

Tuomas Walden

T548SN

PM_{2,5} JA PM₁₀ MÄÄRITYKSET
ILMAKEHÄN HIUKKASSMASSASTA
VERTAILUMENETELMÄLLÄ
Olosuhdekaappi suodattimien punnituksille

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan ko.

Helmikuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä				
Tekijä(t) Tuomas Walden	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma				
Nimeke PM _{2,5} ja PM ₁₀ määritykset ilmakehän hiukkasmassasta vertailumenetelmällä (Olosuhdekaappi suodattimien punnituksille)					
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä rakennettiin punnituskäppi pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) massakonsentraation määrittämiseksi keräyssuodattimilta. Menetelmästandardit kuvaavat mahdollisimman tarkasti vertailumenetelmän ja sen toteutuksen, näytteenoton ja punnitusolosuhteet.</p> <p>Työssä käsitellään myös hiukkasten syntyä sekä niiden terveysvaikutuksia, kokoluokkaa ja ympäristövaikutuksia. Työ pitää sisällään selostuksen mittaasepävarmuudesta, hiukkasten mittaamenetelmistä, suodattimien ominaisuuksista sekä punnituskäppin teosta, kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta sekä niiden säädön ongelmista ja niiden ratkaisusta.</p> <p>Rakennetun punnituskäppin olosuhteet, ilman suhteellinen kosteus ja lämpötilaa voidaan säätää ja hallita rakennetun säätöjärjestelmän avulla. Punnituskäppi sisältää menetelmästandardien määrittelemän vertailumenetelmän punnitusolosuhteet. Menetelmä on tarkoitus akkreditoida sekä käyttää jatkossa hiukkasvertailumittauksissa vertailumenetelmänä.</p>					
Asiasanat (avainsanat) Pien hiukkaset ja hengitettävät hiukkaset, vertailumenetelmä					
Sivumäärä	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	suomi	
Kieli	URN				
suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Martti Pouri	Opinnäytetyön toimeksiantaja Ilmatieteen Laitos				

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Tuomas Walden		Degree programme and option Environmental engineering	
Name of the bachelor's thesis Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM _{2,5} and PM ₁₀ mass fraction of suspended particulate matter.			
Abstract In this work a weighing box to measure the mass concentration of particulate matter of fine particle (PM _{2,5}) and inhalable particle (PM ₁₀) on the sample filter was constructed. The method standard describes the reference method, its operation, sampling and weighing conditions of filters very accurately. Formation, health effects, size distribution and environmental effects of particles are described. In addition the uncertainty of the measurement results, measurement technique, characteristics of different filter material and the practical experience on the problems and solutions on conditioning the weighing box with relative humidity and temperature. It turned out that the environmental condition inside the weighing box, i.e. relative humidity and temperature, can be regulate and control by the control system that was designed to satisfy the condition stated in the standard of the reference method. The method is meant to be accredited by FMI and use as a reference method for particle measurement and comparison studies.			
Subject headings, (keywords) Particulate matter, fine particles, inhalable particles, reference method			
Pages	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Matti Pouru		Bachelor's thesis assigned by Finnish Meteorological Institute	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HIUKKASET	2
2.1	Hiukkasten kokojaottelu	2
2.2	Hiukkasten synty, leviäminen ja poistuminen	2
2.3	Hiukkasten terveysvaikutuksia	3
2.4	Hiukkasten ympäristövaikutukset.....	5
3	LAINSÄÄDÄNTÖ	5
3.1	Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011)	5
3.2	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2008/50/EY)	6
4	MENETELMÄSTANDARDIT	6
5	TAVOITE	6
6	SUHTEELLINEN KOSTEUS	7
7	MITTAUSMENETELMÄT	7
7.1	Näytteenotto.....	7
7.2	Suodattimet	8
7.3	Punnitus	9
8	MITTAUSEPÄVARMUUS	10
9	LAITTEET JA VÄLINEET.....	11
9.1	Kuplailukostuttaja.....	11
9.2	Perma Pure.....	12
9.3	Vesihauteet	14
9.4	Vaaka	15
9.5	Muut laitteet ja välineet:	15
10	TYÖN SUORITUS	16
10.1	Punnituskaapin koko.....	16
10.2	Koepunnituskaapin testaus (olosuhteiden luominen ja vakiinnuttaminen) .	17
10.3	Punnituskaapin lämpötilan säätö	19
10.4	Punnituskaapin olosuhteiden luominen	22
10.5	Punnituskaappi (mitat, laitteet ja kytkentäkaavio).....	24
11	MITTAUKSET	25

12	TULOKSET	26
12.1	Punnituskaappi.....	26
12.2	Suodattimet ja punnitukset	27
12.2.1	Teflonsuodattimet	28
12.2.2	Selluloosasuodattimet	31
13	TULOSTEN TARKASTELU	32
14	ONGELMAT JA HAASTEET	35
14.1	Vaaka ja punnitus	35
14.2	Punnituskaapin olosuhteiden säätö	36
14.3	Muut ongelmat.....	37
15	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	37
	LÄHTEET.....	39

LIITE/LIITTEET

2 Vaisalan kosteuslaskin

3 Käyttöohjeet punnituskaappi/olosuhdekaappi

1 JOHDANTO

Euroopan unionin tärkeimpiä tavoitteita on kehittää ja hyväksyä ilmanlaatua parantavia ja ylläpitäviä keinoja. EU pyrkii erilaisin toimintojen, ohjelmien ja pakotteidenkin avulla vähentämään päästöjä. Hyvänä esimerkkinä EU:n ohjelmasta on CAFE-ohjelma (Clean Air for Europe), jonka EU:n komissio hyväksyi 2005 [1]. Ohjelman tavoitteena on etsiä kustannustehokkaita ratkaisuja ilmansuojelun suurimpiin ongelmiin, joita ovat esimerkiksi ihmiselle haitalliset pienhiukkaset [19]. Pyrkimyksenä oheisella ohjelmalla on mm. luoda kattava tiedonkeruujärjestelmä, joka auttaa kehittämään ja vahvistamaan ilmanlaadun seurantaan sekä keräämään ilmansuojelutoimien suunnittelua ja toteutusta varten tarvittavaa tietoa [19].

CAFE-ohjelma painottaa erityisesti ilmassa olevien pienhiukkasten, halkaisijaltaan muutamista nanometristä useisiin mikrometriin asti, vaikutusta ihmisen terveyteen. EU laati direktiivin ilmanlaadun seurantaan varten. Jokainen EU:n jäsenmaa on liittänyt direktiivin omaan lainsäädäntöönsä. [2]

Hiukkasmassan määrittäminen ulkoilmasta vertailumenetelmää käyttäen perustuu gravimetrisen ns. punnitukseen perustuvaan määrittämenetelmään, jota varten Euroopan Standardointielin (CEN) laati menetelmästandardin. Menetelmästandardi kuvaa mahdollisimman tarkasti vertailumenetelmän ja sen toteutuksen, näytteenoton ja punnitusolosuhteet. Direktiivi antaa myös mahdollisuuden käyttää muuta menetelmää kuin vertailumenetelmää, mutta jäsenmaan on osoitettava käytettävän menetelmän ja vertailumenetelmän välinen yhteensopivuus. [2]

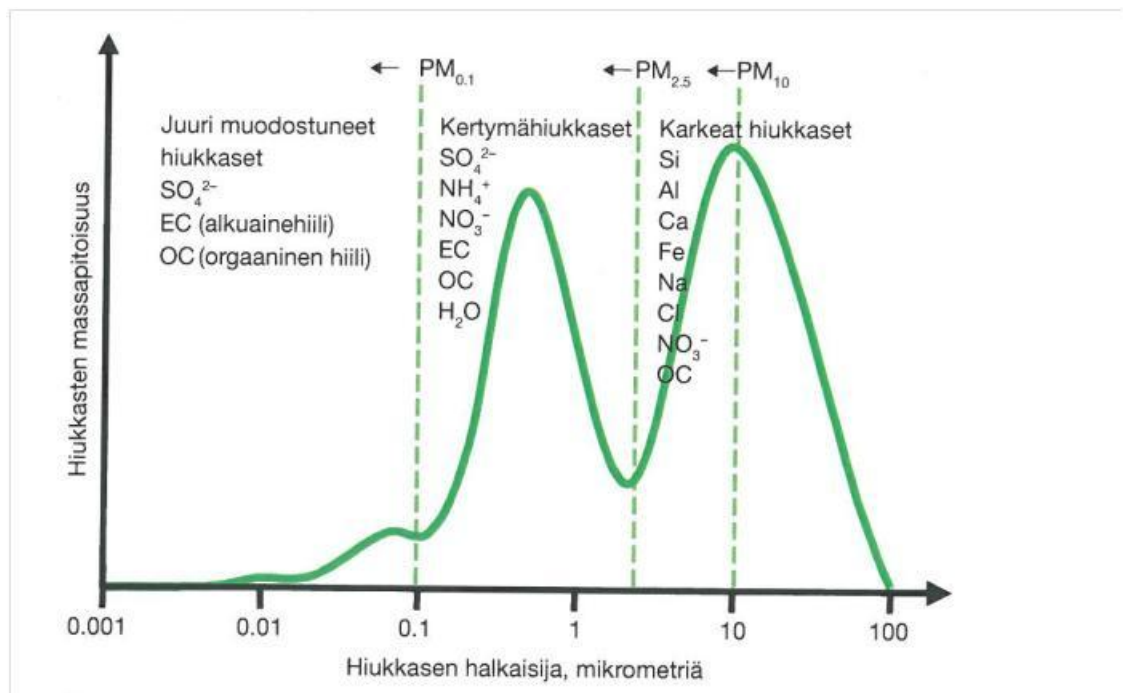
Opinnäytetyön tavoitteena olikin rakentaa punnituskäppi pienhiukkasten massakonsentraation määrittämiseksi menetelmästandardin määrittelemissä punnitusolosuhteissa sekä arvioida menetelmän mittausepävarmuutta. Pienhiukkasten massakonsentraatio määritetään suodattimien punnituksilla. Punnituskäppi rakennettiin ja testattiin toimintaparametreja muuttamalla niin, että punnituskäppin sisälle voitiin luoda menetelmästandardin edellyttämät olosuhteet. Opinnäytetyö sisältää selostuksen punnituskäppin valmistuksen vaiheista, toteuttamiseen liittyvistä ongelmista sekä ratkaisuista. Työ suoritettiin Ilmatieteen Laitoksella, ilmanlaadun kansallisessa vertailulaboratoriossa, jossa menetelmä on tarkoitus akkreditoida sekä käyttää jatkossa hiukkasvertailumittauksissa vertailumenetelmänä.

2 HIUKKASET

Suurena ilmanlaatu- ja ihmisen terveysongelmana ovat erikokoiset hiukkaset. Ihmiselle vaaralliset hiukkaset aiheuttavat erilaisten tutkimusten mukaan lukuisia ennenaikaisia kuolemia ja ovat myös elämisenlaatua huonontavia tekijöitä.

2.1 Hiukkasten kokojaottelu

Hiukkaset määritellään yleensä halkaisijansa mukaan mittayksikössä mikrometri. Hiukkaset jaotellaan neljään kokoluokkaan eli suuret hiukkaset (yli 10 μm), hengitettävät hiukkaset PM_{10} (alle 10 μm), pienhiukkaset $\text{PM}_{2,5}$ (alle 2,5 μm) ja ultrapienet hiukkaset $\text{PM}_{0,1}$ (0,01 – 0,1 μm). [4]



KUVA 1. Yhdyskuntailman hiukkasten massapitoisuuden tyypillinen jakauma ja kolmen hiukkaskokoluokan ($\text{PM}_{0,1}$, $\text{PM}_{2,5-0,1}$, $\text{PM}_{10-2,5}$) tärkeimmät kemialliset osatekijät. [13]

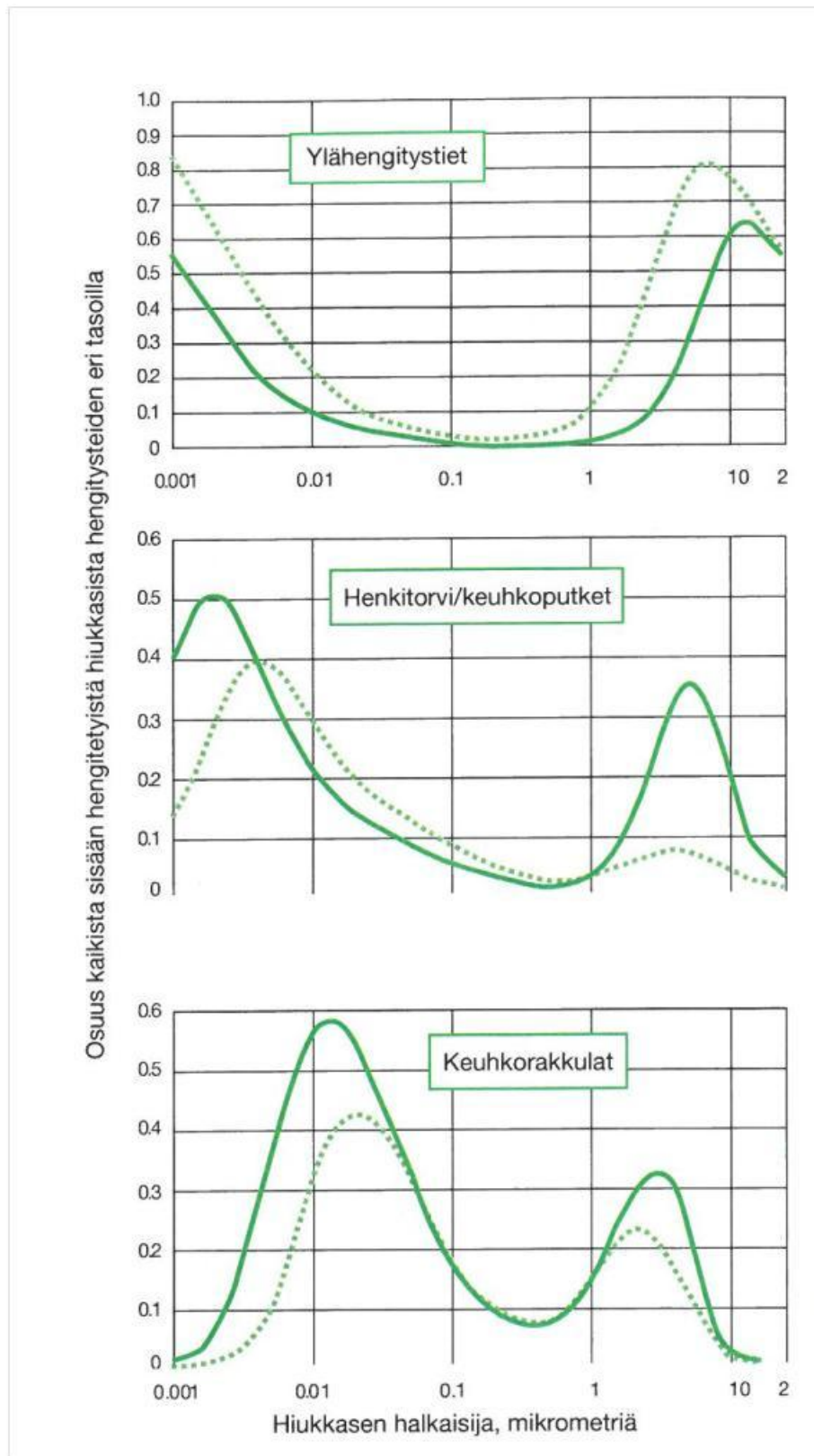
2.2 Hiukkasten synty, leviäminen ja poistuminen

Hiukkasia syntyy mm. teollisuuden-, liikenteen- ja puun palamisen prosesseista. Hiukkasia muodostuu myös erilaisen kulumisen myötä. Ympäristöstäkin syntyy hiukkasia mm. siitepölyä sekä tulivuoren tuhkaa [4]. Pistemäisistä lähteistä tulleiden hiuk-

kasten pitoisuudet pienenevät matkalla x , kun ne leviävät ja liikkuvat ilmavirran vaikutuksesta. Hiukkasten yhteydessä puhutaan paljon kaukokulkeumasta eli ilmavirrat saattavat tuoda hiukkasia satojen ja jopa tuhansien kilometrien päästä. Tästä hyvänä esimerkkinä naapurimaassamme Venäjällä riehuneet metsäpalot tai Islannin tulivuoren purkaukset, jolloin lentoja jouduttiin perumaan ilmassa leijuneen tuhkan vuoksi. Hiukkaset eivät onneksi leiju ilmassa ikuisesti, vaan laskeutuvat painovoiman taikka sateiden seurauksena kohti maata.

