



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

JARKKO OJALA

# **Kosteuden monitorointijärjestelmän kalibrointilaitteiston suunnittelu**

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN KOULUTUS-  
OHJELMA  
2020

Tekijä Ojala, Jarkko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä lokakuu 2020
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi <b>Kosteuden monitorointijärjestelmän kalibrointilaitteiston suunnittelu</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma		
Tiivistelmä  <p>Työssä tutkittiin soveltuvaa menetelmää kosteudenmonitorointijärjestelmän, kosteus-analysointilaitteen kalibrointiin sekä muille järjestelmälle määriteltyihin testeihin. Työ tehtiin Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO). Tavoitteena oli suunnitella menetelmä ja kalibrointilaitteisto millä kaikki monitorointijärjestelmään määritellyt testit voidaan tehokkaasti suorittaa yhdellä kompaktilla laitteella. Työn tuloksena järjestelmän toiminnasta ja testauksen vaatimuksista saatiin kerättyä merkittävä määrä lisää tietoa. Tarvittavasta kalibrointilaitteistosta laadittiin suunnitelmat ja kokoonpantiin suunnitelmien mukainen laitteisto. Laitteistolla suoritettiin koemittaukset ja todettiin, että sillä pysytään aloittamaan myös varsinaiset mittaukset.</p>		
<u>Asiasanat</u> ilmankosteus, kalibrointi, monitorointi, paine		

Author(s) Ojala, Jarkko	Type of Publication Bachelor's thesis	Date October 2020
	Number of pages 32	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Calibration Device Planning for Moisture Monitoring System</b>		
Degree program Construction and Civil Engineering		
Abstract  <p>This thesis presents a research project regarding moisture monitoring system device calibration. The order of this thesis is Teollisuuden Voima Oyj (TVO). The aim was to development a method and compact test equipment. With this equipment all specified tests to system are simple to perform. As a result of research knowledge of test requirements and system principle was significantly improved. Test equipment was designed and accordingly assembled. Pretest was done with test equipment and conclusion was that it's suitable to start measurements in field.</p>		
<u>Key words</u> air humidity, calibration, monitoring, pressure		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 ILMANKOSTEUS JA MITTAUSMENETELMÄT .....	7
2.1 Ilman koostumus .....	7
2.2 Absoluuttinen ilmankosteus .....	8
2.2.1 Absoluuttinen kosteus .....	8
2.2.2 Sekoitussuhde.....	9
2.2.3 Miljoonasosa ppm .....	9
2.2.4 Vesipitoisuus .....	11
2.3 Suhteellinen ilmankosteus.....	11
2.4 Kastepiste ja huurtumispiste .....	11
2.5 Kosteuden mittaamisen eri menetelmiä .....	12
2.6 Kosteusmittauksen kalibrointimenetelmät .....	13
2.7 Vakioikosteuden tuottamisen menetelmät .....	14
2.7.1 Kosteuskehitin.....	15
2.7.2 Evaporaattori .....	16
3 ILMANPAINEN JA MITTAUSMENETELMÄT .....	17
3.1 Paineen käsite ja yksikkö .....	17
3.2 Yli- ja alipaine, absoluuttinen paine.....	18
3.3 Painehäviöt.....	18
3.4 Painejärjestelmien tiiveyden testausmenetelmät.....	19
3.5 Painemittauksen kalibrointimenetelmät .....	20
4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT .....	21
4.1 Lähtötiedot .....	21
4.2 Kosteusanalysaattori .....	21
4.2.1 Analysaattorin kalibrointi .....	22
4.3 Painehäviö- ja vuototesti .....	23

5 KALIBROINTILAITTEISTON SUUNNITTELU .....	25
5.1 Raja-arvojen määrittely .....	25
5.2 Testimittaukset .....	26
5.3 PI-kaavio .....	27
5.4 Kokoonpano .....	28
6 KALIBROINTILAITTEISTON RAKENTAMINEN JA TESTAUS .....	29
6.1 Mittaustulosten analyysi .....	29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	31
7.1 Toimenpide-ehdotukset .....	32
LÄHTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on kehittämishanke kosteudenmonitorointijärjestelmän kalibrointimenetelmän ja kalibrointilaitteiston kehittämiseksi. Tutkimus ja laite tehdään Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) tarpeeseen. Tavoitteena on perehtyä kosteuden mittaamiseen, hallittuun tuottamiseen ja monitorointijärjestelmän toimintaperiaatteeseen.

Työssä selvitetään mitä erilaisia testejä ja kalibrointeja monitorointijärjestelmän laitteistolle on määritelty. Työssä selvitetään myös, miten määritellyt testit voidaan tehokkaasti ja luotettavasti suorittaa. Tutkimuksen perusteella määritellään minkälainen menetelmä ja laitteisto on soveltuvin testien suorittamiseen.

Menetelmien ja laitteistojen raja-arvojen kartoittamisen jälkeen laaditaan suunnitelma tarvittavasta integroidusta kalibrointilaitteistosta, jolla pystytään suorittamaan määritellyt kosteus- ja painetestit järjestelmälle. Kalibrointilaitteistosta laaditaan piirustukset ja koostetaan tarvittava dokumentaatio.

Työn ulkopuolelle rajataan prosessiin liittyvät putkistot ja laitteet, koska niillä ei ole keskeistä merkitystä kalibrointilaitteiston suunnittelun kannalta. Kalibrointilaitteiston lopullinen koekäyttö laitosympäristössä rajataan myös työn ulkopuolelle. Suunnitelman pohjalta kokoonpannaan laitteisto, jolla päästään testaamaan toimintoja ja keräämään käyttökokemusta lopullisen laitteiston kokoonpanoa varten.

## 2 ILMANKOSTEUS JA MITTAUSMENETELMÄT

### 2.1 Ilman koostumus

Kuiva ilma on kaasujen seos, joten siihen voidaan soveltaa ideaalikaasujen laskentayhtälöitä. Lisättäessä kuivaan ilmaan vesihöyryä saadaan kosteaa ilmaa, siihen voidaan yhtä lailla soveltaa ideaalikaasun yhtälöitä. (Sandberg, Paasio, Lönnström 2016, 125.)

Daltonin lain mukaan kaasun kokonaispaine on sen sisältämien kaasujen osapaineiden summa. Esimerkiksi ympäröivä ilma yhtälön 1 mukaan.

$$P_t = P_{N_2} + P_{O_2} + P_w + P_{\text{muut.}} \quad (1)$$

missä

$P_t$  = kokonaispaine

$P_{N_2}$  = typenosapaine

$P_{O_2}$  = hapenosapaine

$P_w$  = vesihöyrynosapaine

$P_{\text{muut.}}$  = muiden sisältyvien kaasujen osapaine

Käytännössä ilman ominaisuuksien laskentaan on nykyään tarjolla hyviä tietokonesovelluksia, esimerkiksi Vaisala humidity calculator ja Michell instruments humidity calculator (Michell Instruments www-sivut 2020). Usein riittävän tarkka tulos saadaan myös lukemalla Mollier diagrammista. Kosteuteen liittyviä suureita ja yksiköitä käsitellään standardissa SFS 5348 (SFS 5348, 2).

Ilmaan sekoittunut vesi on kaasumaisessa olomuodossa vesihöyrynä, ellei tiivistymistä tapahdu. Vesi voi höyrystyä joko kiehumalla tai hitaasti haihtumalla. Höyrystyessään veden tilavuus kasvaa likimain yli tuhatkertaiseksi riippuen paineesta ja lämpötilasta. Tämä voidaan todeta ideaalikaasujen yhtälöstä johdetulla yhtälöllä 2.

$$V = \frac{m * R * T}{p * M} \quad (2)$$

missä

V = kaasun tilavuus

m = veden massa

R = yleinen kaasuvakio = 8315 J/(kg K)

T = lämpötila kelvin asteina

p = vallitseva paine

M = veden moolimassa 18kg/kmol

## 2.2 Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttisella ilmankosteudella tarkoitetaan sitä veden määrää, joka ilmassa on höyrystyneenä. (Sandberg 2016, 81.) Vesihöyryn absoluuttisen määrän kuvaamiseen on useita erilaisia suureita kuten absoluuttinen kosteus, sekoitussuhde ja miljoonasosa (ppm). Yleensä absoluuttimääritelmät sopivat teknisiin sovellutuksiin hyvin, koska niitä on helpompi hyödyntää erilaisissa laskelmissa ja tehdä tarkasteluja, kun olosuhteet muuttuvat.

