden avulla höyrystämällä vettä ja pumppaamalla syntynyttä höyryä mittauskammioon. Kuivauskammiossa on kuivausainetta eli desikanttia (silica gel). Mittauskammiossa suhteellista kosteutta laskiessa alaspäin kierrättää pumppu mittauskammioista liian kostea ilmaa kuivauskammion kautta takaisin mittauskammioon. Mittauskammiossa suhteellista kosteutta nostettaessa pumppu kierrättää kosteuskammion kautta liian kuivaa ilmaa takaisin mittauskammioon ja näin ollen muodostaa halutun olosuhteen mittauskammioon.

Michell HygroCal 100 kalibrintilaitteessa on 7 analogiasisääntuloa oman sisäisen referenssimittapään lisäksi. Laitteeseen voidaan kytkeä sellaisia mittalaitteita, jotka pystyvät lähettämään analogisen ulostulon kautta analogisia signaaleja suoraan laitteelle.

Mittalaitteista kalibrintilaitteelle tulevaa tietoa voidaan seurata lukemina ja käyrinä laitteen omalta näytöltä. Mitatut tulokset voidaan ottaa talteen laitteelta CSV-tiedostona USB-tikulle myöhempää tarkastelua, kalibrintikertoimien laskemista ja mittalaitteiden virittämistä varten.

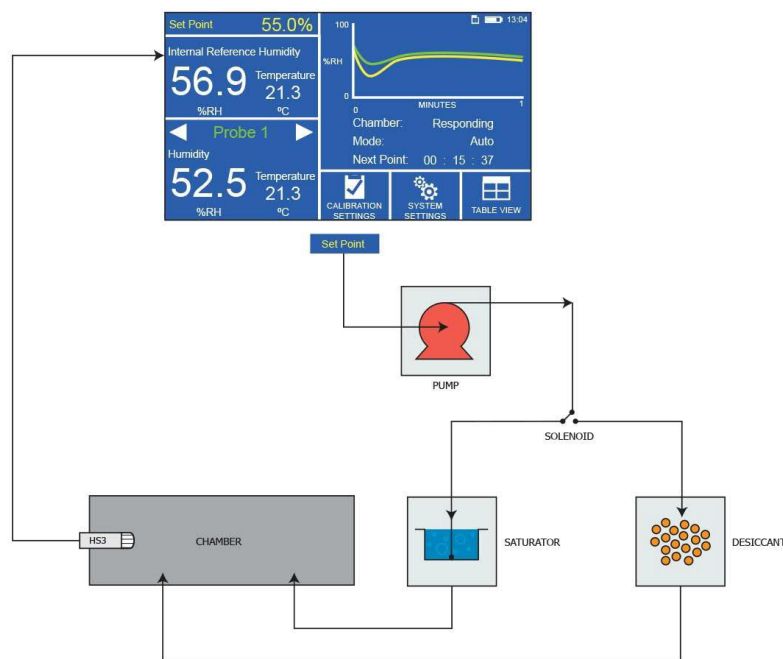
Laitteelle voidaan määrittää automaattinen kalibrintikierrös, jossa laitteen käyttäjä määrittää missä olosuhteissa kalibrintilaitteen tulisi käydä ja kuinka kauan kalibrintilaitteen tulee pysyä näissä olosuhteissa.

Laitteeseen voidaan kytkeä myös oma ulkoisena referenssinä toimiva mittalaite sisäisen referenssin lisäksi, myös sisäisen referenssin kalibroinnissa voidaan käyttää omaa ulkoista referenssiä. Tässä opinnäytetyössä käytettiin ulkoisena referenssinä Michell Optidew Vision kastepistemittaria.

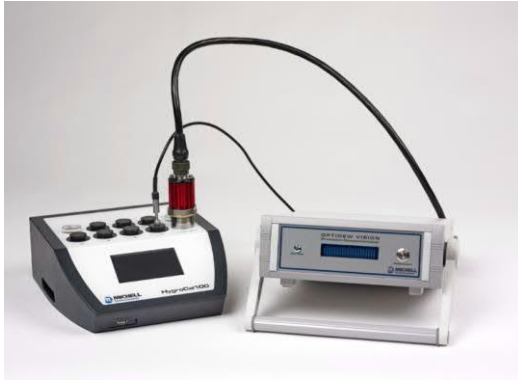
Mittalaitteelle/-päälle täytyy itse määrittää ulostulosignaalin alue, mitä mittalaite lähettää. Vaihtoehdot ovat: 0-20 mA, 4-20 mA, 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V. (MICHELL 2015).

Laitteiston huonona puolena on se, ettei mittalaitteiden virittämisen jälkeistä tarkastuskierrosta tai tiettyjen mittalaitteiden esim. sellaisten VAISALA Oy:n HMP-230- mittalaitteiden, joiden ulostulosignaali on 0-8 V voida tehdä tällä laitteella juurikin näiden rajattujen vaihtoehtojen vuoksi.

Laitteen mittauskammiota voidaan kuitenkin käyttää olosuhteiden luomisessa, jos mittalaitteita ohjataan erillisen tietokoneen, tiedonkeruulaitteen ja ohjaisohjelman avulla.



KUVA 7. Michell HygroCal 100 toimintaperiaate. (<https://www.rotro-nic.com/en/michell-hygrocal100.html>)



KUVA 8. Michell HygroCal100 kytkettynä Michell Optidew Vision kastepiste mit-
talaitteeseen. ([https://africanminingbrief.com/traceable-humidity-calibrations-
from-a-portable-humidity-calibrator/](https://africanminingbrief.com/traceable-humidity-calibrations-from-a-portable-humidity-calibrator/))

TAULUKKO 4. Kalibrointitapojen hyvät ja huonot puolet.

Michell HygroCal100	Suolaliuosmenetelmä
<ul style="list-style-type: none"> + Kompakti koko. + Nopea tasaantuminen. + Yksinkertainen + Ei tarvitse massiivisia järjestelyjä kalibrointikierröksellä + Laitteeseen voi itseensä tallentaa kalibrointitiedostoja. + Voi tehdä automaattisia kalibrointikierröksiä, jolloin ei tarvitse valvoa. + Tarvitsee vain tislattua vettä ja desikanttia. + Valmiita adapteripaloja eri kokoisille mittapäille. + Ulkoisen referenssin mahdollisuus. + Pääsee 3...95 %RH + Pystyy pitämään melko stabiilina halutun kosteuden. 	<ul style="list-style-type: none"> + On käytetty paljon. + Vakiintunut kalibrointitapa. + Käyttönormaali. + Pystyy itse vaikuttamaan kalibroita- vien mittalaitteiden määrään. + Monia suola vaihtoehtoja. Tutkimus- ryhmällä 11 – 98 %RH + On tutkittu paljon yli 100 vuotta (Darby, J. H., and Yngve, V., The dis- sociation tensions of certain hydrated chlorides and the vapor pressures of their saturated solutions. J. Am. Chem. Soc. 38, No. 8, 1429 (1916)) + Pystyy järjestämään helposti stabiili- lin lämpötilan.
<ul style="list-style-type: none"> - Rajallinen määrä mittalaitteen kyt- kentäpaikkoja. - Hieman epävarma. - Ei käytä ulkoista referenssiä olosuh- teiden. Säättämiseen, joka johtaa hel- posti ylikostuttamiseen, tai -kuivatta- miseen. - Rajalliset vaihtoehdot mittalaitteiden ulostulosignaalien määrittämiseen. - Voi käyttää jälkitarkastuksessa vain kosteuden säätämiseen, jolloin vaadi- taan lisäksi tietokone ja erillinen tie- donkeruujärjestelmä. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vie paljon tilaa. - Hidas tasaantuminen isolla astialla. - Antureiden kastuminen mahdollista - Erityisen tarkka puhtaudesta - Lämpötila vaikuttaa paljon joillain suolaliuoksilla esim. Litiumkloridia se- koittaessa veteen on reaktio niin kova, että se lämmittää suolaliuoksen n. 40°C joka kiinteyttää suolan astiaan kiinteäksi kasaksi, eikä suola liukene veteen alle 18°C. - Ei pysty automatisoimaan tarkoittaa sitä, että kalibroijan pitää olla paikan päällä erityisesti korkeilla kosteuksilla. - Tarvitsee monia suoloja.

5 Mittausmenetelmien vertailu ja luotettavuus

Mittausmenetelmät, joita tässä työssä on käytetty, eroavat toisistaan merkittävästi. Molemmissa on hyviä ja huonoja puolia, mutta molemmissa tavoissa on käytetty samaa referenssiä, joka tekee niistä vertailukelpoisia. Molemmissa menetelmissä oleellista on, että kosteus muodostetaan ilmatilaan, joka on tiivis ja olosuhteiden annetaan tasaantua.

6 Testien kulku

6.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli tehdä kalibrointi kolmelle Vaisalan HMT317 ja kolmelle Vaisalan HMP233 mittalaitteelle, sekä kolmelle Rotronic HC2-SH RH/T mittapäälle Michell Optidew Vision kastepistemittaria referenssinä käyttäen.

Koe tehtiin siten, että alkutilanne määriteltiin Michell HygroCal 100 kalibrointilaitetta käyttäen. Mittalaitteiden ja -päiden virittäminen ja tarkastuskierros suoritettiin suolaliuosmenetelmää käyttäen.

6.2 Esivalmistelu

Esivalmisteluna Michell HygroCal 100 menetelmää varten täytyi Vaisalan HMT317 mittalaitteisiin kytkeä liitintaulua vastaavat liittimet ulostulosignaalia varten ja valmistaa Michell hygroCal 100 sopiva liitintaulu. Vaisalan HMP233 mittalaitteille oli jo kyseinen liitintaulu ja liittimet valmiina.

Suolaliuosmenetelmää varten täytyi tehdä Kolme suolaliuosta; Magnesiumkloridi (MgCl) 33,07 %RH, Natriumkloridi (Ruokasuola, NaCl) 75,47 %RH, Kaliumnitraatti (KNO₃) 94,62%RH

Toiseksi täytyi tehdä mittapäihin ja suolaliuosastioihin sopiva kansi, johon mittapäät saatiin kytkettyä tiiviisti.

Kolmanneksi Vaisalan mittalaitteiden lukemat täytyi saada tietokoneelle, tähän soveltuu Agilentin tiedonkeruulaite. Tiedonkeruulaitteeseen sopiva kanavakortti, mihin liitetään mittalaitteiden ulostulojohdot.