2.3 Hiukkasten terveysvaikutuksia

Karkeasti voidaan sanoa, että mitä pienempi hiukkanen, sitä syvemmälle se pääsee kulkeutumaan keuhkoissa ja sitä suuremmat ovat terveysvaarat. Hiukkasten kulkeutuvuuteen ja terveyshaittoihin ihmisessä vaikuttavat hiukkasten fysikaaliset, ominaisuudet mm. niiden koko ja muoto sekä hiukkasiin sitoutuneiden aineiden kemialliset ominaisuudet kuten, koostumus, liukoisuus, kertyvyys ja toksisuus. [4]



KUVA 2. Sisäänhengitetyn ilman hiukkasten jakauma niiden halkaisijan mukaan. Lepohengitys on merkitty katkoviivalla, suunhengitys yhtenäisellä viivalla [14], [13]

Hyvänä esimerkkinä oheisista ominaisuuksista on asbesti, joka on yleisnimi tietyille luonnon kuitumaisille silikaattimineraaleille. Asbesti pääsee kuitumaisen muotonsa ja pienen kokonsa vuoksi syvälle keuhkoihin. Kuidut ovat muodoltaan pitkulaisia ja kooltaan pieniä (paksuudeltaan yleensä alle 1 μm ja pituudeltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin). Kuidut eivät kuitenkaan poistu keuhkoista normaalin puolustusmekanismin esim. yskimisen tai liukenemisen avulla, vaan ne kertyvät keuhkoihin. Asbestille altistuminen aiheuttaa mm. syöpää, asbestoosia eli keuhkokudoksen arpeutumista sekä keuhkopussin sairauksia. [4]

2.4 Hiukkasten ympäristövaikutukset

Hiukkaset vaikuttavat ilmastoon kahdella eri tavalla eli kylmentävästi ja lämmittävästi vaikutus. Hiukkaset voivat siis joko sitoa tai heijastaa auringosta tulevaa säteilyä. Hiukkaset ovat myös mukana pilvien muodostumisessa, jossa ne toimivat pilvipisaroiden tiivistymisytiminä. Hiukkasilla on kuitenkin todettu olevan viilentävä vaikutus eli ne heijastavat enemmän säteilyä kuin sitovat. [4]

3 LAINSÄÄDÄNTÖ

Lainsäädäntö määrää yleiset toimintaohjeet. Hiukkasiin ja niiden punnituksiin liittyviä määräyksiä ovat mm. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011) ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY.

3.1 Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011)

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011) määrittelee mm. raja-arvopitoisuudet pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) maksimipitoisuuksille ulkoilmassa. Referenssi 1 määrittelee vertailumittausmenetelmät hiukkasmassan mittausten sekä suurimmat sallitut mittausepävarmuudet molempien kokoluokan hiukkasmittauksille. [18]

3.2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2008/50/EY)

Direktiivi ilmanlaadusta ja sen parantamisesta, (CAFE Direktiivi) 2008/50/EY, tähtää mm. välttämään, ehkäisemään tai vähentämään epäpuhtauksien haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen ja ympäristöön. Direktiivi pitää sisällään mm. raja- ja tavoitearvot tiettyjen epäpuhtauksien suurimmille sallituille pitoisuuksille ulkoilmassa. Raja-arvojen seurantaan varten direktiivissä on myös määritelty kullekin epäpuhtaudelle vertailumenetelmät sekä mittauksille laatutavoitteet. CAFE-direktiivi määrittelee ulkoilman hiukkasmassasta ns. aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 μm :n ja alle 2.5 μm :n kokoiset hiukkaset määrittellen ne lyhenteellä PM_{10} ja $\text{PM}_{2.5}$. [2]

4 MENETELMÄSTANDARDIT

Standardit olivat apuna ja toimivat ohjeina punnituskäppin suunnittelussa. Standardien ohjeiden myötä punnituskäppin tekoon hahmottui lopulta tarvittavat välineet, jotta punnituskäppi saatiin luotua. Käytetyt standardit olivat: (EN-14907 ja EN-12341) sisältävät tarkat kuvaukset näytteenottojärjestelmästä, suunnittelukriteereistä hiukkaskokoluokkaan erottavan näytteenottopään valmistamisesta, suodattimien punnitukseen käytettävän järjestelmän ympäristöolosuhteet, punnitukseen käytettävän vaa'an mitta-ominaisuudet, punnituksen ohjeistuksen, mittausepävarmuuden yms.. [3;12]

SFS-EN-14907: Referenssimenetelmä (gravimetrinen) pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) massapitoisuuden määrittämiseksi ulkoilmassa[12].

EN-12341: Referenssimenetelmä (gravimetrinen) hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) massapitoisuuden määrittämiseksi ulkoilmassa[3].

5 TAVOITE

Tavoitteena oli valmistaa punnituskäppi, joka täyttää standardien SFS-EN 14907 (2005) ja EN 12341 (1998) mukaiset vaatimukset. Standardissa on määritelty mm. punnitusolosuhteet, mittaustarkkuus ja toistettavuus punnituksille (suodattimille) sekä muita säilöntään, kuljetukseen ja suodattimien tasaantumisaikoihin liittyviä vaatimuk-

sia. Menetelmä on tarkoitettu akkreditoitua sekä käyttää sitä jatkossa hiukkasvertailumittauksissa vertailumenetelmänä.

6 SUHTEELLINEN KOSTEUS

Suhteellinen kosteus ilmaistaan prosenttiosuutena, jossa määritellään tietyssä lämpötilassa ilmaan ”mahtuvan” (g/m^3) ja ilmassa olevan vesihöyryn määrä (g/m^3). Ilmaan ”mahtuvan” kosteuden (veden) määrä riippuu lämpötilasta sekä vallitsevasta paineesta eli mitä lämpimämpää ilma on ja mitä suurempi on ilmanpaine, sitä enemmän kosteutta (vettä) mahtuu ilmassa olemaan. Suhteellisen kosteuden ollessa 100 % ilmaan ei pysty haihtumaan/höyrystymään enempää vettä, vaan lisäveden tullessa vallitsevaan tilaan, se tiivistyy pois. Suhteellinen kosteus laskee, mikäli lämpötila nousee tai paine pienenee, kun taas paineen nousu tai lämpötilan lasku merkitsevät suhteellisen kosteuden kasvamista.

Kosteutta voidaan haluttuun tilaan luoda erilaisilla kostuttimilla, kuten höyry, sumutus, haihdutus, Perma Pure ja ultraäänikostuttimilla. Monet kostutusmenetelmät soveltuvat kuitenkin paremmin suurten tilojen kuten huoneen, talon ja jopa hallien kostuttamiseen. Kosteutta syntyy myös ihmisestä tapahtuvan haihtumisen eli hikoilun myötä.

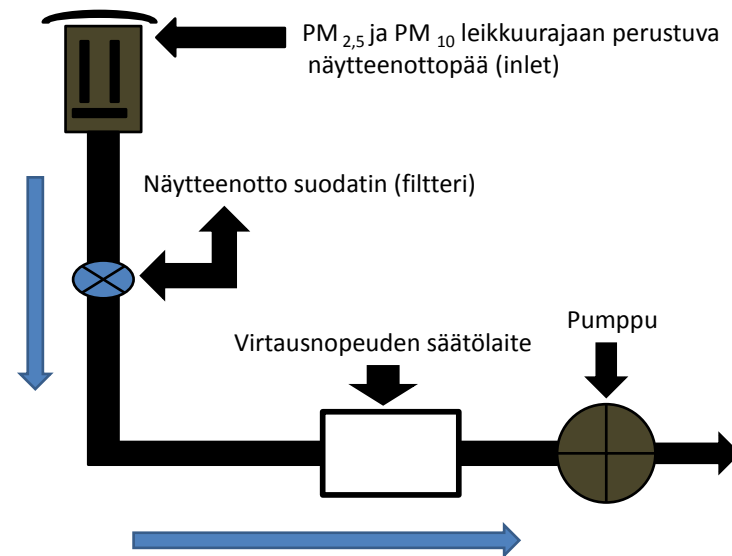
7 MITTAUSMENETELMÄT

Mittausmenetelmissä kuvataan yleisesti, kuinka pienhiukkasten massakonsentraatio määritetään. Keskeisimmät tekijät massakonsentraation määrittämisessä ovat näytteenotto, suodattimet ja punnitus. Kyseiset menetelmät muodostavat punnitukseen liittyvän prosessin.

7.1 Näytteenotto

Näytteiden keruu tapahtuu näytteenottopäiden (inlettien) avulla eli ne päästävät lävitseen tietyn kokoisia hiukkasia, $\text{PM}_{2.5}$ tai PM_{10} (KUVA 3.). Näytteenottopään läpi imeetään vakiovirtausnopeudella ilmaa ($2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ (LVS) tai $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (HVL)), josta hiukkaset jäävät suodattimeen [3;12]. Hiukkasten massakonsentraatio lasketaan yleensä vuoro-

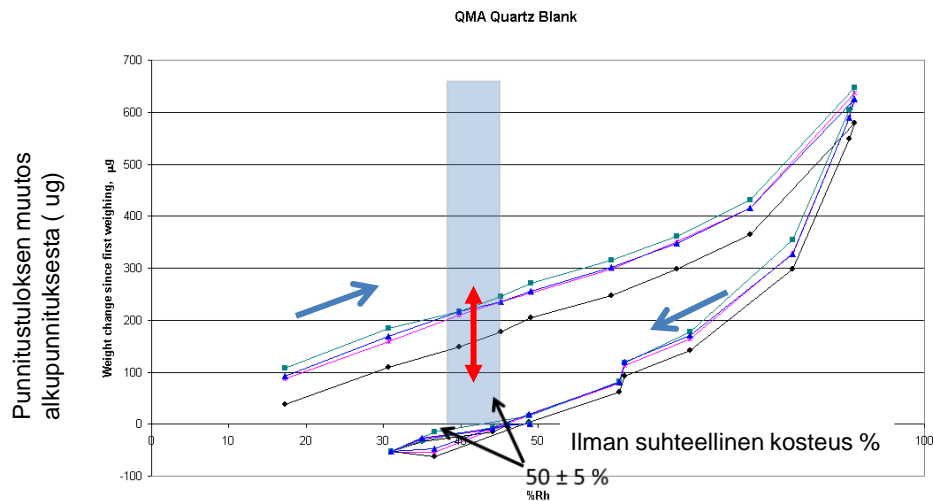
kausiarvona yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keruussa olleiden suodattimien punnitustulos jaetaan käytetyllä virtausmäärällä. Virtausmäärä riippuu siitä kummalla LVS (Low Volume Sampling method) vai HVS (High Volume Sampling method) virtausnopeudella keruuta on suoritettu [3;12]. Keruun kesto on myös merkittävä, jotta pystytään laskemaan, kuinka suuri on kokonaisvirtauksenmäärä.



KUVA 3. $\text{PM}_{2.5}$ ja PM_{10} referenssimenetelmään perustuva näytteenkeruu [3;12]

7.2 Suodattimet

Hiukkasnäytteiden keruussa voidaan käyttää erilaisia suodatinmateriaaleja, joita ovat mm. selluloosa, kvartsi ja teflon (KUVA 3). Käytetystä materiaalista riippuu kosteuden absorboituminen suodatin materiaaliin (onko palautuva vai ei palautuva prosessi). Keruussa olevat suodattimet saattavat kastua keruun aikana, riippuen säästä ja kosteusprosentista. Kosteusvaikutusten takia on tärkeää, että suodattimia tasapainotetaan punnituskaapissa, jossa on standardien SFS-EN 14907 (2005) ja EN 12341 (1998) mukaiset olosuhteet. Kuvasta 4. nähdään kosteuspitoisuuden vaikutus kvartsisuodattimiin. Kyseiset suodattimet ovat tyhjiä eli niitä ei ole käytetty keruussa. Kvartsisuodattimet eivät oikein palaudu kosteuden muuttuessa. Kosteuden ja siitä johtuvan punnitustuloksen muutos on huomioitava mm. mittausepävarmuutta laskettaessa.



Viite: Paul Quincy, 2009, NPL, UK, Uncertainty in Air Pollution Measurements (for beginners), JRC Ispra

KUVA 4. Kvartsisuodattimien kosteuspitoisuuden vaikutus punnitustulokseen [9].

