

TARTU ÜLIKOOL  
Füüsika-keemiateaduskond  
Eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut

MARTIN VILBASTE

**ÕHUNIISKUSE ETALONI ARENDAMINE TÜ KATSEKOJAS**

Magistritöö  
Rakendusfüüsika eriala

Juhendaja TÜ Katsekoja  
direktori k.t.,  
doktor OLEV SAKS

Tartu 2005

# SISUKORD

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. SISSEJUHATUS .....</b>                                                                                   | <b>4</b>  |
| 1.1 <i>PHARE 2001 projektist .....</i>                                                                         | 4         |
| 1.2 <i>Eesmärkidest ja ülesannetest.....</i>                                                                   | 4         |
| 1.3 <i>Magistritöö ülesanne.....</i>                                                                           | 5         |
| <b>2. TEOORIA .....</b>                                                                                        | <b>6</b>  |
| 2.1 <i>Põhilised õhuniiskusega seotud mõisted .....</i>                                                        | 6         |
| 2.2 <i>Õhuniiskuse etalonidest.....</i>                                                                        | 9         |
| <b>3. EKSPERIMENTAALNE OSA .....</b>                                                                           | <b>11</b> |
| 3.1 <i>Etalonkomplekti kirjeldus.....</i>                                                                      | 11        |
| 3.1.1 <i>Õhuniiskuse etaloni toimimine.....</i>                                                                | 11        |
| 3.1.2 <i>Etalonhügromeeter .....</i>                                                                           | 14        |
| 3.1.3 <i>Kliimakamber Weiss WK111-340 .....</i>                                                                | 15        |
| 3.2 <i>Etalonkomplekti hooldamine .....</i>                                                                    | 16        |
| 3.3 <i>Hügromeetrite kalibreerimine .....</i>                                                                  | 16        |
| 3.3.1 <i>Kalibreerimise eesmärk .....</i>                                                                      | 16        |
| 3.3.2 <i>Kalibreerimise protseduur .....</i>                                                                   | 16        |
| 3.3.3 <i>Täppistermomeetri kalibreerimine .....</i>                                                            | 18        |
| 3.3.4 <i>Etaloni mõõtepiirkond.....</i>                                                                        | 18        |
| 3.3.5 <i>Kalibreerimise matemaatiline mudel.....</i>                                                           | 19        |
| 3.3.6 <i>Mõõtemääramatuse hindamine.....</i>                                                                   | 23        |
| 3.3.7 <i>Etaloni parim mõõtevõime .....</i>                                                                    | 28        |
| 3.4 <i>Jälgitavus.....</i>                                                                                     | 29        |
| 3.5 <i>Õhuniiskuse etaloni valideerimine .....</i>                                                             | 30        |
| 3.5.1 <i>Laboritevahelised võrdlusmõõtmised.....</i>                                                           | 30        |
| 3.5.2 <i>Temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse määramine kliimakambris...33</i>                             |           |
| 3.5.3 <i>Kastepunkti temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse määramine<br/>            kliimakambris.....</i> | 36        |
| <b>4. ARUTELU .....</b>                                                                                        | <b>39</b> |
| 4.1 <i>Parima mõõtevõime probleemid.....</i>                                                                   | 39        |
| 4.2 <i>Õhuniiskuse etaloni mõõtepiiride laiendamise võimalused .....</i>                                       | 40        |
| 4.3 <i>Etaloni ajalise karakteristika määramine .....</i>                                                      | 40        |
| 4.4 <i>Näiduseadmega jäigalt ühendatud sensori kalibreerimise probleemid.....</i>                              | 40        |
| 4.5 <i>Psühromeetrite kalibreerimise probleem .....</i>                                                        | 41        |
| 4.6 <i>Justeerimine kui kliendi soovi rahuldamine.....</i>                                                     | 41        |

|     |                                              |    |
|-----|----------------------------------------------|----|
| 4.7 | <i>Etaloni kalibreerimise probleem</i> ..... | 41 |
| 5.  | <b>KOKKUVÕTE</b> .....                       | 42 |
| 6.  | <b>KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU</b> .....    | 44 |
| 7.  | <b>SUMMARY</b> .....                         | 45 |
|     | <b>LISAD</b> .....                           | 47 |

## **1. SISSEJUHATUS**

Mõõtmine on maailma infrastruktuuri üks oluline koostisosa. Kõik teaduse, tehnika, kaubanduse, riikliku kontrolli jne. vallas tehtud järeldused ja otsused tuginevad andmetele, mis on saadud mõõtmiste põhjal. Õigete otsuste langetamiseks peavad mõõtetulemused olema piisavalt usaldusväärsed. See on oluline ka valdkondades, mis puudutavad tervishoidu ja keskkonnakaitset [1].

### **1.1 PHARE 2001 projektist**

Kuni viimase ajani pole olnud Eestis võimalik õhuniiskuse mõõturite kalibreerimine vastavalt standardi EVS-EN ISO/IEC 17025:2000 olulistele nõuetele [17]. Ehkki õhuniiskuse etaloni tähtsus jääb vast mõnevõrra alla massi, temperatuuri ja pikkuse etalonide tähtsusele, on selle olemasolu arenenud riigile siiski hädavajalik. Õhuniiskuse mõõtmised on olulised töökeskkonna tervislikkuse hindamisel, laborite keskkonnamõõtmiste, hoidlate, arhiivide, muuseumide õhuparameetrite kontrollimiseks, ehituses ja mujal. Kõik mõõturid vajavad perioodilist metrooloogilist kontrollimist.

Projekti PHARE ES0102.01 “Development of Conformity Assessment in the Field of Metrology” raames on Euroopa Liit aidanud Eesti riiki rahaliselt kaasajastamaks metrooloogilist infrastruktuuri. Projekti koordinaatoriks on Majandus ja Kommunikatsiooni Ministeerium ja mõõteliikide väljaarendajaiks AS Metrosert, Tartu Ülikool ja Tallinna Tehnika Ülikool. Tartu Ülikooli esindab selles projektis Katsekoda, kelle rolliks on välja arendada laborid, kus saaks läbi viia mõõtmisi ja kalibreerimisi järgmistel aladel: keemia metroloogia, õhuniiskuse ja õhu liikumiskiirus. Ülalmainitud projekti raames olid Eesti mõõtespetsialistide nõustajaiks Soome vastavate alade eksperdid sealsest MITTATEKNIKAN KESKUS-est (MIKES).

### **1.2 Eesmärkidest ja ülesannetest**

TÜ Katsekojas arendatav õhuniiskuse etalon kuulub nende etalonide hulka, mis lõpuks peab täitma tugietaloni rolli riigis. See tähendab, et ta peab olema vastava mõõteliigi alal parimate metrooloogiliste omadustega Eestis ja peab tagama võimaluse

jälgitavalt kalibreerida rõhuvat enamikku siin kasutatavaid hügromeetreid, psühromeetreid, kastepunkti temperatuuri mõõtureid, õhuniiskuse logereid ja kontrollereid. Tugilabor peab olema ka vastava mõõteliigi alal kompetentsikeskuseks riigis. Tugietaloni hoidja on reeglina spetsialist, kes peab regulaarselt osalema EUROMETi vastava töörühma spetsialistide kokkutulekul, mis on värskema informatsiooni allikaks interkalibreerimiste korraldamise ja spetsiifiliste mertoloogiliste probleemide alal.

### **1.3 Magistritöö ülesanne**

Käesoleva magistritöö ülesandeks oli õhuniiskuse etaloni arendamine sellisele tasemele, et oleks võimalik läbi viia hügromeetrite kalibreerimist. Magistrandi ülesannete hulka kuuluvad õhuniiskuse etaloni üles seadmine, matemaatilise mudeli koostamine kalibreeritavatele hügromeetritele suhtelise niiskuse parandite leidmiseks, mõõtemääramatuse hindamine, etaloni parima mõõtevõime esitamine ning õhuniiskuse etaloni valideerimine, mis kätkeb endas osalemist ühes rahvusvahelises võrdlusmõõtmises ja õhu temperatuuri ning kastepunkti temperatuuri homogeensusuuringuid kliimakambris.

## 2. TEOORIA

### 2.1 Põhilised õhuniiskusega seotud mõisted

Õhuniiskuse all mõeldakse kõige üldisemas tähenduses veeauru sisaldust õhus ja seda on võimalik kirjeldada mitmete füüsikaliste suurustega. Selles peatükis kirjeldatakse kõige olulisemaid õhuniiskust väljendavaid suuruseid, mis aitavad sellest füüsikalisest nähtusest aru saada ja mis on ka edaspidises käsitluses olulised.

Niisket õhku võib käsitleda kuiva õhu ja veeauru seguna. Veeaur on atmosfääri kõige muutlikum koostisosa, muutudes vahemikus 0,000002 mahuprotsenti kuni 5 mahuprotsenti [2, lk 8].

Põhiliseks karakteristikuks, mille kaudu saab teisi õhuniiskust kirjeldavaid suuruseid arvutada, on *veeauru rõhk  $e$* . Selle all mõistetakse rõhku, mida tekitavad ainult veeauru molekulid oma kaootilisel liikumisel [3].

Vaatleme hermeetilist anumad, mis sisaldab ainult puhast vett ja veeauru, mille eralduspinnaks on tasapind. Veeauru loetakse antud veeauru rõhul ja temperatuuril vee suhtes küllastunuks, kui vee ja veeauru vahel valitseb dünaamiline tasakaal [2 lk 34].

Alla 0 °C veeauru loetakse antud veeauru rõhul ja temperatuuril jää suhtes küllastunuks, kui veeauru ja täiesti puhta jää vahel valitseb dünaamiline tasakaal, kusjuures eralduspinnaks veeauru ja jää vahel on tasapind [2, lk 35].

Niiske õhk on antud temperatuuril ja rõhul vee suhtes küllastunud, kui niiskes õhus leiduva veeauru ja puhta vee vahel valitseb dünaamiline tasakaal, kusjuures vee ja niiske õhu eralduspinnaks on tasapind [2, lk 35].

Niiske õhk on antud temperatuuril ja rõhul jää suhtes küllastunud, kui niiskes õhus leiduva veeauru ja puhta jää vahel valitseb dünaamiline tasakaal, kusjuures jää ja niiske õhu eralduspinnaks on tasapind [2, lk 35].

Küllastatud auru rõhk süsteemis vesi-veeaur sõltub temperatuurist vastavalt Sonntagi valemile:

$$E_w(T) = \exp \left[ \frac{A}{T} + B + C \cdot T + D \cdot T^2 + E \cdot \ln(T) \right] \quad (1),$$

kus suurus  $T$  on termodünaamiline temperatuur ja suurused  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  ja  $E$  on nn. Sonntagi koefitsiendid, mis omavad järgmisi väärtuseid:

$$A = -6096,9385[hPa \cdot K]$$

$$B = 16,635794[hPa]$$

$$C = -2,711193 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{hPa}{K} \right]$$

$$D = 1,673952 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{hPa}{K^2} \right]$$

$$E = 2,433502 \left[ \frac{hPa}{K} \right].$$

Valemis (1) on küllastatud auru rõhu ühikuks hPa [4].

Küllastatud auru rõhk süsteemis jää-veeaur sõltub termodünaamilisest temperatuurist  $T$  vastavalt Sonntagi valemile:

$$E_i(T) = \exp \left[ \frac{F}{T} + G + H \cdot T + I \cdot T^2 + J \cdot \ln(T) \right] \quad (2),$$

milles suurused  $F$ ,  $G$ ,  $H$ ,  $I$  ja  $J$  on nn. Sonntagi koefitsiendid, mis omavad järgmisi väärtuseid:

$$F = -6024,5282 [hPa \cdot K]$$

$$G = 24,7219 [hPa]$$

$$H = 1,0613868 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{hPa}{K} \right]$$

$$I = -1,3198825 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{hPa}{K^2} \right]$$

$$J = -0,49382557 \left[ \frac{hPa}{K} \right] [4].$$

Küllastatud veeauru rõhk õhus  $E'_w$  avaldub valemiga

$$E'_w(T, p) = f(T, p) \cdot E_w(T) \quad (3),$$

milles koefitsient  $f$  seob omavahel küllastatud veeauru rõhku õhus ja küllastatud veeauru rõhku süsteemis vesi-veeaur. Kuna suurus  $f$  sõltub temperatuurist tühisel määral, on võimalik järgmine rõhust sõltuv avaldis suuruse  $f$  arvutamiseks:

$$f(p) = 1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} \cdot p - \frac{0,074}{p} \quad (4).$$

Atmosfääri rõhul on suuruse  $f$  väärtuseks ligikaudu 1,0047 [4].