### 2.2.1 Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen ilmankosteus tai vesihöyryn tiheys (volumetric humidity) määritellään vesihöyryn massan suhteena kaasutilavuuteen ( $\text{g/m}^3$  tai  $\text{kg/m}^3$ ). Absoluuttinen kosteus muuttuu paineen muuttuessa, koska paineen kasvussa tilavuus pienenee ja vesimolekyylit ovat lähempänä toisiaan. Absoluuttinen kosteus muuttuu myös jonkin verran lämpötilan mukaan, pienillä lämpötilan muutoksilla tällä ei yleensä ole merkitystä.



### 2.2.2 Sekoitussuhde

Absoluuttista kosteutta voidaan kuvata myös sekoitussuhteena (mixing ratio). Suhdeluku kuvaa vesihöyryn massan suhdetta kuivan ilman massaan (g/kg). Sekoitussuhde ei ole riippuvainen lämpötilasta tai paineesta.

### 2.2.3 Miljoonasosa ppm

Erityisesti kuivien kaasujen kanssa, vesihöyrypitoisuuksien ollessa pieniä, käytetään miljoonasosa (ppm) määritelmää. Määritelmä kertoo vesihöyryn määrän verrattuna kuivaan kaasuun tai verrattuna mitattavan kaasun kokonaismäärään.

Määrittely tilavuuksien suhteessa (ppm<sub>vol</sub>) on yhtälön 3 mukainen ja massojen suhteessa (ppm<sub>w</sub>) yhtälön 4 mukainen. Massojen suhteen määrittely on sama kuin sekoitussuhde miljoonakertaisena. (Vaisala Corporation www-sivut 2020b).

$$ppm_v = \frac{P_w}{(P_{tot} - P_w)} * 10^6 \quad (3)$$

$$ppm_m = \frac{M_w * P_w}{M_d * (P_{tot} - P_w)} * 10^6 \quad (4)$$

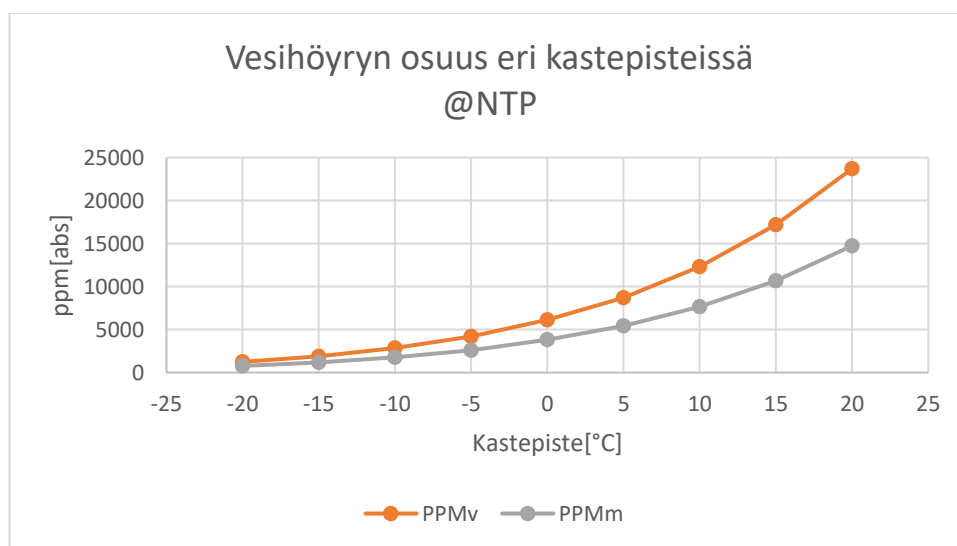
missä

- ppm<sub>v</sub> = miljoonasosa tilavuuden suhteen
- ppm<sub>w</sub> = miljoonasosa massojen suhteen
- P<sub>tot</sub> = kokonaispaine
- P<sub>w</sub> = vesihöyrynosapaine
- M<sub>w</sub> = veden moolimassa (18g/mol)
- M<sub>d</sub> = kuivan ilman moolimassa (29g/mol)

Miljoonasosa (ppm) on **absoluuttiarvo eikä ole riippuvainen lämpötilasta tai paineesta**. (Vaisala Corporation www-sivut 2020a). Daltonin lain mukaan, jos kaasun kokonaispaine kaksinkertaistetaan sen sisältämien kaasujen osapaineet kuten vesihöyryn osapaine kaksinkertaistuvat. Tästä seuraa, että paineennosto nostaa kastepistelämpötilaa, muttei vaikuta kaasujen suhteisiin.

Laskettaessa vesihöyrypitoisuutta massojen suhteessa on muistettava, että 29g/mol on normaalin ilman moolimassa. Kaasun ollessa muuta kuin ilmaa, on käytettävä kyseisen kaasun moolimassaa, esimerkiksi typpikaasulla moolimassa on 28g/mol.

Kuva 1 havainnollistaa vesihöyryn ppm pitoisuutta laskettuna tilavuuksien ja massojen suhteessa NTP-olosuhteissa. IUPAC määritelmän mukaan NTP-olosuhde on ympäristön paine 101325Pa ja lämpötila 0 °C. Pienillä vesihöyryn pitoisuuksilla tulokset ovat lähellä toisiaan laskettaessa pitoisuutta massojen tai tilavuuksien suhteessa, mutta ero kasvaa merkittävästi suuremmilla vesihöyryn pitoisuuksilla (National physical laboratory www-sivut 2020).



Kuva 1. Vesihöyryn ppm-pitoisuus eri kastepisteissä

## 2.2.4 Vesipitoisuus

Vesipitoisuusmääritelmä perustuu vesihöyryn ominaisuuksiin NTP olosuhteissa. Ilmakuution sisältämän veden määrä ei muutu lämpötilan mukaan. Vesihöyry on myös kuivaa ilmaa kevyempää (Sandberg, Paasio, Lönnström 2016, 128). Ilman ja veden moolimassojen suhde on 0,622 tämä tarkoittaa, että vesihöyryn tiheys on 62,19 % kuivan ilman tiheydestä. Käytettäessä kuivan ilman tiheytenä  $1275,4 \text{ g/m}^3$  seuraa että 100 % vesihöyrypitoisen ilman tiheys on  $793,2 \text{ g/m}^3$ . Edelleen tästä voidaan johtaa, että 1 % tilavuudesta vesihöyryä vastaa  $7,93 \text{ g/m}^3$  ja  $0,00793 \text{ g/l}$ . (Macinstruments www-sivut 2020.)

## 2.3 Suhteellinen ilmankosteus

Suhteellisella ilmankosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhdetta siihen vesimäärän maksimimäärään mitä tässä lämpötilassa on mahdollista ilmaan höyrystää. Suhteellinen ilmankosteus esitetään prosenttilukuna. (Sandberg 2016, 81.)

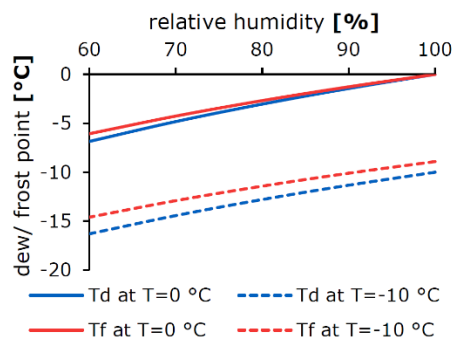
Ilman suhteellinen kosteus voidaan laskea vesihöyryn kyllästysosapaineen ( $P_{ws}$ ) ja vesihöyryn osapaineen ( $P_w$ ) suhteesta. Kyllästyspaine on riippuvainen ainoastaan lämpötilasta eli on lämpötilan funktio (Vaisala Corporation www-sivut 2020a).