7.3 Punnitus

Punnitus tapahtuu tilassa, jossa on menetelmästandardien vaatimat olosuhteet ja telineet suodattimia varten. Punnituksissa käytetään mikrovaakaa, joka voidaan kytkeä tietokoneeseen. Punnituksista saadut tulokset saadaan tällöin suoraan tietokoneelle ja niitä voidaan verrata punnitustilan olosuhdetietoihin. Punnituksissa ongelmia saattaa aiheuttaa kosteus, joka vaikuttaa suoraan suodattimeen tai näyttemateriaaliin eli suodattimiin jääneisiin hiukkasiin (hiukkasten hygroskooppisuus – massa kasvaa kosteuden vaikutuksesta; kosteuspitoisuus) [9]. Suodattimien punnituksissa käytetään pinsettejä, joten mittaja vaikuttaa huolellisuudellaan punnitustulokseen. Punnitustulokseen vaikuttaa myös:

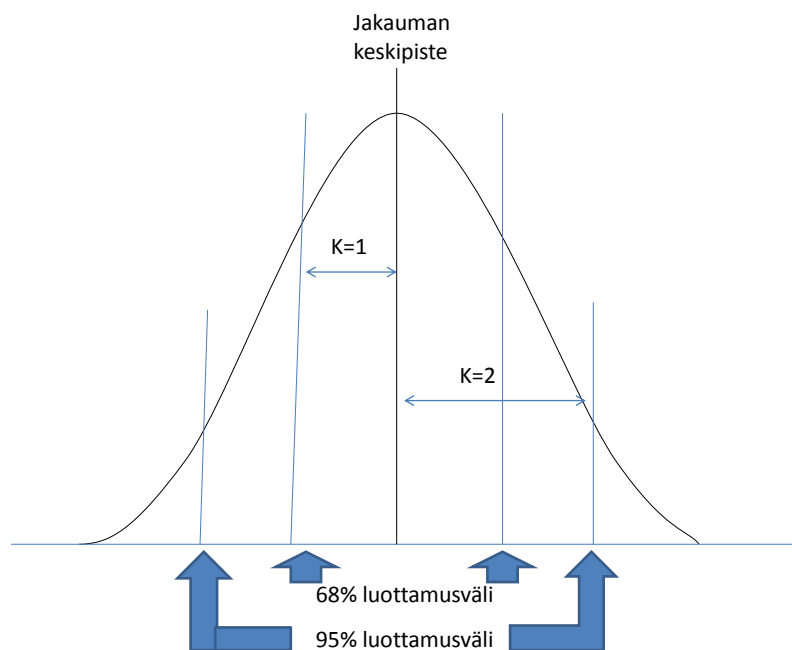
- Hiukkasmateriaalin haihtuvuus (massa häviää haihtumisen myötä; lämpötila)
- Näytteenkeruun vaikutukset, säilytys ja kuljetus
- Kemialliset reaktiot, kaasumaisten yhdisteiden absorptio suodattimelle
- Sähköstaattisuuden aiheuttama ilmiö suodatinmateriaalissa
- Vaa'an mittaussominaisuudet (tarkkuus, liukuma) [9]

8 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausepävarmuus on mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaustuloksen vaihteluväliä. Mittausepävarmuuden laatimiseen on olemassa hyviä ohjeita ja standardeja, joita voidaan erilaisissa mittaustuloksissa ja johtopäätösten teossa hyödyntää. Epävarmuuslaskelmassa kaikki toisistaan riippumattomat epävarmuuskomponentit lasketaan yhteen neliöllisesti, näin ollen ne eivät kumoja toisiaan, mikäli yksittäinen epävarmuuskomponentti on negatiivinen. Epävarmuutta laskettaessa yksittäisistä epävarmuuskomponenteista on tunnettava jakaumat. [8]

Yleisin jakauma on normaalijakauma, joka soveltuu hyvin toistetuille mittauksille ja epävarmuuslaskelmille (KUVA 5). Normaalijakaumassa mittausten tulokset jakautuvat siten, että jakauman keskikohta x on todennäköisin. Mittaustuloksen todennäköisyys pienenee sitä mukaan, kun etäännyttään jakauman keskikohdasta. Mittaustuloksista 68 % sijaitsee välillä $x \pm \sigma$ ja 95 % tuloksista sijaitsee välillä $x \pm 2\sigma$. [8]

Toinen yleisesti käytetty jakauma on tasajakauma. Tasajakaumalla voidaan 100 % varmuudella tietää, että mittaustulos sijaitsee välillä $x \pm a$ ja hajonta saadaan jakamalla vaihteluvälin puolikas (a) tekijällä $\sqrt{3}$. [8]



KUVA 5. Normaalijakauma [8]

Standardiepävarmuudella, u , tarkoitetaan yleensä mittaustulosten hajontaa. Kuten edellä todettiin mittaustulosten hajonta voi noudattaa eri jakaumaa ja laskettaessa yhteen mittausten epävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä, tulee huolehtia, että mittaustulosten hajonta voidaan esittää yhteismitallisessa muodossa standardiepävarmuutena: [8]

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2)} \quad (1)$$

missä

u_c on kaikki mittausepävarmuuteen vaikuttavien epävarmuuksien yhdistetty standardiepävarmuus

u_1, \dots, u_n = mittausepävarmuuteen vaikuttavat yksittäiset standardiepävarmuudet

Sopimuksen mukaan laajennettu mittausepävarmuus esitetään 95 % luottamusvälillä (normaalijakauman tilanteessa):

$$U = 2 \cdot u_c \quad (2)$$

[8]

9 LAITTEET JA VÄLINEET

Tärkeimpinä laitteina olosuhteiden luonnissa toimivat vesihautet ja Perma Pureet. Punnituskaapin suodattimien punnitusta varten tarvittiin lisäksi vaaka, suodatin tuuloilman hiukkasten ja epäpuhtauksien poistamista varten ja alusta suodattimia varten. Näiden lisäksi tarvittiin myös vakautta tuottavia tekijöitä, kuten lämpöeristeet ja pienoista hienosäätöä varten massavirtaussäätimet. Toimivuuden tarkkailua varten tarvittiin lämpötila- ja kosteusanturi sekä Envidas-tiedonkeruujärjestelmä. Kosteuden luominen aloitettiin kuplailukostuttajalla (KUVA 6). Vaisalan kosteuskaskin toimi apuna kosteuden säätämisessä (2. Vaisalan kosteuskaskin).

9.1 Kuplailukostuttaja

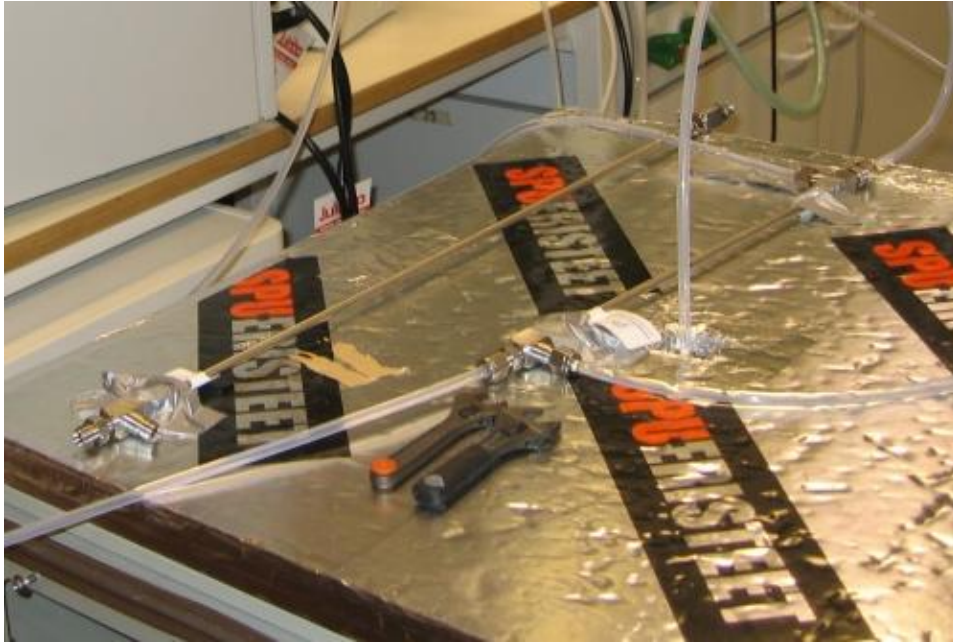
Kosteuden luominen aloitettiin kuplailukostuttajalla, jonka toiminta perustuu kuivan ilman kostuttamiseen eli tuleva ilmvirtaus johdetaan putkea pitkin kuplittajassa olevaan veteen (KUVA 6). Ilma kuplittaa vettä, kun se samalla puhaltaa kostutettua ilmaa kuplittajan toisesta päästä ulos.



KUVA 6. Kuplailukostuttaja [16]

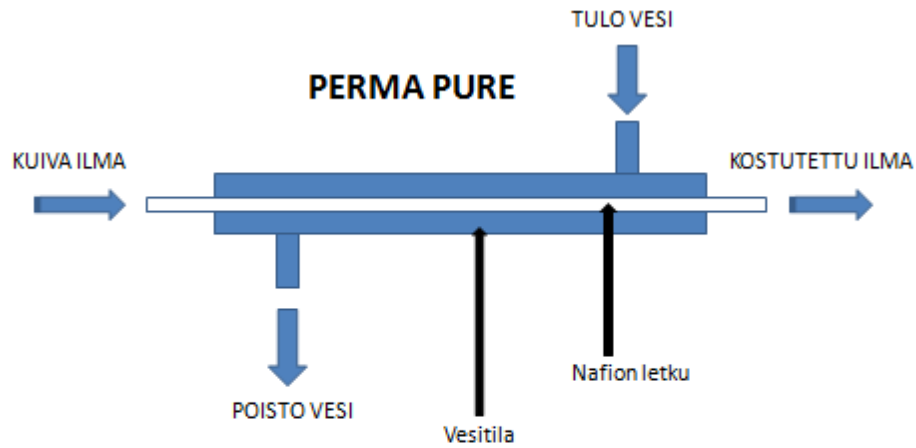
9.2 Perma Pure

Punnituskaappiin kosteus luodaan käyttämällä Perma Pure kostutinta (KUVA 7). Perma Puren avulla saadaan luotua vakiokosteutta, jolla voidaan tietyssä lämpötilassa (ja paineessa) luoda suhteelliseksi kosteusprosentiksi menetelmästandardien vaatima 45 – 55 % [3;12]. Käytetyt Perma Pureet ovat mallia MD-110-24S ja MH-110-12 S.



KUVA 7. Perma Pure (kostutin ja kuivain) [16]

Perma Pure kuivaimet ja kostuttimet toimivat laajoilla lämpötila-, paine- ja virtausalueilla kuivaten tai kostuttaen kaasuvirtoja. Perma Puren rakenne on sellainen, että siinä on kaksi putkea päällekkäin. Sisäputki on nafion- materiaalista valmistettua letkua, joka päästää vesimolekyylit helposti lävitseen ja ulkoputki voi olla terästä (haponkestävä) tai muovia (teflon). Tarvitaan siis pitoisuusero kosteuden suhteen molempien putkissa kulkevien kaasu- tai nestevirtauksen välille. Toiminta MD-malleissa perustuu kosteuden siirtymiseen näytevirrasta vastakkaiseen suuntaan tulevaan kuivaan (puhdistavaan) kaasuvirtaukseen. Tällaisella toiminnalla voidaan näytevirtaus kuivata kosteudesta. Toiminta MH-malleissa on päinvastainen kuin MD-malleissa eli kosteus siirtyy kosteasta kaasu- tai vesivirtauksesta näytevirtaukseen. Tällöin Perma Pure toimii näytevirtauksen kostuttimena (KUVA 8). [5;6]



KUVA 8. Perma Pure (kostutus)

9.3 Vesihauteet

Ohessa ovat vesihauteiden tekniset tiedot (KUVAT 9-10):

• Merkki	Julabo F12-ED	Julabo MB-5	
• Lämpötilansäätörajat	-20 – 100 °C	20 – 100 °C	
• Lämpötilanvakaus	±0,03 °C	±0,02 °C	
• Lämpötilansäätötarkkuus	0,1 °C	0,1 °C	
• Vedenkierto (maksimi)	15 l/min	10 l/min	
• Vedenmäärä	3 - 4,5 l	3 – 4,5 l	[5,6]



KUVA 9. Vesihaude [16]



KUVA 10. Kytkenä / liittokset [16]

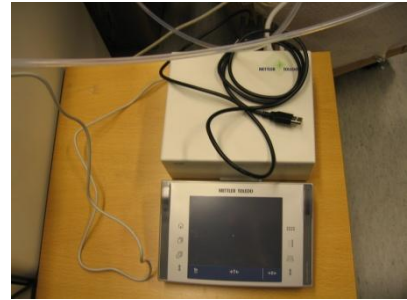
9.4 Vaaka

Ohessa ovat vaa'an tekniset tiedot (KUVAT 11–12):

• Merkki	METTLER TOLEDO XP2U
• Maksimi kapasiteetti	2,1 g
• Luettavuus	0,0001 mg
• Toistettavuus (nimellispainolla)	0,00025 mg (2g)
• Toistettavuus (pienellä painolla)	0,0002 mg (0,2g)
• Lineaarisuus poikkeama	0,0015 mg
• Epäkeskisyyden poikkeama (testipainolla)	0,0025 mg (1g)
• Herkkyys offset (testipainolla)	0,03 mg (2g)
• Herkkyys vakaus	0,0001 % /a [7]



KUVA 11. Vaaka (Punnitusyksikkö) [16]
sikkö) [16]



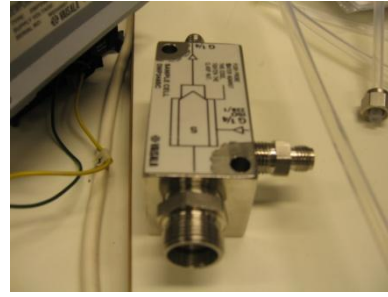
KUVA 12. Vaaka (Ohjausyksikkö) [16]

9.5 Muut laitteet ja välineet:

- Lämpötila ja kosteusanturi (Vaisala) KUVAT 13–14
- Virtaus säädin (Tylan) KUVAT 15–16
- Suodatinkotelo (punnituskaapin ilman suodatin) KUVA 17
- Lämpötila eristeet (SPU-ERISTEET) KUVA 18
- [Ionisointilaite (METTLER TOLEDO)] Huom. Ei saatu asennettua!
- Envidas tiedonkeruu järjestelmä



KUVA 13. Ohjausyksikkö (Vaisala) [16]



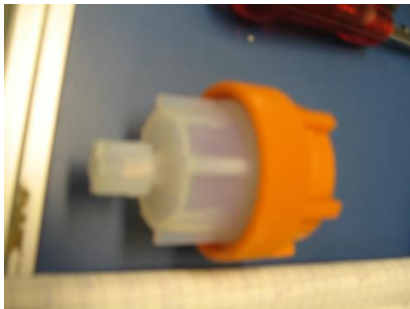
KUVA 14. Anturin testauskammio[16]



KUVA 15. Virtaus säädin (Tylan) [16]



KUVA 16. Virtaus säädin[16]



KUVA 17. Suodatinkotelo[16]



KUVA 18. Lämpöeriste [16]

10 TYÖN SUORITUS

Työn suoritus on jaettu eri työ- ja toimintavaiheisiin punnituskaapin valmistamisessa. Vaiheissa kerrotaan myös punnituskaapin testauksesta ja olosuhteiden luomisesta. Jokaisessa vaiheessa oli omat ongelmat ja hankaluudet.

10.1 Punnituskaapin koko

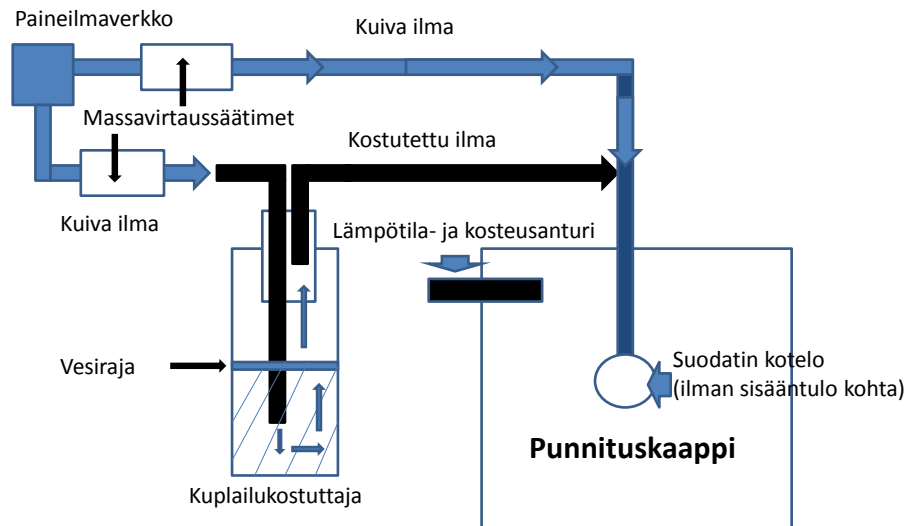
Punnituskaapin valmistelussa oli ensin huomioitava punnituskaapin koko ja valmistus eli tilataanko se vai tehdäkö se itse. Kaapin koon selvittämiseksi tehtiin koekaappi

eli otin mallia jo aikaisemmin tehdystä punnituskäapista. Punnituskäappi koostui kahdesta samankokoisesta metalliläatikosta, jotka yhdistettiin toisiinsa. Yhteensä metalliläatikat ovat kooltaan n. sivut (60 x 60) cm ja korkeus 45 cm.