Üheks õhu veeauru sisaldust väljendavaks suuruseks on *segusuhe*  $w$ . Segusuhe  $w$  on antud ruumalas leiduva veeauru massi  $m_w$  suhe kuiva õhu massisse  $m_A$ :

$$w = \frac{m_w}{m_A} \quad (5)$$

ja arvutatakse valemi

$$w = \frac{M_w}{M_A} \cdot \frac{e}{p - e} = 0,622 \cdot \frac{e}{p - e} \quad [\text{kg/kg}] \quad (6)$$

järgi [3], milles suurused  $M_w$  ja  $M_A$  on vastavalt vee molaarmass ja kuiva õhu molaarmass.

Veeauru sisaldust õhus võib iseloomustada ka *moolimurruga*  $X_w$ , milles

$$X_w = \frac{n_w}{n} \quad (7),$$

kusjuures  $n_w$  tähistab õhus oleva veeauru hulka moolides ja  $n$  õhus sisalduvate kõikide gaaside summaarset moolide arvu. Kui eeldada, et õhk käitub ideaalse gaasina, siis veeauru moolimurru  $X_w$  ja veeauru osarõhu  $e$  vahel kehtib järgmine seos:

$$e = X_w \cdot p \quad (8).$$

Veeauru moolimurru ja segusuhte vahel kehtib järgmine seos [2, lk 27]:

$$X_w = \frac{w}{0,622 + w} \quad (9).$$

*Absoluutseks niiskuseks*  $a$  nimetatakse ühes kuupmeetris niiskes õhus leiduva veeauru massi grammides. Meteoroloogias arvutatakse absoluutne niiskus veeauru rõhu ja temperatuuri kaudu valemi

$$a = 0,80 \cdot \frac{e}{1 + \alpha \cdot t} = 217 \cdot \frac{e}{T} \quad (10),$$

milles  $a$  on absoluutne niiskus ühikutes  $[\text{g/m}^3]$ ,  $e$  on aururõhk hektopaskalites,  $t$  on õhutemperatuur Celsiuse järgi,  $T$  on termodünaamiline temperatuur ja  $\alpha \approx 0,0037[K^{-1}]$  on õhu ruumpaisumise koefitsient [3].

*Suhteliseks niiskuseks*  $h$  nimetatakse õhus oleva veeauru rõhu ja samal temperatuuril õhku küllastava veeauru rõhu suhet väljendatuna protsentides:

$$h = \frac{e}{E'_w} \cdot 100\% \quad (11).$$

Suhteline niiskus on väga laialt levinud õhuniiskust väljendav suurus, mida mõõdavad paljud hügromeetri tüübid.

*Niiskuse defitsiit*  $d$  on küllastatud veeauru rõhu ja õhus oleva veeauru rõhu vahe:

$$d = E'_w - e \quad (12).$$

Niiskuse defitsiit näitab, kui palju tuleb õhus oleva veeauru rõhku suurendada, et saabuks küllastatud olek[3].



*Kastepunkti temperatuur*  $t_d$  on temperatuur, mille juures vee suhtes küllastatud veeauru rõhk on võrdne õhus oleva veeauru rõhuga:

$$E'_w(t_d) = e \quad (13).$$

Ka kastepunkti temperatuuri mõõdavad paljud hügromeetrid ning antud töös kirjeldatava etalonkomplekti peamise osa – kastepunkti peegelhügromeetri ülesandeks ongi selle niiskust väljendava suuruse võimalikult täpne mõõtmine.

Kuna etalonkomplektis oleva kastepunkti peegelhügromeetri peeglile võib sobivatel tingimustel tekkida jääkiht, siis toome sisse ka härmapunkti temperatuuri mõiste. *Härmapunkti temperatuur*  $t_i$  on temperatuur, milleni tuleb õhku jahutada, et tekiks küllastus jää suhtes õhu rõhku ja segusuhet muutmata.

## 2.2 Õhuniiskuse etalonidest

Maaailmas kasutatakse mitmeid õhuniiskuse etalonide tüüpe. Õhuniiskuse etalonid jaotatakse primaartaseme ja sekundaartaseme etalonideks. Primaartaseme etalonide hulka kuuluvad gravimeetriline hügromeeter, kahe temperatuuri niiskugeneraator, kahe rõhu niiskugeneraator, kahe voolu niiskugeneraator [4]. Sekundaartaseme etalone on konstrueeritud õige mitmeid, kuid siin mainime kastepunkti peegelhügromeetrit, mis on antud töös kirjeldatava etalonkomplekti üheks peamiseks osaks. Kastepunkti peegelhügromeetrit kirjeldatakse põhjalikumalt edaspidi.

Gravimeetrilise hügromeetriga mõõdetakse õhu segusuhet. Prooviõhust eraldatakse keemiliste ühendite abil täielikult veeaur ja määratakse selle mass kaalumise teel. Kuiva õhu mass arvutatakse teoreetiliselt õhu temperatuuri, rõhu ja ruumala kaudu. Nende kahe massi kaudu leitaksegi segusuhe [4].

Kahe temperatuuri niiskugeneraatoris küllastatakse õhku vee või jää suhtes teatud madalamal temperatuuril. Edasi tõstetakse küllastatud õhu temperatuuri soovitud kõrgema temperatuurini, kusjuures õhu rõhk hoitakse võimalikult konstantne. Sel viisil saab tekitada soovitud suhtelise niiskusega õhku [4].

Kahe rõhu niiskugeneraatoris küllastatakse õhku vee või jää suhtes teatud kõrgemal rõhul. Edasi vähendatakse isothermilselt küllastatud õhu rõhku soovitud madalama rõhuni, et tekitada soovitud suhtelise niiskusega õhku. Tuntud on ka kahe temperatuuri ja kahe rõhu niiskugeneraatorite kombineerimine. Kahe temperatuuri ja kahe rõhu

niiskugeneraatorite kastepunkti temperatuuri laiendmääramatus usaldusnivool  $P=95\%$  on umbes 0,05 K [4].

Kahe voolu niiskugeneraatoris segatakse omavahel vee või jää suhtes küllastatud õhku ja läbi kuivati voolavat õhku. Reguleerides nende kahe õhuvoolu ruumkiiruseid saab tekitada soovitud niiskusega õhku [4]. Kahe voolu niiskugeneraatoriga genereeritud kastepunkti temperatuuri määramatus on suurem kahe temperatuuri või kahe rõhu niiskugeneraatorite abil genereeritud kastepunkti temperatuuri määramatustest, kuna esimesel juhul on määramatuse komponente rohkem.

### **3. EKSPERIMENTAALNE OSA**

#### **3.1 Etalonkomplekti kirjeldus**

Allpool kirjeldatava õhuniiskuse etaloni põhimõte on kasutusel näiteks Soomes, Hollandis ja ka Saksamaal sekundaartaseme etalonina [5].

Esialgne plaan õhuniiskuse etaloni ülesehitamiseks saadi PTB külastusest tänu dr. G.Scholzi nõuannetele (2001 oktoober, T.Kübarsepp, V.Vabson, O.Saks). Hiljem olid aluseks nõustajana dr. J.Nielsen soovitused [5] ja viimasena dr. M.Heinonen konkreetset soovitused seadmete hanke korraldamisel, koolitus MIKES-is, nõustamine Tartus ja tema abi e-maili teel.

Riigihanke etalonikomplekti soetamisel võib lugeda õnnestunuks, sest saadi peaaegu kõik vajalikud etalonikomplekti kuuluvad seadmed. Riigihanke kaudu ei õnnestunud saada termistore temperatuuri homogeensuse kontrollimiseks kliimakambris. Samuti ei õnnestunud hankida Šveitsi firma MBW kastepunkti peegelhügromeetrit, mida peetakse Euroopa parimaks seda tüüpi hügromeetriks. Selle asemel õnnestus hankida Inglismaa firma Michell kastepunkti peegelhügromeeter, mis on samuti etalonina kasutatav mõõtevahend.

##### **3.1.1 Õhuniiskuse etaloni toimimine**

Õhuniiskuse etaloni toimimist selgitab joonis Lisas 1. Etaloni peamisteks koostisosadeks on kastepunkti peegelhügromeeter Michell S4000 (edaspidi etalonhügromeeter) ja kliimakamber Weiss WK111-340. Etalonhügromeetri ülesandeks on kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri võimalikult täpne mõõtmine. Kliimakamber on keskkonnaks, milles viiakse läbi hügromeetrite kalibreerimine. Kliimakambri abil tekitatakse ühelt poolt soovitud temperatuuri ja suhtelise niiskusega õhku, teiselt poolt peab kliimakamber tagama tema tööruumis oleva õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse ruumilise homogeensuse ja ajalise stabiilsuse.

On teada, et õhu temperatuur ja suhteline niiskus ei ole homogeensed kliimakambri kogu tööruumi ulatuses. Tagamaks sarnaseid kliimatingimusi etalonhügromeetrile ja kalibreeritavatele hügromeetritele paigutatakse kalibreeritavate hügromeetrite sensorid, etalonhügromeetri proovivõtu vooliku ots, etalonhügromeetri juurde kuuluv plaatinat-kistustermomeeter (edaspidi täppistermomeeter), tsentraalne termopaar  $T_0$  ja rõhuvooli-

ku ots lähestikku kliimakambri keskele. Etalonnühgromeetri anduriplokk paigutatakse kliimakambri tööruumi põhja vastava metallaluse peale. Teiseks võimaluseks oleks paigutada etalonnühgromeetri anduriplokk kliimakambri väljapoole. Selline konfiguratsioon eeldaks aga köetavate voolikute olemasolu, et vältida niiskes õhus oleva veeauru kondenseerumist kliimakambri ja temast väljaspool asuva etalonnühgromeetri näiduriista vahel. Antud juhul seda teed ei mindud.

Juhul, kui kalibreeritavate hühgromeetrite sensorid paiknevad vastavatest näiduriistadest eraldi, saab kalibreerimise läbi viia silindrilise peegeldava katte sees. See on valmistatud kõrge peegelduskoefitsiendiga roostevaba terasest, et kaitsta hühgromeetrite sensoreid ja termomeetreid kiirguslike mõjude eest. Juhul, kui kliimakambri seinte temperatuur erineb õhu temperatuurist kliimakambri ja peegeldavat katet ei kasutata, mõjutab kliimakambri seinte poolt kiiratud soojuskiirgus sensoreid erinevalt, kuna viimastel on erinevad emissioonitegurid. Peegeldav kate peegeldab suurema osa kliimakambri seintelt lähtuvast soojuskiirgusest tagasi, mistõttu katte sisemus, kus viiakse läbi kalibreerimine, omandab ümbritseva õhu temperatuuri. Silindriline peegeldav kate paigutatakse kliimakambri sellisel viisil, et kliimakambri ventilaator paneb õhu liikuma selle sees piki telge.

Prooviõhku imetakse läbi etalonnühgromeetri anduriplokis oleva peeglikambri pumba abil, mis paikneb kliimakambri väljaspool, et ta oma eraldatava soojusega ei rikuks temperatuurihomogeensust kliimakambri. Seega liigub prooviõhk läbi etalonnühgromeetri peeglikambri kliimakambri välja. Juhul, kui prooviõhu kastepunkti temperatuur on kõrgem kui toatemperatuur, eraldub prooviõhust väljaspool kliimakambrit üleliigne veeaur ja kondenseerub vooliku sees. Vältimaks kondenseerunud vee satumist pumpa, on ehitatud õhuvoolu tee veeauru kondensaator. Õhuvooliku vahele on asetatud vasest U-toru, mis paikneb veesärgis. Seega üleliigne veeaur kondenseerub U-torus ja voolab läbi selle põhjas oleva augu vooliku kaudu veepudelisse. Kalibreerimise ajal võib asetada jahutusvette jääkuubikuid, et kindlustada üleliigse veeauru kondenseerumine U-torus.

Kastepunkti temperatuuri täpseks mõõtmiseks peab vastavalt tootja poolt antud juhendile [6] etalonnühgromeetri peeglikambrit läbiv prooviõhu ruumkiirus jääma vahemikku 0,3 l/min kuni 0,7 l/min. Etalonnühgromeetri anduriplokis paiknev rota-meeter, mis mõõdab prooviõhu ruumkiirust, ei ole oma asendi tõttu läbi kliimakambri akna nähtav, mistõttu prooviõhu ruumkiiruse määramiseks tuleb kasutada teisi meetodeid. Antud juhul hinnatakse õhuvoolu ruumkiirust vedelikmanomeetri abil.

Õhuvoolu tee väljaspool kliimakambrit paigutatakse düüs, mille sisediaameeter düüsi keskosas muutub. Seega õhuvoolu kiirus düüsi väiksema läbimõõduga alas kasvab ning seal on suurem dünaamiline rõhk ja väiksem staatiline rõhk. Et saavutada antud õhuvoolu ruumkiiruse juures märgatavat rõhkude vahet, peab düüsi väiksem siseläbimõõt olema alla millimeetri. Teadmaks õhuvoolu ruumkiiruse ja manomeetris tekkiva vedelikunivoode vahelist sõltuvust, viidi läbi vastav kalibreerimine, mille tulemused on esitatud käesoleva töö lisas 2. Selleks registreeriti rotameetri ja manomeetri näidud õhu erinevatel ruumkiirustel. Õhuvoolu ruumkiirust reguleeritakse nõelventiili abil.