Tämä tarkoittaa, että vesihöyryn määrän pysyessä vakiona, 100 % suhteellinen kosteus saavutetaan laskemalla ilman lämpötilaa, kunnes vesihöyryn osapaine on kyllästyspaineen suuruinen.

## 2.4 Kastepiste ja huurtumispiste

Kastepiste on lämpötila missä kaasuun sekoittunut vesihöyry alkaa kondensoitua nestemäiseen muotoon. Englanninkielisessä materiaalissa terminä käytetään dewpoint ja lyhenteenä  $T_d$ .

Huurtumispiste nimitystä käytetään, kun kastepiste on alle 0 °C, missä vesi alkaa muodostaa jäätä. Englanninkielisessä materiaalissa terminä käytetään frostpoint ja lyhenneä  $T_f$ . Käytännössä huurtumispiste on vähän korkeampi kuin kastepiste, koska veden ja jään- kyllästyspainet ovat erisuuruiset (kuva 2). Jotkin mittalaitteet näyttävät pakkasenpuolella olevan kastepisteen olettaen, että vesi pysyy nestemäisessä olomuodossa. (Vaisala Corporation www-sivut 2020b.)



Kuva 2. Kaste- ja huurrepisteen käyttäytyminen (Hukseflux www-sivut 2020.)

## 2.5 Kosteuden mittaamisen eri menetelmiä

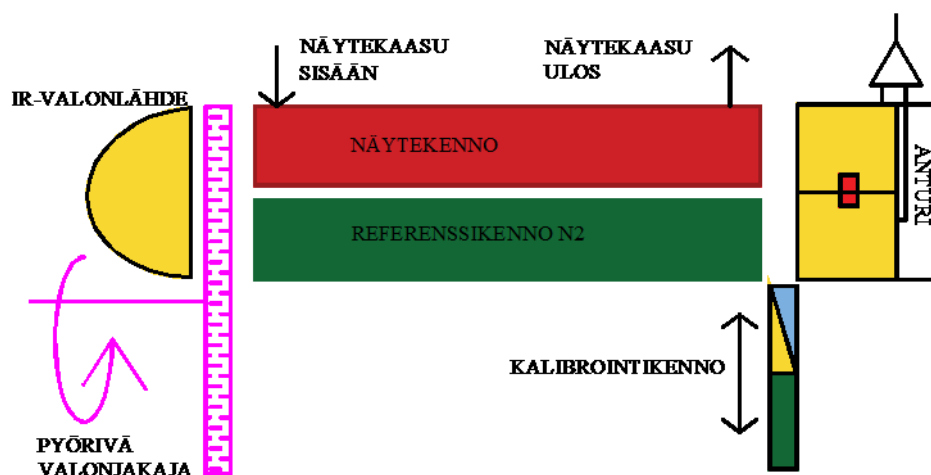
Aikanaan kosteudenmittaamiseen paljon käytetty menetelmä perustui suolan kiteytymiseen. Muut menetelmät ovat vahvasti syrjäyttäneet tätä menetelmää.

Nykyään kosteusmittaukseen on käytettävissä useita hyviä menetelmiä. Eräs paljon käytetty menetelmä on kapasitanssin muutokseen perustuva kuten Vaisala HUMICAP®. Kosteusmittaus voidaan tehdä myös määrittämällä kastepiste niin sanotulla Chilled-mirror teknologialla, jossa peiliä jäähdytetään ja tunnistetaan missä lämpötilassa sen pintaan on tiivistynyt kosteutta.

Kosteutta voidaan mitata infrapunatekniikkaan perustuvilla kaasuanalysaattoreilla. Menetelmä perustuu siihen, että melkein kaikki molekyylit absorboivat infrapunavaloa jollakin aallonpituudella. Typpi absorboi infrapunavaloa erittäin vähän ja sitä käytetään yleensä vertailukennona mittauslaitteissa. Kehittyneemmät infrapunaspektroskoopit pystyvät tunnistamaan aineesta eri molekyylit ja niiden määrät. (Kuusela 2015).

Kaasuanalysaattori, mikä perustuu pelkkään infrapunavalon absorptioon (kuva 3), tarvitsee jokaiselle mitattavalle aineelle oman mittakennon esimerkiksi H<sup>2</sup>O ja CO<sub>2</sub> kummatkin tarvitsevat oman mittakennonsa. Analysaattoria käytetään yleensä sovellutuksissa, missä aineen pitoisuutta mitataan jatkuvasta näytekaasuvirtauksesta. Mitattava näytekaasuvirtaus johdetaan analysaattorin läpi.

Analysaattoreissa on yleensä sisäänrakennettuna kalibrointikemmo mikä voidaan moottorin avulla liikuttaa anturin eteen. Kalibrointikemmo sisältää kaasua minkä vastaavuus on tunnettu ja anturin mittausalueen yläpää voidaan kalibroida sitä vasten.



Kuva 3. Infrapuna-analysaattorin periaate

## 2.6 Kosteusmittauksen kalibrointimenetelmät

Kalibroinnin periaate on, että mittausarvoa verrataan tunnettuun referenssiin. Tästä tunnetusta referenssistä on jäljitettävyyys ylimmän tason mittanormaaliin asti (Mikes-[www-sivut 2020a](#)). Jäljitettävyyys saavutetaan tavallisesti luotettavien kalibrointilaboratorioiden kautta, joilla on oma jäljitettävyyys kansallisiin mittanormaaleihin. Esimerkiksi laboratoriota, joka täyttää ISO/IEC 17025 standardin vaatimukset, voi pitää luotettavana (SFS-EN ISO 10012, 4).

Kalibrointipisteiden lukumäärä riippuu kalibroitavan laitteen tarkkuudesta ja ominaispiirteistä. Pisteiden lukumäärän pitää olla niin suuri, että se riittävällä tavalla edustaa laitteen ominaisuuksia (PSK 3401 2011, 5). Kosteusmittareissa on tavanomaista, että ne kalibroidaan kahdessa tai kolmessa pisteessä. Kalibrointipisteiden kosteuspitoisuudet on tuotettava jollakin menetelmällä. Usein varsinkin pienissä kosteuspitoisuuksissa mittalaitteiden stabiloitumisaika on pitkä. Kalibrointipisteiden tarpeettoman suuri lukumäärä pidentää kalibrointiajan kohtuuttomaksi.

Kosteusanalysointitapauksessa voidaan alueen kalibrointi suorittaa niin sanotulla kalibrointikaasulla, mikä sisältää tunnetun määrän mitattavaa komponenttia. Käytännössä vettä sisältävää kalibrointikaasua ei ole kaupallisesti saatavilla. Tunnettu kosteuspitoisuus pitää tuottaa muulla luotettavalla menetelmällä esimerkiksi sekoittamalla kuivaan ilmaan tai tyypeen haluttu määrä vesihöyryä. Pienillä pitoisuuksilla stabiilin vesihöyrypitoisuuden tuottaminen on haasteellista.

Toinen vaihtoehto alueen kalibrointiin on käyttää sijaiskaasua. Sijaiskaasun vastavuus suhteessa vesihöyrypitoiseen kaasuun on tunnettu. Yleisesti käytettyjä sijaiskaasuja kalibrointiin ovat rikkiheksafluoridi SF<sub>6</sub> ja etaani C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Sijaiskaasun käyttö kalibroinnissa pitää käytännössä olla analysointilaitteeseen sisäänrakennettuna ominaisuutena.