Neljänneksi tietokoneella täytyy olla kolme ohjelmaa Michell Universal Application, Agilent BenchLink ja Rotronic HW4.

6.3 Kalibrointi

Esivalmistelujen jälkeen alkoi itse kalibrointi. Tehtiin automaattinen kolmen pisteen kierros. Pisteet olivat 30 %RH, 75 %RH ja 95 %RH mittausvälinä 10 sekuntia ja mittausta tehtiin 30 minuuttia/mittapiste. Laitteiston lyhyt tasaantumisaika mahdollisti lyhyen mittausajan.

Mittaus suoritettiin kolmeen kertaan, sillä mittalaitteita/-päitä oli kolmea erilaista. Rotronicin mittapäät kalibroidiin samanaikaisesti kierroksen aikana, sillä Rotronicin mittapäät viritetään mittalaitteen omalla ohjelmalla.

Mittaustulokset otettiin talteen. Tulokset muutettiin CSV-tiedostosta Excel-tiedoiksi. Excelin avulla pystyttiin laskemaan Vaisalan ulostulosignaaleille oikeat korjauskertoimet tarkastuskierrosta varten. Korjauskertoimet saadaan laskemalla kalibroitavien antureiden ja referenssinä toimineen mittalaitteen saamien tasaantuneiden olosuhteiden tulosten keskiarvo. Mittalaitteiden ulostulosignaaleille laskettiin kulmakerroin k ja vakio b matriisina LINEST -kaavan avulla.

Ulostulosignaalien viritetyt kalibrointikertoimet voidaan asettaa BenchLink ohjelmaan ja 33%RH suolaliuos voitiin nyt laittaa lämpökaappiin, joka pitää lämpötilan erittäin tasaisena, ja asettaa mittapäät mahdollisimman tiivistä kanteen sinitarraa ja O-renkaita käyttäen.

Lämpökaappi käynnistettiin. BenchLinkkiin määritettiin mittausvälin pituus 30 sekuntia. Käynnistettiin BenchLink Michell Universal Application ja Rotronic HW4. Mitattiin suunnilleen odotettu 3 tunnin tasaantumisaika, jonka jälkeen mittaukset lopetettiin olosuhteiden ollessa tasaisena yli puoli tuntia. Sama toistettiin myös 75%RH- ja 95%RH suolaliuoksella. Tiedot otettiin talteen tikulle ja katsottiin vastasiko kalibroitavien mittalaitteiden arvot referenssimittarin arvoja.

Samalla myös havainnointiin vastasiko suolaliuosten standardien arvot referenssinä toimineen kastepistemittarin mittaamia arvoja.

Suurimman eron standardeihin muodosti magnesiumkloridi, jonka tavoiteltu suhteellinen kosteus $33,07 \pm 0,18$ %RH ylittyi $3,3616$ %RH muodostaen $36,615$ %RH suhteellisen kosteuden.

Mittalaitteiden virittäminen onnistui hyvin. Kaikkien mittalaitteiden mittatarkkuus parani lähtötilanteeseen nähden. Rotronicin mittapäät viritettiin omalla sisäisellä menetelmällään, joten niitä ei pystytty yhtä tarkkaan virittämään.

TAULUKKO 4. Laitteiden virittämisellä saadut hyödyt. (Liite 2, 2)

Toimenpide ^v Laite >	HMT317	HMP233	HC2-SH
KA. Ero ennen viritystä	-0,394 %RH	4,137 %RH	0,88 %RH
KA. Ero virityksen jälkeen	-0,033 %RH	0,645 %RH	0,529 %RH
Parantunut tarkkuus %RH	0,361 %RH	3,497 %RH	0,351 %RH
Parantunut tarkkuus %	91,62%	84,53%	39,89%

7 Toimintatapaohje

Tampereen yliopiston rakennusfysiikan ryhmällä on tapana tehdä jokaisesta laitteesta ja kokeesta toimintatapaohje, jotta kaikki ryhmän sisällä osaisi tehdä kokeet oikein ja yhdenmukaisesti.

Toimintatapaohjeessa kerrotaan vaihe vaiheelta, kuinka laitetta tulisi käyttää ja tulkita. Toimintatapaohjeen tarkoituksena on olla laitteen käyttäjän tukena prosessin aikana.

7.1 Järjestys

Toimintatapaohjetta laadittaessa pohdittiin kappaleille looginen järjestys. Kokeen suorittajan kannalta on tärkeää, että ohjeen kappaleet menevät samassa järjestyksessä kokeen suorituksen kanssa.

7.2 Selkeys

On tärkeää, että kokeen suorittaja saa selvän toimintatapaohjeesta. Ohjeen kuvien tulisi olla mahdollisimman selkeitä ja havainnollistavia. Toimintatapaohjeen toimiessa käyttäjänsä tukena olisi tärkeää, että ohjeessa olisi mahdollisimman vähän tulkinnanvaraa.

7.3 Kerrottavat asiat

Toimintatapaohjeen tulisi vastata lukijalleen muutama kysymykseen.

Mitä kokeessa tehdään, eli mitä kokeella saavutetaan? Mitä laitteita kokeessa käytetään ja mistä ne löytyvät? Mikä on kunkin laitteen tarkoitus kokeessa? Miten laitteita käytetään? Mikä on oikea järjestys kokeiden suorituksessa? Mitä kokeen

aikana tapahtuu? Miten koe puretaan? Miten tulokset käsitellään? Minne tulokset laitetaan? Mistä saa lisätietoa? Lisäksi ohjeesta tulisi löytyä tarkastuslista, ohjeen tekemiseen vaadittua kirjallisuutta, mahdollisia liitteitä, laatijan nimi ja päivämäärä, sekä toimintatapaohjeen hyväksyminen.

8 Pohdinta

8.1 Kalibrointi

Kalibroitaessa on tärkeää muistaa oikea järjestys ja siisteys.

Työssä käytetyn kalibrointilaitteen suhteen oli hankalaa tiedostaa, että tekikö virheen sattuessa itse väärin, vai oliko laitteessa jokin vika.

Referenssinä toimineen kastepistemittarin antamaa lukemaa oli sinänsä hankalaa verrata siihen mitä kylläisellä suolaliuoksella olisi pitänyt saada sillä ei tiedetä, millä kastepistemittari oli kalibroitu.

Kalibrointilaitteen kehittämisen kannalta olisi hyvä, jos käytettävän ulostulosignaalin voisi itse määrittää, tällöin laitteella virittämisen onnistumisen voisi myös tarkastaa.

Kalibrointi ja viritys tuottivat halutun tuloksen, eli kalibroitavien laitteiden mittausten ero referenssiin pieneni. Kalibroinnissa havaittiin, että mitä lähempänä haluttua referenssin mittaamaa arvoa kalibroitava laite näytti, sitä tarkemmaksi se saatiin viritettyä.

Opinnäytetyö opetti opinnäytetyöntekijää paljon mittalaitteiden toiminnasta ja tulosten tulkinnasta.

8.2 Toimintatapaohje

Toimintatapaohjetta tehtäessä on asetettava laitetta ensikertaa käyttävän henkilön rooliin. Ohjetta tehtäessä on mietittävä jatkuvasti millaisia kysymyksiä työtä tehtäessä voisi muodostua. Ohjetta on rakennettava loogisessa järjestyksessä ja mietittävä kysymyksiin vastauksia. Kysymyksiin vastattaessa on vastattava niin

hyvin, että ongelman sattuessa käyttäjä voi päätellä mistä ongelmat johtuvat. Ohjeessa on oltava myös mahdollisimman paljon tarkkoja ja havainnollistavia kuvia, sekä selkeät selitykset kuvien tueksi.

Tekstin on oltava myös selkeää ja ymmärrettävää että tulkintavirheiltä vältyttäisiin. Jos tulkintavirheitä ei synny, niin saadaan kokeista yhdenmukaisia ja vertailukelpoisia.

Toimintatapaohjeen valmistaminen onnistui opinnäytetyöntekijän mielestä hyvin, sillä tutkija pystyi suorittamaan kyseisen kokeen toimintatapaohjeen mukaisesti ilman kalibroinnin suorittamiseen liittyviä kysymyksiä.

LÄHTEET

Vinha, J. 2019. Rakennusfysiikan kurssimateriaali. Materiaalien ja ilman kosteus.

Björkoltz, D./Rakennustieto 1987 Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka.

Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies. Tulostettu 7.12.2019. <https://www.fierceelectronics.com/components/choosing-a-humidity-sensor-a-review-three-technologies>

Tammertekniikka 2012. Tekniikan kaavasto

Produal. Vastusarvotaulukko. Tulostettu 15.9.2019. http://d3w3cpso-sewcdn.cloudfront.net/produal/sites/9/2016/06/27212821/Sensor_characteristics_fi.pdf

VAISALA. 1998. Käyttöohje. HMP230-sarjan lähettimet. Luettu 2019.

VAISALA/Teknologiakuvaus. 2012. Vaisala HUMICAP® -anturi suhteellisen kosteuden (RH) mittaamiseen. Tulostettu 27.6.2019. https://www.vaisala.com/fi/search?k=HUMICAP&items_per_page=20

Vaisala HMP233. Kuva. Tulostettu 27.6.2019. <https://www.torontosurplus.com/vaisala-hmp233-d2c0a2aa23a1a3b-humidity-and-temp-transmitter.html>

VAISALA. 2017. HMT310 Humidity and Temperature Transmitter. Tuotekuvaus. Tulostettu 7.4.2019. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMT310-Datasheet-B210769EN-H.pdf>

ROTRONIC. HygroMer HT-.1. 2014. Tuoteseloste. Tulostettu 27.6.2019. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjD3rbZ4o_mAhXq-SoKHUZDCZcQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.rotro-nic.com%2Fen%2Fproductattachments%2Findex%2Fdownload%3Fid%3D999&usg=AOvVaw2rLf2gVz4I8xmGqCMdOWxv

ROTRONIC. 2019 HC2A-IC SERIES. Tuoteseloste. Tulostettu 2019.

MICHELL Instruments. 2013. Optidew & Optidew Vision High Performance Optical Dew-Point Transmitter User's Manual. Luettu 2019.

Jäätympisteen alenema. 2.2010. Tulostettu 1.2020.