Kuna prooviõhk liigub läbi peeglikambri, siis on õhu rõhk peegli kohal pisut madalam kui kalibreerimise ruumiosas. Seega etalonhügromeeter näitab pisut erinevat kastepunkti temperatuuri väärtust võrreldes kastepunkti temperatuuriga kalibreerimise ruumiosas. Seetõttu mõõdetakse firma Ahlborn rõhumuunduri ja näiduriista abil õhurõhku kalibreerimise ruumiosas ja vahetult etalonhügromeetri peegli taga. Mõõtmise ajal liigutakse ühelt rõhult teisele ventiili abil, mis paikneb väljaspool kliimakambrit enne rõhumuundurit. Mõõdetud rõhkude vahest vahetult peegli taga ja kalibreerimise ruumiosas saab arvutada kastepunkti temperatuurile rõhu erinevusest tingitud parandi.

Hügromeetrite kalibreerimisel on oluline teada temperatuuri ruumilist mittehomoogeensust kalibreerimise ruumiosas. Temperatuuri ruumilise mittehomoogeensuse hindamiseks paigutatakse diferentsiaaltermopaarid  $T_1$  kuni  $T_6$  ümber kalibreerimise ruumiosa. Tugitermopaar  $T_0$  paigutatakse kalibreerimise ruumiosa keskele. Termopaaridega ühendatud digitaalne multimeeter Time Electronics 5075 mõõdab tekkivaid termopingeid, mille kaudu saab otsustada temperatuurijaotuse üle kalibreerimise ruumiosas.

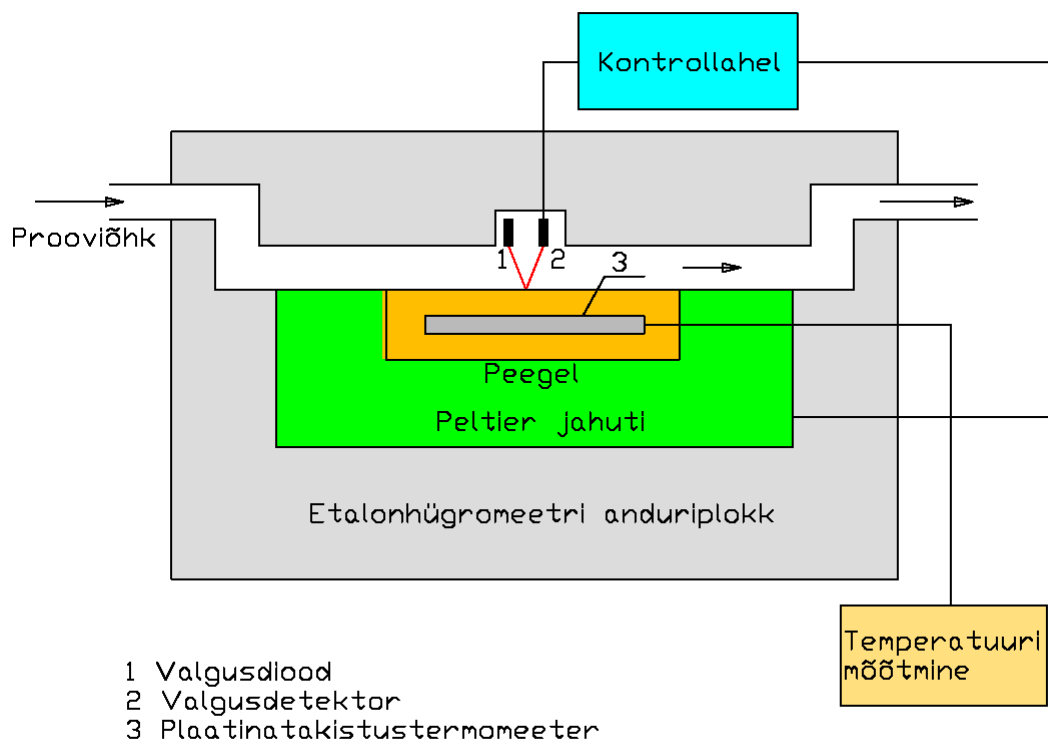
Lisaks multimeetritele ja firma Ahlborn näiduriistale paigutatakse kliimakambrit välja veel kalibreeritavate hügromeetrite näiduriistad, etalonhügromeetri näiduriist ja arvuti. Arvuti on vajalik eeskätt andmetöötluseks. Arvutis paikneb MS Excel-i tööleht, mis sisestatavate mõõteriistade näitude põhjal arvutab automaatselt kalibreeritavatele hügromeetritele parandid koos laiendmääramatustega. Samuti on tulevikus võimalik multimeetri näitude automaatne arvutisse lugemine, mis muudab kalibreerimise protsessi vähem tülikaks. Ka kliimakambrit on võimalik arvuti kaudu juhtida.

Peegli seisundit on võimalik jälgida mikroskoobiga, mille okulaar ulatub kliimakambrit väljapoole.

Kliimakambril on kaks porti, mille kaudu juhtmeid ja voolikuid kliimakambrist välja viia. Läbi suurema pordi, mille diameeter on 125 mm, viiakse kliimakambrist välja püsiseadmete juhtmed ja voolikud, väiksem port läbimõõduga 50 mm on puhtalt kalibreeritavate hügromeetrite päralt. Pordid suletakse vahtplastiga, mis on kergesti töödeldav ja parajalt elastne materjal.

### 3.1.2 Etalanhügromeeter

Michell S4000 jahutatava peegliga kastepunkti hügromeetri tööprintsipi selgitab joonis 1. Peltier efekti abil jahutatakse hügromeetri peeglit temperatuurini, mil peeglile tekib udukiht. See temperatuur ongi kastepunkti temperatuur. Peegli temperatuuri mõõdab peegli sisse ehitatud miniatuurne platinatakestustermomeeter (PRT). Peegli temperatuuri hoidmiseks kastepunkti temperatuuril kasutatakse optilist tagasisidet. Valgusdiodist lastakse peeglile valgust, mis peegeldub valgusdetektorisse. Juhul kui peeglile tekib udukiht, väheneb valgusdetektorisse jõudnud valguse hulk hüppeliselt. Valgusdetektor tüürib kontrollahelat, mis reguleerib Peltier` jahutile antavat võimsust



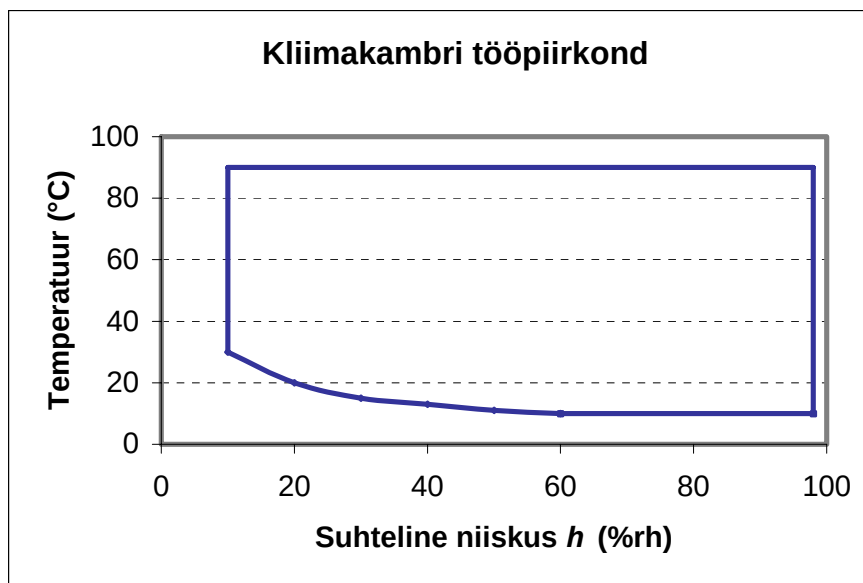
Joonis 1 Etalanhügromeetri anduriplokk

Etalonhügromeeter mõõdab kastepunkti temperatuuri vahemikus  $-75\text{ °C}$  kuni  $+85\text{ °C}$ . Etalonhügromeetri lubatud põhiviga on  $\pm 0,1\text{ °C}$  ning resolutsioon on  $0,01\text{ °C}$  [5].

### 3.1.3 Kliimakamber Weiss WK111-340

Kliimakambris segab õhku ventilaator, mis imeb tööruumis oleva õhu kliimakambri tööruumi taha. Edasi liigub õhk kliimakambri tööruumi põhja all ning kerkib eest uuesti tööruumi. Kliimakambri tööruumi taga paiknevad veereservuaar ja küttekeha, millede abil muudetakse õhku niiskemaks ja soojemaks. Kliimakambri ees tööruumi põhja all paikneb elektriline psühromeeter, mille kuiva ja märja termomeetri kaudu toimib tagasiside õhuniiskuse ja temperatuuri seadmisel kliimakambris.

Kliimakambri tööpiirkonda kujutab joonisel 2 olev kinnine kõver suhtelise niiskuse ja temperatuuri skaalas. Sellelt jooniselt paistab, et kliimakamber ei suuda tekitada madalaid absoluutseid niiskuseid. Kliimakambri tööpiirkonda madalamate niiskuste suunas aitaks pisut laiendada väline kompressor, mis puhuks õhku väljast läbi kuivati kliimakambrisse.



Joonis 2 Kliimakambri tööpiirkond

Temperatuuri ruumiline mittehomoogeensus kliimakambri tööruumis on tootja andmetel  $\pm 0,5\text{ °C}$  kuni  $\pm 2\text{ °C}$  ning temperatuuri ajaline ebastabiilsus jääb  $\pm 0,1\text{ °C}$  ja

$\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  vahele. Suhtelise niiskuse ajaline ebastabiilsus on tootja andmetel  $\pm 1\text{ \%rh}$  kuni  $\pm 3\text{ \%rh}$  [7].

### **3.2 Etalonkomplekti hooldamine**

Peamised etalonikomplekti osad, mis vajavad hooldamist, on kliimakamber ja etalonhügromeeter. Kliimakambriga seotud hooldustööd on veereservuaaris oleva vee vahetamine, mida tehakse umbes kord kahe kuu jooksul ja kliimakambri tööruumi pesemine, mida aktiivse kasutamise perioodil tehakse umbes kaks korda kuus.

Peamiseks etalonhügromeetriga seotud hooldustööks on selle peegli puhastamine. Peegli puhastamine on tähtis protseduur. Määratud peegliga etalonhügromeeter ei mõõda kastepunkti temperatuuri päris õigesti. Järgides tootja soovitusi puhastatakse peeglit destilleeritud vee ja etanooliga, kasutades vatipulkasid. Dr. Heinonen on näidanud, et vatipulgad on ka ise saaste allikaks, mistõttu vatipulkadega eemaldatakse peeglilt ainult suurem mustus. Edasiseks peegli puhastamiseks süstitakse peeglile kogu peeglit kattev veetilk, mis omakorda imetakse peeglilt ära. Sel viisil saab peegli puhtamaks kui lihtsalt vatipulgaga pestes [8].

### **3.3 Hügromeetrite kalibreerimine**

#### **3.3.1 Kalibreerimise eesmärk**

Hügromeetrite kalibreerimisel on kaks tähendust. Esimeses tähenduses leitakse hügromeetritele suhtelise niiskuse, kastepunkti temperatuuri ja temperatuuri parandid koos vastavate laiendmääramatustega. Teises tähenduses kontrollitakse, kas hügromeeter on säilitanud tootja poolt deklareeritud parameetrid. Paljud kliendid ei soovigi leida parandeid oma hügromeetritele vaid soovivad nende kalibreerimist selle teises tähenduses.

#### **3.3.2 Kalibreerimise protseduur**

Enne kalibreerimise juurde asumist tuleb tutvuda kalibreeritavate hügromeetrite juurde kuuluvate juhenditega, selgitamiseks välja, kuidas antud mõõtevahenditega ringi käia.



Hügromeetrite kalibreerimisel viiakse nende sensorid läbi väiksema pordi kliimakambri ja kinnitatakse kliimakambri keskele teineteise lähedale. Samasse ruumi osasse kinnitatakse ka täppistermomeeter, tugitermopaar, etalonhügromeetri proovivõtu vooliku ots ja rõhuvooliku ots. Ümber mõõteruumi kinnitatakse kuus diferentsiaal-termopaari. Juhul kui hügromeetrite sensorid paiknevad näiduriistadest eraldi, saab nimetatud sensorid ja voolikud kinnitada peegeldava katte sisse. Kui mõõtevahendid on kinnitatud, veendutakse selles, et veeauru kondensaatoris oleks piisavalt jahutusvett, samuti käivitatakse pump ja veendutakse, et manomeetris tekib sobiv vedelikunivoode vahe (umbes 6 cm). Edasi suletakse tihedalt väiksem port ja kliimakambri uks. Järgnevalt lülitatakse vooluvõrku kõik seadmed: kliimakamber, etalonhügromeeter, multimeeter, rõhku mõõtev näiduseade ja kalibreeritavad hügromeetrid. Kliimakambri puutekraani või arvuti kaudu sisestatakse soovitud temperatuuri ja suhtelise niiskuse väärtused. Kui kliimakambris tsirkuleeriva õhu temperatuur ja suhteline niiskus on jõudnud saavutada soovitud väärtused ja stabiliseerunud, mida näitab kliimakambri puutekraanil olev graafik, sisestatakse vastavale MS Excel-i töölehele mõõteriistade näidud ning valitakse uus soovitud temperatuuri ja suhtelise niiskuse väärtus.