Nollapisteen kalibrointiin tarvittava olosuhde voidaan tehdä kuivan ilman tai tyypen avulla. Nollapisteen kalibrointi voidaan yleensä toteuttaa helposti, edellytyksenä ettei ympäristön kosteus pääse sekoittumaan kalibrointikaasuun.

## 2.7 Vakiokosteuden tuottamisen menetelmät

Vakiokosteuden tuottamiseksi on kaupallisesti saatavina referenssipurkkeja, joiden kosteuspitoisuus on tunnettu. Tällaiset referenssipurkit soveltuvat käytettäväksi mittalaitteille, joiden anturi voidaan upottaa purkkiin.

Analysaattorityyppisille mittalaitteille on saatava näytökaasuvirtaus laitteen läpi tunnetulla kosteuspitoisuudella. Tämä voidaan toteuttaa valmiilla kaasulla, jos sellaista on saatavilla tai käyttämällä erillistä kosteuskehittintä mikä sekoittaa vesihöyryä kivaan kaasuun.

### 2.7.1 Kosteuskehitin

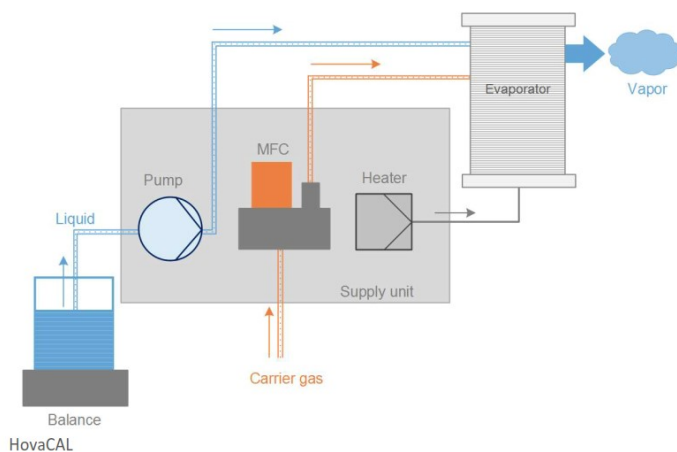
Kosteuskehitin on laite, joka tuottaa asetetun kosteuspitoisuuden peruskaasuun. Yleisesti käytetty peruskaasu, josta käytetään myös nimitystä kuljetuskaasu, on ilma tai typpi. Peruskaasu virtaa kosteuskehittimen läpi, joka sekoittaa siihen tarvittavan määrän vesihöyryä tämän tuloksena saadaan kosteaa ilmaa. Kuvassa 4 on IAS GmbH:n valmistama HovaCAL® 121-SP kosteuskehitin.



Kuva 4. Kosteuskehitin (Hovacal [www-sivut](http://www.hovacal.com) 2020.)

## 2.7.2 Evaporaattori

Kosteuskehittimen keskeinen osa on evaporaattori eli haihdutusyksikkö, mikä sekoittaa veden peruskaasuun. Tislattu vesi pumpataan pumpun avulla sähkölämmitteiseen evaporaattoriin, joka höyrystää ja sekoittaa veden peruskaasuun. Vesijohtovettä ei voida käyttää, koska sen sisältämä kalkki tukkii laitteen pienet putkistot nopeasti. Laite kontrolloi peruskaasun virtausta virtaussäätimen MFC avulla, samoin laite kontrolloi höyrystettävän veden määrää (kuva 5). Laitteeseen voidaan asettaa haluttu virtaus ja vesihöyrypitoisuus (Hovacal [www-sivut](http://www.hovacal.com) 2020).



Kuva 5. Kosteuskehittimen toimintaperiaate (Hovacal [www-sivut](http://www.hovacal.com) 2020.)



### 3 ILMANPAINEN JA MITTAUSMENETELMÄT

#### 3.1 Paineen käsite ja yksikkö

Paine on teollisuudessa lämpötilan jälkeen eniten mitattu prosessisuure. Painemittauksen merkitystä lisää, että sen avulla voidaan epäsuorasti mitata lukuisia muita suureita kuten pinnankorkeutta, virtausta ja vaikkapa hydraulisylinterin voimaa. (Mikes www-sivut 2020b.)

Paineenmittauksen mitta-alue on huomattavan laaja, normaaleissa teollisuus prosesseissakin alue ulottuu kymmenistä pascaleista kymmeneen megapascaleihin. Suurimman ja pienimmän mitattavan paineen ero on siis helposti miljoonakertainen.

Paine on aineen nestemäistä ja kaasumaista olomuotoa koskeva suure, joka määritellään pintaa vastaan kohtisuoraan vaikuttavan voiman  $F$  ja saman pinnan alan  $A$  osamääränä (yhtälö 5). (SFS 3880, 2).

$$p = \frac{F}{A} \quad (5)$$

missä

$p$  = paine

$F$  = voima

$A$  = pinta-ala

Paineen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on pascal (Pa). Yksi pascal on paine jonka, yhden newtonin suuruinen voima tasaisesti jakautuneena aiheuttaa yhden neliömetrin pinta-alalle ( $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ ). Pascal on pieni yksikkö ja usein käytetäänkin sen kerrannaisia kPa ja MPa. Paineen yksikkönä käytetään myös edelleen yleisesti SI-järjestelmään kuulumatonta baaria (bar). (Mikes www-sivut 2020b.)

### 3.2 Yli- ja alipaine, absoluuttinen paine

Paineen mittaaminen on yleensä paine-eron mittaamista. Riippuen siitä mihin paineeseen mitattavaa painetta verrataan, käytetään paineelle erilaisia nimityksiä.

Ylipaineen vertailuarvona on vallitseva ilmanpaine. Ylipaine voidaan muuntaa absoluuttipaineeksi lisäämällä siihen vallitseva ilmanpaine. Laskelmissa ilmanpaineenarvona käytetään usein 101300Pa, ellei vallitsevaa ilmanpaineen arvoa ole saatavilla. Teollisuudessa käytetään merkintää ”barg”, joka kertoo kyseisen lukeman olevan ylipainetta ts. mittaripainetta (Mikes www-sivut 2020b).

Alipaine on negatiivista ylipainetta, vertailuarvona on vallitseva ilmanpaine. Alipaine tarkoittaa siis kohteen pienempää painetta verrattuna ympäristöön.

Absoluuttisen paineen vertailuarvona on tyhjiö. Siten absoluuttinen paine ei voi koskaan olla negatiivinen. Jos halutaan korostaa, että kyseessä on absoluuttipaine, voidaan käyttää merkintää abs. Teollisuudessa käytetään merkintää ”bara”, joka kertoo kyseisen lukeman olevan baaria absoluuttista painetta.

### 3.3 Painehäviöt

Tunnetusti putkisto aiheuttaa painehäviöitä. Putkistonhäviöt muodostuvat kitkapainehäviöstä ja kertavastusten, kuten liittimien muodostamista häviöistä. Painehäviön suuruuteen vaikuttavat putkistonrakenteen lisäksi kaasun virtausnopeus, kaasun viskositeetti ja kaasun tiheys. Toisin kuin nesteet, kaasut ovat kokoonpuristuvia, jolloin niiden tiheys vaihtelee virtausnopeuden mukaan ja on erisuuruinen putkiston eri osissa. Näiden parametrien välisten riippuvuuksien laskentaan on kehitetty erilaisia kaavoja. Kaavat perustuvat suurimmaksi osaksi kaasulakeihin ja Bernoulin yhtälöön (Menon 2005, 12).

Kaasujen virtausmittarit, kuten rotametrit on yleensä kalibroitu siten, että näyttämä on oikea kaasun purkautuessa normaaliin ilmanpaineeseen ja kaasunlämpötilan ollessa 20 °C. Vastapaineen ollessa suurempi, puristuu kaasu kokoon ja mittari näyttää pienempää virtauslukemaa.