SFS-EN ISO 12571:2013. Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of hygroscopic sorption properties. s. 9-14. Tulostettu 21.5.2019

Greenspan, L. 1976. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. Tulostettu 23.7.2019. https://nvlpubs.nist.gov/nist-pubs/jres/81A/jresv81An1p89_A1b.pdf

MICHELL Instruments. 2016. HygroCal100 Humidity Validator User`s Manual. Luettu 2019

MICHELL Hygrocal100. Toimintaperiaate kuva. Tulostettu 2019. <https://www.rotronic.com/en/michell-hygrocal100.html>

Kuva. Michell HygroCal100 kytkettynä Michell Optidew Vision kastepisteanturiin. <https://africanminingbrief.com/traceable-humidity-calibrations-from-a-portable-humidity-calibrator/>

Scientific reports. 2016. An ultrahigh-accuracy Miniature Dew Point Sensor based on an Integrated Photonics Platform. Tulostettu 7.4.2019. <https://www.nature.com/articles/srep29672>

VAISALA/Sovelluskuvaus. 2012. Kosteusmittareiden kalibrointi ja viritys. Eri menetelmien edut ja haitat. Tulostettu 30.6.2019. https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-COT-Global-Calibration-and-Adjustment-of-RH_Instruments-B210804FI-B-LOW-v3.pdf

MICHELL Instruments. 2013. Optidew Vision. Optical Dew-Point Meter. Datasheet. Tulostettu 2019. http://www.michell.com/uk/documents/Optidew_vision_97144_UK_Datasheet-V6.pdf

VAISALA. 2014. User`s guide Vaisala HUMICAP® Humidity and Temperature Transmitter HMT310. Luettu 2019.

Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Mikes. Metrologian neuvottelukunta. Espoo. Tulostettu 22.7.2019. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>

SFS-EN ISO 13788:2012. Hygrothermal performance of building components and building elements. Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation. Calculation methods. Tulostettu 24.8.2019.

Rotronic. 2014. HygroLog HL-NT Data Logger Instruction Manual. Tulostettu 27.6.2019.

LIITTEET

Liite 1. Toimintatapaohje



VAISALAN KOSTEUSANTUREI- DEN KALIBROINTI

Michell HygroCal 100- kalibrointilaitteella

3.3.2020

Toimintatapaohje

15 sivua + 4 liitesivua

Kokeen nimi: Vaisalan antureiden kalibrointi Michell HygroCal100 kalibrointilaitteella

Liittyvät toimintatapaohjeet

Tilaus ja laskutus

TOIMINTATAPAOHJE, Vaisalan kosteusantureiden kalibrointi Michell Hygro-Cal100 kalibrointilaitteella

SISÄLLYSLUETTELO

1	Testauskohteet	4
2	Tilaus	4
3	Testauslaitteisto	4
4	Kokeen valmistelu	9
4.1	Kosteusantureiden valmistelu	9
4.2	Kokeen valmistelu	10
5	Kokeen suorittaminen	12
5.1	Mittaaminen	12
5.2	Mittauksen päättäminen ja tulosten tallentaminen	14
5.3	Tulosten käsittely	15
5.4	Kalibroinnin tarkistusmittaus suolaliuosmenetelmällä	17
6	Tulosten esittäminen ja raportointi	18
7	Tarkastuslista	18
8	Laskutus	19
9	Testausohjeen laatija	19
10	Testausmenetelmän toimintatapaohjeen hyväksyminen	19
	KIRJALLISUUTTA	20
	LIITTEET	21
	LIITE 1.1: Agilent BenchLink -ohjelmiston käyttö tarkastusmittauksessa	1

1 Testauskohteet

Vaisalan RH/T-anturit.

2 Tilaus

Katso erillinen ohje *Tilaus ja laskutus*.

3 Testauslaitteisto

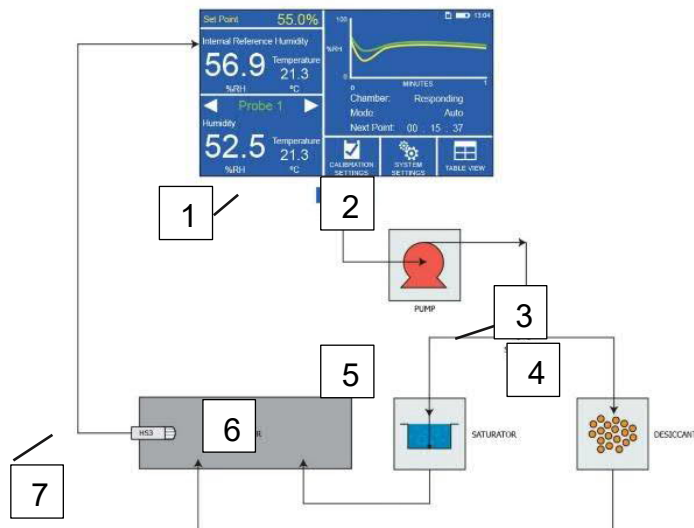
Jotta voidaan varmistua antureiden oikeanlaisesta toiminnasta sekä mahdollisimman tarkoista tuloksista on antureiden kalibrointi tehtävä vähintään kerran vuodessa, tai pitkäaikaisten mittausten jälkeen, jotka ovat olleet korkeissa kosteuksissa. Jatkossa anturit pyritään kalibroimaan aina ennen käyttöä mittausten välissä. Kosteusanturit kalibroidaan vertaamalla kokeessa saatuja antureiden mittaamia kosteuksia tunnettuun referenssianturin mittaamaan suhteelliseen kosteuteen.

Kuvissa 3.1, 3.2 ja 3.3 esitetään kosteusantureiden kalibrointilaitteiston osat. Laitteiston lisäksi tarvitaan pieni talttapäinen **ruuvimeisseli**, jolla kortin liitosjohto ruuvataan tauluun kiinni, **sinitarraa** ja sopivia **O-renkaita** antureille.



Kuva 3.1. Kosteusantureiden kalibrintilaitteiston osat.

1. Liitintaulu. 2. Mittapäiden adapterit. 3. Virtalähde. 4. Kuiva desiccantti. 5. säilytyspurkit desiccantille ja ionivaihdetulle vedelle. 6. Ruisku, jolla ionivaihdettu vesi annostellaan paikalleen ja imetään pois. 7. Kalibroitilaitteelle sopiva muistitikku. 8. Hygro-Cal 100 kalibroitilaitte.

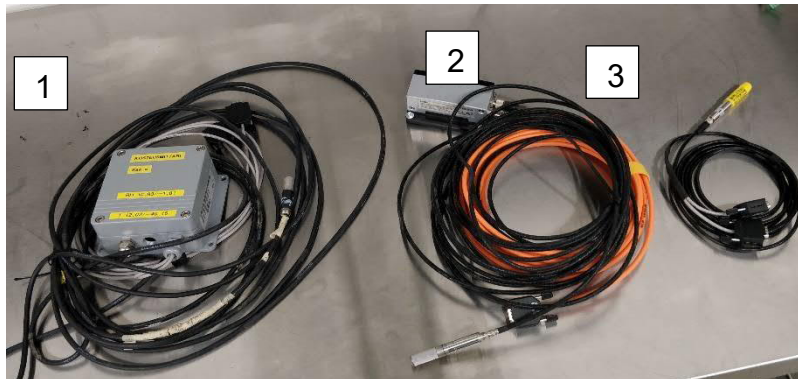


Kuva 3.2. Kalibroitilaitteen toimintaperiaate.

1. Asetettu arvo. 2. Pumppu. 3. Solenoidi. 4. Desiccantti -säiliö. 5. Ionivaihdettu vesi -säiliö. 6. Kalibroitikammio. 7. Referenssianturi.

2. Kalibroittavat kosteusanturit

Tämä ohje koskee Vaisala Oy:n kosteus ja lämpötilan mittaamiseen tarkoitettujen laitteiston kalibrointia. Mittalaitteiden valmistajan antamat tarkkuudet ovat suhteellisen kosteuden osalta ± 2 %RH ja lämpötilan osalta ± 1 °C.



Kuva 3.3. VAISALA RH/T -mittalaitteet.

1. HMP233. 2. HMT317. 3. HMP110.

3. Kosteus- ja lämpötila-antureiden lähettimet

Lähettimestä lähtevä mittapää mittaa sekä ilman kosteutta sekä lämpötilaa. Lämpötila- ja kosteuden ulostulosignaaleille on omat johdot, jotka kiinnitetään erikseen tauluun siltä osin, mitä ominaisuuksia halutaan mitata. Kosteutta ja lämpötilaa voidaan mitata samalla laitteistolla samaan aikaan. Yksi lähetin vaatii siis kaksi taulupaikkaa, mikäli halutaan mitata kosteus- ja lämpötila-arvoja.



Kuva 3.4. VAISALA RH/T -antureiden lähettimet.

4. *Michell HygroCal100- kalibroitilaite*

Laite on Michell Instrumentsin valmistama kompaktin kokoinen kalibroitilaite, joka muodostaa oikean kosteuden mittauskammioon desiccantin, ionivaihdetun veden ja referenssianturin avulla.



Kuva 3.5. *Michell HygroCal100- kalibroitilaite*

5. *Michell Optidew Vision kastepistemittari*

Kyseinen anturi on myös Michell instrumentin tekemä, joten se toimii hyvin yhteen kalibroitilaitteen kanssa. Kastepistemittarin käyttäminen referenssinä kalibroinnissa ei ole pakollista, mutta suositeltavaa sen tarkkuuden ja alhaisen virhemarginaalin vuoksi. Kastepistemittariin kuuluu itse kastepistemittapää, lämpötila-anturi suhteellisen kosteuden mittauksen mahdollistamiseksi ja kastepistemittarin oma mittausyksikkö, jolla oma 24V jännitelähteensä. Kastepistemittarilla on oma toimintatapaohjeensa.



Kuva 3.6. *Michell Optidew Vision kastepistemittari ja mittarin mittapää.*

6. Liitintaulu

Toimii antureiden ja kalibrointilaitteen välikappaleena. Yhteen tauluun voidaan liittää yhteensä 14 johtoa ulostulosignaaleille, eli 7 RH/T-mittalaitetta.