10.2 Koepunnituskäapin testaus (olosuhteiden luominen ja vakiinnuttaminen)

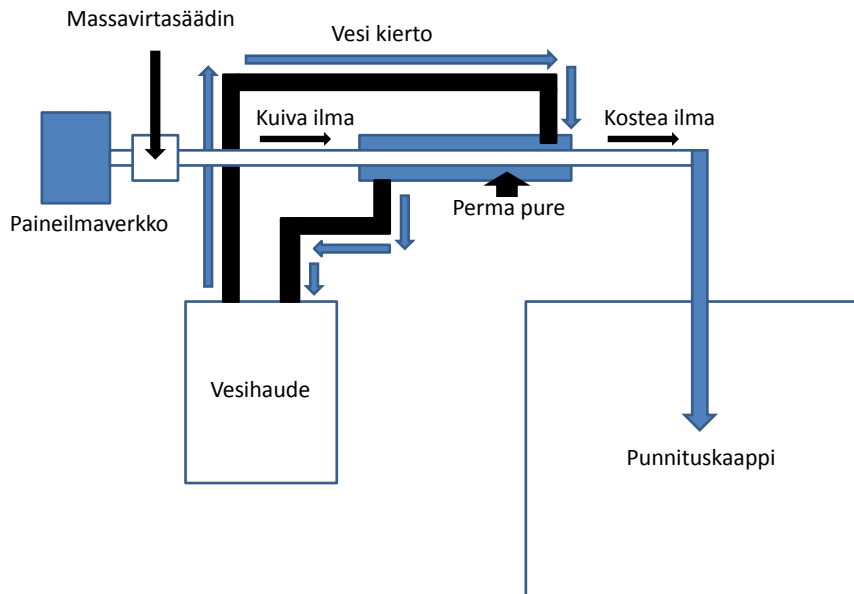
Kokeellisen punnituskäapin testauksessa käapin koko oli ensimmäinen tutkimisen aihe eli kuinka helposti saadaan vakaat olosuhteet luotua. Seuraavaksi oli mietittävä, kuinka vaadittavat olosuhteet luodaan punnituskäappiin. Olosuhteista ensimmäiseksi mietin kosteuden luomista eli miten saadaan luotua suhteelliseksi kosteusprosentiksi 45–55 [3;12]. Testaus aloitettiin sekoittamalla kuivaa ja kosteaa ilmaa, joista kuivan tai suhteellisen kuivan ilman sain suoraan paineilmaverkosta ja kostean ilman kuplailukostuttimesta.

Kuplailukostuttajasta ulostullut kostutettu ilma sekoitetaan kuivan ilman kanssa ja johdetaan siitä punnituskäappiin (KUVA 19.). Kuplailukostuttajalla voidaan luoda punnituskäappiin sopiva suhteellinen kosteus ja suhteellisen vakaakin, mutta kuplittajan kostutusteho pikkuhiljaa kuitenkin katoaa, kun vesimäärä kuplittajassa vähenee. Kokeen perusteella olin luottavainen, että kuivaa ilmaa kostuttamalla saadaan vakaa kosteus käappiin luotua.



KUVA 19. Kosteuden luominen punnituskaappiin.

Seuraavaksi testasin kosteuden luomisessa vesihaudetta ja Perma Pure kostutinta. Systemissä Perma Pure kostuttimeen ajettiin vettä vesihauteesta, jonka lämpötila oli säädettävissä. Tämän jälkeen kostuttimeen ohjattiin letkua pitkin kuivaa ilmaa eli saatiin luotua kosteutta, mutta myös tulevaa ilmaa saatiin kylmennettyä (KUVA 20.). Kaapin lämpötilaa ei kuitenkaan saatu asettumaan menetelmästandardien vaatimalle tasolle 19–21 °C välille, mutta aika lähelle tuota 21 °C:n ylärajaa päästiin. Koekaappi osoitautui kuitenkin kohtuullisen hyväksi, joten kaappia ei tarvinnut vaihtaa.



KUVA 20. Vesihaude ja Perma Pure kostuttajan kytkennät punnituskaappiin.

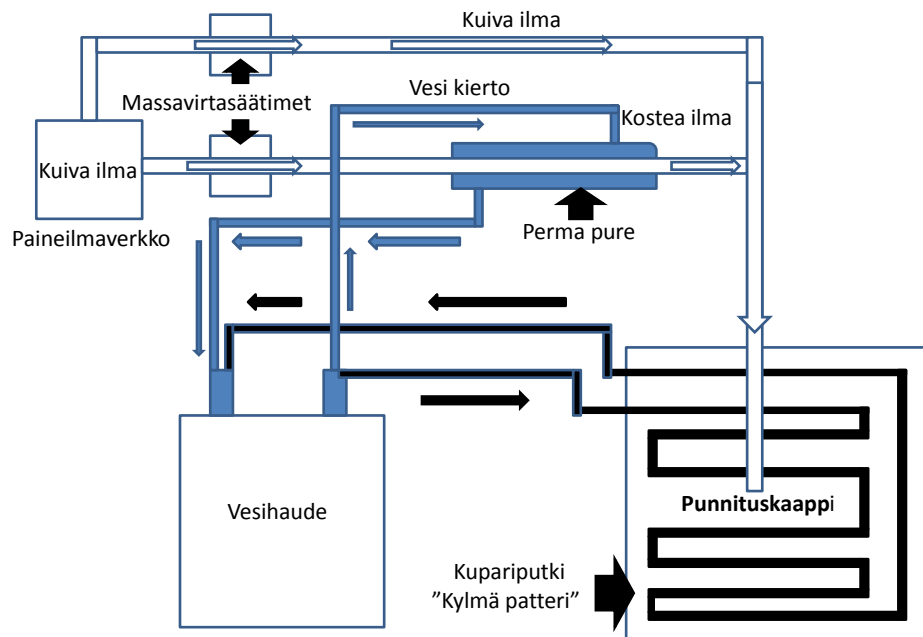
10.3 Punnituskaapin lämpötilan säätö

Kaappiin tehtiin etukansi pleksilasista, johon porattiin kaksi reikää, jotta se mahdollistaisi käsien työntämisen kaappiin. Lisäksi kaappiin laitettiin kanteen ns. kylmäpatteri, joka toimii kaapin jäähdyttimenä (KUVA 21). Kylmäpatteri luotiin käyttämällä kupariputkea, joka laitettiin kiertämään kaapinkanteen. Kupariputki kiinnitettiin ruuvamalla metallilevyt kupariputkia vasten kaapinkanteen. Levyt toimivat myös kupariputkien johtimina. Kaappiin tehtiin myös tarvittavat rei'itykset, putkia, letkuja ja antureita varten.



KUVA 21. Kylmäpatteri

Tämän jälkeen testasin kylmäpatterin toimivuuden (KUVA 22). Johdin vesihauteesta vettä, jonka lämpötilaksi säädin 5 astetta punnituskaapin kannessa sijaitsevaan kylmäpatteriin. Kylmäpatterin avulla pääsin menetelmästandardien vaatimaan 19–21 °C sisälle eli lähelle 20 °C, mutta säätövaraa alaspäin ei juuri ollut.



KUVA 22. Kylmäpatterin lisäys.

Kaapin katto sekä sivu- ja takaseinät eristetään (KUVAT 23 ja 24). Eristämisen jälkeen lämpötila saatiin laskemaan $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten säätövaraa tuli huomattavasti lisää. Eristäminen toi myös vakautta punnituskaapin olosuhteisiin eli ulkoiset olosuhteet eivät vaikuttaneet enää niin paljoa.



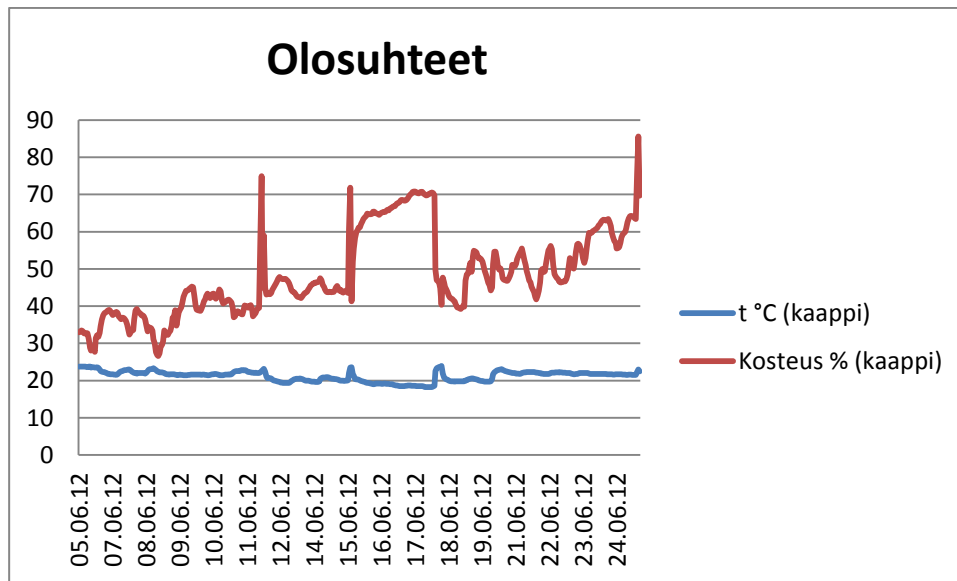
KUVA 23. Ilman eristyksiä



KUVA 24. Punnituskaappi eristämisen jälkeen.

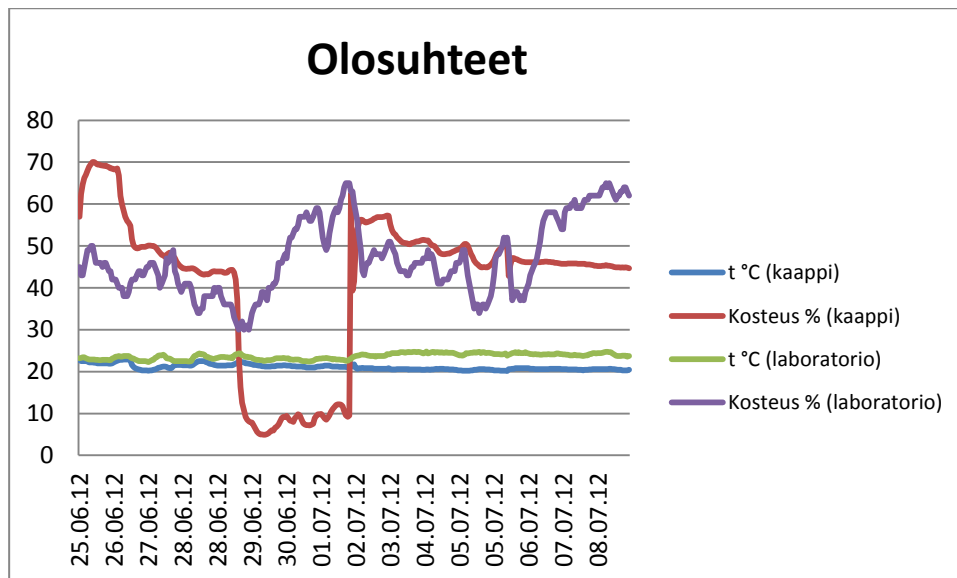
10.4 Punnituskaapin olosuhteiden luominen

Punnituskaappiin haluttujen vakaiden olosuhteiden luominen osoittautui todella hankalaksi, kuten kuvasta 25. voi päätellä. Kyseinen aikasarja kattaa todella paljon erilaisia testauksia ja kokeiluja erilaisista säädöistä. Pitkiä viikon mittaisia selkeitä testauksia ei ajanpuutteen takia voitu tehdä. Testaukset kestivät muutamista tunneista muutamisiin päiviin.



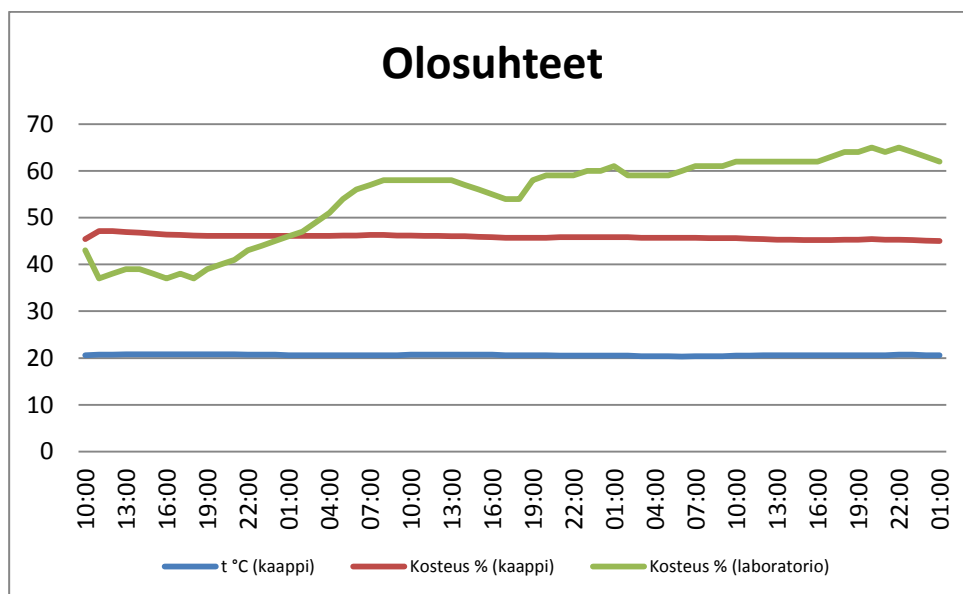
KUVA 25. Olosuhdeasetuksien säätö.

Seuraavaksi aloin etsiä syytä, minkä takia punnituskaappi ei tahtonut pysyä halutuissa olosuhteissa. Pystyitin anturit myös laboratoriotilaan ja tutkin voisiko syy punnituskaapin olosuhdeheilahduksille johtua punnituskaapin ulkoisen tilan olosuhdemuutok-
sista. Kuvan 26. tiedoista voidaan todeta, että punnituskaapin olosuhteisiin saattoi vaikuttaa myös laboratoriotilan olosuhteet.



KUVA 26. Laboratorion- sekä punnituskaapin olosuhteet.

Huomattuani suuren vaihtelun laboratoriotilan olosuhteissa yritin kompensoida sen vaikutusta punnituskaappiin lisäämällä kaappiin tulevan virtauksen määrää. Kuten kuvasta 27. näkee, onnistuin aika hyvin vakiinnuttamaan olosuhteet punnituskaappiin.

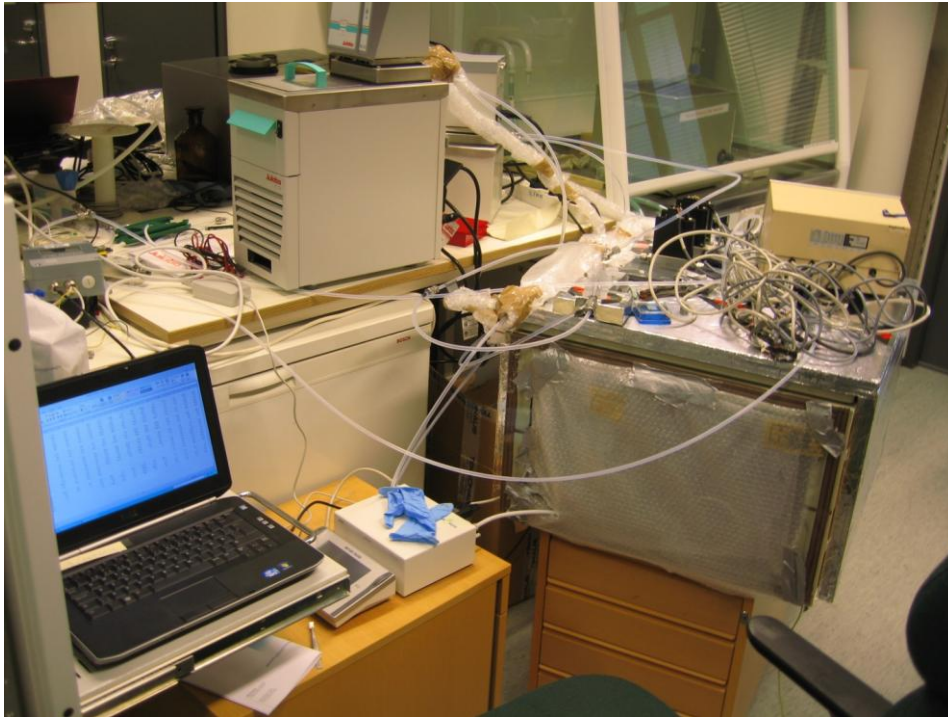


KUVA 27. Punnituskaapin olosuhteiden vakiinnuttaminen (laboratoriotilan kosteus olosuhteista huolimatta).