Lämpötila vaikuttaa kaasujen tiheyteen ja kinemaattiseen viskositeettiin. Muutos ei ole suuri, jos lämpötilavaihtelu on muutamia kymmeniä asteita. Taulukko 1 kuvaa ilman lämpötilan vaikutusta sen tiheyteen ja kinemaattiseen viskositeettiin.

Taulukko 1. Lämpötilan vaikutus ilman tiheyteen ja kinemaattiseen viskositeettiin

lämpötila	tiheys	viskositeetti
t[°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]
0	1,275	13,45
20	1,188	15,27
40	1,112	17,15
60	1,045	19,13

Tarkka painehäviön laskenta on harvoin perusteltua ja mahdollista, koska putkistot voivat olla varsin monimutkaisia. Yleensä riittää karkea painehäviön laskenta huomioiden oleelliset tekijät, kun laskelmissa käytetään riittävää varmuuskerrointa.

### 3.4 Painejärjestelmien tiiveyden testausmenetelmät

Painejärjestelmien tiiveyden testauksen yleinen periaate on, että järjestelmä paineistetaan käyttöpainetta korkeampaan paineeseen ja seurataan paineen pysyvyyttä ajanfunktiona. Testi suoritetaan yleensä vedellä silloin, kun se laitteiston luonteen huomioiden on mahdollista. Laitteistoissa missä painetestin tekeminen vedellä ei ole mahdollista, voidaan käyttää ilmaa tai muuta kaasua.

Painelaitteiksi luokitellaan kaikki laitteet, joissa esiintyy yli 0,5bar ylipainetta. Tästä on mainittu joitakin poikkeuksia kuten putkistot (Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016, 7 §).

Painelaitteiden testit tehdään niitä koskevien lakien ja asetusten mukaan, kuten painelaitelaki 1144/2016 ja valtioneuvoston asetus 1549/2016. Rakennusten vesilaitteistoista on säädetty ympäristöministeriön asetuksissa.

Painekokeen tekemisessä on otettava huomioon painelaitteen valmistajan mahdollinen ohje (Painelaitelaki 1144/2016, 59 §).

### 3.5 Painemittauksen kalibrointimenetelmät

Paineenmittausinstrumenttien kalibrointiin pätevät samat yleisperiaatteet kuin muuhunkin kalibrointiin. Mittausarvoa verrataan tunnettuun referenssiin. Tästä tunnetusta referenssistä on jäljitettävyys ylimmän tason mittanormaaliin asti (Mikes [www-sivut 2020a](#)). Käytännössä tämä tarkoittaa, että referenssimittalaite (kalibraattori) on säännöllisen kalibroinnin piirissä ja edelleen sen kalibrointi suoritetaan laitteella, mistä on jäljitettävyys ylimmän tason mittanormaaliin asti ja tulokset ovat ammattimaisesti dokumentoitu.

Teollisuuden standardit eivät pääsääntöisesti ota kantaa prosessin mittalaitteiden tarkkuusvaatimuksiin. Sen sijaan vaatimukset tulevat laitevalmistajalta, laatujärjestelmästä, viranomais määräyksistä, suunnitteluperusteista tai toimijan sisäisestä ohjeistuksesta.

Yleisiä ohjeita kalibroinnin suorittamiseen teollisuudessa on annettu standardissa PSK-3401 (PSK 3401 2011, 1). Mittausepävarmuuden laskentamenetelmät perustuvat nykyisin julkaisuun *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (BIPM [www-sivut 2020](#)).

## 4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

### 4.1 Lähtötiedot

Tarve oli suunnitella kalibrointilaitteisto mikä toteuttaa kaikki valmistajan järjestelmälle määrittelemät testit. Laitteen tulisi sisältää kaikki testauksiin tarvittavat laitteet kompaktina helposti liikuteltavavana kokonaisuutena. Keskeisin osa testiä on ABB AO2020 kosteusanalysointilaitteen kalibrointi. Muita järjestelmään määriteltyjä testejä ovat putkiston tiiveys- ja painehäviötestit.

### 4.2 Kosteusanalysointilaitteisto

Tarkasteltavassa sovelluksessa kosteuden mittaaminen tapahtuu ABB AO2020 absorboivan infrapuna-analysointilaitteen avulla. Näytteenkeruuputkistoon syötetty kuiva ilma kiertää prosessin näytekäsitelimen läpi ja lopuksi ilma johdetaan analysointilaitteeseen. Analysointilaitteisto pystyy mittaamaan vesihöyrypitoisuuden jatkuvasta näytekäsitelimen virtauksesta. Näytekäsitelimen virtaus voi olla 20–100 l/h, josta analysointilaitteisto laskee montako tilavuusyksikön osaa miljoonasta (ppm) siihen sisältyvästä mitattavasta komponentista. Tässä sovelluksessa mitattava komponentti on ilman vesihöyrypitoisuus, jota mitataan alueella 0ppm – 20 000 ppm (0 % - 2 %) tilavuudesta.

Normaalissa mittaustilanteessa analysointilaitteeseen menevän näytekäsitelimen lämpötila on lähellä normaalia huoneenlämpöä. Analysointilaitteelle johdettava kosteuspitoisuus vaihtelee jonkin verran riippuen mistä näytelinjasta se otetaan, eikä siitä vielä ole käytettävissä mittaustietoja. Olettama on, että kosteuspitoisuus on suuruusluokkaa 5000 ppm. Kalibrointilaitteiston tuottama näytekäsitelimen olosuhde vastaa näitä olosuhteita.

Näytekäsitelimen virtausta näytteenkeruuputkistoista analysointilaitteelle ohjataan magneettiventtiileillä prosessitietokoneen avulla. Tällä osuudella ei ole merkitystä itse analysointilaitteiston toimintaan ja kalibrointiin.

#### 4.2.1 Analysaattorin kalibrointi

Valmistajan mukaan analysaattorille, suoritetaan kalibrointi kahdessa pisteessä, 0-pisteessä ja yläpäässä pisteessä mikä vastaa 70–80 % pitoisuutta mittausalueen maksimista. Kalibrointi on suoritettava jokaisessa huoltoseisakissa. Tarkasteltavassa analysaattorissa ei ole sisäänrakennettuna ominaisuutena sijaiskaasukalibrointia.

Tästä syystä kalibroinnin toteuttamiseksi lähdettiin tutkimaan menetelmää, missä 0-piste kalibrointiin käytetään tyypeä kaasupullosta. Vastaavasti alueen yläpään kalibrointiin käytetään kosteuskehittintä, mikä sekoittaa tyypeen halutun määrän vesihöyryä. Mittausalueen yläpään vastatessa 2 % vesihöyrypitoisuutta oletetaan sen olevan tarpeeksi suuri hallittavaksi kosteuskehittimellä toteutettavaksi.

Kaupallisesti tarkkaan kosteuspitoisuuden pystyvistä kosteuskehittimistä ei ole paljon tarjontaa. Tähän sovellukseen valittiin tutkittavaksi IAS GmbH valmistama Hovacal® 121-SP kosteuskehitin.

Kosteuskehittimen käyttöliittymästä pystytään asettamaan haluttu virtaus ja vesihöyryn osuus tilavuudesta ppm yksikköinä. Käytettäessä kosteuskehittimen omaa mitausta olisi myös kosteuskehitin säännöllisesti kalibroitava. Kosteuskehittimen kalibroinnilta halutaan välttyä, koska se on verrattain työläs ja siten myös kustannuksia tuova toimenpide. Tämän vuoksi lähdettiin tutkimaan menetelmää, jossa kehittimen tuottama kosteus mitataan Vaisala DRYCAP® käsimittarilla, joka on säännöllisen kalibroinnin piirissä. Mittarin kokoonpanoon kuuluu osoitinyksikö MI70, anturi DMP74A ja näyteyhde DMT242SC2 (kuva 6). Mittari pystyy näyttämään ilman kosteussisällön ppmv (volume) / ppmw (weight) yksikköinä (Vaisala ohjekirja 2020, 9)



Kuva 6. Vaisala DRYCAP® käsimittari (Vaisala www-sivut 2020.)