Kuva 3.7. Liitintaulu

4 Kokeen valmistelu

4.1 Kosteusantureiden valmistelu

1. Tarkistetaan lähettimien sisältä antureiden mitta-alue sekä jännitealue, jos sitä ei ole kirjattu ylös lähettimen päälle. Ulostulosignaalin korjauskertoimet riippuvat näistä alueista. Lähetin voidaan avata kuusiokoloavaimella.
2. Tarkistetaan, että mittapäät ja lähettimet ovat selkeästi nimettyjä ja kosteus- ja lämpötila- ulostulosignaali-johdot on merkitty oikein.
3. Kerällä olevat signaalijohdot avataan siten, että niiden päät ovat tarpeeksi vapaina, jotta toiset päät ulottuvat tauluun ja mittapään johdot tarpeeksi pitkästi kalibrointilaitteen sisään.

4.2 Kokeen valmistelu

1. Täytetään kalibrointilaitteen vesisäiliö ionivaihdetulla vedellä 25 ml.



2. Täytetään desikanttisäiliö desikantilla kannen alapinnan tasolle ja varmistetaan, että desikantissa on vielä väriä. Jos ei ole väriä, niin laitetaan desikantti uuniin 105 °C/3 h, tai niin kauaksi aikaa, että väri kirkastuu.

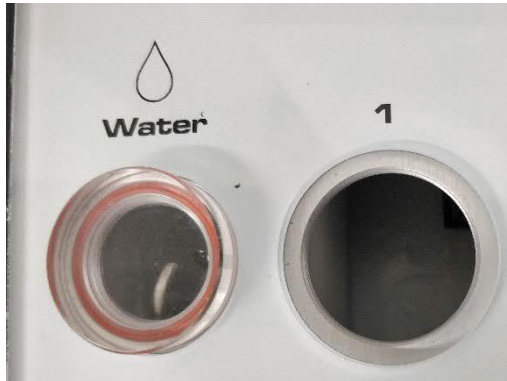


3. Valitaan anturin halkaisijan mukaan sopivat adapterit ja ruuvataan ne kiinni testikammion kanteen.



4. Liitetään testilaitte verkkovirtaan.

5. Käynnistetään laite, irrotetaan 1.-mittapään adapteri ja tarkkaillaan, tuleeko vettä mittauskammion pohjalle. Jos ei tule niin siirrytään seuraavaan vaiheeseen, muussa tapauksessa kuivataan pohja.



6. Laitetaan adapterit ja adapterien korkit paikalleen.
7. Liitetään liittimet liitintauluun ja liitintaulu testilaitteeseen.



8. Asetetaan anturit adaptereihin.



9. Tiivistetään tarvittaessa mittapäiden ja adapterien välit sinitarralla ja o-renkailla.

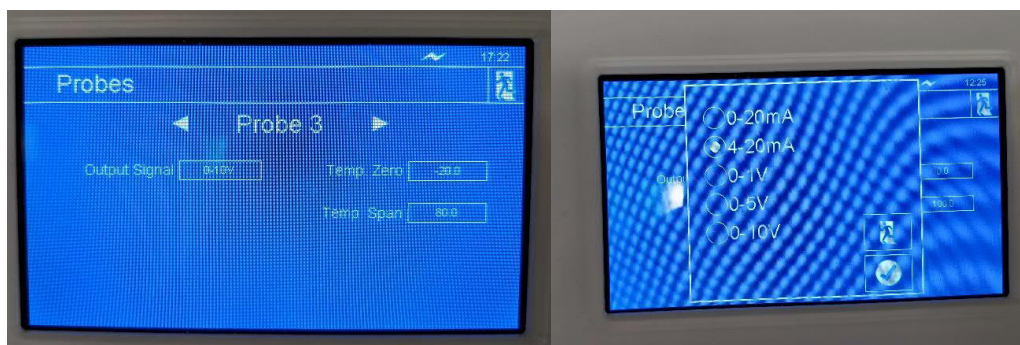
5 Kokeen suorittaminen

Kalibroinnissa käytetään apuna laitteen mekaanista kostuttamista ja kuivatusta. Laite luo mittauskammioon tietyn suhteellisen kosteuden pumpaamalla tislattua vedestä höyrystetyn kosteuden ja kuivattamalla kammion ilmaa kierrättämällä sitä desikanttikammion läpi. Laite tietää säätää oikean kosteuden kammioon, joko sisäisen tai itse määrittämän referenssin avulla. Tätä lukemaa verrataan laitteiden mittaamaan kosteuteen. Kokeessa tarvittava laitteisto ja välineet ovat lueteltu kohdassa 3. Testauslaitteisto.

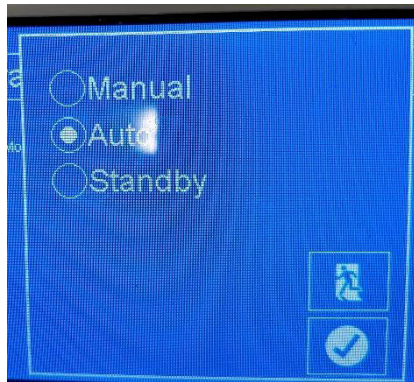
Kalibroitimittaus suoritetaan aluksi peruskertoimia käyttäen ja normaalisti kahdessa tai kolmessa eri kalibrointikosteudessa, jotka ovat valittu antureiden käyttökosteusalueelta. Kosteuspitoisuuksissa tulisi olla mukana sekä matala että korkea kosteuspitoisuus. Lämpötilatasapainon saavuttaminen on olennaisen tärkeää kosteusmittauksessa ja erityisesti kalibroinnin aikana. Pienikin ero mitattavan kohteen ja anturin välillä aiheuttaa virheen lukemissa. Pahin virhe aiheutuu, kun mittapään lämpötila poikkeaa ympäristön lämpötilasta ja kosteus on korkea. Olosuhteiden on siis annettava tasaantua normaalia pidempään tarpeeksi kauan ennen virallisten kalibroitimittaus tulosten lukemista.

5.1 Mittaaminen

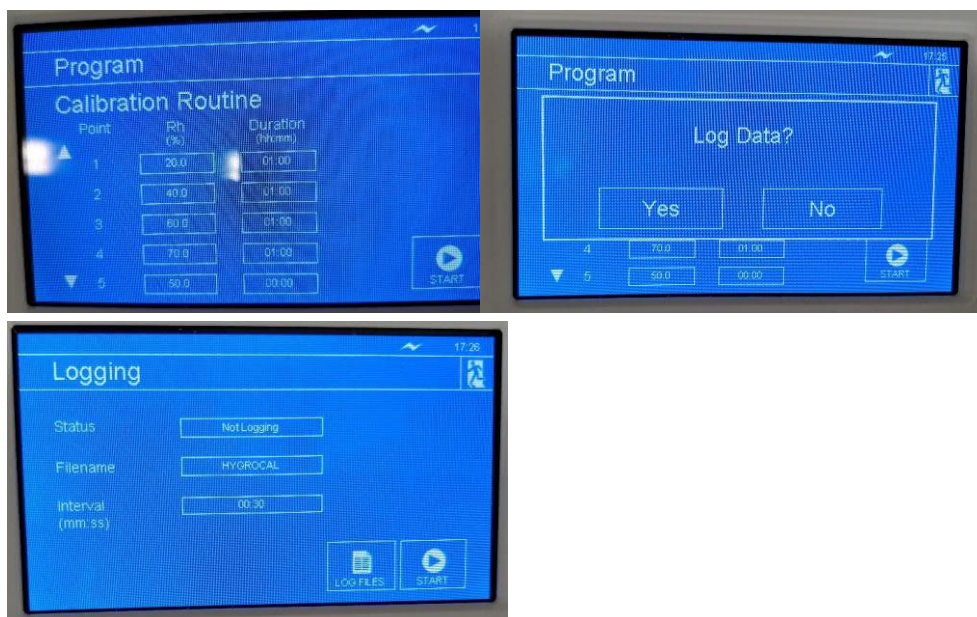
1. Suoritetaan kokeen valmistelu kohdassa 4 Kokeen valmistelu esitetyllä tavalla.
2. Laitteiston käynnistettyä valitaan Calibration settings -> Probes mittalaitteille oikeat ulostulosignaalit. Vaihtoehtoja on 5. 0-20 mA, 4-20 mA, 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V, sekä lämpötila-anturin omat mittausrajat.



3. Valitaan Calibration settings -> Mode. Vaihtoehdot ovat Manual, Auto, Standby.



4. Manuaalin valittaessa laitteisto pitää mittauskammion alunäyttöön kirjatussa kosteudessa.
5. Standbyn valittaessa laite ei säädä olosuhdetta ollenkaan, mutta jatkaa mittaamista näin haluttaessa.
6. Automaatin valittaessa laitteen valikko hyppää automaattisesti Program-välilehdelle, jonne voidaan tehdä haluttuja mittaus jaksoja. Painamalla start-painiketta laite hyppää logging-välilehdelle, jonne voit määrittellä mittauksille tiedoston nimen.



7. Kyseisellä laitteella on lyhyet tasaantumisaajat, joten yhden olosuhteen mittaus ajan pituudeksi saattaa riittää jopa 0,5 tuntia. Haastavilla olosuhteilla mittausjakson on syytä olla silti pidempi. Laitteella pääsee kuitenkin vain alle 95%RH.
8. Seurataan aluksi, että tulokset näyttävät oikeilta.
9. Laite aloittaa ajan laskemisen vasta, kun olosuhde on ollut $\pm 0,5\%$ RH halutusta kosteudessa 20 sekuntia.

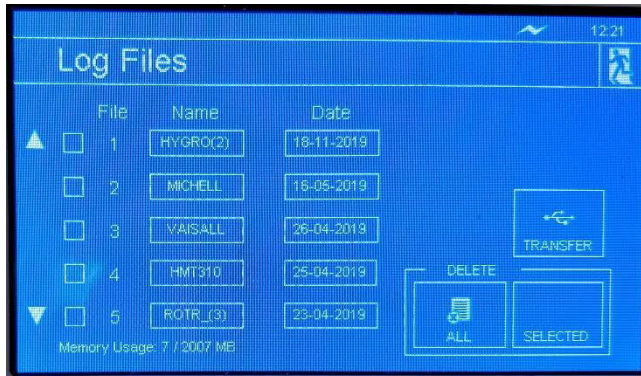
10. Odotetaan, että olosuhteet ovat tasautuneet/ mittausaika on ohi. Olosuhteiden taantumisen jälkeen jatketaan mittauksia vielä ainakin 10 minuuttia/ haluttu mittausaika on ohi, josta tulosten keskiarvo lasketaan. Eri kosteusarvojen keskiarvot tulee laskea samanmittaisesta aikavälistä.
11. Halutun ajan täytyttyä mittaus lopetetaan ja tulokset tallennetaan kohdassa 5.2 Mittauksen päättäminen ja tulosten tallentaminen esitetyllä tavalla.
12. Ennen kytkentöjen purkamista täytyy muistaa tarkistaa mittalaitteiden merkinnät. Merkintätavan on oltava selkeä ja mittapäiden, sekä lähettimien on oltava tunnistettavissa toisistaan. On myös kirjattava ylös, missä taulupaikassa mikäkin mittalaite on ollut mittauksen aikana, jotta laitteesta saadut mittauks tulokset pystytään myöhemmin liittämään oikeisiin mittalaitteisiin.