Olosuhteet olivat 64 tuntia (6.7.2012 klo 10:00 – 9.7 klo 01:00) halutuissa rajoissa eli suhteellinen kosteus oli 45–50 % ja lämpötila 19–21°C. Ajanpuutteen takia vakaampia olosuhdeasetuksia ei enää voitu testata, vaan seuraavaksi oli asennettava vaaka punnituskaappiin ja aloitettava punnitukset sekä suodattimien testaukset.

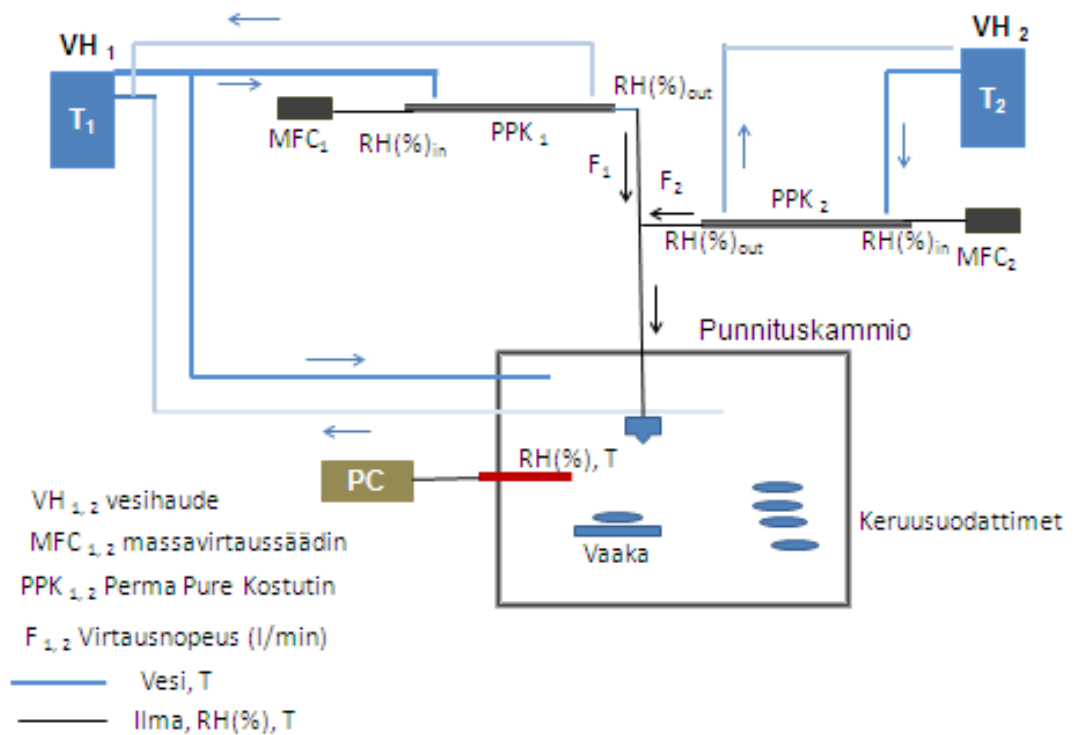
10.5 Punnituskaappi (mitat, laitteet ja kytkentäkaavio)

Punnituskaappi sai lopulta ongelmien ja pohdintojen jälkeen oheiset mitat, laitteet ja menetelmät (KUVA 28). Punnituskaappi on kooltaan n. sivut (60 x 60) cm ja korkeus 45 cm. Punnituskaappi pitää sisällään vaa'an, alustan filttreille sekä standardien SFS-EN 14907 (2005) ja EN 12341 (1998) mukaiset olosuhteet. Olosuhteet ovat kosteuden osalta 45–55 % ja lämpötilan osalta 19–21 °C [3;12].



KUVA 28. Kokonaisuus

Punnituskaappiin on asennettu kiertävä kupariputki, joka on pultattu metallilevyllä kiinni kanteen. Kupariputki kattaa koko katonalan. Vesi kupariputkeen saadaan vesihauteessa olevan vesikierron avulla. Vesihauteessa on sekä jäähdytys että lämmitys-toiminnot. Muuttamalla vesihautteen lämpötilaa muuttuu myös punnituskaapin lämpötila ja kosteus. Kosteutta saadaan punnituskaappiin luotua Perma Pure -kostuttimien avulla. Kostuttimiin johdetaan ilmaa massavirtasäätimien kautta. Olosuhteiden säätö tapahtuu siis kahdella eri tavalla eli massavirtasäätimien avulla voidaan muuttaa kostuttimiin menevän ilman virtausnopeutta ja vesihauteiden avulla voidaan säätää kylmäpatteriin ja kostuttimiin menevän veden lämpötilaa. Punnituskaapin toiminta on kuvattu kuvassa 29.



KUVA 29. Punnituskaappi

11 MITTAUKSET

Mittaukset ovat etukäteen suunniteltuja ja ne suoritettiin Ilmatieteen laitoksen, ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion tiloissa. Mittaukset käsittelevät punnituskaapin toimivuutta.

Standardien SFS-EN 14907 (2005) ja EN 12341 (1998) edellyttämät mittaukset

- Punnituskaappi
- Vaaka
- Suodattimet

Olosuhteiden muutosten vaikutukset suodattimien punnitustuloksiin

- Lämpötilan muutos
- Kosteuden muutos
- Lämpötilan ja kosteuden muutos

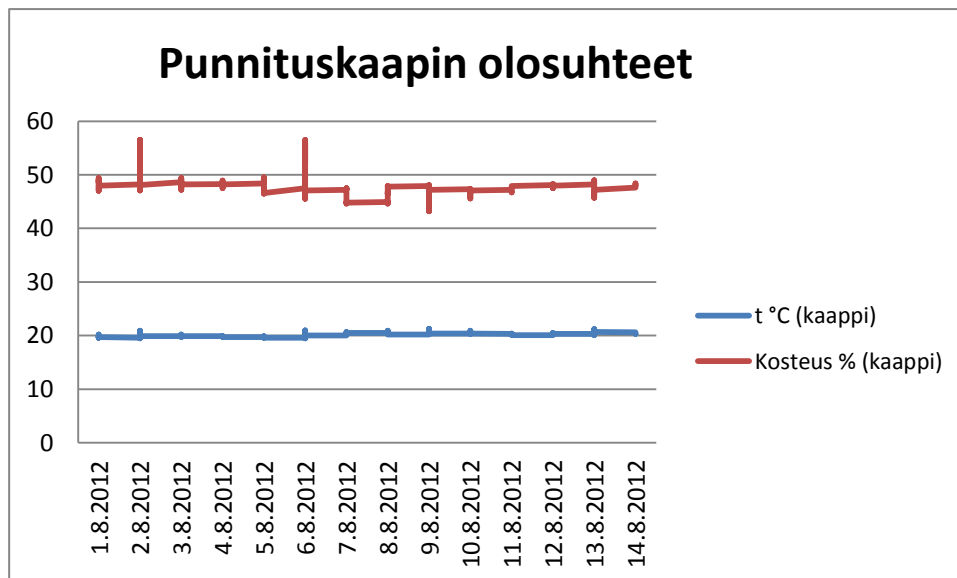
12 TULOKSET

Tulokset olosuhdetiedoista on kerätty envidas-ohjelmalla tietokoneelle. Envidaksesta tulokset on siirretty Exceliin, jolla niistä on piirretty kuvaajat. Punnitustulokset on kerätty osittain käsin kirjoittamalla sekä vaa'an (Metler Toledo) omalla ohjelmalla, josta ne on myös siirretty Exceliin.

12.1 Punnituskaappi

Punnituskaapin olosuhteiden tuli suhteellisen kosteuden osalta olla 45–55 % ja lämpötilan osalta 19–21 °C[3;12]. Punnituskaapin olosuhteet eivät suodattimien punnitusten aikana pysyneet aivan halutuissa olosuhteissa (KUVA 30). Kuvasta 30. näkyvät viivat johtuvat suurimmaksi osaksi käsiluukkujen avaamisesta ja huoneilman kosteuden kulkeutumisesta punnituskaappiin.

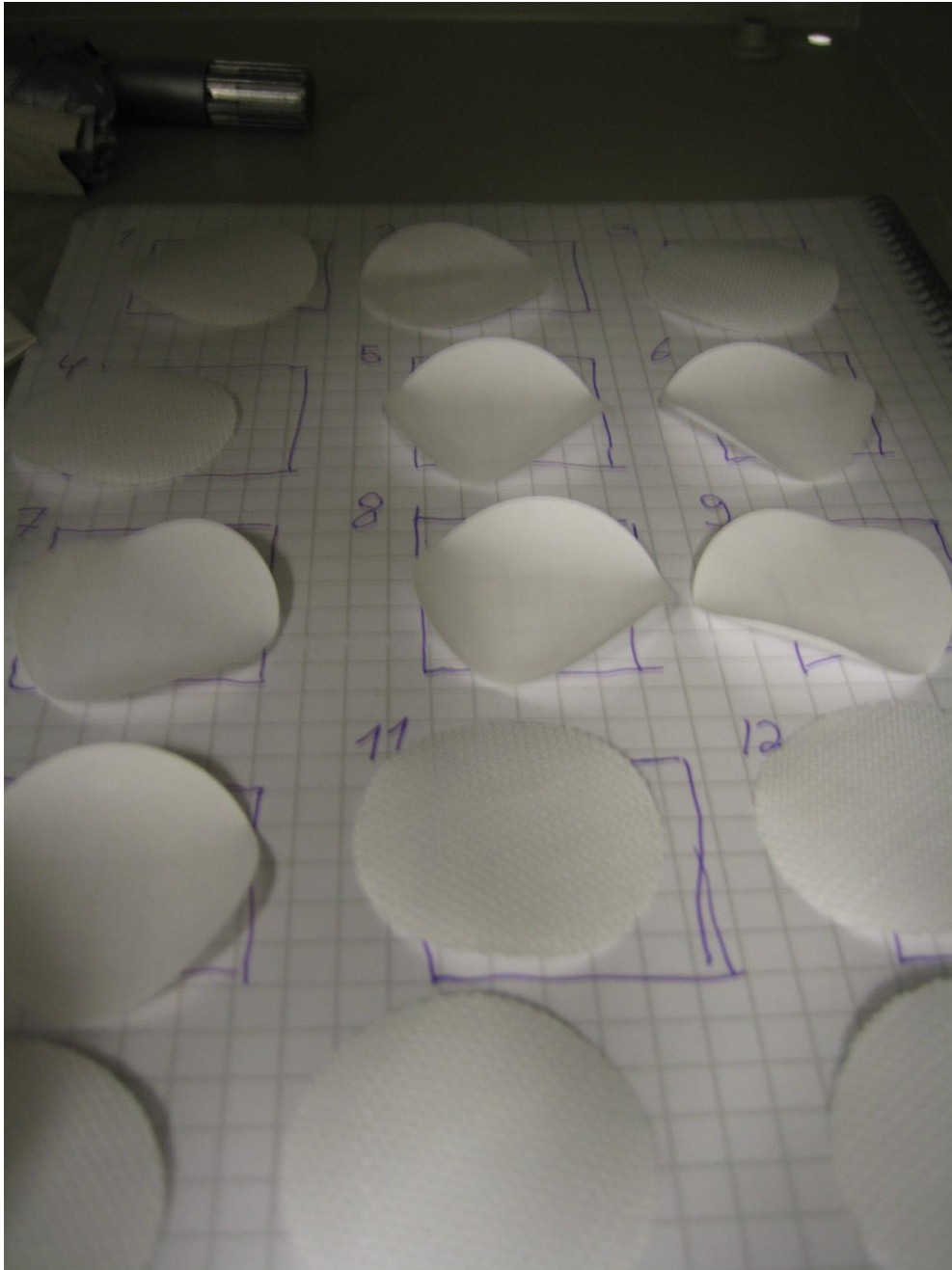
- Lämpötila oli ollut 19,5 - 21,3, seitsemän tuntiarvoa 321 arvosta oli ylittänyt sallitun 21 °C.
- Kosteus ollut 43,2 -56,5 %, 24 tuntiarvoa 321 arvosta on ylittänyt tai alittanut sallitun 45–55 % suhteellisen kosteuden.



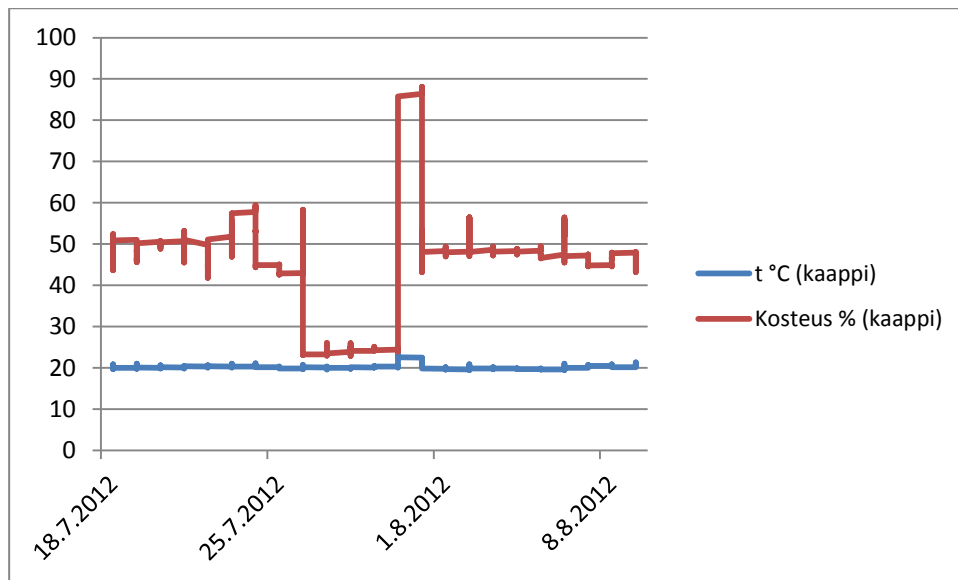
KUVA 30. Punnituskaapin toimivuus menetelmästandardien sisältämissä olosuhteissa punnitus tilanteen aikana.

12.2 Suodattimet ja punnitukset

Punnituksissa käytettiin METTLER TOLEDO merkistä vaakaa ja punnittavina suodattimina oli teflon- ja selluloosasuodattimia (KUVA 31). Punnitusten tavoitteena oli saada toistettavia punnitustuloksia ja tämän jälkeen seurata miten olosuhteiden muutokset vaikuttavat punnitustuloksiin. Kuvasta 32 selviää punnitusten aikana tehdyt olosuhdemuutokset.