Enne kalibreerimise juurde asumist tuleb vaadata läbi mikroskoobi peeglile. Eriti oluline on see alla 0 °C kastepunkti temperatuuridel, kuna peeglile võib sobivatel tingimustel tekkida jääkiht. Juhul kui peeglile tekib jääkiht, ei saa etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näitu lugeda õigeks. Õhuniiskuse etaloni tööpiirkonnas, mis on vahemikus -10 °C kuni +60 °C kastepunkti temperatuuri järgi, tekib madalatel kastepunkti temperatuuridel peeglile jääkiht tavaliselt siis, kui peegel on määrdunud – puhta peegli korral üldiselt peegli jäätumise ohtu ei ole.

Kui temperatuur ja suhteline niiskus on kliimakambris stabiliseerunud, viiakse läbi etalonhügromeetri balansseerimine. Balansseerimise käigus tõstab etalonhügromeeter automaatselt peegli temperatuuri, nii et kogu peeglil olev vesi aurustub. Peegli pinnale jääb ainult saaste, mis vähendab peegli peegelduskoefitsienti. Edasi reguleeritakse balansseerimise indikaatori osuti skaala keskele. Sel viisil vähendatakse peegli saastumise efekti kastepunkti temperatuuri mõõtmisel [6].

Hügromeetrite kalibreerimisel alustatakse madalamatest temperatuuridest ja suhtelistest niiskustest. Edasi hoitakse temperatuur kliimakambris konstantsena ja suurendatakse suhtelist niiskust. Kui mingil madalamal temperatuuril on kõik kalibreerimised tehtud, seatakse kliimakambri abil järgmine kõrgem temperatuur ja liigutakse jällegi madalamatelt suhtelistelt niiskustelt kõrgemate suunas. Juhul kui kalibreerimist

alustada kõrgetel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel, kondenseerub prooviõhus olev veeaur etalonhügromeetri anduriplokis, kuna anduriploki temperatuur muutub aeglasemalt kui õhu temperatuur kliimakambris.

Kalibreerimisel hinnatakse ka hügromeetrite hüstereesiefekti. Selleks liigutakse konstantsel temperatuuril kõigepealt madalamatelt suhtelistelt niiskustelt kõrgematele suhtelistele niiskustele ja seejärel kõrgematelt suhtelistelt niiskustelt uuesti madalamatele suhtelistele niiskustele. Tavaliselt tehakse mõõtmisi tööpäeva jooksul ühel temperatuuril.

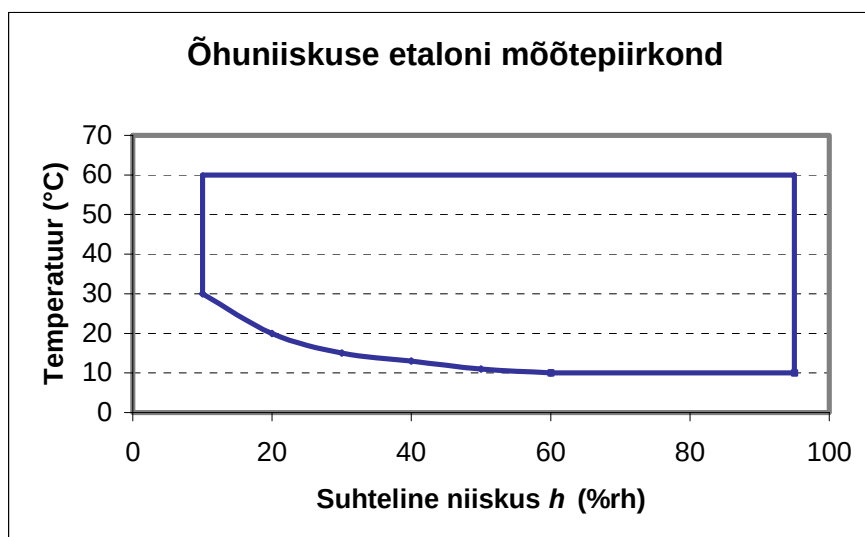
Kui mõõtmised on tehtud, lülitatakse mõõteriistad vooluvõrgust välja, avatakse kliimakambri uks ning toimetatakse kalibreeritavad hügromeetrid kliimakambrist välja.

### **3.3.3 Täppistermomeetri kalibreerimine**

Õhuniiskuse täpsaks arvutamiseks on vaja täpselt mõõta kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri, täpne rõhu mõõtmine ei ole nii kriitiline. Kuna etalonhügromeetri juurde kuuluv täppistermomeeter ei olnud eelnevalt kalibreeritud, tuli seda teha kohapeal. Täppistermomeetrit kalibreeriti kahe Hart Scientific 5626-15 etalontermomeetriga. Selleks asetati termomeetrid läbi vahtplastist kaane kinnisesse veeanumasse ja paigutati kliimakambrisse, milles tekitati umbes samasugune temperatuur nagu anumas oleval veel. Seejärel lasti temperatuuridel ühtlustuda ja võeti termomeetrite lugemid. Temperatuuride ühtlustumine võttis aega mitmeid tunde. Täppistermomeeter kalibreeriti temperatuurivahemikus +10 °C kuni +80 °C. Kalibreerimise tulemused on esitatud lisas 5.

### **3.3.4 Etaloni mõõtepiirkond**

Õhuniiskuse etaloni mõõtepiirkond on kujutatud joonisel 3. Ehkki kliimakamber võimaldab seada õhku temperatuurini +90 °C ja etalonhügromeeter võimaldab mõõta õhuniiskust temperatuuri +85 °C juures, piirneb etaloni mõõtepiirkond temperatuuriga 60 °C, kuna rahvusvahelised võrdlusmõõtmised katsid just seda piirkonda (vt.ptk. 3.5.1).



Joonis 3 Õhuniiskuse etaloni mõõtepiirkond

### 3.3.5 Kalibreerimise matemaatiline mudel

Käesolevas punktis näidatakse, kuidas arvutada temperatuuri ja suhtelise niiskuse parandit kalibreeritavale mõõteriistale.

Hügromeetrite kalibreerimisel määratakse parandid kahes suunas: suhtelise niiskuse kasvamise suunas ja suhtelise niiskuse kahanemise suunas konstantsel temperatuuril. Suhtelise niiskuse kasvamise suund tähendab seda, et kalibreerimist alustatakse kõige madalamast suhtelisest niiskusest ja liigutakse kõrgemate suhteliste niiskuste suunas, lõpetades kõige kõrgema soovitud suhtelise niiskusega. Suhtelise niiskuse kahanemise suuna korral alustatakse kalibreerimist kõige kõrgemast soovitud suhtelisest niiskusest ja liigutakse madalamate suhteliste niiskuste suunas, lõpetades kalibreerimise kõige madalamal soovitud suhtelise niiskuse väärtusel. Sel viisil saab hinnata hügromeetrite kalibreerimisel esinevat hüstereesieffekti. Suhtelise niiskuse parand avaldub järgmise valemiga:

$$q(h) = \frac{q(h)_u + q(h)_d}{2} \quad (14),$$

milles  $q(h)_u$  on suhtelise niiskuse parand suhtelise niiskuse kasvamise suunas ja  $q(h)_d$  on suhtelise niiskuse parand mõõdetuna suhtelise niiskuse kahanemise suunas. Mõlemad parandid on määratud ühesugusel temperatuuril ja suhtelisel niiskusel.

Suhtelise niiskuse parand mõõdetuna suhtelise niiskuse kasvavas suunas arvutatakse vastavalt valemile:

$$q(h)_U = h_{Lep,U} - (h_{X,U} + \delta h_{X,Re s,U}) \quad (15).$$

Valemis (15) tähistavad suurused  $h_{Lep,U}$  - suhtelise niiskuse leppeväärtust mõõdetuna suhtelise niiskuse kasvamise suunas,  $h_{X,U}$  - kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näitu mõõdetuna suhtelise niiskuse kasvamise suunas ning  $\delta h_{X,Re s,U}$  - kalibreeritava niiskuse mõõduri lõplikust lahutusvõimest tingitud parandit. Selle parandi väärtus on hinnatud nullile, kuid mõõtemääramatus on nullist erinev.

Suhtelise niiskuse parand mõõdetuna suhtelise niiskuse kahanemas suunas on esitatav valemiga:

$$q(h)_D = h_{Lep,D} - (h_{X,D} + \delta h_{X,Re s,D}) \quad (16).$$

Valemis (16) tähistavad suurused  $h_{Lep,D}$  - suhtelise niiskuse leppeväärtust,  $h_{X,D}$  - kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näitu ja  $\delta h_{X,Re s,D}$  - kalibreeritava hügromeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud parandit mõõdetuna suhtelise niiskuse kahanemise suunas. Valemis (16) viimase liikme väärtus on hinnatud nullile, kuid mõõtemääramatus on nullist erinev.

Kuna järgnevad arvutused on sarnased, milles suhtelist niiskust mõõdetakse nii kasvamise kui ka kahanemise suunas, siis neid arvutusi ei dubleerita ja edaspidi jätetakse indeksid U ja D ära.

Suhtelise niiskuse parandile avaldavad kõige rohkem mõju temperatuuri parand ja kastepunkti temperatuuri parand. Temperatuuri parand on arvutatav järgmise valemiga:

$$q(t) = t_{Lep} - t_X + \delta t_{X,Re s} \quad (17).$$

Valemis (17) tähistavad suurused  $q(t)$  - temperatuuri parandit kalibreeritavale mõõteriistale,  $t_{Lep}$  - temperatuuri leppeväärtust,  $t_X$  - kalibreeritava termomeetri näitu Celsiuse skaalas ja  $\delta t_{X,Re s}$  - kalibreeritava termomeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud parandit, mille väärtus on hinnatud nullile, kuid mõõtemääramatus on nullist erinev.

Suurused  $t_X$  ja  $h_X$  leitakse aritmeetilise keskmisena üksikmõõtmistest.

Suhtelise niiskuse leppeväärtus avaldub valemiga:

$$h_{Lep} = \frac{E_w'(T_D, p)}{E_w'(T, p)} = \frac{f(p, t_D) \cdot E_w(T_D)}{f(p, t) \cdot E_w(T)} \quad (18).$$

Valemis (18) tähistavad suurused  $E_w(T_D)$  ja  $E_w(T)$  küllastatud auru rõhke süsteemis vesi-veeaur vastavalt kastepunkti termodünaamilisel temperatuuril, mida mõõdab etalonhügromeetri peegli sisse ehitatud plaatinatakistustermomeeter ja õhu termodünaa-

milisel temperatuuril mida mõõdab etalonhügromeetri juurde kuuluv täppistermo-meeter. Suurused  $E_w'(T_D, p)$  ja  $E_w'(T, p)$  iseloomustavad küllastatud veeauru rõhke õhus kastepunkti temperatuuril ja õhu temperatuuril. Suurused  $f(p, t_D)$  ja  $f(p, t)$  iseloomustavad õhusegu olevate teiste gaaside mõju veeauru rõhule vastavalt kastepunkti temperatuuril ja õhu temperatuuril Celsiuse skaalas ja suurus  $p$  tähistab õhusegu rõhku hektopaskalites [4].

Küllastatud veeauru rõhk õhu temperatuuril avaldub Sonntagi valemi kaudu järgmisel kujul:

$$E_w(T) = \exp[A \cdot T^{-1} + B + C \cdot T + D \cdot T^2 + E \cdot \ln(T)] + \delta E_w(T) \quad (19).$$

Valemis (19) tähistab suurus  $T$  õhu termodünaamilist temperatuuri ja suurus  $E_w(T)$  tähistab küllastatud auru rõhku hektopaskalites süsteemis vesi-veeaur õhu termodünaamilisel temperatuuril [4]. Suurus  $\delta E_w(T)$  iseloomustab Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenevat küllastatud veeauru rõhu parandit, mille väärtus on hinnatud nullile, kuid mõõtemääramatus on nullist erinev. Kordajad  $A, B, C, D$  ja  $E$  on Sonntagi koefitsiendid [4]. Küllastatud veeauru rõhud kastepunkti temperatuuril avalduvad valemiga (19), milles argumendiks on kastepunkti termodünaamiline temperatuur  $T_D$ .