#### 4.3 Painehäviö- ja vuototesti

Valmistaja on määritellyt näytteenkeruuputkiston kullekin mittaussilmukalle, tehtäväksi painehäviötestin. Testin tarkoituksena on varmistaa, ettei linjassa ole tukoksia tai vaurioita. Testi on määritelty tehtäväksi sen jälkeen, kun näyteputkistoon on kohdistunut töitä. Mittausdatan kerryttämiseksi testiä on perusteltua kuitenkin aluksi tehdä jokaisessa huoltoseisakissa.

Testi on määritelty tehtäväksi niin, että mittaussilmukan menopuolelle syötettävän paineilman paine säädetään arvoon, millä saadaan paluupuolelta mitattua 1l/min tilavuusvirta, paineilman purkautuessa vapaasti ympäröivään ilmaan. Virtausnopeus asettuu tällöin luokkaan 1,5m/s. Virtausnopeus on kohtuullinen, eikä sen vuoksi ole odotettavissa ongelmia.

Näytteenkeruuputkisto on pienihalkaisijaista metalliputkea ja rakenteeltaan melko moniulotteinen. Tämän vuoksi putkistolle on uutena mitattu painehäviön nolla arvo, mihin seuraavien mittauskertojen tuloksia verrataan. Testit on pyrittävä suorittamaan mahdollisimman tarkasti samassa lämpötilassa ja lämpötila tulee dokumentoida

Kalibrointilaitteistoon suunnitellaan tarvittava instrumentointi painehäviötestin suorittamista varten.

Valmistaja on määritellyt näytteenkeruuputkiston kullekin mittaussilmukalle tehtäväksi tiiveystestin. Tiiveystesti tehdään tyypillisen tiiveystestin suorituksen tapaan käyttäen testikaasuna paineilmaa. Näytelinjaan kytketään testipaine ja seurataan sen laskemista aikayksikössä. Paineen alenemalle aikayksikössä on valmistaja määritellyt raja-arvot. Testiin ei sovelleta painelaitelakia, koska laitteisto koostuu pelkästä putkistosta. Testauksessa noudatetaan valmistajan ohjeistusta.

Kalibrointilaitteistoon suunnitellaan tarvittava instrumentointi tiiveystestin suorittamista varten.



## 5 KALIBROINTILAITTEISTON SUUNNITTELU

### 5.1 Raja-arvojen määrittely

Kalibrointitapahtumaan osallistuvat laitokselle kiinteästi asennettu laitteisto ja kalibrointiin käytettävä laitteisto. Laitoksen kiinteässä laitteistossa paine- ja virtausalueiden määräävä tekijä on ABB AO2000 kosteusanalysointilaitteisto. Laitoksen muu järjestelmä käsittää ainoastaan putkistoa, magneettiventtiileitä ja paineenmittausinstrumentteja. Kalibrointilaitteiston keskeiset instrumentit ovat HOVACAL kosteuskehitin ja Vaisala DRYCAP® mittari. Kalibrointilaitteessa määräävä tekijä on kosteuskehitin.

Käytännössä näiden kolmen laitteen virtaus- ja painealueet oli tarkastettava ja sovitettava yhteen (taulukko 3). Vaisala DRYCAP® kastepistemittari on virtaus- ja painealueeltaan laaja, eikä ole rajoittava tekijä tässä sovellutuksessa. Haastavimmaksi osoittautui kosteuskehittimen ja kosteusanalysointilaitteen sovittaminen yhteen. Tavoiteltava virtaus olisi 1,5 l/min, mikä on kyllin iso virtaus hallittavaksi säätölaitteilla.

Taulukko 3. Testaukseen osallistuvien laitteiden paine- ja virtausalueet

	Paine [kPa]		Virtaus [l/min]		Lämpötila [°C]	
	nominal	maksimi	minimi	maksimi	minimi	maksimi
ABB AO2020	< 10	50	0,006	1,65	<sup>2)</sup>	50
Hovacal	300<	500	1,5	5,0	5	35
Vaisala DRYCAP	n/a	190	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	-10	60

<sup>1)</sup> Ei vaikutusta mittaustulokseen

<sup>2)</sup> Kaasun sisäänmenolämpötilan oltava 5 °C korkeampi kuin kastepistelämpötila

## 5.2 Testimittaukset

Kosteuskehittimen käytöstä oli vähän aikaisempaa kokemusta, siksi sillä tehtiin alustavia testejä ennen varsinaisen laitteen suunnittelun aloittamista. Testit tehtiin käyttämällä peruskaasuna instrumentti-ilmaa, mutta varsinaisissa testeissä on tarkoitus käyttää typpikaasua. Testattaessa kosteuskehittintä havaittiin, että laitteen sisäinen painehäviö on suuri. Haluttuihin virtausmääriin pääseminen edellyttää verrattain suuren sisään-tulopaineen. Käyttöohjeessa sisääntulopaineeksi suositellaan 300kPa - 500kPa, testissä 200kPa osoittautui riittäväksi halutun virtauksen saavuttamiseksi. Kosteuskehittimen suositeltu minimi virtaus on 1,5 l/min. Tällä estetään, ettei laitteen evaporattooriin ala kertymään vettä. Virtausarvo pystytään laitteen käyttöliittymästä asettamaan pienemmäksi. Testissä laite pystyi 0,5l/min virtaustaukseen, ongelmitta. Taulukossa 4 esitetään testituloksia, missä kosteuskehittimestä ulostulevan ilman kosteutta mitattiin Vaisalan DRYCAP® mittarilla.

Taulukko 4 Kosteuskehittimen testimittauksen tulokset

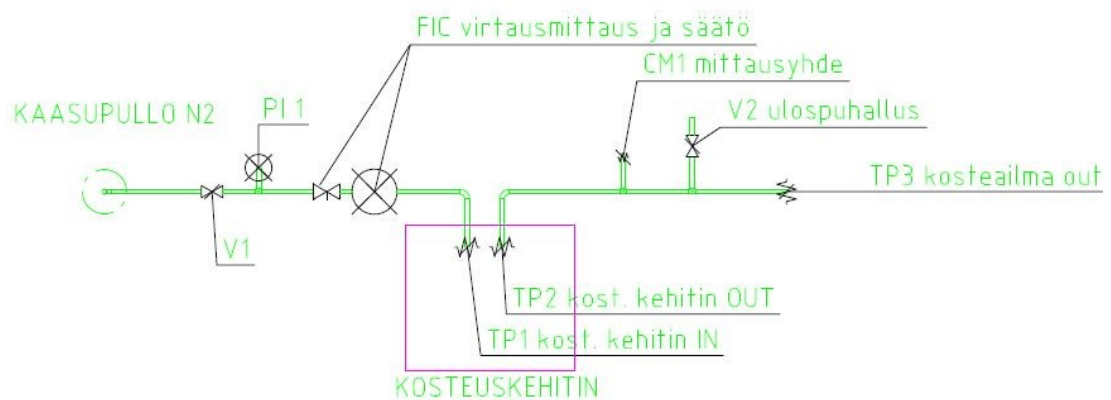
Input paine	2bar			
Sylingre	50ul			
Evaporator temp set 80				
<b>Virtaus[l/min]</b>		<b>Konsentraatio[ppm]</b>	<b>Vesimäärä[g/min]</b>	<b>Mitattu [ppm vol]</b>
<b>HOVACAL</b>		<b>HOVACAL</b>	<b>HOVACAL</b>	<b>VAISALA</b>
0,5		0	0	2600
0,5		2000	0,0008	4500
0,5		16000	0,0064	18500
1		2000	0,0016	4500
1		16000	0,0129	18000
3		2000	0,0048	4500
3		16000	0,0386	18500
3		25000	0,0603	28000

Testissä huomattiin, että HOVACAL kosteuskehittimen kosketusnäyttöä on hankala käyttää. Edellytyksenä vaivattomalle käytölle on laitteen kytkeminen kannettavaan tietokoneeseen, tämä on huomioitava kalibrointilaitteiston kuljetusvaunun valinnassa. Kaasun virtausmäärän ollessa 1 l/min riittää 10 l 200 bar typpipullo noin 30 tunnin yhtämittaiseen käyttöön, mikä riittää hyvin tässä sovelluksessa.