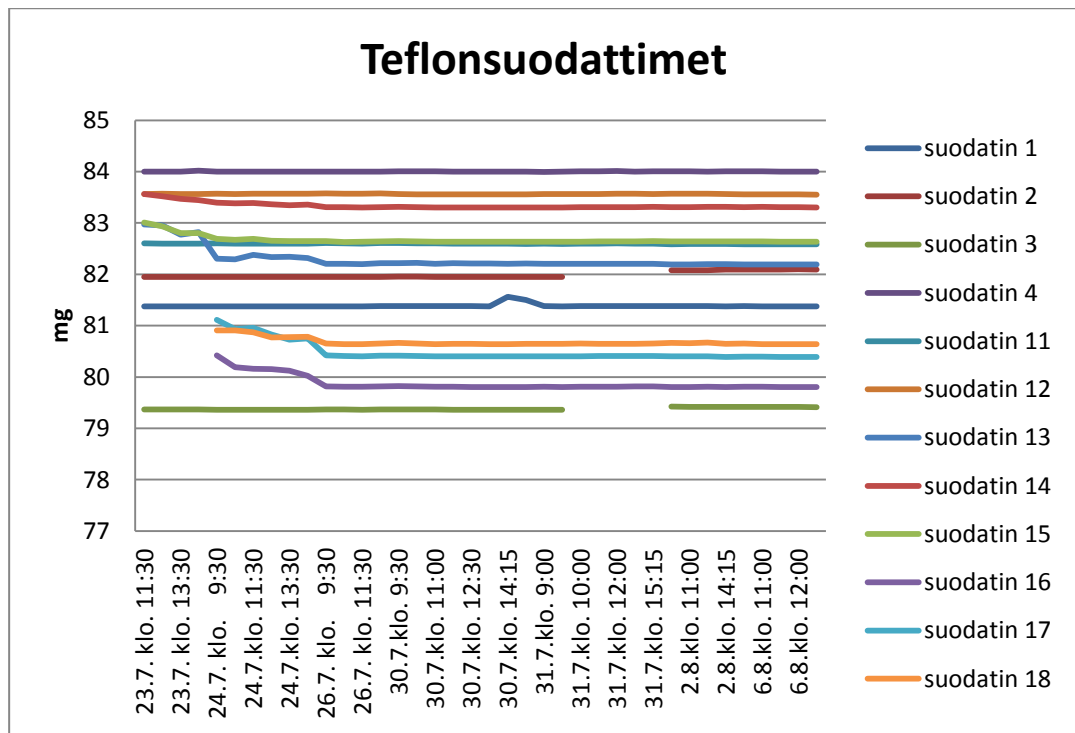
KUVA 31. Suodattimet punnituskaapissa, kuvasta näkee kuinka eritoten selluloosafiltterit (5-10) ovat käyristyneet.



KUVA 32. Punnituskaapin olosuhteet suodattimien olosuhdetestauksen aikana.

12.2.1 Teflonsuodattimet

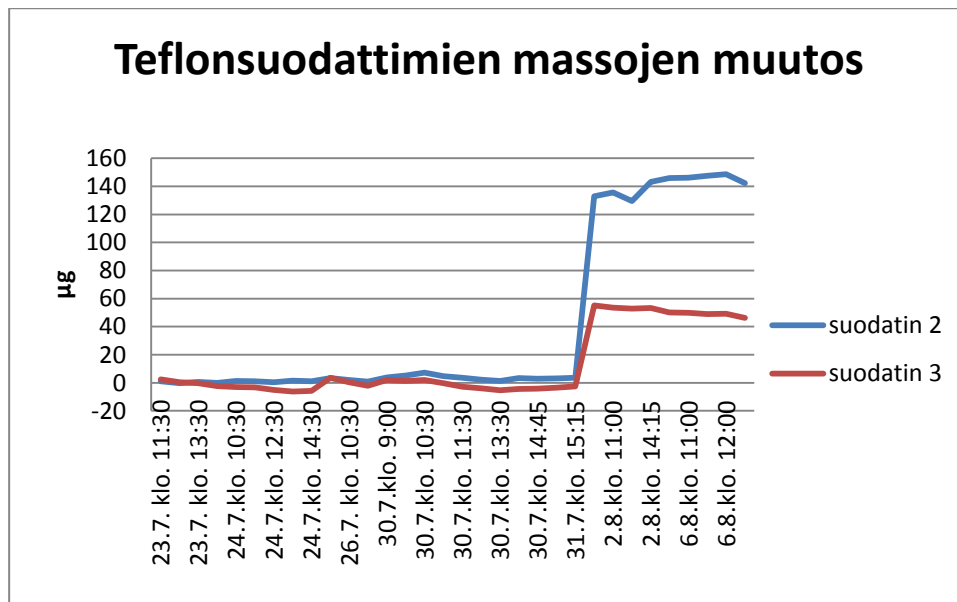
Kuvassa 33. on teflonsuodattimien punnitustulosten muutos yksikössä mg. Tuloksista nähdään, kuinka punnitustulokset kehittyvät. Teflonsuodattimien osalta voidaan myös sanoa, ettei olosuhteiden muuttumisella ole ollut merkittävää vaikutusta punnitustuloksiin. Teflonsuodattimet pysyivät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta koko punnitusjakson ajan sallituissa rajoissa.



KUVA 33. Teflonsuodattimien punnitustulokset.

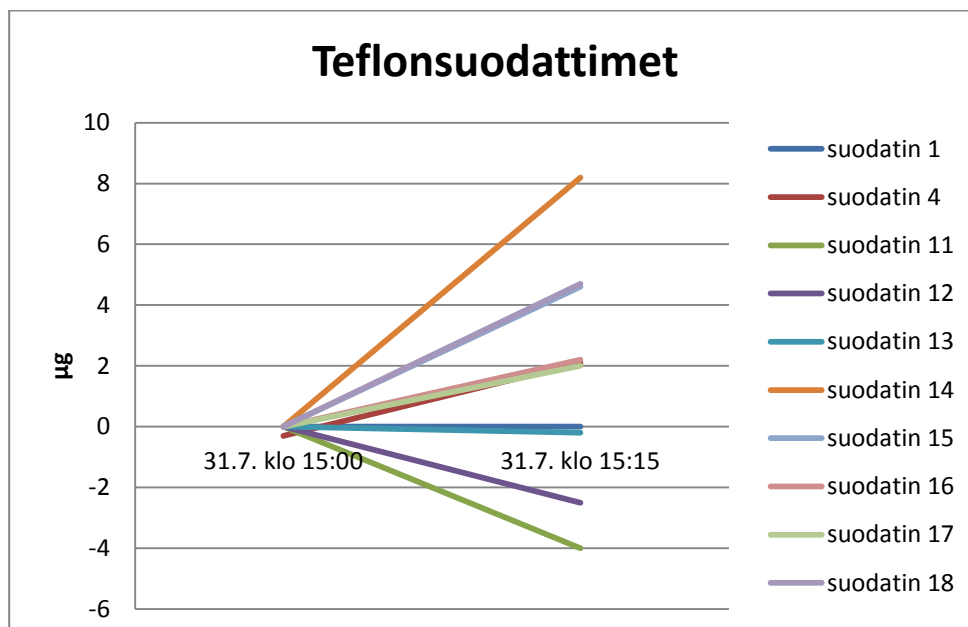
Olosuhdetestauksen jälkeen teimme kokeellisen olosuhdetestauksen teflonsuodattimille. Kokeessa upotimme suodattimet vuorokaudeksi veteen, upotuksen jälkeen annoimme niiden kuivua punnituskaapissa vuorokauden. Kokeella halusimme demonstroida, olisiko minkäänlaisia kosteus olosuhteita, jotka vaikuttaisivat teflonsuodattimien punnitustuloksiin ennen keruuta. Kastelussa käytettiin kraanavettä.

Kastelu tapahtui 31.7.2012, minkä jälkeen suodattimia kuivattiin punnituskaapissa vuorokausi (1.8.2012). Punnitukset aloitettiin seuraavana vuorokautena (2.8.2012). Käytimme kokeessa ainoastaan teflonsuodattimia, koska niillä oli saavutettu tasaisia punnitustuloksia. Kuvassa 34. ovat kastelukokeen tulokset teflonsuodattimille.



KUVA 34. Teflonsuodattimien massojen muutos, kastelukoe 31.7–1.8.2012.

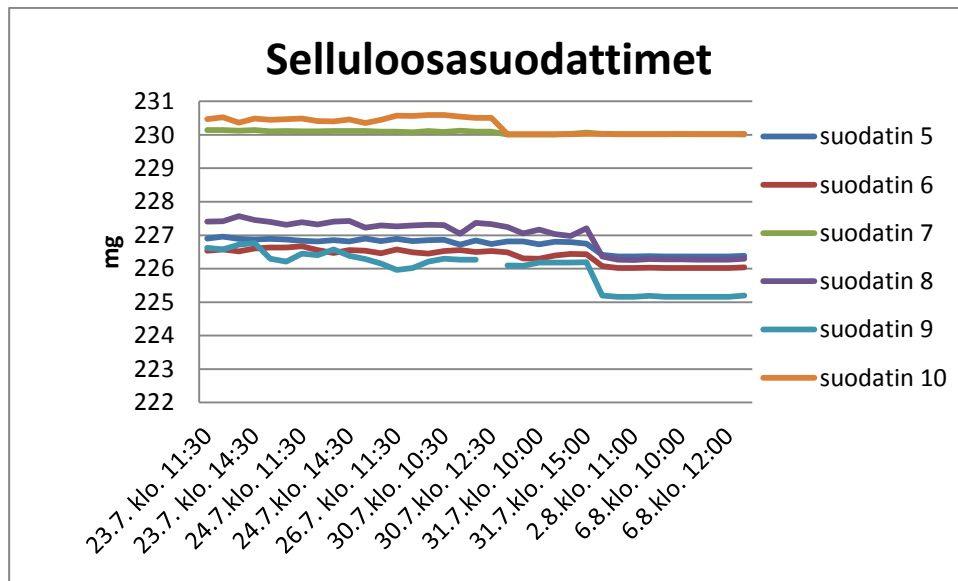
Suodattimien punnituksessa havaittiin myös jonkin asteista pyöristymistä eli joihinkin suodattimiin muodostui selkeä kupu (KUVA 31). Oheisessa kokeessa testattiin, onko suodattimien kääntämisellä mitään vaikutusta punnitustuloksiin. Kuvassa 35. on teflonsuodattimien kääntämisen (nosteen) vaikutus punnitustulokseen. Punnitukset on tehty peräkkäin, jotta olosuhteiden vaikutus voidaan poistaa.



KUVA 35. Teflonsuodattimien massojen muutokset (kääntämiskoe).

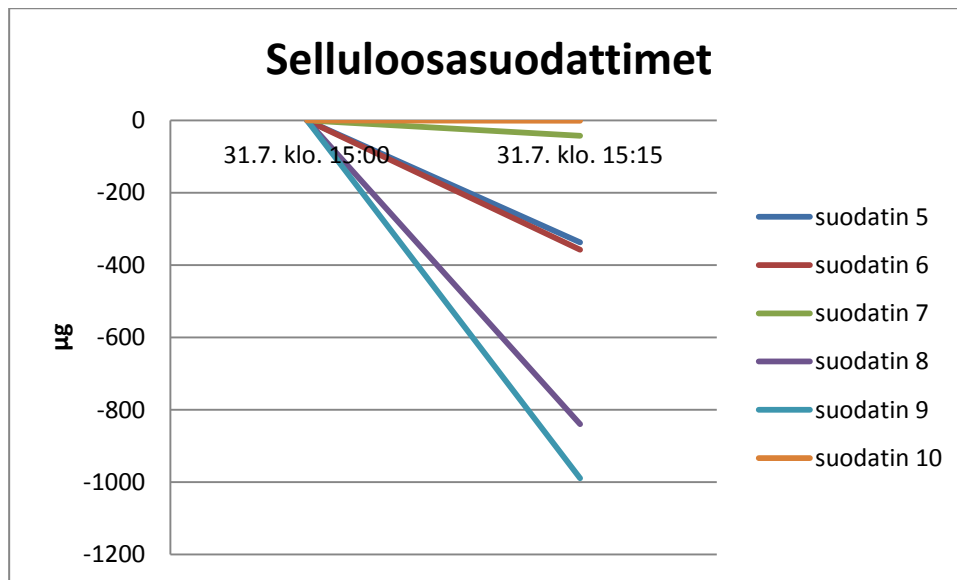
12.2.2 Selluloosasuodattimet

Kuvassa 36. on selluloosasuodattimien massojen muutos yksikössä mg. Kuvassa 36. on tuloksia verrattu 23.7.2012 otettuun punnitustulokseen eli kuvaajassa nähdään, miten massat ovat muuttuneet. Tuloksista käy ilmi, että tasaantumisaika oli useimmissa tapauksissa yli viikon, tämän jälkeen punnitustulokset kuitenkin pysyivät sallituissa rajoissa (2.8–9.8.2012).



KUVA 36. Selluloosasuodattimien punnitustulokset.

Selluloosasuodattimien punnituksessa havaittiin suodattimissa selkeää pyöristymistä eli joihinkin suodattimiin muodostui selkeä kupu (KUVA 31). Kokeessa testattiin, kuinka suuri vaikutus on suodattimien kääntämisellä (nosteella). Kuvassa 37. on selluloosasuodattimien kääntämisen vaikutus punnitustulokseen. Punnitukset on tehty peräkkäin, jotta olosuhteiden vaikutus voidaan poistaa. Kuvan 37. perusteella voidaan todeta nosteen vaikutus selluloosasuodattimien 5, 6, 8 ja 9 punnitustulokseen.



KUVA 37. Selluloosasuodattimien massojen muutokset (kääntämiskoe).

13 TULOSTEN TARKASTELU

Tuloksista kävi selkeästi ilmi, kuinka hyviä teflonsuodattimet ovat verrattaessa selluloosasuodattimiin. Teflonsuodattimet toimivat loistavasti kaikissa olosuhteissa. Tuloksissa ei kuitenkaan ollut yhtään keruussa ollutta suodatinta, joten tarkkoja olosuhteiden vaikutuksia suodattimiin, taikka suodattimiin sitoutuneisiin hiukkasiin ei voida sanoa. Selluloosasuodattimien tuloksista voidaan todeta niiden pitkä tasaantumisaika ja hankaluus punnituksissa. Selluloosasuodattimien suurin ongelma on sen löysä koostumus. Löysän koostumuksen takia selluloosasuodattimia on vaikea punnita. Punnituksessa käytetyillä pinseteillä selluloosasuodattimet taipuivat niin paljon, että niitä oli vaikea saada vaakaan ja pois. Teflonsuodattimet ovat tässäkin asiassa paljon parempia, niiden jäməkämmän koostumuksensa takia kyseistä ongelmaa ei juuri ole.

Selluloosasuodattimet osoittivat tasaantumisen merkkejä vuorokauden (30–31.7.2012) jälkeen, jolloin suhteellinen kosteus nostettiin lähemmäs 90 % ja lämpötilakin kohosi 24 °C (KUVA 36). Tämän olosuhte kokeilun jälkeen selluloosasuodattimien massat laskivat selkeästi ja tasaantuivat. Kyseinen tilanne saattoi johtua suodattimien ominaisuuksista. Suodattimet kyllästymisen jälkeen ikään kuin aktivoituivat ja tämän jälkeen tasaantuivat, kun olosuhteet vakautettiin.