Kastepunkti temperatuuri leppeväärtus avaldub järgnevalt:

$$t_D = t_{D, Mich} + \Delta t_{D, Par} + \Delta t_{D, P} + \delta t_{D, Interp} + \delta t_{D, Hom} + \delta t_{D, Stab} + \delta t_{D, Res} \quad (20).$$

Valemis (20) tähistavad suurused  $t_{D, Mich}$  - etalonhügromeetriga mõõdetavat kastepunkti temperatuuri,  $\Delta t_{D, Par}$  - etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri parandit, mis on määratud etalonhügromeetri kalibreerimisel UKAS-i laboris nr. 0179. Kuna parandid on etalonhügromeetrile kalibreerimise käigus määratud kindlates punktides, siis parandite leidmiseks suvalises punktis interpoleeritakse parandigraafikut. Suurus  $\Delta t_{D, P}$  tähistab kastepunkti temperatuuri parandit, mis on tingitud rõhkude vahest kalibreerimise ruumiosas ja etalonhügromeetri peegli juures. Valemis (20) tähistavad suurused  $\delta t_{D, Interp}$  - kastepunkti temperatuuri parandigraafiku interpoleerimisest tingitud parandit,  $\delta t_{D, Hom}$  - kastepunkti ruumilisest mittehomogeensusest tingitud parandit,  $\delta t_{D, Stab}$  - kastepunkti temperatuuri ajalisest fluktrueerimisest tingitud parandit kliimakambris ja  $\delta t_{D, Res}$  - etalonhügromeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud kastepunkti temperatuuri parandit. Nelja viimati mainitud parandi väärtused on hinnatud nullile, kuid evivad lõplikku mõõtemääramatust.

Rõhu efekti kastepunkti temperatuurile iseloomustab järgmine valem:

$$\Delta t_{D,P} = \frac{\frac{p_{Pr oov}}{p_{Mich}} - 1}{-A \cdot T_{D,Mich}^{-2} + C + 2 \cdot D \cdot T_{D,Mich} + E \cdot T_{D,Mich}^{-1}} \quad (21).$$

Valemis (21) tähistavad suurused  $p_{Pr oov}$  ja  $p_{Mich}$  vastavalt rõhkusid mõõtekohas ja etalonhügromeetri peegli juures, suurused  $A$ ,  $C$ ,  $D$  ja  $E$  tähistavad Sonntagi koefitsiente ja suurus  $T_{D,Mich}$  märgib etalonhügromeetri poolt mõõdetud kastepunkti termodünaamilist temperatuuri. Valemi (21) tuletuskäik on esitatud lisas 3 [9].

Suurus  $t_{D,Mich}$  arvutatakse aritmeetilise keskmisena üksikmõõtmistest.

Etalonhügromeetri peegli juures ei ole võimalik rõhku vahetult mõõta. Rõhku mõõdetakse vahetult peegli taga ja eeldatakse, et kehtib võrdus:

$$p_{Mich} = \frac{p_{Pr oov} + p_0}{2} \quad (22),$$

kus suurus  $p_0$  märgib rõhku vahetult peegli taga. Kogemused näitavad, et rõhk mõõtekohas on umbes 200 Pa võrra suurem, kui peegli taga, kus rõhku mõõdetakse.

Suurused  $p_{Pr oov}$  ja  $p_0$  arvutatakse aritmeetilise keskmisena üksikmõõtmistest.

Temperatuuri leppeväärtus avaldub kujul:

$$t_{Lep} = t_{Mich} + \Delta t_{Par} + \delta t_{Interp} + \delta t_{Hom} + \delta t_{Stab} + \delta t_{Re s} \quad (23).$$

Valemis (30) tähistavad suurused  $t_{Mich}$  ja  $\Delta t_{Par}$  vastavalt täppistermomeetri näitu ja selle kalibreerimisel saadud parandit. Michelli termomeetri kalibreerimisel leiti sellele soovitud temperatuuridel parandid. Leidmaks parandeid suvalisel soovitud temperatuuril temperatuuri mõõtmise vahemikus, otsitakse parandigraafikut parabooli kujul kasutades vähimruutude meetodit (vt. Lisa 5). Valemis (23) tähistavad suurused  $\delta t_{Interp}$  - temperatuuri parandigraafiku parabooliga lähendamise parandit,  $\delta t_{Hom}$  - temperatuuri mittehomogeensusest tingitud parandit,  $\delta t_{Stab}$  - temperatuuri ajalisest fluktueerimisest tingitud parandit ja  $\delta t_{Re s}$  - Michelli termomeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud parandit. Nelja viimatimainitud parandi väärtused on hinnatud nullile, kuid omavad lõplikku mõõtemääramatust.

Suurus  $t_{Mich}$  arvutatakse aritmeetilise keskmisena üksikmõõtmistest.

Järgnevas loetelus esitatakse mõningate kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri parandite väärtused:

- $\Delta t_{D,Par}$  - -0,05 °C kuni +0,19 °C

- $\Delta t_{D,P}$  - +0,01 °C kuni 0,02 °C
- $\Delta t_{Par}$  - 0,00 °C kuni +0,06 °C

### 3.3.6 Mõõtemääramatuse hindamine

Selles alapunktis näidatakse, kuidas leida laiendmääramatused termomeetrite ja niiskuse mõõturite paranditele. Samas ei soovi kaugeltki mitte kõik kliendid, et nende mõõteriistu kalibreeritaks selle tavalises mõistes. Selle asemel soovivad kliendid, et me kontrolliksime, kas nende mõõteriistad näitavad tootja poolt deklareeritud täpsusega. Seetõttu näidatakse selles alapunktis ka, kuidas hinnata mõõteriista vastavust tootja poolt deklareeritud mõõteriista lubatud põhiveale.

Temperatuuri leppeväärtuse liitstandardmääramatus leitakse valemist (23):

$$u(t_{Lep}) = \sqrt{u(\delta t_{Hom})^2 + u(\Delta t_{Par})^2 + u(\delta t_{Interp})^2 + u(\delta t_{Res})^2 + u(\delta t_{Stab})^2} \quad (24).$$

Valemis (24) tähistavad suurused  $u(\delta t_{Hom})$  - temperatuuri ruumilisest mittehomoogeensusest tulenevat määramatust,  $u(\Delta t_{Par})$  - termomeetri kalibreerimise määramatust,  $u(\delta t_{Interp})$  - parandigraafiku parabooliga lähendamisel esinevat määramatust,  $u(\delta t_{Res})$  - täppistermomeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud määramatust ja  $u(\delta t_{Stab})$  - temperatuuri ajalisest fluktrueerimisest tingitud määramatust kliimakambris. Valemis (24) on eeldatud, et selle valemi kõik liikmed on omavahel sõltumatud [10].

Suurus  $u(\delta t_{Hom})$  leitakse ümber mõõtekoha paigutatud termopaaride poolt genereeritud termopingete kaudu. Termopaarid on valmistatud vask- ja konstantaantraadist, mistõttu temperatuuri muutus 1 °C tugitermopaari  $T_0$  ja tugitermopaaride  $T_1$ - $T_6$  vahel põhjustab termopinge umbes 40  $\mu$ V. Samas on termopaaridega ühendatud multimeetri skänneri lubatud põhiveaks  $\Delta U_{Skan}$  antud 2  $\mu$ V, millele vastab umbes 0,05 °C. Temperatuuri homogeensuse  $u(\delta t_{Hom})$  arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$u(\delta t_{Hom}) = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{Termop}}{40 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{Skan}}{40 \cdot \sqrt{3}}\right)^2} \quad (25).$$

Valemis (25) tähistavad suurused  $\Delta U_{Termop}$  ja  $\Delta U_{Skan}$  vastavalt termopaaride  $T_1$ - $T_6$  poolt genereeritud maksimaalse ja minimaalse termopinge vahet mõõdetuna mikrovoltides ning multimeetri skänneri lubatud põhiviga mikrovoltides.

Valemis (24) esinev liige  $u(\Delta t_{Par})$  leitakse Michelli täppistermomeetrit Katsekojale kuuluvate etalontermomeetritega veeanumas kalibreerides.

Termomeetri parandigraafiku paraboliga lähendamisel kaasneb alati mingi määramatus  $u(\delta t_{interp})$ . Michelli termomeetri parandigraafiku paraboliga lähendamine ja selle lähendamise määramatuse leidmine esitatakse lisas 5.

Valemis (24) avaldub Michelli termomeetri lõplikust lahutusvõimest tulenev standardmääramatus järgmiselt:

$$u(\delta t_{Res}) = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} \cdot [^{\circ}C] \quad (26),$$

kuna etalonhügromeetri juurde kuuluva täppistermomeetri lahutusvõimeks on  $0,01^{\circ}C$ .

Temperatuuri ajalisest fluktrueerimisest tingitud määramatus  $u(\delta t_{Stab})$  on hinnatud aritmeetilise keskmise standardhälbega Michelli termomeetri näitudest:

$$u(\delta t_{Stab}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_{Mich,i} - t_{Mich})^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (27),$$

kus suurus  $N$  tähistab Michelli termomeetriga sooritatud kordusmõõtmiste arvu [10].

Esimeses lähenduses võib valemis (24) jätta liikme  $u(\delta t_{Res})$  arvestamata, kuna selle panus üldisesse määramatusesse on tühiselt väike, nagu selgub lisas 6.

Kalibreeritava termomeetri temperatuuriparandi laiendmääramatuse arvutamisel usaldusnivool  $P=95\%$  lähtutakse valemist (17):

$$U(q(t)) = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial q(t)}{\partial t_{Lep}} u(t_{Lep})\right)^2 + \left(\frac{\partial q(t)}{\partial t_X} u(t_X)\right)^2 + 2 \frac{\partial q(t)}{\partial t_{Lep}} \frac{\partial q(t)}{\partial t_X} \cdot u(t_{Lep}) u(t_X) \cdot r(t_{Mich}, t_X)} \quad (28).$$

Valemis (28) tähistavad suurused  $u(t_X)$  ja  $r(t_{Mich}, t_X)$  vastavalt kalibreeritava termomeetri temperatuuri määramatust ning korrelatsioonikoefitsienti täppistermomeetri näitude ja kalibreeritava termomeetri näitude vahel, kuna vastavad suurused on korreleeruvad. Suurus  $u(t_X)$  sisaldab nii kalibreeritava termomeetri näitude aritmeetilise keskmise standardhälvet kui ka selle lõplikust lahutusvõimest tingitud määramatust [10].

Kastepunkti temperatuuri leppeväärtuse liitstandardmääramatus leitakse valemi (20) kaudu järgmisel kujul:

$$u(t_D) = \sqrt{u(\delta t_{D,Hom})^2 + u(\Delta t_{D,P})^2 + u(\Delta t_{D,Par})^2 + u(\delta t_{D,Interp})^2 + u(\delta t_{D,Res})^2 + u(\delta t_{D,Stab})^2} \quad (29).$$



Valemis (29) tähistavad suurused  $u(\delta t_{D,Hom})$  - kastepunkti ruumilisest mittehomogeensusest tulenevat määramatuse komponenti kliimakambris,  $u(\Delta t_{D,P})$  - rõhu mõõtmise määramatusest tulenevat efekti kastepunkti temperatuuri määramatusele  $u(\Delta t_{D,Par})$  - etalonhügromeetrile kalibreerimisel omistatud kastepunkti temperatuuri parandi määramatust,  $u(\delta t_{D,Interp})$  - parandigraafiku interpoleerimise määramatust,  $u(\delta t_{D,Res})$  - etalonhügromeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud määramatust ja  $u(\delta t_{D,Stab})$  - kastepunkti ajalisest fluktueerimisest tingitud määramatust kliimakambris [10].

Kastepunkti temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatuse  $u(\delta t_{D,Hom})$  hindamisel kasutatakse nelja firma Ahlborn mahtuvuslikku hügromeetrit, mis on asetatud soovitud ruumipunktidest ümber kalibreerimise ruumiosa (vt.ptk. 3.5.3).

Suurus  $u(\Delta t_{D,P})$  on leitav valemist (21) ja (22) järgmisel kujul:

$$u(\Delta t_{D,P}) = \frac{u(\Delta p)}{p_{Mich} \cdot \left( \frac{-A}{T_{D,Mich}^2} + C + 2 \cdot D \cdot T_{D,Mich} + \frac{E}{T_{D,Mich}} \right)} \quad (30).$$

Valemis (30) tähistab suurus  $u(\Delta p)$  etalonhügromeetri peegli juures oleva rõhu mõõtmise määramatust ja on hinnatav järgmise valemi kaudu:

$$u(\Delta p) = \frac{(p_{Pr oov} - p_0)}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (31).$$

Etalonhügromeetri parandi määramatuse  $u(\Delta t_{D,Par})$  hindamisel kasutatakse kalibreerimistunnistust, milles kastepunkti temperatuuri parandi määramatuseks võetakse antud kalibreerimistunnistuses esinev maksimaalne määramatus.