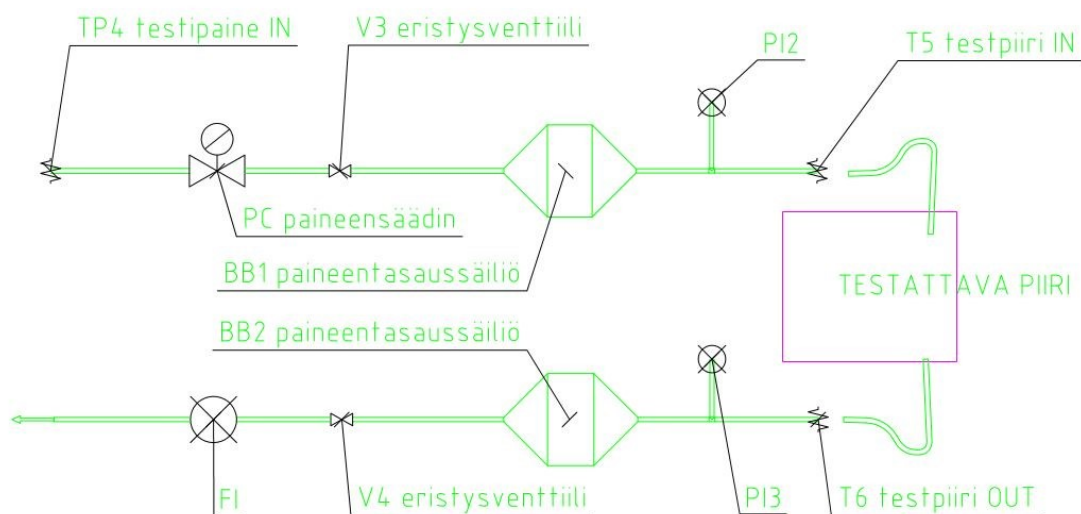
### 5.3 PI-kaavio

Kalibrointilaitteistosta piirrettiin PI-kaavio, jossa huomioitiin valmistajan ohjeistus ja kalibrointilaitteiston käytettävyyteen liittyvät asiat. Laitteisto käsittää kaksi erillistä toiminnallista kokonaisuutta, kosteusmittauksen kalibrointiosio ja paine- sekä tiiveys-testiosio (kuva 7) ja (kuva 8).

Tiiveysmittauksen kokoonpanossa on laitetoimittajan suosituksen mukaan viidenlitran paineentasaussäiliöt, koska testattavan piirin tilavuus on hyvin pieni. Painehäviötestiin tarvittavan virtausmittarin sijoituksessa on huomattava, että mittarin jälkeen ei ole vastapainetta, jotta näyttämä ilmalla on oikea. Paine- ja tiiveystestissä käytetään kaasuna paineilmaa paineilmaverkosta.



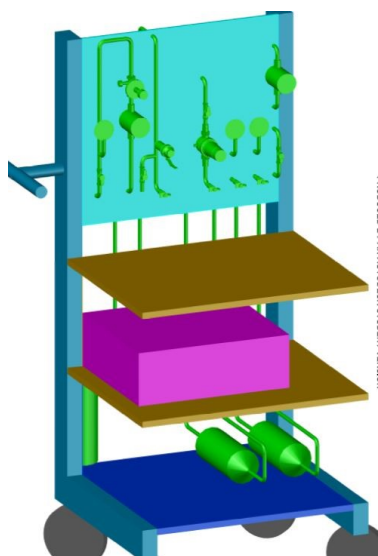
Kuva 7. PI-kaavio kosteusmittauksen kalibrointi



Kuva 8. PI-kaavio tiiveys- ja painehäviön testaus

## 5.4 Kokoonpano

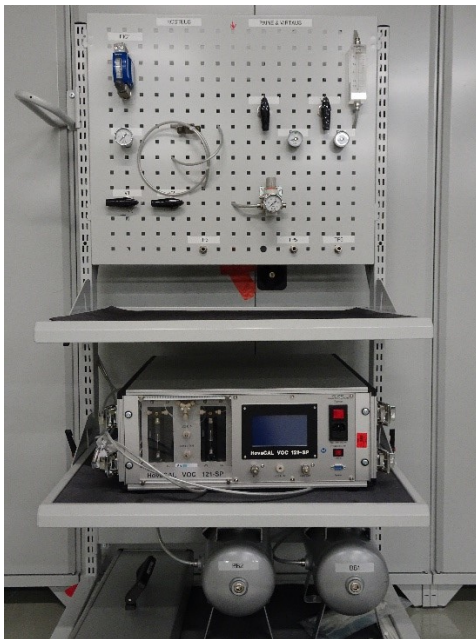
Kalibrointilaitteiston kokoonpanolle kartoitettiin sopivia liikuteltavia vaunuja. Sopiva vaunu malli valittiin Trestonin mallistosta. Vaunun kokoonpanosta piirrettiin 3D-malli (kuva 9). Mallilla pystyttiin varmistamaan, että kaikki komponentit ja laitteet sopivat suunniteltuun vaunumalliin. Mallinuksella haettiin myös laitteen komponenttien sijoittelu sellaiseksi, että käyttö olisi mahdollisimman selkeää. Instrumentoinnin komponenteiksi valittiin yleisesti saatavilla olevia komponentteja tunnetuilta valmistajilta kuten SMC, Swagelock ja Kytölä instruments.



Kuva 9. Kalibrointilaitteiston kokoonpanosuunnitelma

## 6 KALIBROINTILAITTEISTON RAKENTAMINEN JA TESTAUS

Lopputuloksena saatiin kokoonpantua kuvan 10 mukainen laitteisto, millä kalibrointien suoritus voidaan aloittaa. Vaunun 3D-mallinnuksesta oli selkeästi hyötyä, jotta komponenttien tilantarpeessa ei tullut yllätyksiä. Yksittäisistä komponenteista ei kuitenkaan ollut täsmällistä 3D-mallinnusta. Tämän vuoksi yksityiskohtainen komponenttien sovittaminen tapahtui vasta kokoonpanon yhteydessä. Näin pienissä laitteistoissa tällä ei ole merkitystä, mutta asia korostuu monimutkaisempien laitekokonaisuuksien kanssa.



Kuva 10. Valmis kalibrointilaitteisto

### 6.1 Mittaustulosten analyysi

Kokoonpanon jälkeen ensimmäisenä testattiin laitteen tiiveys paineistamalla se ilmalla 300kPa paineeseen.

Paine- ja virtaustestipuolelta testattiin määritellyllä testivirtauksella kalibrointilaitteiston aiheuttama painehäviö. Painehäviö todettiin pieneksi, verrattuna testattavaan piirin painehäviöön, ettei sillä ole merkitystä.

Testauksen yhteydessä havaittiin joitakin muutostarpeita laitekoonpanoon. Painemittarit vaihdettiin alueeltaan pienemmäksi vastaamaan paremmin käytettyä painealuetta. Painemittarien yhteyteen lisättiin testiyhde ulkopuolisen mittalaitteen kytke-  
miseksi. Tällöin voidaan käyttää kalibraattoria painearvon tarkkaan lukemiseen. Palkallisista painemittareista saadaan painearvo luettua helposti.

Kosteuskalibrointi osuudesta suoritettiin testit samaan tapaan kuin alustavissa testimit-  
tauksissa, mutta lopullisella kalibrointilaitteistokoonpanolla. Testissä käytettiin Inst-  
rumentti-ilmaa. Kosteus luettiin Vaisalan kosteusmittarilta, kuten laitteen tulevassa  
normaalikäytössäkään. Kosteuskehittimen asetusarvoa muutettiin 0 - 20000ppm<sub>vol</sub> 5000  
ppm välein taulukon 5 mukaisesti.