Teflonsuodattimien kastelukokeessa tapahtuneet massojen muutokset johtuivat todennäköisesti vesiastiassa olleesta liasta tai kraanaveden sisältämistä suoloista (KUVA 34). Tuloksista näkee, että kasteltujen suodattimien punnitustulokset eivät muutu merkittävästi vuorokauden kuivauksen jälkeen.

Punnitustulosten osalta pieni malttamattomuus näkyi myös osittain ”virheellisinä” punnitustuloksina. Vaaka toimi useimmiten moitteetta, mutta punnitusten välillä nollakohta saattoi huojua hieman nollan molemmin puolin. Punnituksia oli paljon eikä nollakohdan tarkistusta (huojuntaa) tullut tehtyä joka kerta. Osittainen ”hutiloiminen” johtui myös pienoisesta kiireestä. Punnitukseen ei valitettavasti saatu kvartsisuodattimia, joihin kosteuden vaikutusta olisi ollut mielenkiintoista seurata (KUVA 4).

Punnituskopin olosuhdesäätö sekä vakauttaminen ei parhaalla mahdollisella tavalla toiminut, mutta testauksessa on standardin kriteerejä pikkuisen kiristetty, jotta varmuutta ja luotettavuutta saataisiin punnituskaapin olosuhteisiin, ulkoisista tekijöistä huolimatta.

Mittausepävarmuutta laskettaessa yksittäisen suodattimen punnitustulos riippuu käytettävän vaa’an ominaisuudesta (liukuma, toistettavuus, tarkkuus), kalibroinnin epävarmuudesta, nosteen vaikutuksesta punnitusolosuhteissa (punnituskaapin lämpötila, ilmanpaine ja suhteellinen kosteus), punnittavan massan vaihtelu (haihtuminen) sekä sähköstaattisesta vaikutuksesta (suodattimen varautuminen) [17]. Kaavan (1) mukaan voidaan epävarmuuskomponentit kirjoittaa muotoon:

$$u(m_{suodatin}) = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{vaaka}^2 + u_{noste}^2 + u_{Hum(\%)}^2 + u_{sähkö}^2} \quad (3)$$

Mettler Toledo vaaka kalibroidiin akkreditoidun kalibrointilaboratorion toimesta. Kalibrointitodistuksen perusteella $u_{cal} = 1,6 \mu\text{g}$ koko kalibrointialueella.

Mettler Toledo XP2U:n mittausominaisuudet on ilmoitettu laitteen manuaalissa:

Tarkkuus	0,1 μg
Toistettavuus	0,25 μg (standardipoikkeama, punnuksella)
Toistettavuus	0,2 μg (standardipoikkeama, ilman punnusta)
Linearisuuspoikkeama	1,5 μg [7]

Näiden arvojen perusteella saadaan u_{vaaka} :

$$u_{vaaka} = \sqrt{u_{tarkkuus}^2 + u_{toist,punnus}^2 + u_{toist}^2 + u_{lin}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,25^2 + 0,2^2 + 1,5^2} = 1,54 \mu g \quad (4)$$

Näistä lineaarisuuspoikkeamalla on suurin vaikutus vaa'an mittausepävarmuuteen. Lisäksi vaa'an manuaalissa on ilmoitettu poikkeama keskittämisestä, offset-arvo sekä herkkyys lämpötilasta ja stabiilisuudesta [7].

Nosteen vaikutusta pyrittiin selvittämään kääntämiskokeen avulla eli punnitsemalla suodatin kahdella tavalla. Kuvien 35 (teflon) ja 37 (selluloosa) perusteella voidaan noste arvioida seuraavasti:

$$u_{noste,teflon} = 8 \mu g / \sqrt{3} = 4,6 \mu g \quad (5)$$

$$u_{noste,selluloosa} = -1000 \mu g / \sqrt{3} = -577 \mu g \quad (6)$$

Kosteuden vaikutusta voidaan arvioida kuvien 33. (teflon) ja 36. (selluloosa) avulla. Kuvasta 32. huomioidaan, että olosuhteet olivat suhteellisen kosteuden osalta välillä 20 % - 90 %. Kuvien 33 ja 36 perusteella punnitustulokset olivat lähes vakioita, jolloin kosteuden vaikutus suodattimiin on mitätön. Sähköstaattisuuden vaikutusta ei tehty.

Yhdistämällä yllä olevat tekijät yhteen voidaan yhteinen standardiepävarmuuden suuruus laskea kaavasta 3:

Teflonsuodattimet

$$\begin{aligned} u(m_{teflon}) &= \sqrt{u_{cal}^2 + u_{vaaka}^2 + u_{noste}^2 + u_{Hum(\%)}^2 + u_{sähkö}^2} \\ &= \sqrt{u_{cal}^2 + u_{vaaka}^2 + u_{noste}^2} = \sqrt{1,6^2 + 1,54^2 + 4,6^2} = 4,78 \mu g \end{aligned} \quad (7)$$

Selluloosasuodattimet

$$\begin{aligned} u(m_{selluloosa}) &= \sqrt{u_{cal}^2 + u_{vaaka}^2 + u_{noste}^2 + u_{Hum(\%)}^2 + u_{sähkö}^2} \\ &= \sqrt{u_{cal}^2 + u_{vaaka}^2 + u_{noste}^2} = \sqrt{1,6^2 + 1,54^2 + (-577)^2} = 577 \mu g \end{aligned} \quad (8)$$

Tätä lukua voidaan verrata PM₁₀ vuorokauden raja-arvoon 50 µg/m³ [2]. Kun tilavuusvirtaus on 2,3 m³/h, on vuorokautinen kokonaisilmamäärä 55,2 m³. Kerrotaan raja-arvopitoisuus kokonaisilmamäärällä, jolloin saadaan kokonaismassaksi 2760 µg. Tällöin kaavaa 2 soveltamalla saadaan:

$$U(m_{\text{teflon}},\%) = (2 \cdot 4,87 / 2760) \cdot 100 = 0,4\% \quad (9)$$

$$U(m_{\text{selluloosa}},\%) = (2 \cdot 577 / 2760) \cdot 100 = 41,8\% \quad (10)$$

Tämä kuvaa siis vain punnituksesta aiheutuvaa mittausepävarmuutta puhtaalle suodatimelle. Verrattaessa tätä lukua direktiivin sallimaan mittausepävarmuuteen 25 % [2], voidaan todeta, että teflonsuodattimen punnituksen osuus on mitätön, kun selluloosasuodattimelle mittausepävarmuus on satakertainen teflonsuodattimeen verrattuna.

14 ONGELMAT JA HAASTEET

Erilaisia ongelmia syntyi työtä tehdessä useita, osa ongelmista johtui pätevyyden puutteesta esim. tulityökortin puute taikka sähkötyövaltuuksien puute. Nämä pätevyysongelmat olivat kuitenkin vain hidastavia tekijöitä.

14.1 Vaaka ja punnitus

Punnituksen tarkkuus ja toistettavuus ovat kytköksissä vaa'an vaaitukseen (balanssi). Oheiset vaa'an vaaitukseen liittyvät ongelmat oli huomioitava punnituskaapin teossa ja niille oli keksittävä toimivat ratkaisut:

- Punnitustason tulee olla vakaa ja sen tulisi välittää mahdollisimman vähän tärinää.
- Punnitustaso ei saa olla magneettinen (rauta) ja sen on oltava suojattu elektrostaattiselta varaukselta.
- Punnitustason tulee olla sen verran stabiili, että vaa'an vaaitus ei muutu.
- Punnitushuoneen tulisi olla vapaa vedosta ja tärinästä.
- Punnitustilan lämpötila ja suhteellisen kosteusprosentin tulisi olla tasainen. [7]

14.2 Punnituskaapin olosuhteiden säätö

Punnituskaapin olosuhteiden säätö tapahtuu lämpöhauteen lämpötilan mukaan sekä virtausmittariin säädetyn virtausnopeuden mukaan. Lämpöhauteen lämpötilan muuttaminen on kuitenkin suurin olosuhteita muuttava tekijä, kun taas virtausnopeutta säättämällä pyrimme enemmänkin vakauttamaan säädetyt olosuhteet kuin muuttamaan niitä. Olosuhteiden säätäminen punnituskaapissa tapahtuu niin, että nostamalla hauteen lämpötilaa, nousee punnituskaapin suhteellinen kosteus ja lämpötila.

Säätöjen seurauksena tulleet olosuhdemuutokset punnituskaapissa ovat osittain johtuneet myös ulkopuolisista olosuhteista. Ulkopuolisten olosuhteiden vaikutusten minimoimiseksi on mietitty ratkaisuja eli miten ulkopuolelta tullutta kosteutta pystyisi mahdollisesti estämään taikka ulkopuolista lämpötilan vaikutusta eristämään. Erinäisten ratkaisujen ja testausten avulla (eri virtauksilla, hauteen lämpötiloilla, tukkimalla punnituskaapin reikiä, tarkkailtu vallitsevaa paineen vaikutusta, huonelämpötilaa ja kosteutta) haettiin säätöjä, joilla saataisiin olosuhteiden säätö hallintaan. Tavoitteena oli saada sopivat asetukset säätöparametreihin (lämpöhaude ja virtausnopeus), että punnituskaapissa pysyisi halutut olosuhteet riippumatta laboratoriossa tapahtuvista olosuhde muutoksista. Laboratorio tilan olosuhteet ovat vaihdelleet lämpötila osalta välillä 20–26 °C ja suhteellisen kosteuden osalta välillä 30–75 %. Keskeisimmäksi säätöparametriksi todettiin Perma Pure kostuttimien läpi virtaavan ilmamäärän, virtausnopeuden, säätö. Liitteessä 3 on kuvattu punnituskaapin olosuhteiden säätöparametrit ja niiden arvot.

Kehitysehdotelmana punnituskaapin kosteuden säätöön olisi takaisin kytkentä virtausmittarin ja tiedonkeruu- ohjelman välillä. Takaisin kytkentä toimisi niin, että kosteuden kohottua yli tietyn pitoisuuden tiedonkeruuohjelma säätää virtausnopeutta korkeammaksi tai vaihtoehtoisesti katkaisisi virtauksen. Kun taas kosteuspitoisuuden laskiessa alle tietyn pitoisuuden tiedonkeruuohjelma taas kytkisi virtauksen päälle tai vähentäisi virtausta. Lämpötilan suhteen punnituskaappi toimii hyvin, eikä täten tarvitse automaattista korjausta tai säätöä.

14.3 Muut ongelmat

Punnituskaapin sisäpintojen kastuminen aiheutti myös testausvaiheessa ongelmia. Kyseinen ongelma johtui kylmäpatterista, jonka lämpötila saattoi olla yli 10 °C alhaisempi, kuin punnituskäapin lämpötila. Ongelmalta kuitenkin vältytään, kun pidetään huoli, ettei absoluuttikosteuden määrä punnituskäapissa saavuta missään vaiheessa kylmäpatterin kastepisteen vaatimaa kosteuden määrää. Ongelma ilmeni, kun yritimme saada mahdollisimman suuren suhteellisen kosteuden punnituskäappiin eli käytimme kahta lämpöhaudetta, joista toisen säädimme kylmentämään punnituskäapissa olevaa patteria (+2,5 °C) ja toisen säädimme (+25 °C) tuottamaan kosteutta. Katsoimme viikonlopun jälkeen miltä vaikutti ja totesimme kylmäpatterin olevan täynnä vettä ja suhteellisen kosteusprosentin silti olevan alle 75 %. Mikäli kosteus halutaan nostaa lähemmäs 100 %, täytyy kylmäpatteriin menevän veden lämpötilaa nostaa, tämä aiheuttaa sen että punnituskäapin lämpötilakin nousee.

Ongelmana on myös ollut laboratorio, jossa oheiset testaukset on suoritettu. Nimittäin ilmastointi on ”vihreä ajattelutavan” mukaisesti pois päältä illasta aamuun sekä viikonloppuisin. Oheinen seikka auttoi kumminkin huomioimaan ulkoisten olosuhteiden vaikutuksen punnituskäappiin ja sitä kautta virtausta vähän lisäämällä pystyttiin ulkoisten tekijöiden vaikutusta pienentämään.

15 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Punnitusjärjestelmä valmistettiin Ilmatieteen laitoksessa, ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion käyttöön. Kokonaisuudessaan työhön kuului punnituskäapin rakentaminen, testaaminen ja punnitukset. Kaikkia olosuhteen säätämiseen tehtyjä kokeiluja ei kyseisessä työssä käydä läpi johtuen niiden paljoudesta. Punnituskaapin olosuhteita säätävien asetusten etsiminen vei työssä oman aikansa, koska olosuhteet riippuivat myös punnituskäapin ympärillä vallinneista olosuhteista. Ympärillä oleviin olosuhteisiin vaikuttavat huoneen lämpötila ja kosteus, ihmisten kävijä määrä, oleskelu aika ja ilmastointi. Kun otetaan huomioon kaikki oheiset muuttujat, niin kattavia testauksia näille kaikille muuttujille ei yksinkertaisesti voitu tehdä. Oheisten muuttujien vaikutus pyrittiin selvittämään kokeellisilla testauksilla mahdollisimman kattavasti ja etsimään olosuhteiden muutoksiin keskeisimmin vaikuttavat tekijät..

Punnitustuloksista voidaan todeta teflonsuodattimien hyvä toimivuus. Se on kestävä eikä se sido kosteutta. Tuloksista saatiin teflonsuodattimien tasaantumisaika, joka oli n.48h. Selluloosasuodatin oli koostumukseltaan löysä ja hankala käsitellä. Lisäksi tasaantumisaika oli n. viikko. Tämä on selkeästi yli hiukkasstandardien (EN12341, SFS 14907) määrittelemien punnitusten aikavälin. Lisäksi tyhjien selluloosasuodattimien mittausepävarmuus on satakertainen teflonsuodattimiin verrattuna.

Työn eteneminen oli todella hidasta ja haastavaa. Hitaus johtui erilaisista ongelmista, testauksista ja tavaroiden toimitus ajasta. Positiivisesti ottaen voidaan kuitenkin sanoa, että valtaosa ongelmista saatiin ratkaistua ja osa niistä tullaan vielä ratkaisemaan, kuten punnituskaapin vieminen vaakahuoneeseen. Vaakahuoneessa on kivipöytä, joka pitää vaa'an tasapainossa. Lisäksi vaakahuoneen ilmastointi on järjestetty vuorokauden ympäri niin, että lämpötila saadaan pidettyä 20–22 °C:n välillä. Nämä seikat helpottavat huomattavasti punnituskaapin toimintaa ja auttavat olosuhteiden pysymisen vertailumenetelmää kuvaavan standardin asettamissa rajoissa, mikä olikin työn tavoite. Lisäksi punnituskaappiin tullaan vielä asentamaan varauksenpoistaja, jota tämän työn aikana ei saatu asennettua.