Kastepunkti temperatuuri parandigraafiku interpoleerimise määramatuse  $u(t_{D,Interp})$  leidmine on esitatud lisas 4.

Kastepunkti temperatuuri määramatuse komponent, mis on tingitud etalonhügromeetri lõplikust lahutusvõimest avaldub kujul:

$$u(t_{D,Res}) = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (32).$$

Kastepunkti temperatuuri määramatuse komponent tingituna kastepunkti temperatuuri ajalisest fluktueerimisest kliimakambris avaldub etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näitude aritmeetilise keskmise standardhälbega:

$$u(\delta t_{D,Stab}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (t_{D,Mich,i} - t_{D,Mich})^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (33).$$

Kuna suurused  $u(\Delta t_{D,P})$ , ja  $u(\delta t_{D,Re s})$  mõjutavad tühisel määral kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parandi määramatust, nagu selgub lisas 6, võib need ka valemis (29) ära jätta.

Küllastatud veeauru rõhu liitstandardmääramatused õhu temperatuuril ja kastepunkti temperatuuril avalduvad vastavalt valemile (19) kujul [10]:

$$u(E_w'(T, p)) \approx \sqrt{\left[ f(p) \cdot \frac{\partial E_w(T)}{\partial T} \cdot u(t) \right]^2 + [f(p) \cdot u(\delta E_w(T))]^2} \quad (34)$$

ja

$$u(E_w'(T_D, p)) \approx \sqrt{\left[ f(p) \cdot \frac{\partial E_w(T_D)}{\partial T_D} \cdot u(t_D) \right]^2 + [f(p) \cdot u(\delta E_w(T_D))]^2} \quad (35).$$

Valemites (34) ja (35) tähistavad suurused  $u(\delta E_w(T_D))$  ja  $u(\delta E_w(T))$  Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenevaid küllastava veeauru rõhu määramatuseid vastavalt kastepunkti temperatuuril ja õhu temperatuuril. Esimeses lähenduses võib need määramatusekomponendid ära jätta, kuna nad mõjutavad tühisel määral lõpptulemuses esinevat kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parandi laiendmääramatust. Valemites (34) ja (35) kehtib ligikaudne võrdu - kuna küllastatud veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril ja õhu temperatuuril sõltub rõhu mõõtmise täpsusest väga tühisel määral, siis nendes valemites ei diferentseerita küllastatud veeauru rõhke õhurõhu suhtes.

Suhtelise niiskuse leppeväärtuse liitstandardmääramatus leitakse valemi (18) kaudu ja see avaldub kujul [10]:

$$u(h_{Lep}) = \sqrt{\left[ \frac{\partial h_{Lep}}{\partial E_w(T_D)} \cdot u(E_w(T_D)) \right]^2 + \left[ \frac{\partial h_{Lep}}{\partial E_w(T)} \cdot u(E_w(T)) \right]^2} \quad (36),$$

mis peale osatuletiste võtmist on esitatav valemiga:

$$u(h_{Lep}) = \sqrt{\left[ \frac{u(E_w(T_D))}{E_w(T)} \right]^2 + \left[ \frac{E_w(T_D) \cdot u(E_w(T))}{-(E_w(T))^2} \right]^2} \cdot 100\% \quad (36 a).$$

Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parandi liitstandardmääramatuse leidmisel kasutatakse valemeid (15) või (16), sõltuvalt sellest, kumma valemi järgi arvutatud liitstandardmääramatus annab suurema väärtuse. Sel teel hinnatakse mõõtevahendi hüstereesist tingitud määramatust kalibreeritava õhuniiskuse mõõturi parandile. Kuna pole teada, kumma valemi järgi arvutatud määramatus on suurem, jäetakse järgnevas valemis indeksid U ja D ära. Seega avaldub õhuniiskuse mõõturi parandi liitstandardmääramatus järgnevalt:

$$u(q(h)) = \sqrt{\left(\frac{\partial q(h)}{\partial h_{Lep}} u(h_{Lep})\right)^2 + \left(\frac{\partial q(h)}{\partial h_X} u(h_X)\right)^2 + 2 \frac{\partial q(h)}{\partial h_{Lep}} \frac{\partial q(h)}{\partial h_X} \cdot u(h_{Lep}) u(h_X) \cdot r(h_{Mich}, h_X)} \quad (37).$$

Valemis (37) tähistavad suurused  $u(h_X)$  ja  $r(h_{Mich}, h_X)$  vastavalt kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse määramatust ning korrelatsioonikoefitsienti etalon-hügromeetri suhtelise niiskuse näitade ja kalibreeritava hügromeetri näitade vahel [10].

Suurus  $u(h_X)$  avaldub järgmiselt:

$$u(h_X) = \sqrt{u_A(h_X)^2 + u(\delta h_{X,Res})^2} \quad (38).$$

Valemis (38) märgivad suurused  $u_A(h_X)$  ja  $u(\delta h_{X,Res})$  vastavalt kalibreeritava hügromeetri näitade aritmeetilise keskmise standardhälvet:

$$u_A(h_X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_{X,i} - h_X)^2}{N \cdot (N-1)}} \quad (39).$$

ja kalibreeritava hügromeetri lõplikust lahutusvõimest tingitud määramatust, mis reeglina avaldub valemiga:

$$u(\delta h_{X,Res}) = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} [\%rh] \quad (40).$$

Võib esineda ka õhuniiskuse mõõtureid, mille suhtelise niiskuse lahutus on 1 %rh.

Kalibreeritava õhuniiskuse mõõturi suhtelise niiskuse parandi laiendmääramatus usaldusnivool  $P=95\%$  ( $k=2$ ) [10] on leitav valemist:

$$U(q(h)) = 2 \cdot u(q(h)) \quad (41).$$

Juhul, kui klient ei soovi, et tema hügromeetrile või termomeetrile leitakse parandid, vaid otsustataks, kas mõõtevahend on säilitanud tootja poolt deklareeritud parameetrid, tuleb selleks kasutada teisi meetodeid. Antud metoodika raames hinnatakse tulemuste kokkulangevust normeeritud hälbe ( $E_n$ ) kriteeriumi kaudu, mis õhuniiskuse puhul avaldub võrratusega:

$$E_n = \frac{|h_{Lep} - h_X|}{\sqrt{u(h_{Lep})^2 + u_B(h_X)^2}} \leq 2 \quad (42),$$

kus suurus  $u_B(h_X)$  tähistab tootja poolt deklareeritud lubatud põhivea kaudu arvutatud standardmääramatust. Juhul kui valemis (42) on võrratus rahuldatud, võib öelda, et hügromeeter on säilitanud tootja poolt deklareeritud parameetrid [13]. Sarnane võrratus kehtib ka termomeetrite puhul.

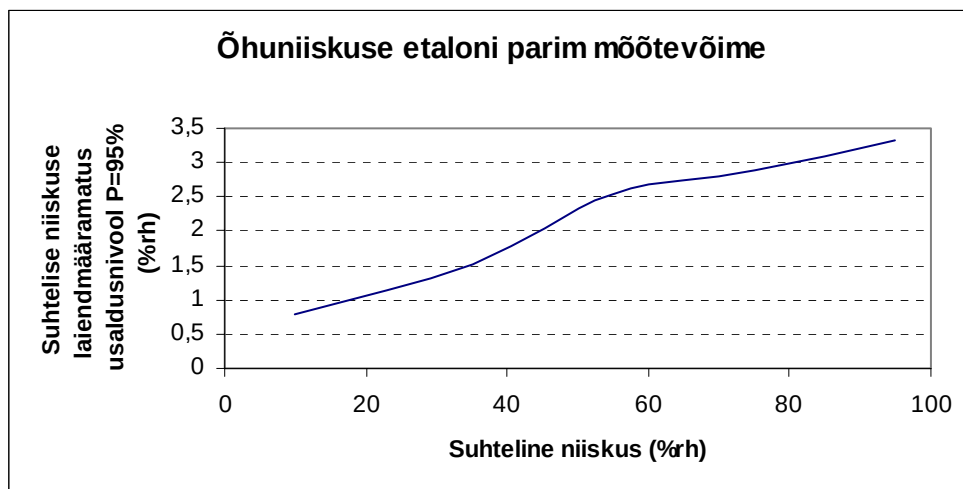
Järgnevas loetelus on esitatud mõningate kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri mõõtmise määramatuse komponendid ja nende väärtused:

- $u(\delta t_{Hom})$  - 0,04 °C kuni 0,18 °C
- $u(\Delta t_{Par})$  - 0,05 °C
- $u(\delta t_{Interp})$  - 0,02 °C
- $u(\delta t_{Res})$  - 0,006 °C
- $(u(\delta t_{Stab}))$  - kuni 0,02 °C
- $u(\delta t_{D,Hom})$  - kuni 0,18 °C
- $u(\Delta t_{D,Par})$  - 0,09 kuni 0,13
- $u(\Delta t_{D,P})$  - 0,0004 °C
- $u(\delta t_{D,Interp})$  - 0,04 °C
- $u(\delta t_{D,Res})$  - 0,006 °C
- $u(\delta t_{D,Stab})$  - kuni 0,25 °C.

### 3.3.7 Etaloni parim mõõtevõime

Antud õhuniiskuse etaloni parim mõõtevõime on kujutatud joonisel 4. Vastavalt definitsioonile on parim mõõtevõime väikseim mõõtemääramatus, mille labor võib saavutada oma akrediteerimisulatuses rutiinselt kalibreerides ideaalsele lähedasi mõõteriistu, mis on ette nähtud selle suuruse mõõtmiseks [12]. Õhuniiskuse etaloni parim mõõtevõime sõltub vähe õhutemperatuurist, küll aga väga tugevasti suhtelisest niiskusest. Väiksematel suhtelistel niiskustel on etaloniga reprodutseeritava suhtelise niiskuse laiendmääramatus tunduvalt väiksem kui kõrgetel niiskustel. Joonisel 3 kujutatud parim mõõtevõime on leitud Exceli töölehe abil, milles tehakse arvutused. Sellele töölehele on sisestatud rutiinsel kalibreerimisel kindlasti tagatavad määramatuse komponentide väärtused erinevatel suhtelistel niiskustel. Iga konkreetse kalibreerimise tingimusi arvestavad mõõtemääramatuse komponendid võivad küll varieeruda, kuid lõpptulemusena saadav laiendmääramatus kõigub vähesel määral võrreldes prima mõõtevõimega, mis antakse akrediteerimisulatuses tabelis. Joonisel 4 kujutatud prima mõõtevõime mittelineaarsus suhteliste niiskuste vahemikus 40 %rh kuni 60 %rh on

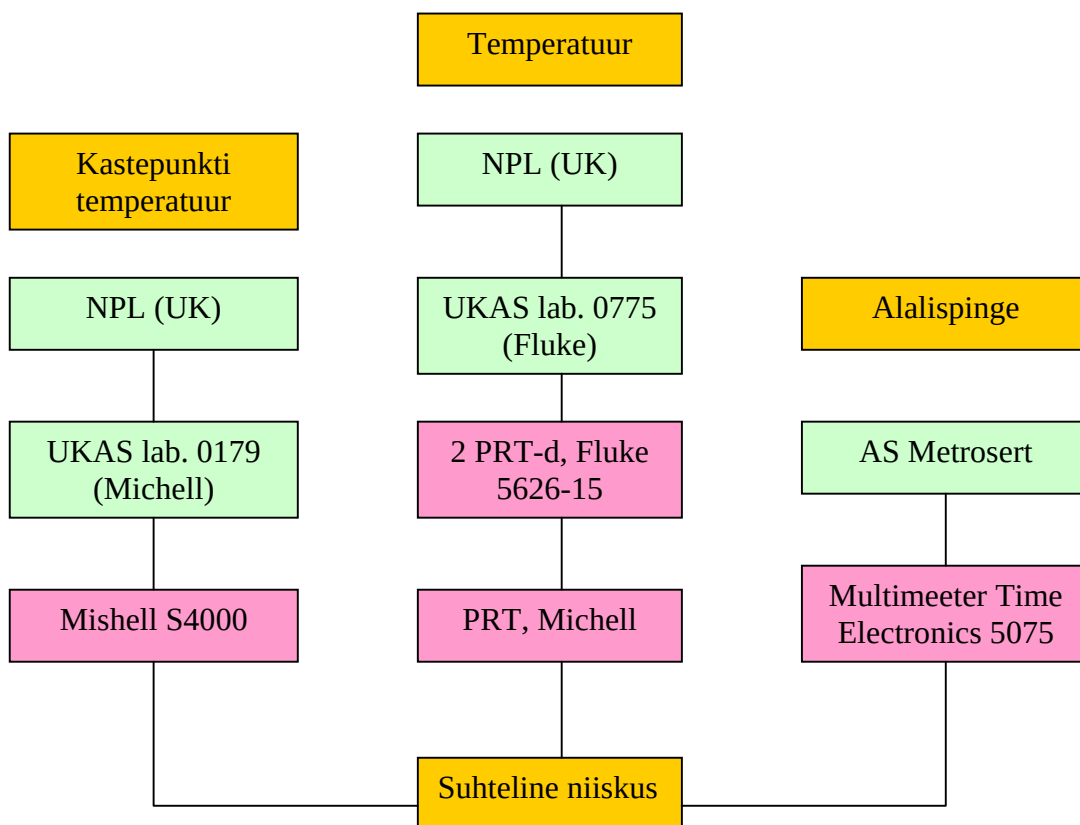
tingitud õhuniiskuse suurtest ajalistest fluktuatsioonidest nimetatud suhtelise niiskuse vahemikus.