Kosteuspitoisuus mitattiin myös suoraan syöttävästä instrumentti-ilmasta, joka oli  
noin 2800 ppm<sub>vol</sub>. Tuloksista (taulukko 5) havaitaan, että ulostulossa mitattuna kos-  
teuspitoisuus on systemaattisesti korkeampi kuin asetusarvo. Ulostulo on noin sisään  
menevän kaasunkosteuspitoisuuden verran korkeampi asetusarvoa. Tämä havaittiin jo  
laitteen alustavissa mittauksissa. Tällä ei suoraan ole merkitystä kalibrointitapahtu-  
maan, koska määrävää mittari on Vaisala mikä toimii referenssinä. Asiaa kuitenkin  
selvitetään lisää kosteuskehittimen valmistajan kanssa. Kosteuden stabiilius on luok-  
kaa +-250 ppm<sub>vol</sub>.

Taulukko 5. kosteuden tuottaminen

Ympäristön olosuhde		RH[%]	T [C°]	ppm/vol		
		44,7	23,8	13245		
<b>Instrumentti- ilma</b>		Mitattu VAISALA				
Syöttöpaine [kPa]	Virtaus [l/min]	RH[%]	T [C°]	ppm/vol	Asetusarvo	Poikkeama
200	4	9,0	24,4	2730	N/A	N/A
200	2	9,3	24,3	2790	N/A	N/A
200	1	9,5	24,3	2830	N/A	N/A
<b>Hovacal</b>						
200	2	9,8	24,8	3000	0	3000
200	2	25,1	25,8	7751	5000	2751
200	2	40,2	24,6	12400	10000	2400
200	2	55,6	24,6	17284	15000	2284
200	2	71,3	24,5	22300	20000	2300

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kosteudenlaskentaan on saatavilla useita tietokonepohjaisia sovelluksia. Laskelmat kannattaa tarkistaa muutamalla eri sovelluksella, koska havaittiin eri sovellusten antavat hieman poikkeavia tuloksia. Mittaustuloksia verratessa on tiedostettava olosuhteiden vaikutus, tähän laskentaohjelmat tarjoavat tehokkaan tavan. Yleisesti hyvä tapa on tarkastella yhden muuttujan vaikutusta kerrallaan.

Laitteiston testeissä havaittiin, että pienten stabiilien kosteuspitoisuuksien tuottaminen on haasteellista ja vaatii stabiilit olosuhteet. Kalibrointilaitteisto pystyy kuitenkin vaaditulla pitoisuudella riittävään tarkkuuteen.

Työnaikana kosteusanalysointilaitteiston ominaisuuksista ja käytöstä saatiin kerättyä merkittävästi lisää tietoa. Tiedot koottiin erilliseen tausta-aineistoon.

Kalibrointilaitteiston komponenttien valinnassa huomattiin, että instrumentoinnin komponenteissa käytetään lukuisia eri standardienmukaisia kierteitä, tämä aiheutti haasteita komponenttien yhteensovittamisessa. Käytetyt komponentit datalehtineen dokumentoitiin, jotta mahdollisissa komponenttien vaihdoissa ja päivityksissä tieto olisi helposti saatavilla.

## 7.1 Toimenpide-ehdotukset

Kalibrointilaitteistoa ei päästy testaamaan kosteusanalysointilaitteen kalibrointiin typpikaasulla lopullisessa toimintaympäristössään. Typpikaasu on ominaisuuksiltaan hyvin lähellä normaalia ilmaa. Tämän vuoksi sen käyttöön siirtymisessä ei laitteen toiminnan kannalta ole odotettavissa ongelmaa. Tyypellä on happea syrjäyttävä vaikutus, vaikka tässä laitteessa määrät ovat pieniä, tämä seikka on hyvä tiedostaa.

Laite on nyt toteutettu muoviputkella. Laitteen putkituksen vaihtamista ruostumattomaksi teräsputkeksi on harkittava. Tämä tekee laitteesta kestävämmän pitkäaikaisessa kenttäkäytössä.

Uusia kosteusanalysointilaitteita hankittaessa tulisi selvittää, onko niihin saatavana sijaiskaasukalibrointiominaisuutta. Kalibrointitapahtuma olisi tällöin yksinkertaisempi ja nopeampi suorittaa.

Riittävään tarkkuuteen pystyviä kosteuskehittäjiä on kaupallisesti tarjolla ainoastaan muutamalla valmistajalla. Kalibroinnissa käytettävän kosteuskehittimen elinkaari on siksi pidettävä mielessä ja varmistettava varaosien saatavuus tai korvaavan laitteen saatavuus.



## LÄHTEET

Sandberg, E., Paasio, I. & Lönnström, J. 2016. Kosteaa ilmaa. Teoksessa Sandberg, Esa (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

SFS-5348. Suureet ja yksiköt. Kosteus. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 5.6.2020. <http://www.sfs.fi/>

Sandberg, E. 2016. Kosteus ilmassa. Teoksessa Sandberg, Esa (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Vaisala Corporation www-sivut 2020a. Viitattu 30.5.2020. [https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Humidity101\\_HumidityTheoryTermsDefinitions.pdf](https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Humidity101_HumidityTheoryTermsDefinitions.pdf)

Vaisala Corporation www-sivut 2020b. Viitattu 30.5.2020. [https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-G-Param-How-to-Choose-Application-note-B211203EN-A\\_0.pdf](https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-G-Param-How-to-Choose-Application-note-B211203EN-A_0.pdf)

Hukseflux www-sivut 2020. Viitattu 30.5.2020. <https://www.hukseflux.com/>

National physical Laboratory www-sivut 2020. Viitattu 3.8.2020 <https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/a-guide-to-the-measure-of-humidity-gpg103>

Michell Instruments www-sivut 2020. Viitattu 1.6.2020. <http://www.michell.com/uk/calculator/>

Macinstruments www-sivut 2020. Viitattu 24.6.2020. <http://www.macinstruments.com>

Kuusela, T. 2015. Mihin käytetään infrapunavaloa. Viitattu 17.5.2020. <https://www.aka.fi/fi/tietysti/kysy-tieteesta/mihin-kaytetaan-infrapunavaloa/#06e8c9ff>

Mikes www-sivut 2020a. Viitattu 10.6.2020. <https://www.mikes.fi/mittayksikot/jaljitettavyys>

SFS-EN ISO 10012. Mittausten hallintajärjestelmät. Vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteistolle. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 5.6.2020. <http://www.sfs.fi/>

Mikes www-sivut 2020b. Viitattu 10.6.2020. [https://www.mikes.fi/mikes/Op-paat/J1\\_2011\\_Paineen\\_mittaus.pdf](https://www.mikes.fi/mikes/Op-paat/J1_2011_Paineen_mittaus.pdf)

Menon, E. Shashi. 2005. Gas Pipeline Hydraulics. Taylor & Francis Group.

Valtioneuvoston asetus painelaitteista 2016. L2.2016/1148.

Painlaitelaki 2016.L8.2016/1144.

BIPM www-sivut 2020. Viitattu 9.6.2020. [https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)

SFS-3880. Suureet ja yksiköt. Paine. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 10.6.2020. <http://www.sfs.fi/>

Hovacal www-sivut 2020. Viitattu 9.6.2020. [https://hovacal.de/downloads/datenblaetter/IAS\\_Datasheet\\_HovaCAL\\_EN.pdf](https://hovacal.de/downloads/datenblaetter/IAS_Datasheet_HovaCAL_EN.pdf)

Vaisala DRYCAP® ohjekirja 2020. VAISALA

PSK 3401 Kalibroinnin hankinta ja suorittaminen teollisuudessa. 2011. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 10.6.2020. <http://www.psk-standardisointi.fi>