LÄHTEET

- [1] COM (2001) 245 final. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION
The Clean Air for Europe (CAFE) Programme: Towards a Thematic Strategy for Air
Quality. Brussels, 04.05.2001.
- [2] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTII 2008/50/EY,
21.5.2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta, PDF – dokumentti <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:FI:PDF>
- [3] EN 12341, Marraskuu 1998, Standardi, Air quality – Determination of the PM 10
fraction of suspended particulate matter – Reference method and field test procedure
to demonstrate reference equivalence of measurement methods.
- [4] Helsingin yliopisto, 2008 – 2012, Hiukkaskäsikirja, WWW – dokumentti
<http://www.hiukkastieto.fi/>
- [5] Julabo, 2011, Operating manual, Open Heating Bath Circulators, MB-13A / MB-
19A / MB-13 / MB-17 / MB-19, Heating circulators with Open Bath, MB-5A / MB-
7A / MB-5M / MB-5.
- [6] Julabo, 2011, Operating manual, Refrigerated / Heating circulator F12-ED, F25-
ED, F26-ED.
- [7] Mettler Toledo, Operating instructions.
- [8] MIKES julkaisu J4/2011, Hiltunen, Linko et al. Laadukkaan mittaamisen perusteet
- [9] Paul Quincy, 2009, NPL, UK, Uncertainty in Air Pollution Measurements (for
beginners), JRC Ispra.
- [10] PERMA PURE LLC, manuals and brochures, MD series dryers. pdf-tiedosto
<http://www.permapure.com/support/manuals-and-brochures/?ind=science>

- [11] PERMA PURE LLC, manuals and brochures, MH series humidifiers. pdf-tiedosto <http://www.permapure.com/support/manuals-and-brochures/?ind=science>
- [12] SFS-EN 14907, 2005-11-07, Standardi, Ambient air quality. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM 2,5 mass fraction of suspended particulate matter.
- [13] Raimo O. Salonen ja Arto Pennanen, 2006, Pienhiukkasten vaikutus terveyteen, Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta, FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. TEKES. Taitto: Quickmac Oy, Kirjapaino: Libris Oy, Helsinki. ISBN 952-457-250-8, pdf- dokumentti
http://www.tekes.fi/fi/community/Julkaisut_ja_uutiskirjeet/333/Julkaisut/1367
- [14] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Air quality criteria for particulate matter. Publication EPA/600/P-99/002aF. Research Triangle Park, NC. USEPA Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment – RTP Office, 2004.
- [15] Vaisala Oyj, 2006–2009, Humidity Calculator help. WWW - dokumentti <http://www.vaisala.com/humiditycalculator/help/index.html#humidity>
- [16] Walden, Tuomas, 2012, Kuvamateriaalia, Punnituskaappi. 1.6.2012-1.8.2012. Ympäristötekniikan opiskelija (MAMK).
- [17] Ympäristöministeriö. Loppuraportti hiukkasmassan jäljitettävyyttä. YM5/481/2012
- [18] Ympäristöministeri Paula Lehtomäki, Neuvotteleva virkamies Tarja Lahtinen, 20.1.2011, Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011). WWW – dokumentti <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110038>
- [19] Ympäristöministeriö, 23.3.2012, Euroopan unionin ilmansuojelupolitiikka ja –lainsäädäntö. WWW-dokumentti <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=4492>

Vaisalan kosteyslaskin

[15] Työssä on käytetty valmista vaisalan kosteyslaskinta. Laskinta hyödyntämällä on saatu parempi kuva miten eri parametrit vaikuttavat suhteelliseen kosteuteen. Kosteuslaskimena on käytetty kehittyneempää versiota, jotta eri parametrien muutoksien vaikutukset on myös pystytty tiedostamaan paremmin. Kehittyneempi vaisalan kosteyslaskin ottaa laskuissaan huomioon:

- Suhteellisenkosteuden (%RH)
- Kastepiste / jäätymispiste (Td / f)
- Parts per million (ppm)
- Absoluuttinen kosteus (g / m³)
- Sekoitus suhde (g / kg)
- Vesipitoisuus (lb / MMscf)
- Höyrynpaine (mbar)
- Märkälämpötila (°C)
- Kylläisen höyryn paine (mbar)

Nämä tulokset kuitenkin edellyttävät että tiedossa ovat näiden suureiden laskemiseen tarvittavat tiedot eli lämpötila, paine, kaasutyyppi (ilma) ja märkälämpötilan laskemiseen tarvitaan myös tietää psykrometri tyyppi. Lisäksi täytyy tietää myös yksi suure laskettavien joukosta, jotta laskimella voidaan määrittää muut suureet.

Kosteuden määrittäminen:**Höyrynpaine P_w**

Höyrynpaine viittaa höyrynpaineeseen ilmassa tai muussa kaasussa. Vesihöyryllä on osittainen paine P_w kanssa, joka taas on osa kokonaispainetta (P_{tot}) kaasussa Daltonin lain mukaan.

$$P_{tot} = P_{happi} + P_{typpi} \dots + P_w$$

Kylläisen höyryn paine P_{ws}

Kylläisen höyryn paine P_{ws} on tasapainovesipitoisuus höyryn paineessa suljetussa kammiossa. Kammion tarkoituksena on vain lämpötila, joka kertoo kuinka paljon maksimissaan voi vettä olla höyrystyneessä tilassa. Lämpötilan lisääntyessä lisääntyy myös höyrystyneen veden määrä.

Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus määritellään prosentiosuutena, jossa veden höyrynpaine jaetaan kyllästetyn höyryn paineella oheisen kaasun lämpötilassa.

$$RH = \frac{P_w}{P_{ws}(T)} \times 100 \%$$

Huom! Kun mennään yli veden kiehumispisteen (100 °C / 212 °F), kyllästetyn höyryn paine on suurempi kuin 1013 hPa (normaali ilman paine). Täten suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 % RH yli 100 °C / 212 °F paineettomassa systeemissä.

Kastepiste

Kastepiste lämpötila (T_d) kosteasta ilmasta tai muusta kaasusta on se lämpötila, jossa ilmaa/kaasua täytyy kylmentää, jotta kosteus tiivistyy nestemäiseksi vedeksi.

$$P_w = P_{ws}(T_d)$$

Ppm

Ppm voidaan laskea joko suhteessa tilavuuteen (ppmv) tai massaun (ppmw). Kaasumittauksissa käytetään yleensä tilavuutta ja monesti lyhennetään ppm:nä.

1: Tilavuus/tilavuus ppm_v kuiva kaasu

$$ppm_v = \frac{P_w}{p_{tot} - P_w} 10^6$$

Missä

P_w = veden höyryn paine

P_{tot} = kokonaispaine

2. Massa/massa ppm_w kuivakaasu

$$ppm_w = \frac{M_w P_w}{M_d p_{tot} - P_w} 10^6$$

Missä

P_w = veden höyryn paine

P_{tot} = kokonaispaine

M_w = veden molekyylimassa

M_d = kuivan kaasun molekyylimassa

Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen kosteus määritellään vesihöyryn massana tietyssä tilavuudessa. Vesihöyryn käyttäytyminen voidaan osoittaa ideaaliksi kaasun käyttäytymiseksi, niin absoluuttinen kosteus voidaan laskea.

$$A = \frac{C P_w}{T} \quad [\text{g/m}^3]$$

Missä

$C =$ vakio 216,679 gK/J

$P_w =$ veden höyryn paine

$T =$ lämpötila (Kelvin)

Sekoitus suhde

Sekoitus suhde (vesihöyryn massa/kuivan kaasun massa) voidaan laskea:

$$X = \frac{B P_w}{P_{tot} - P_w} \quad [\text{g/kg}]$$

Missä

$B = 621,9907 \text{ g/kg}$

B :n arvo riippuu kaasusta 621,9907 g/kg on voimassa ilmalle.

Yleisesti vakiotermi voidaan laskea:

$$B = \frac{M_{H_2O}}{M_{gas}} 1000 \quad [\text{g/kg}]$$

Missä

$M (H_2O) =$ veden molekyylimassa

$M (gas) =$ kaasun molekyylimassa

Vesipitoisuus

Vesipitoisuus on määritelty absoluuttikosteutena kaasussa, kun se on tuotu standardin mukaisiin paine ja lämpötila oloihin. Normaalit olosuhteet ovat ilmanpaine 101325 Pa ja lämpötila 0 °C.

Käyttö ohjeet Punnituskaappi / Olosuhdekaappi

Käyttö ohjeet sisältävät tavat 1 ja 2, joilla voidaan punnituskopin olosuhteita säätää. Ohjeet ovat kuitenkin enempi suuntaa antavia eikä kovin tarkkoja. Tarkkoja ohjeita olisi vaikea antaa, koska olosuhteet riippuvat ympärillä vallitsevista olosuhteista. Ympärillä oleviin olosuhteisiin vaikuttavat huoneen koko, ihmisten kävijä määrä, oleskelu aika ja ilmastointi. Kun otetaan huomioon kaikki oheiset muuttujat, niin selkeitä säätöjä punnituskopille ei voida antaa, mikäli ulkoiset olosuhteet ei säily vakaina.

Tapa 1.

Muutetaan vesihauteitten (Julabot 1 ja 2) lämpötilaa. Punnituskaappiin on kytketty kaksi vesi haudetta, joista toinen tuottaa pelkästään kosteutta ja toinen kosteuden lisäksi säätelee myös punnituskopin lämpötilaa. Lämpötilan muutoksilla voidaan muuttaa punnituskopin lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta.

Julabo 1. Voidaan muuttaa molempia parametreja eli kosteutta sekä lämpötilaa.

Julabo 2. Voidaan muuttaa vain kosteuden määrää. Säädössä huomioitava se, että hauteen lämpötilan on oltava suurempi kuin mikä on huoneen lämpötila, muuten ei toimi. Vesihauteen lämpötilan tulisi täten olla 20–30 asteen välillä. Liian suuri lämpötila aiheuttaa hikoilua letkun sisällä, joka seurauksena saattaisi se kastella punnituskopin sisältä.

Tapa 1. Säätö tapahtuu seuraavasti.

Säätörajana vesihauteessa on (Julabo 1.) 10–15 astetta, jolloin punnituskopin lämpötila pysyisi sallituissa rajoissa (19–21 astetta). Säätö riippuu punnitushuoneen lämpötilasta eli vesihauteen (Julabo 1.) lämpötilalla kompensoidaan punnitushuoneen lämpötilaa, jolloin punnituskopin lämpötila pysyisi sallituissa rajoissa.

- Asteen muutos vesihauteen lämpötilassa on punnituskopissa n. 0,2-0,4 astetta (oheisessa säätörajassa 10–15 astetta)
- Samalla suhteellisen kosteuden muutos on n. 1-3 % (riippuu vallitsevasta virtaus nopeudesta eli mitä pienempi virtaus nopeus, sitä enemmän kosteus % muuttuu).

Huom! Vesihauteen (Julabo1.) vieminen alle 10 asteen saattaa aiheuttaa ns. hikoilua punnituskopin sisällä olevaan kylmäpatterissa sekä ulkoisissa letkuissa.

Asteen muutos punnituskopissa vastaa n. 2,5 % muutosta suhteellisessa kosteudessa riippuen muutoksen suunnasta (kylmentäminen kasvattaa ja lämpeneminen pienentää). Lisäksi tehdyt muutokset vievät n. 1-3 tuntia ennen kuin olosuhteet tasaantuvat punnituskopissa.

Tapa 2.

Muutetaan virtausnopeutta. Punnituskaappiin kytketyillä vesihauteilla on kummallakin oma massavirta säädin, jolla voidaan muuttaa punnituskaappiin menevää virtausta. Virtauksen muutoksilla voidaan säätää suhteellista kosteutta.

Tapa 2. Sääto tapahtuu seuraavasti.

- Sääto raja massavirtasäätimessä 1 on 0-2 l/min ja ohjaa Julabo 2.
- Sääto raja massavirtasäätimessä 2 on 0-10 l/min ja ohjaa Julabo 1.

Massavirtasäätimien yhteisvirtausnopeus tulee olla yli 4 l/min, jolloin ulkoisten olosuhteiden muutokset eivät vaikuta niin paljon kyseiseen punnituskaappiin.

Säätojen tulisi olla säätimessä 1.

- 1-2 l/min välillä, jolloin 0,2 l/min muutos vaikuttaa kosteuteen n.2 % (Julabo 2 lämpötila 25 astetta)

Säätojen tulisi olla säätimessä 2.

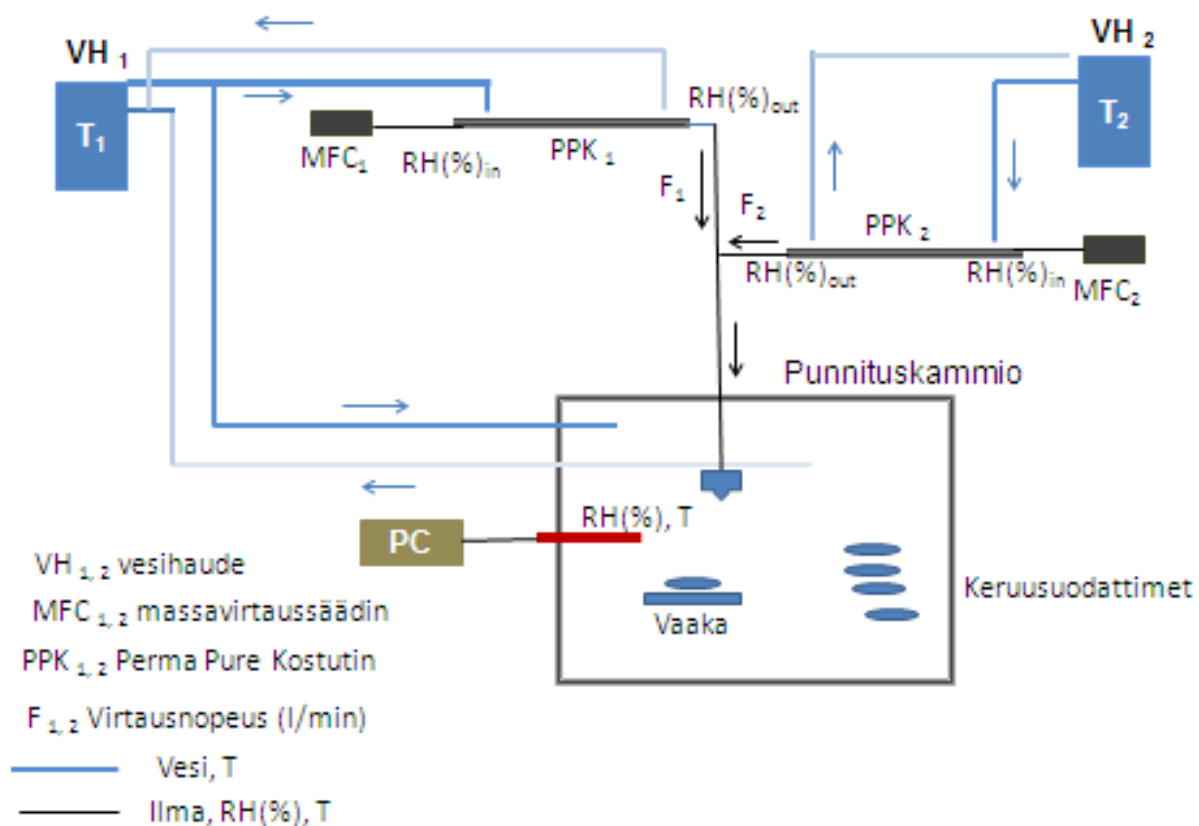
- 3-4 l/min välillä, jolloin 0,2 l/min muutos vaikuttaa kosteuteen n.2 % (Julabo 1 lämpötila 14 astetta)

Huom! Mitä suurempi virtausnopeus sitä vähemmän Permapure kostuttimet tuottavat kosteutta.

Nämä asetukset ovat voimassa nyt:

- Julabo 2. Vesihauteen lämpötila on 25 astetta ja virtausnopeus 1 l/min
- Julabo 1. Vesihauteen lämpötila on 14 astetta ja virtausnopeus 3 l/min

Käytännössä punnituskopin olosuhdesäätöihin tarvitaan vain kosteuden säätöä. Muutokset tapahtuvat lisäämällä ja vähentämällä virtausta massavirtasäätimestä 1, jolloin pieni kosteuden säätäminen on ainut muutosta tarvitseva parametri.



KUVA 29. KytKentä kaavio (Punnituskaappi)