Joonis 4 Õhuniiskuse etaloni parim mõõtevõime

### 3.4 Jälgitavus

Õhuniiskuse etaloni jälgitavusahel on kujutatud joonisel 5. Joonisel tähistavad



Joonis 5 Jälgitavusahel

oranžid kastikesed füüsikalisi parameetreid, rohelised kastikesed kalibreerimislaboreid ja lillad kastid Katsekojale kuuluvaid etalone ja seadmeid.

Kui hetkel on temperatuuri ja kastepunkti temperatuuri jälgitavus Inglismaa kaudu, siis tulevikus loodame saada temperatuuri jälgitavuse Eesti riigietaloni (AS Metrosert) kaudu ja kastepunkti temperatuuri jälgitavuse Soome riigietaloni (MIKES) kaudu.

### 3.5 Õhuniiskuse etaloni valideerimine

Õhuniiskuse etaloni valideerimine koosneb selle töö raames kolmest osast: laboritevahelised võrdluspõhised, temperatuuri ruumilise mittehomoogeensuse määramine kliimakambris ja kastepunkti temperatuuri ruumilise mittehomoogeensuse määramine kliimakambris.

#### 3.5.1 Laboritevahelised võrdluspõhised

Oktoobris 2004. aastal viidil läbi laboritevaheline võrdluspõhine TÜ Katsekoja ja Soome MIKES-i vahel. Võrdluspõhise käigus leiti neljast mahtuvuslikust hügromeetrist koosnevale komplektile parandid ja laiendmääramatused kõigepealt MIKES-is, pärast seda Katsekojas ja seejärel uuesti MIKES-is. MIKES-is leiti

Tabel 1 Laboritevahelise võrdluspõhise tulemused

| $T$ [°C] | $h_{MIKES}$ [%rh] | $q(h_{MIKES})-q(h_{KK})$<br>[%rh] | $U(h)$ [%rh]<br>$k=2$ | $E_n$ |
|----------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------|
| 20,2     | 13,6              | -1,0                              | 0,8                   | 1,3   |
| 20,2     | 34,5              | -0,2                              | 1,3                   | 0,1   |
| 20,1     | 54,4              | -0,5                              | 2,1                   | 0,2   |
| 20,1     | 74,1              | -0,6                              | 2,5                   | 0,2   |
| 20,1     | 93,7              | -0,7                              | 2,8                   | 0,3   |
| 10,1     | 64,1              | 0,3                               | 2,8                   | 0,1   |
| 10,1     | 93,2              | 0,4                               | 3,0                   | 0,1   |
| 60,3     | 9,6               | 0,0                               | 0,6                   | 0,1   |
| 60,1     | 95,3              | -1,5                              | 2,1                   | 0,7   |

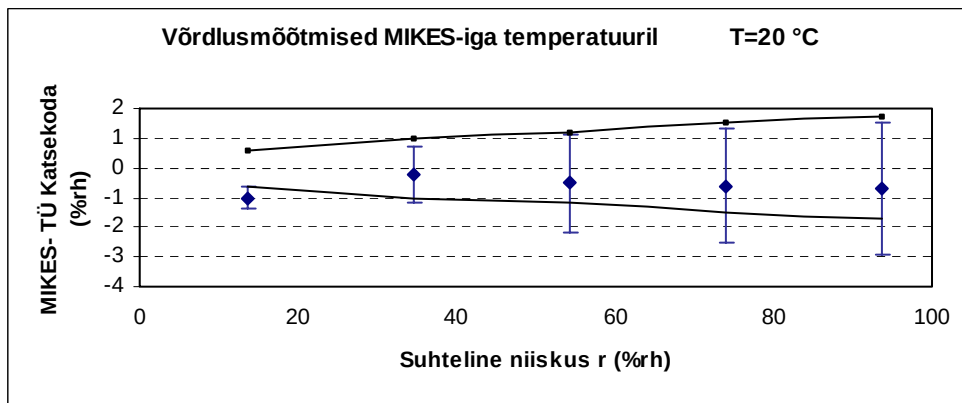
hügromeetrite komplektile parandid kahel korral, et saada informatsiooni hügro-meetrite ajalise triivi kohta. Laboritevahelise võrdlusmõõtmise tulemused on esitatud tabelis 1 [14].

Tabeli 1 esimeses veerus on temperatuurid ja teises veerus suhtelise niiskuse väärtused, millede juures viidi võrdlusmõõtmine läbi. Tabeli kolmandas veerus on kujutatud võrreldavale hügromeetritekomplektile MIKES-is ja Katsekojas leitud parandite erinevust, neljandas veerus on esitatud võrdlusmõõtmiste laiendmääramatused usaldusnivool  $P=95\%$ . Võrdlusmõõtmiste laiendmääramatused sisaldavad MIKES-is hinnatud mõõtemääramatust, Katsekojas hinnatud mõõtemääramatust ja hügromeetrite ajalisest triivist tingitud määramatust. Tabeli 1 viimases veerus on esitatud võrdlusmõõtmise normeeritud hälbed, mis arvutatakse valemist:

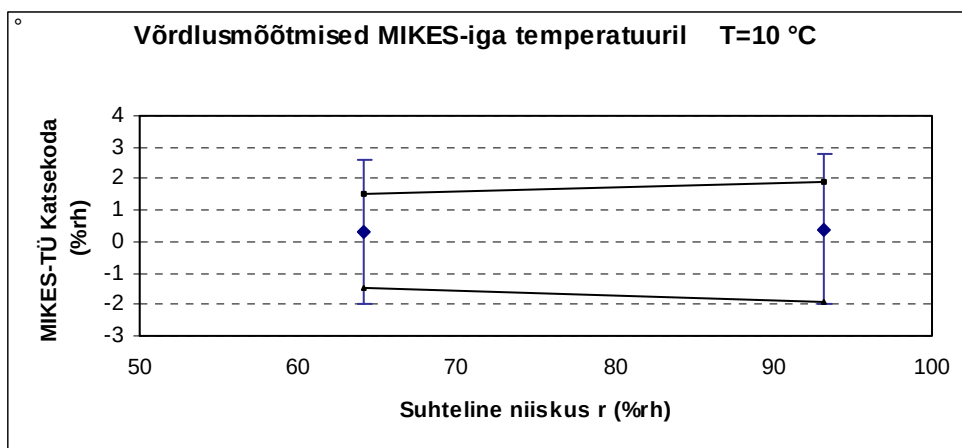
$$E_n = \frac{|q(h_{MIKES}) - q(h_{KK})|}{U(h)} \leq 1 \quad (43).$$

Mõõtetulemused loetakse kokkulangevaks, kui kehtib võrratus valemis (43). Tabelist 1 on näha, et esimeses punktis on normeeritud hälve  $E_n$  suurem kui üks, mistõttu selles punktis ei lange mõõtetulemused kokku.

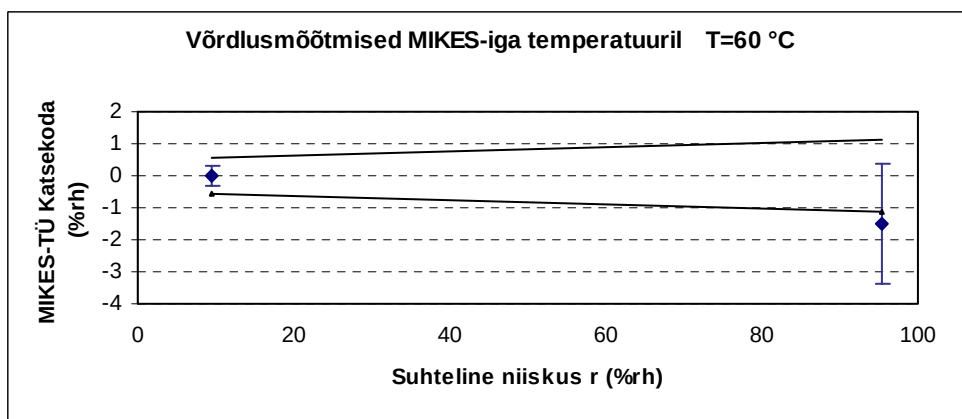
Joonistel 6 kuni 8 esitatakse võrdlusmõõtmiste tulemused graafiliselt [14].



Joonis 6 Laboritevahelised võrdlusmõõtmised



Joonis 7 Laboritevahelised võrdlusmõõtmised



Joonis 8 Laboritevahelised võrdlusmõõtmised

Jooniste 6 kuni 8 horisontaalidel on kujutatud suhtelise niiskuse väärtused, vertikaalidel aga MIKES-is ja Katsekojas hügromeetrite komplektile leitud parandite erinevused. Joonistel 6 kuni 8 on kujutatud pideva joonega laiendmääramatuse piire määratuna MIKES-is, mõõtepunkte läbivad vertikaalsed kriipsud iseloomustavad Katsekojas hinnatud laiendmääramatusi nendes mõõtepunktides.

Kuna ühes punktis ei langenud MIKES-i ja Katsekoja tulemused kokku, siis selles piirkonnas mõõtmisel suurendatakse Katsekojas hinnatud suhtelise niiskuse laiendmääramatust.

MIKES-i poolt koostatud aruande põhjal on võrdlusmõõtmise tulemus positiivne [14]. Võrdlusmõõtmised vormistatakse EUROMET-i projektina Nr. 808. Seega on üks vajalikke eeldusi täidetud, et saaks TÜ Katsekoja vastava labori akrediteerida õhuniiskuse mõõturite kalibreerimislaborina.



### 3.5.2 Temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse määramine kliimakambris

Temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse uurimiseks kliimakambris mõõdeti temperatuure erinevates kambri punktides. Temperatuuri erinevuste määramiseks kasutati diferentsiaalarmopaare. Kõik termopaarid seoti omavahel kokku tagamaks neile ühesugused temperatuurid ja registreeriti parasiittermopinged tugitermopaari suhtes, mida näitas multimeeter. Seejärel asetati tugitermopaar  $T_0$  uuritava ruumiosa keskele ja termopaarid  $T_1$  kuni  $T_6$  selle ümber soovitud kohtadesse kliimakambris. Mõõtmised viidi läbi temperatuurivahemikus  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  erinevatel suhtelistel niiskustel. Leitud termopingete kaudu arvutati temperatuuride erinevused tugitermopaari suhtes. Kliimakambri temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse uuring viidi läbi kahes osas. Esimesel juhul paigutati diferentsiaalarmopaarid kliimakambri tööruumi nurkadesse umbes 10 cm kaugusele kliimakambri seintest. Teisel juhul paigutati termopaarid peegeldava katte sisse soovitud punktidesse (kliimakambris). Tabelites 2 ja 3 on esitatud termopaaride koordinaadid kliimakambris nende kahe juhu jaoks.

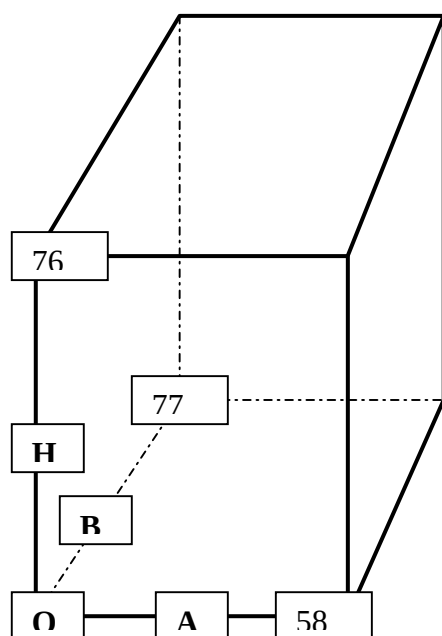
Tabel 2 Termopaaride asetus kliimakambris

| <b>Termopaaride asetus kliimakambri nurkades (1. juht)</b> |               |               |               |
|------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Termopaari nr.</b>                                      | <b>A (cm)</b> | <b>B (cm)</b> | <b>H (cm)</b> |
| <b><math>T_0</math></b>                                    | 28            | 34            | 32            |
| <b><math>T_1</math></b>                                    | 10            | 60            | 65            |
| <b><math>T_2</math></b>                                    | 50            | 60            | 65            |
| <b><math>T_3</math></b>                                    | 10            | 10            | 65            |
| <b><math>T_4</math></b>                                    | 50            | 60            | 10            |
| <b><math>T_5</math></b>                                    | 50            | 10            | 10            |
| <b><math>T_6</math></b>                                    | 10            | 10            | 10            |

Tabel 3 Termopaaride asetus kliimakambris peegeldava katte sees

| Termopaaride asetus kliimakambris peegeldava katte sees (2. juht) |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Termopaari nr.                                                    | A (cm) | B (cm) | H (cm) |
| T <sub>0</sub>                                                    | 29     | 45     | 56     |
| T <sub>1</sub>                                                    | 29     | 28     | 67     |
| T <sub>2</sub>                                                    | 39     | 28     | 51     |
| T <sub>3</sub>                                                    | 29     | 50     | 45     |
| T <sub>4</sub>                                                    | 19     | 50     | 61     |
| T <sub>5</sub>                                                    | 39     | 50     | 61     |
| T <sub>6</sub>                                                    | 19     | 28     | 51     |

Joonisel 9 on esitatud kliimakambri tööruumi koordinaatide alguspunkt O, koordinaatteljed A, B ja H ning samuti nendele telgedele vastavate külgede pikkused sentimeetrites.