5.2 Mittauksen päättäminen ja tulosten tallentaminen

Mittauksia jatketaan niin kauan, kunnes anturit ovat saavuttaneet tasapainotilan ja kosteusarvot pysyvät tasaisina. Manuaalitoiminnolla annetaan mittauksen jatkaa vielä ainakin 10 minuuttia ja toistetaan jokaisella halutulla kosteudella. Automaattitoiminnolla mittausohjelma ajetaan läpi. Automaattitoiminnon etuna on, että laite alkaa laskemaan haluttua mittausaikaa vasta, kun olosuhde on ollut $\pm 0,5$ %RH halutusta kosteudesta 20 sekuntia. Mittauksen jälkeen laitteesta voidaan ottaa tulokset laitteen USB-tikulle ja siirtää koneelle laskentojen varten.

Kuva 5.2.1. Mittauks tulosten tallentaminen Excel-tiedostoksi.

Tiedosto on nimetty jo ennen mittauksen aloittamista. Mittauksen päätyttyä mittauks tulokset tallentuvat laitteeseen Calibration settings > Logging > Log Files. Laitteelta halutut mittaukset täytyy siirtää tikulle. Tulokset tallentuvat CSV-tiedostoiksi. Huomioi, ettei laite löydä kaikkia muistitikkuja. Laitteelle soveltuva muistitikku löytyy kalibrointilaitteen salkusta.



Kun kaikki kalibrointimittaukset on suoritettu, mittalaitteet, taulut ja virtalähde puretaan kalibrointilaitteistosta. Laitteistosta tyhjätyään vesi- ja desikanttisäiliö, sekä ympäristö jätetään siistiin kuntoon.

5.3 Tulosten käsittely

Tulokset käsitellään Excel-taulukon avulla. Tiedostoon tallennetuista tuloksista valitaan esimerkiksi kymmenen minuutin peräkkäisten mittausten sarja (eli puolen minuutin mittausvälillä 20 peräkkäistä mittaustulosta), jonka avulla korjauskertoimet lasketaan.

Tulokset liitetään laskentatiedostoon niitä vastaavan anturin nimen alle. Eri kosteuspitoisuuksissa mitatut tulokset liitetään selkeästi omiin alueisiinsa kuvan 5.3.1 mukaisesti.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Mittauskierros	vertailu RH	RH 1	RH 2	RH 3	RH 4	RH 5	RH 6	RH 7	RH 8	RH 9	RH 10
2	A (33 % RH)		0-8 V	0-8 V	0-8 V	0-8 V	0-8 V	0-8 V	0-8 V	0-5 V	0-5 V	0-5 V
3	1	33	33,50	33,75	35,36	34,67	35,34	34,70	34,85	34,15	34,34	34,68
4	2	33	33,53	33,73	35,34	34,69	35,34	34,69	34,85	34,14	34,32	34,68
5	3	33	33,50	33,72	35,35	34,67	35,37	34,72	34,83	34,13	34,34	34,70
6	4	33	33,47	33,68	35,35	34,66	35,33	34,67	34,86	34,14	34,35	34,70
7	5	33	33,48	33,68	35,35	34,66	35,36	34,69	34,85	34,10	34,35	34,67
8	6	33	33,48	33,73	35,35	34,65	35,37	34,68	34,85	34,14	34,30	34,67
9	7	33	33,48	33,72	35,34	34,65	35,35	34,67	34,83	34,15	34,32	34,68
10	8	33	33,48	33,68	35,35	34,67	35,37	34,67	34,84	34,13	34,33	34,68
11	9	33	33,50	33,71	35,35	34,65	35,35	34,68	34,83	34,18	34,31	34,66
12	10	33	33,48	33,68	35,35	34,67	35,35	34,66	34,82	34,08	34,33	34,68
13	11	33	33,48	33,71	35,35	34,66	35,38	34,71	34,84	34,14	34,34	34,68
14	12	33	33,48	33,72	35,34	34,66	35,35	34,71	34,83	34,18	34,31	34,66
15	13	33	33,47	33,66	35,34	34,66	35,37	34,66	34,83	34,10	34,33	34,68
16	14	33	33,47	33,69	35,41	34,62	35,31	34,67	34,83	34,12	34,32	34,67
17	15	33	33,49	33,66	35,34	34,65	35,37	34,66	34,83	34,15	34,30	34,67
18	16	33	33,48	33,67	35,33	34,66	35,36	34,68	34,83	34,11	34,30	34,66
19	17	33	33,48	33,67	35,32	34,64	35,37	34,67	34,81	34,10	34,33	34,66
20	18	33	33,48	33,69	35,32	34,65	35,35	34,66	34,82	34,09	34,32	34,64
21	19	33	33,48	33,68	35,31	34,64	35,32	34,67	34,82	34,19	34,28	34,64
22	20	33	33,49	33,71	35,32	34,64	35,30	34,65	34,80	34,15	34,31	34,64
23												
24	B (58 % RH)											
25	1	58	55,63	56,16	57,78	57,20	58,24	57,64	57,67	55,86	55,86	56,26
26	2	58	55,61	56,18	57,76	57,20	58,23	57,65	57,67	55,96	55,85	56,29
27	3	58	55,62	56,15	57,78	57,21	58,29	57,64	57,69	55,93	55,84	56,26
28	4	58	55,63	56,18	57,77	57,21	58,21	57,62	57,67	55,91	55,85	56,25
29	5	58	55,60	56,22	57,77	57,20	58,21	57,68	57,67	55,99	55,84	56,26
30	6	58	55,61	56,18	57,76	57,19	58,23	57,62	57,67	56,01	55,86	56,28
31	7	58	55,63	56,19	57,79	57,22	58,19	57,65	57,67	56,00	55,86	56,27
32	8	58	55,62	56,18	57,78	57,21	58,24	57,61	57,65	56,02	55,87	56,30
33	9	58	55,62	56,20	57,78	57,19	58,27	57,64	57,68	56,01	55,84	56,29
34	10	58	55,61	56,21	57,76	57,19	58,21	57,71	57,65	56,01	55,86	56,26
35	11	58	55,61	56,22	57,77	57,20	58,26	57,65	57,68	56,00	55,87	56,28
36	12	58	55,62	56,17	57,78	57,19	58,25	57,59	57,67	55,85	55,88	56,29
37	13	58	55,63	56,22	57,76	57,21	58,26	57,63	57,68	55,86	55,86	56,31
38	14	58	55,62	56,16	57,78	57,19	58,22	57,75	57,67	55,87	55,88	56,29
39	15	58	55,62	56,16	57,77	57,20	58,26	57,63	57,68	56,00	55,86	56,26
40	16	58	55,63	56,16	57,78	57,21	58,22	57,63	57,68	56,01	55,86	56,27
41	17	58	55,60	56,20	57,78	57,20	58,24	57,63	57,67	56,02	55,87	56,26
42	18	58	55,61	56,18	57,76	57,20	58,21	57,63	57,66	55,93	55,88	56,28
43	19	58	55,61	56,17	57,78	57,21	58,22	57,64	57,67	56,01	55,86	56,26
44	20	58	55,63	56,17	57,77	57,20	58,22	57,65	57,66	55,88	55,85	56,29
45												
46	C (85 % RH)											
47	1	85	80,05	81,04	83,49	82,13	83,35	82,80	82,81	79,98	79,72	80,26
48	2	85	80,01	81,05	83,49	82,10	83,38	82,76	82,78	79,89	79,70	80,25
49	3	85	80,05	81,06	83,49	82,13	83,44	82,77	82,82	80,07	79,72	80,24

Kuva 5.3.1. Esimerkki mittaustulosten esittämisestä Excelissä.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Mittauskierros	vertailu RH	RH 1	RH 2	RH 3	RH 4	RH 5	RH 6
68	Mittarikorjaus							
69	A keskiarvo	33	33,48	33,70	35,34	34,66	35,35	34,68
70	B keskiarvo	58	55,62	56,18	57,77	57,20	58,24	57,64
71	C keskiarvo	85	80,04	81,08	83,50	82,12	83,39	82,81
72								
73								
74								
75								
76								
77	LÄMPÖTILA-ANTURIEN KALIBROINTI							
78	Y = k*X + b							
79	Y = todellinen lämpötila (lasiputki)							
80	X = mitattu lämpötila							
81	Y = K1*A - K2							
82	A = anturin jännite							
83	Y = mitattu lämpötila							
84	Omat puolijohd,ant,K1=100*k ja K2=273,15*k-b							
85	Vaisalat: K1=12*k ja K2= 40*k - b							
86								
87	ANTURI	Kulmakerroin k	Vakio b	Kertoimet:				
88	RH1	1,116825309	-3,857586637	K1	K2			
89	RH2	1,097169419	-3,857586637	13,96031636	4,299268754			
90	RH3	1,078945812	-4,854603931	13,71461773	3,857586637			
91	RH4	1,095275992	-4,852591627	13,48682265	4,854603931			
92	RH5	1,082337449	-5,183159686	13,69094989	4,852591627			
93	RH6	1,080337492	-4,400074207	13,52921811	5,183159686			
				13,50421865	4,400074207			

Kuva 5.3.2. Korjauskertoimien laskenta.

Korjauskertoimien laskenta Excel-tiedostossa tapahtuu seuraavasti:

1. Kymmenen minuutin ajalta saaduista puolen minuutin välein mitatuista tasaantuneista lämpötilatuloksista lasketaan keskiarvot mitattujen arvojen alapuolelle kullekin olosuhteelle erikseen kuvan 5.3.2 mukaisesti.
2. Antureille lasketaan kulmakerroin k ja vakio b matriisina LINEST-kaavan avulla.
3. Maalataan kaksi vierekkäistä solua, joihin kertoimet halutaan laskea.
4. Valitaan LINEST-funktio.
5. Valitaan funktioon syötettävät tiedot maalaamalla kuvan 5.3.2 mukaisesti: ensin vertailuarvot ja puolipisteen jälkeen halutun anturin arvot.
6. Lisätään halutut kiinnitykset soluihin (\$-merkkien avulla) funktion muokkauksen ollessa aktiivisena.
7. Painetaan CTRL + SHIFT + ENTER.
8. Kopioidaan arvot allekkain aina yhtä saraketta eteenpäin.
9. Korjauskertoimet $K1$ ja $K2$ lasketaan seuraavasti:

$$K1 = k * K1_{oletus} \quad (5.3.1)$$

$$K2 = K2_{oletus} * k - b \quad (5.3.2)$$

Huom! Katso $K1_{oletus}$ ja $K2_{oletus}$ -kertoimien määrittäminen liitteestä 1.

Korjauskertoimien avulla suoritetaan kalibrointiin liittyvä antureiden viritys ja tarkistusmittaus kohdan 5.4 Kalibroinnin tarkistusmittaus mukaisesti.

5.4 Kalibroinnin tarkistusmittaus suolaliuosmenetelmällä

Kalibroinnin onnistuminen tarkistetaan tarkistusmittauksen avulla uusilla korjauskertoimilla. Tarkistusmittaus suoritetaan suolaliuosmenetelmällä. Tarkistusmittauksessa kertoimien $K1$ ja $K2$ paikoille Agilent BenchLink-ohjelmaan asetetaan edellisen kalibroitimittauksen tuloksista lasketut korjauskertoimet. Mittaus käynnistetään Vaisalan kosteusantureiden kalibrointi toimintatapaohjeen mukaisesti ja annetaan tulosten tasaantua. Tulosten tasaannuttua antureiden arvot luetaan uudelleen ja

niitä verrataan referenssimittalaitteen lukemiin. Myös tarkistusmittaus on hyvä tehdä kolmessa olosuhteessa.

6 Tulosten esittäminen ja raportointi

Kalibroinnin tulokset esitetään ensisijaisesti kalustoluettelo ja kalibrointiaikataulu - tiedoston RH / T -antureille tarkoitetuilla välilehdellä. Tähän taulukkoon merkitään anturikohtaisesti niin kalibroinnit kuin muutkin antureiden ja niihin liittyvien laitteiden ongelmat, projektit, joihin niitä on käytetty, kalibrointiajankohta, mittaushistoriat (kui-vumiskokeissa paljon rankkoja olosuhteita, tämä on hyvä jättää anturikohtaisesti tie-toon). Lisäksi voidaan tehdä tutkimusselostus, mutta kalibrointi on yleensä sellainen asia, että se on sisällytetty johonkin tutkimukseen eikä itsessään tuota tutkimusse-lostustarvetta.

7 Tarkastuslista

1. Välineet
 - Tarkasta, että työhön vaadittavat välineet löytyvät ja että ne ovat kunnossa
2. Vesi ja desikantti
 - Laita laitteen kammioihin oikea määrä ionivaihdettua vettä ja desikanttia
 - Varmista, että desikantissa on väriä.
3. Kytkenät
 - Tarkista, että kytkenät ovat huolellisesti tehtyjä, että liittimet ovat oikeilla paikoilla ja selkeästi merkattuja.
4. Koekäyttö
 - Koekäytä laite, havaitaksesi laitteen mahdolliset viat. Eritoten kannattaa tarkastaa näkykö kammiossa vettä.
5. Referenssi
 - Valitaan referenssi, joko sisäinen tai ulkoinen. Oletus referenssinä on laitteen sisäi-nen anturi.
6. Ulostulosignaalien arvot
 - Muista katsoa, että jokaisen mittalaitteen ulostulosignaalin arvo on määritetty oikein seuraavista vaihtoehtoista: 0-20 mA, 4-20 mA, 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V

7. Tiivistys

-Tarkista, että mittapäät ovat ilmatiiviisti kalibrointilaitteessa, ettei kammion ja mittapään välille syntyisi kosteusvirtaa.

8. Mittausjakson määrittäminen

-Määritä mitattava kosteus ja sen kesto automaattitoiminnolla.

9. Tasainen lämpötila

-Kalibrointihuoneessa on melko tasainen lämpötila kalibroinnin mittausten suorittamiseen, mutta voit varmistaa lämpötilan tasaisuuden kalibrointitiedostosta.

10. Lopetus

-Mittausten loputtua ota data laitteesta muistitikulle, kerää tarvitsemasi tarvikkeet niille kuuluville paikoille ja jätä ympäristö siistiksi.

11. Antureiden ulostulosignaalien arvojen virittäminen

-Laske Excelissä korjauskertoimet ulostulosignaalien arvoille.

12. Tarkastuskierros

-Tarkastuskierros suoritetaan suolaliuos menetelmällä. Tähän löydät toimintatapaohjeet S-levyltä.

8 Laskutus

Katso erillinen ohje *Tilaus ja laskutus*.

9 Testausohjeen laatija

Käyttöinsinööri Mikko Viitala

10 Testausmenetelmän toimintatapaohjeen hyväksyminen

Rakennusfysiikan tutkimusryhmän palaverissa xx.xx.2019

Rakennustekniikan laitoksen johtaja hyväksyy käyttöön xx.xx.2019

KIRJALLISUUTTA

Vinha, Juha. 1998. Rakenteiden lämmöneristysominaisuuksien mittauslaitteisto, Lissensiaatintyö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, Talonrakennustekniikka. 106 s + 17 s liitteitä.

HMP230-Sarjan lähettimet – käyttöohje. 1996. Vaisala (punainen mappi)

Kivimäki, Henna. 2016. Vaisalan kosteusantureiden kalibrointi, Rakennusfysiikan tutkimusryhmän toimintatapaohje, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennusfysiikka. 15 s + 4 s liitteitä.

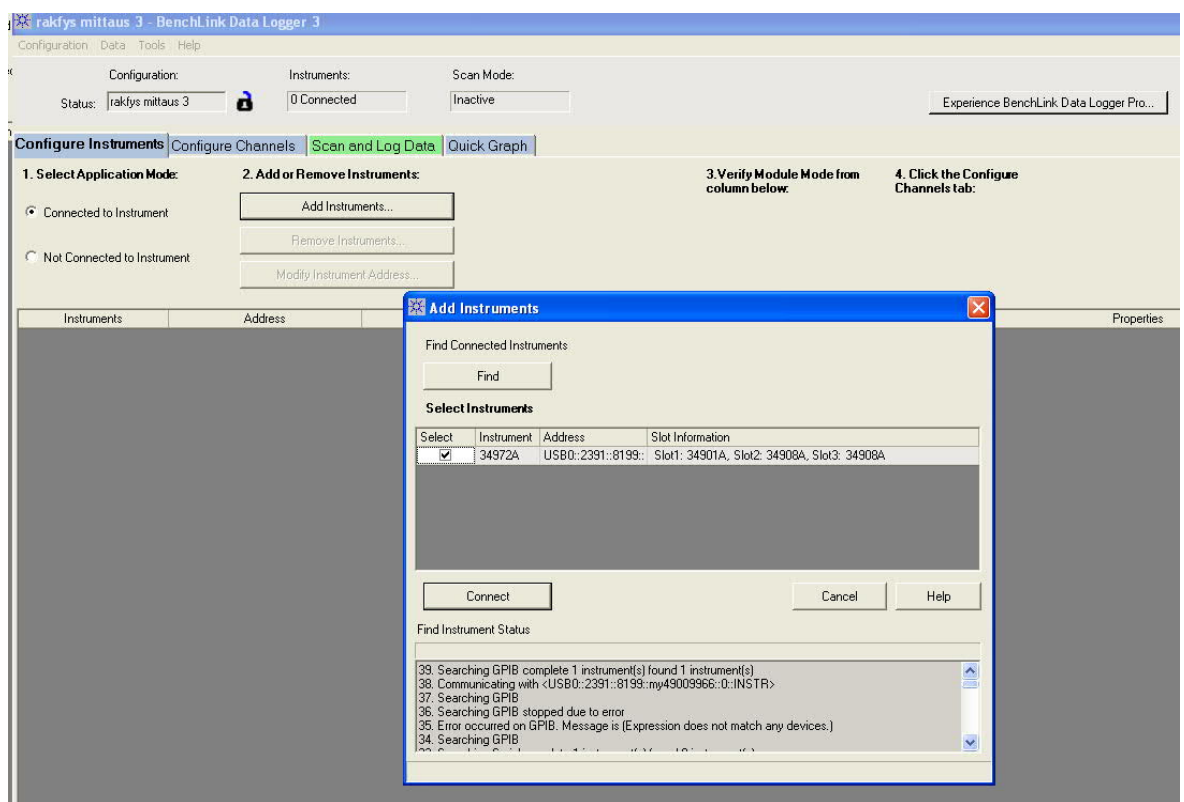
HygroCal100 Humidity Validator – käyttöohje. 2016. Michell Instruments.

Optidew & Optidew Vision High Performance Optical Dew-Point Transmitter – käyttöohje. 2013. Michell Instruments.

LIITTEET**Liite 1.1 Agilent BenchLink -ohjelmiston käyttö tarkastusmittauksessa 3 s.**

Liite 1.1: Agilent BenchLink -ohjelmiston käyttö tarkastusmittauksessa

1. Avaa Agilent BenchLink data logger 3 -ohjelma.
2. Lisää käytettävä tiedonkeruulaite ohjelmaan Configure Instruments -välilehdeltä painamalla Add Instrument -painiketta ja sen jälkeen Find-painiketta kuvan L2.1 mukaisesti. Tiedonkeruulaite täytyy olla kytketty tietokoneeseen ja laitettu päälle, jotta ohjelma pystyy tunnistamaan sen.
3. Valitse tiedonkeruulaite ja paina Connect-painiketta.



Kuva L1.1.1. Käytettävän tiedonkeruulaitteen yhdistäminen ohjelmaan.

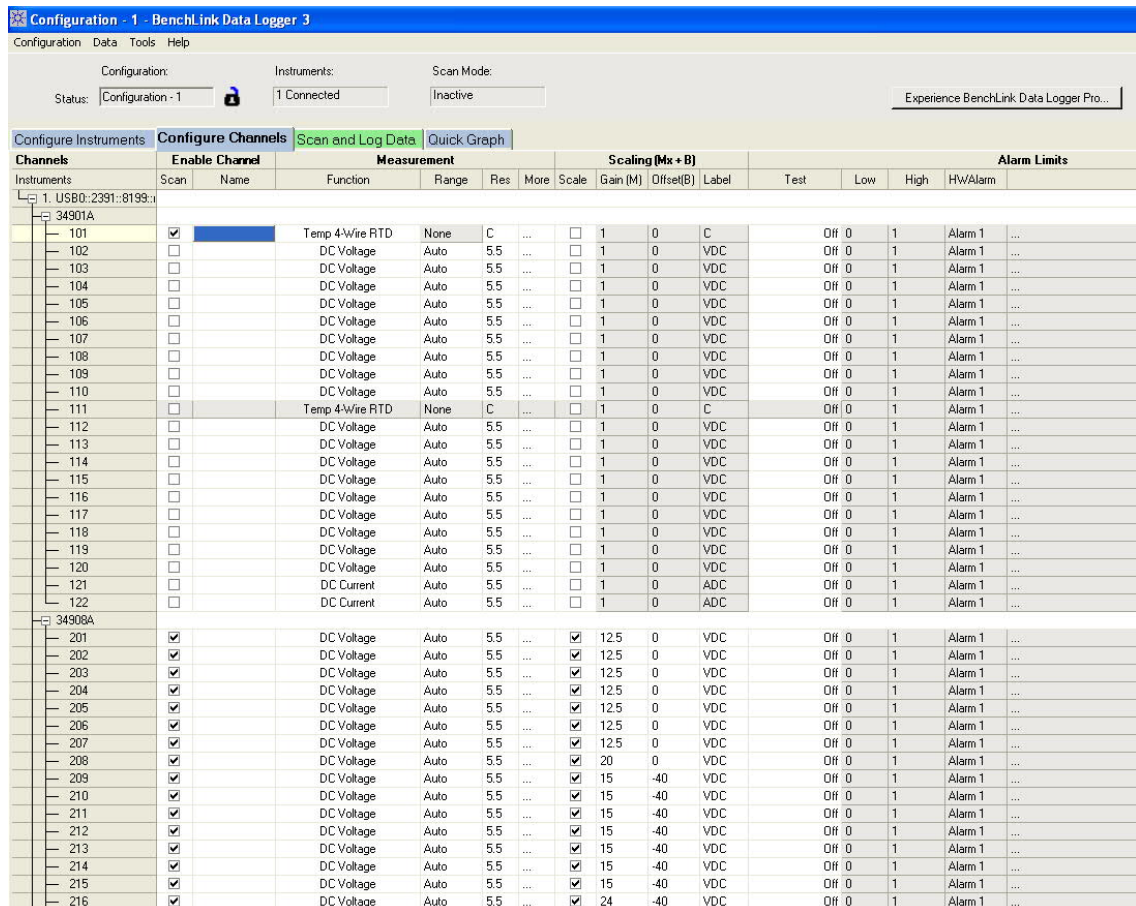
4. Referenssinä voit käyttää lähiaikoina tehdaskalibroituja Vaisalan HMT 317 kosteusanturia, tai Michell Optidew kastepistemittaria.

5. Muille paikoille kertoimet määritetään vasta lasketuista uusista arvoista itse niiltä osin kuin kortin paikkoja on käytössä esimerkiksi kuvan L2.2 mukaisesti.

Kertoimet laskettiin seuraavista oletusarvoista:

Kosteus:	0...10 V, 0...100 RH	→ $K1_{\text{oletus}} = 100/10 = 10$	$K2_{\text{oletus}} = 0$
	0...8 V, 0...100 RH	→ $K1_{\text{oletus}} = 100/8 = 12,5$	$K2_{\text{oletus}} = 0$
	0...5 V, 0...100 RH	→ $K1_{\text{oletus}} = 100/5 = 20$	$K2_{\text{oletus}} = 0$
Lämpötila:	0...10 V, -40...+80 °C	→ $K1_{\text{oletus}} = 120/10 = 12$	$K2_{\text{oletus}} = -40$
	0...8 V, -40...+80 °C	→ $K1_{\text{oletus}} = 120/8 = 15$	$K2_{\text{oletus}} = -40$
	0...5 V, -40...+80 °C	→ $K1_{\text{oletus}} = 120/5 = 24$	$K2_{\text{oletus}} = -40$

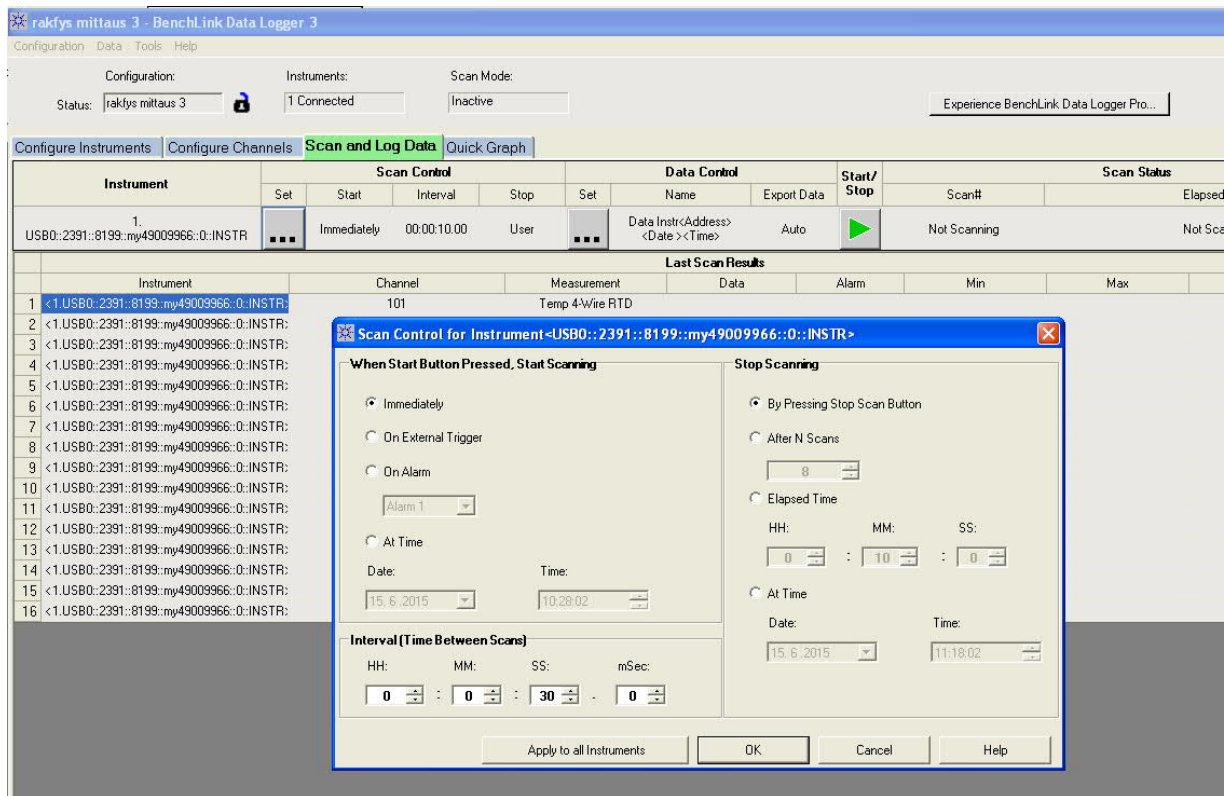
6. Mittauksissa, joissa käytetään suurta määrää mittareita, kannattaa käyttää kopiointi- ja liittämistoimintoja apuna. Valitsemalla halutun alueen aktiiviseksi voi kopioida saman arvon koko alueelle (kopiointi Ctrl + c ja liittäminen Ctrl + v).



Configuration - 1 - BenchLink Data Logger 3														
Configuration Data Tools Help														
Configuration:		Instruments:		Scan Mode:										
Status: Configuration - 1		1 Connected		Inactive		Experience BenchLink Data Logger Pro...								
Configure Instruments Configure Channels Scan and Log Data Quick Graph														
Channels		Enable Channel		Measurement				Scaling (Mx + B)				Alarm Limits		
Instruments	Scan	Name	Function	Range	Res	More	Scale	Gain (M)	Offset(B)	Label	Test	Low	High	HWAlarm
1. USB0:2391:8199:...														
34901A														
101	<input checked="" type="checkbox"/>		Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
102	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
103	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
104	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
105	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
106	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
107	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
108	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
109	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
110	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
111	<input type="checkbox"/>		Temp 4-Wire RTD	None	C	...	<input type="checkbox"/>	1	0	C	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
112	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
113	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
114	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
115	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
116	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
117	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
118	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
119	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
120	<input type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
121	<input type="checkbox"/>		DC Current	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	ADC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
122	<input type="checkbox"/>		DC Current	Auto	5.5	...	<input type="checkbox"/>	1	0	ADC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
34908A														
201	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
202	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
203	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
204	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
205	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
206	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
207	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	12.5	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
208	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	20	0	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
209	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
210	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
211	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
212	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
213	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
214	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
215	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	15	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1
216	<input checked="" type="checkbox"/>		DC Voltage	Auto	5.5	...	<input checked="" type="checkbox"/>	24	-40	VDC	<input type="checkbox"/>	0	1	Alarm 1

Kuva L1.1.2. Esimerkki mittausasetusten asettamisesta.

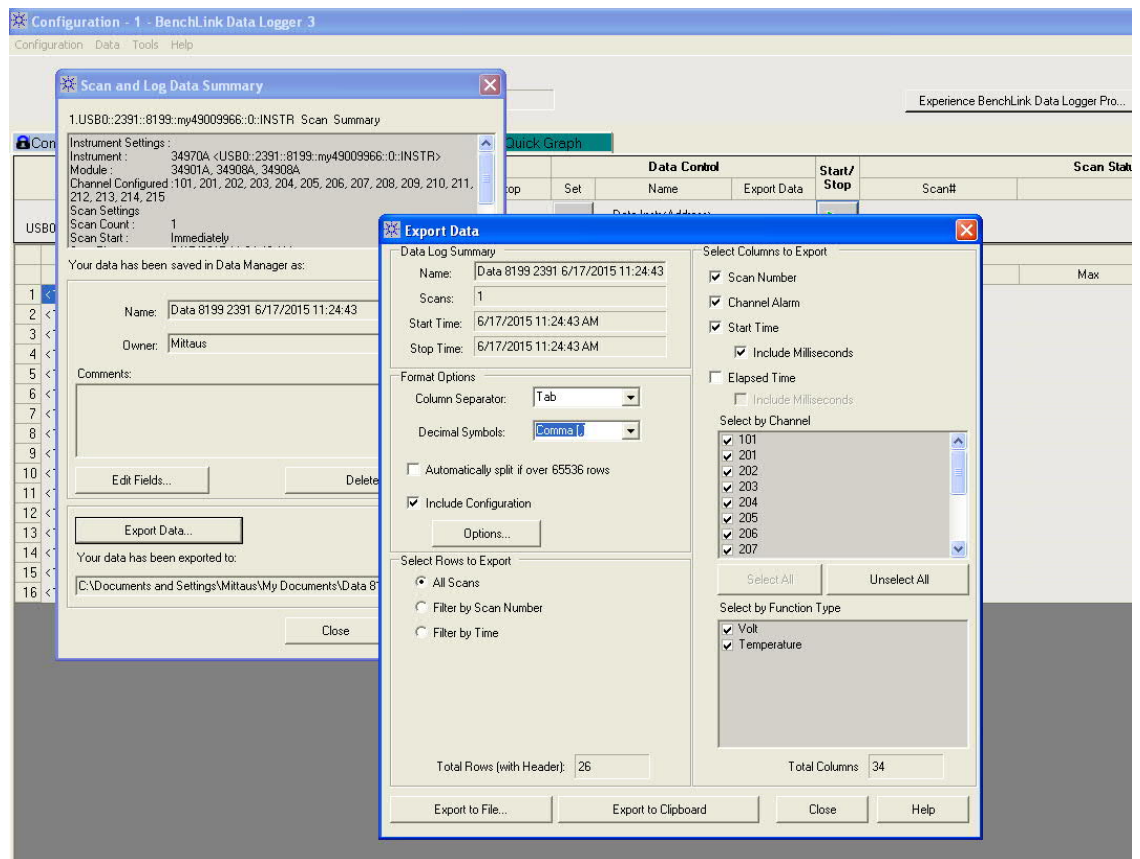
7. Tulosten mittaus-/tallennusväli asetetaan Scan and Log Data -välilehdeltä ensimmäisestä vasemmanpuoleisesta Set-kohdasta kolmesta pisteestä painamalla. Ruudulle ilmestyy uusi ikkuna, jonka alanurkkaan mittausvälin voi asettaa esimerkiksi tunteina, minuutteina tai sekunteina. Kuvan L2.3 esimerkissä mittausväliksi on asetettu puoli minuuttia eli 30 sekuntia. Asetus hyväksytään painamalla OK.



Kuva L1.1.3. Mittausvälin asettaminen

8. Mittaus käynnistetään vihreällä kolmiolla varustetusta start/stop-napista Scan and Log Data -välilehdeltä. Mittaus voidaan myös lopettaa samasta napista painamalla.
9. Quick Graph -välilehdeltä pystyy seuraamaan mittauksien viimeisimpiä numeroarvoja sekä tulosten avulla piirtyvää kuvaajaa.
10. Mittausta jatketaan niin kauan, kunnes anturit ovat saavuttaneet tasapainotilan ja kosteuspitoisuudet (ja lämpötilat) pysyvät tasaisina. Tämän jälkeen annetaan mittauksen jatkua vielä ainakin 10 minuuttia, jonka jälkeen mittaus

voidaan sammuttaa neliöllä varustetusta start/stop-painikkeesta Scan and Log Data -välilehdeltä.

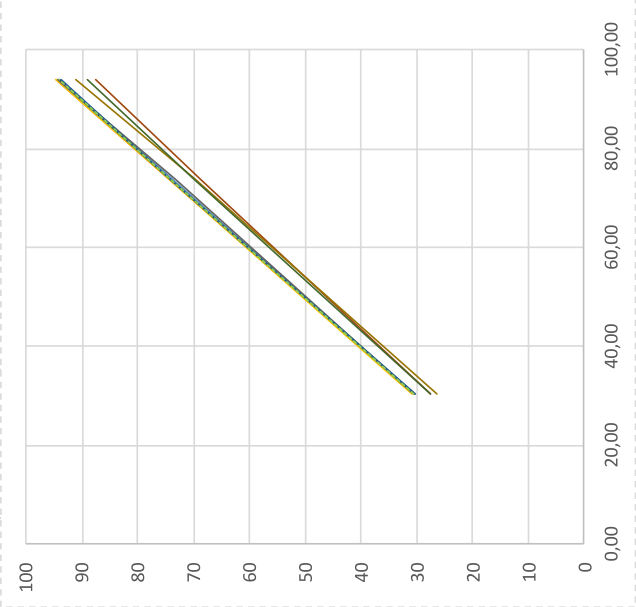


Kuva L1.1.4. Mittaustulosten tallentaminen Excel-tiedostoon.

Mittauksen päättämisen jälkeen ruudulle ilmestyy ikkuna, josta mittaustulokset on mahdollista tallentaa. Painamalla Export Data -painiketta ruudulle ilmestyy uusi ikkuna, josta tulokset on mahdollista tallentaa Excel-tiedostoon. Tulosten käsittelyn helpottamiseksi kannattaa valita alavetovalikoista tulosten erottimeksi Tab ja desimaalierottimeksi pilkku (Comma [,]) kuvan 5.2.1 mukaisesti. Tulokset saa tallennettua suoraan Excel-tiedostoon painamalla painikkeesta Export to File ja valitsemalla haluamansa tallennuspaikan. Tiedosto kannattaa nimetä niin, että nimestä selviää heti, mikä mitaus on kyseessä ja missä lämpötilassa se on mitattu. Tulokset on myös mahdollista kopioida leikepöydälle painamalla napista Export to Clipboard, jonka jälkeen ne voidaan manuaalisesti liittää esimerkiksi Excel-tiedostoon. Kun kaikki kalibrointimittaukset on suoritettu, laitteet, taulut ja virtalähde puretaan laitteistosta ja ympäristö jätetään siistiin kuntoon. Jäljelle jääneet käyttämättömät suolat palautetaan takaisin suolavarastoon. Kalibrointikaappin päälle ei saa jättää tavaroita.

Liite 2. VAISALA Oy:n antureiden vertailu- ja kalibrointidata

		Kalibrointitiedosto									
Alkup.	SETPOINT	REF_RH	HMT310_1RH	HMT310_2RH	HMT310_3RH	HMP230_1RH	HMP230_2RH	HMP230_3RH			
K1=10	30	30,42	30,68	30,80	30,68	27,65	26,43	27,58			
K2=0	75	73,96	74,24	74,39	74,10	68,86	69,72	69,88			
	95	94,01	94,64	94,73	94,45	87,64	91,15	89,02			
		k	C								
	HMT310_1RH	0,995105643	-0,067399013								
	HMT310_2RH	0,995488663	-0,207863919								
	HMT310_3RH	0,998088315	-0,154515021								
	HMP230_1RH	1,059536828	1,08786176								
	HMP230_2RH	0,986058513	4,569602111								
	HMP230_3RH	1,034120204	1,848205399								
	K1_uusi = K1*k	9,951056426									
		9,954886633									
		9,980883152									
		10,59536828									
		9,860585126									
		10,34120204									
	K2_uusi = K2*k - b	-0,067399013									
		-0,207863919									
		-0,154515021									
		1,08786176									
		4,569602111									
		1,848205399									



HMT310_1RH	jännite	RH vanha	RH uusi	ref	Tavoite
	3,067928994	30,67928994	30,46173552	30,42	30
	7,424364641	74,24364641	73,81287246	73,96	75
	9,464305177	94,64305177	94,11243584	94,01	95
HMT310_2RH					
	3,079822485	30,79822485	30,45141977	30,42	30
	7,438839779	74,38839779	73,84494277	73,96	75
	9,472588556	94,72588556	94,09068128	94,01	95
HMT310_3RH					
	3,067692308	30,67692308	30,46376345	30,42	30
	7,410276243	74,10276243	73,80658629	73,96	75
	9,445177112	94,45177112	94,11669408	94,01	95
HMP230_1RH					
	2,765207101	27,65207101	30,38624937	30,42	30
	6,886353591	68,86353591	74,05131419	73,96	75
	8,764359673	87,64359673	93,94948026	94,01	95
HMP230_2RH					
	2,642781065	26,42781065	30,62896977	30,42	30
	6,971546961	69,71546961	73,31313438	73,96	75
	9,114604905	91,14604905	94,44493966	94,01	95
HMP230_3RH					
	2,757692308	27,57692308	30,36605873	30,42	30
	6,98839779	69,8839779	74,11663891	73,96	75
	8,901880109	89,01880109	93,90434618	94,01	95

Liite 3. Antureiden tulosten vertailu suolaliuokseen

		Antureiden vertailuarvot suolalioksiin					
	Suolaliuos	MgCl	NaCl	KNO ₃	Ero kp.	Ero kp.	Ero kp.
	Suolaliuoksella tavoiteltava RH%	33,07±0,18	75,47±0,14	94,62±0,66			
	Michell Optidew vision RH%	36,62	75,04	96,67			
	Vaisala HMP230_1 RH%	37,36	76,44	97,05	0,74	1,40	0,38
	Vaisala HMP230_2 RH%	37,29	75,47	97,76	0,68	0,43	1,09
	Vaisala HMP230_3 RH%	37,14	75,76	96,52	0,52	0,71	-0,15
	Vaisala HMT310_1 RH%	36,43	74,85	96,92	-0,19	-0,19	0,25
	Vaisala HMT310_2 RH%	36,41	74,83	96,95	-0,20	-0,21	0,28
	Vaisala HMT310_3 RH%	36,54	74,86	96,88	-0,07	-0,18	0,22
	Rotronic HC2-SH_1 RH%	36,28	74,82	97,24	-0,34	-0,22	0,57
	Rotronic HC2-SH_2 RH%	35,86	74,22	96,76	-0,76	-0,82	0,09
	Rotronic HC2-SH_3 RH%	35,83	74,14	95,07	-0,78	-0,90	-1,60
	Mitattu lämpötila °C	19,92	19,87	19,86	kp=kastepiste		
	RH% mitatulla lämpötilalla	33,07	75,47	94,64			
	Kastepisteanturin ja suolaliuoksen erotus 20 °C	3,37	-0,29	1,59			
	Kastepisteanturin ja suolaliuoksen erotus Todellinen °C	3,36	-0,29	1,37			