Joonis 9 Kliimakambri tööruumi mõõtmed

Diferentsiaaltermopaaride abil mõõdetud temperatuuride hälbed tugitermopaari suhtes mitmesugustel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel on esitatud tabelites 4 ja

Tabel 4 Temperatuuri ruumiline mittehomogeensus kliimakambris

| Suhteline niiskus | Temperatuurid ja nende hälbed ühikutes °C |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $h$ (%rh)         | $t_{Mich}$                                | $\Delta t_1$ | $\Delta t_2$ | $\Delta t_3$ | $\Delta t_4$ | $\Delta t_5$ | $\Delta t_6$ |
| 63,1              | 10,24                                     | -0,06        | -0,11        | 0,04         | 0,01         | 0,07         | -0,05        |
| 92,1              | 10,17                                     | -0,06        | -0,16        | 0,01         | 0,01         | 0,02         | 0,00         |
| 16,7              | 20,24                                     | 0,02         | 0,05         | 0,09         | 0,01         | 0,17         | -0,03        |
| 47,6              | 20,22                                     | -0,04        | -0,04        | 0,00         | -0,01        | 0,06         | 0,00         |
| 88,5              | 20,17                                     | -0,10        | -0,16        | -0,04        | -0,01        | -0,01        | 0,03         |
| 9,3               | 30,26                                     | 0,05         | 0,11         | 0,10         | 0,01         | 0,22         | -0,01        |
| 49,1              | 30,26                                     | 0,01         | 0,01         | 0,00         | 0,00         | 0,05         | 0,02         |
| 87,5              | 30,25                                     | -0,04        | -0,05        | -0,05        | 0,00         | -0,01        | 0,02         |
| 10,1              | 40,22                                     | 0,05         | 0,15         | 0,07         | -0,01        | 0,20         | 0,06         |
| 47,8              | 40,27                                     | 0,02         | 0,03         | 0,00         | 0,00         | 0,04         | 0,04         |
| 90,1              | 40,29                                     | -0,01        | 0,01         | -0,02        | 0,00         | 0,00         | 0,02         |
| 9,9               | 50,22                                     | 0,04         | 0,20         | 0,07         | -0,05        | 0,23         | 0,13         |
| 51,2              | 50,26                                     | 0,01         | 0,06         | 0,01         | -0,02        | 0,05         | 0,09         |
| 89,8              | 50,32                                     | 0,00         | 0,01         | -0,03        | 0,00         | 0,00         | 0,05         |
| 10,0              | 60,26                                     | 0,02         | 0,23         | 0,09         | -0,06        | 0,31         | 0,14         |
| 49,7              | 60,30                                     | 0,04         | 0,09         | 0,01         | -0,01        | 0,05         | 0,09         |
| 90,1              | 60,36                                     | 0,00         | 0,01         | -0,04        | 0,00         | -0,02        | 0,06         |

5. Tabelis 4 olevad andmed vastavad termopaaride paigutusele tabeli 2 järgi ja tabelis 5 olevad andmed vastavad termopaaride paigutusele peegeldava katte sees tabeli 3 järgi.

Tabel 5 Temperatuuri ruumiline mittehomogeensus peegeldava katte sees

| Suhteline niiskus | Temperatuurid ja nende hälbed ühikutes °C |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $h$ (%rh)         | $t_{Mich}$                                | $\Delta t_1$ | $\Delta t_2$ | $\Delta t_3$ | $\Delta t_4$ | $\Delta t_5$ | $\Delta t_6$ |
| 12,6              | 20,35                                     | 0,02         | 0,04         | 0,02         | 0,01         | 0,02         | -0,04        |
| 49,6              | 20,21                                     | -0,02        | 0,02         | 0,02         | 0,01         | 0,00         | 0,00         |
| 88,2              | 20,13                                     | -0,03        | 0,01         | 0,02         | 0,02         | -0,04        | 0,05         |
| 9,2               | 40,41                                     | 0,05         | 0,07         | 0,01         | 0,01         | 0,07         | -0,12        |
| 49,2              | 40,29                                     | 0,01         | 0,03         | 0,02         | 0,03         | 0,02         | -0,03        |
| 89,7              | 40,28                                     | -0,01        | 0,01         | 0,02         | 0,03         | 0,00         | 0,00         |
| 10,1              | 60,37                                     | 0,05         | 0,04         | -0,06        | -0,03        | 0,06         | -0,24        |
| 50,1              | 60,34                                     | 0,04         | 0,03         | -0,01        | 0,00         | 0,04         | -0,08        |
| 90,2              | 60,31                                     | 0,02         | 0,01         | 0,00         | 0,01         | 0,01         | -0,01        |

Diferentsiaaltermopaaride termopingete kaudu arvutatud temperatuurihälbed tugitermopaari suhtes  $\Delta t_1$  kuni  $\Delta t_6$  on arvutatud aritmeetilise keskmisena üksikmõõtmistest (vt. Lisa 7).

Tabelitest 4 ja 5 nähtub, et temperatuuride hälbed kliimakambri erinevates punktides on 0,1 °C piires. Suurimad temperatuuri erinevused on kõrgetel temperatuuridel ja madalatel suhtelistel niiskustel ulatudes 0,3 °C-ni. Peegeldava katte sees on temperatuuride erinevused pisut väiksemad kui kliimakambri nurkade vahel, mis võib olla tingitud sellest, et metallkesta sees on termopaarid teineteisele lähemal.

Temperatuuri ruumilist mittehomogeensust kirjeldav määramatusekomponent  $u(\delta t_{Hom})$  avaldub vastavalt valemile [15, lk. 16]:

$$u(\delta t_{Hom}) = \frac{\max(\Delta t_x)}{\sqrt{3}} \quad (44),$$

milles suurus  $\Delta t_x$  iseloomustab mingi ühe diferentsiaaltermopaari poolt tekitatud termopinge kaudu arvutatavat temperatuuri hälvet tugitermopaari suhtes. Juhul, kui temperatuur kliimakambris on umbes 60 °C ja suhteline niiskus umbes 10 %rh, siis temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatus mõõdetuna peegeldava katte sees on umbes 0,14 °C vastavalt valemile (44). Tavaliselt on temperatuurigradiendid peegeldava katte sees väiksemad (vt. tabel 5).

### 3.5.3 Kastepunkti temperatuuri ruumilise mittehomogeensuse määramine kliimakambris

Kastepunkti temperatuuri ruumilist mittehomogeensust uuriti kiirguse mõju vähendava peegeldava katte sees, kuhu asetatakse kalibreeritavate hügromeetrite sensorid. Uuringu eesmärgiks oli saada aimu kastepunkti temperatuuri gradientidest kalibreerimise ruumiosas. Kui hügromeetrite kalibreerimise ajal on temperatuuri homogeensust mõõtvad termopaarid pidevalt ümber kalibreerimise ruumiosa, siis kastepunkti temperatuuri ruumilist mittehomogeensust kalibreerimise ajal ei mõõdetata, mistõttu kasutatakse selle uuringu tulemusi kastepunkti temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatuse hindamiseks.

Kastepunkti temperatuuri ruumilist mittehomogeensust määراتi firma Ahlborn nelja mahtuvusliku hügromeetriga. Kõigepealt seoti hügromeetrite sensorid kimpu ja asetati peegeldava katte sisse kliimakambris. Kliimakambri abil seatud erinevatel tempe-

ratuuridel ja suhtelistel niiskustel leiti sel teel hügromeetrite omavahelised kastepunkti temperatuuride erinevused, mida võeti edaspidi arvesse. Edasi asetati hügromeetrid kalibreerimise ruumiosa nelja nurka ja mõõdeti kastepunkti temperatuuride hälbed neist ühe hügromeetri suhtes. Järgmisel etapil jäeti hügromeeter, mille suhtes mõõdeti kastepunkti temperatuuri hälbeid paigale ja paigutati teised kolm hügromeetrit kolme ülejäänud nurka. Sel teel mõõdeti kastepunkti temperatuuride hälbeid kalibreerimise ruumi kuue nurga suhtes. Tabelites 6 ja 7 on näidatud selle eksperimendi hügromeetrite sensorite koordinaadid kliimakambris.

Tabel 6 Hügromeetrite paigutus peegeldava katte sees

| <b>Hügromeetrite sensorite asetus kliimakambris</b> |               |              |               |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| <b>Sensori nr.</b>                                  | <b>A (cm)</b> | <b>B(cm)</b> | <b>H (cm)</b> |
| <b>S0</b>                                           | 39            | 30           | 66            |
| <b>S1</b>                                           | 39            | 48           | 49            |
| <b>S2</b>                                           | 20            | 30           | 49            |
| <b>S3</b>                                           | 20            | 48           | 66            |

Tabel 7 Hügromeetrite paigutus peegeldava katte sees

| <b>Hügromeetrite sensorite asetus kliimakambris</b> |               |              |               |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| <b>Sensori nr.</b>                                  | <b>A (cm)</b> | <b>B(cm)</b> | <b>H (cm)</b> |
| <b>S0</b>                                           | 39            | 30           | 66            |
| <b>S1</b>                                           | 38            | 50           | 63            |
| <b>S2</b>                                           | 21            | 30           | 64            |
| <b>S3</b>                                           | 21            | 50           | 50            |

Kastepunkti temperatuuri hälbed metallkesta kuue nurga suhtes erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel on esitatud tabelis 8:

Tabel 8 Kastepunkti temperatuuri ruumiline mittehomoogeensus peegeldava  
katte sees

|           |                 | Kastepunkti temperatuuri hälbed ühikutes °C |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------|-----------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $h$ (%rh) | $t_{Mich}$ (°C) | $\Delta t_{D1}$                             | $\Delta t_{D2}$ | $\Delta t_{D3}$ | $\Delta t_{D4}$ | $\Delta t_{D5}$ | $\Delta t_{D6}$ |
| 11,9      | 20,36           | 0,04                                        | -0,08           | -0,02           | 0,00            | 0,18            | 0,04            |
| 49,9      | 20,22           | -0,04                                       | -0,12           | -0,06           | 0,00            | -0,02           | -0,04           |
| 89,9      | 20,09           | 0,06                                        | -0,04           | -0,02           | -0,02           | -0,02           | -0,08           |
| 9,5       | 40,38           | -0,10                                       | -0,40           | -0,30           | -0,06           | -0,04           | -0,24           |
| 49,0      | 40,27           | 0,02                                        | -0,02           | 0,02            | 0,02            | 0,06            | 0,00            |
| 88,7      | 40,28           | 0,02                                        | -0,04           | -0,04           | 0,04            | 0,00            | 0,00            |
| 9,9       | 60,37           | 0,02                                        | -0,18           | -0,26           | 0,04            | -0,14           | -0,32           |
| 50,3      | 60,37           | -0,10                                       | 0,08            | 0,02            | -0,10           | 0,10            | 0,02            |
| 90,4      | 60,35           | -0,10                                       | -0,08           | 0,00            | -0,04           | 0,00            | -0,02           |

Tabelis 8 olevad suurused on arvutatud aritmeetiliste keskmistena üksikmõõtmistest (vt. Lisa 7).

Kastepunkti temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatus on hinnatav järgmise valemi kaudu:

$$u(\delta t_{D, Hom}) = \frac{\max(\Delta t_{D,i} - \Delta t_{D,j})}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (45),$$

milles suurused  $\Delta t_{D,i}$  ja  $\Delta t_{D,j}$  tähistavad i-nda ja j-nda nurga kastepunkti temperatuuri hälvet nurga suhtes, mille suhtes kastepunkti temperatuuri hälbed mõõdeti. Tabelist 8 on näha, et kastepunkti temperatuuride hälbed on kõige suuremad temperatuuril umbes 60 °C ja suhtelisel niiskusel umbes 10% rh, kusjuures kastepunkti temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatus on sellisel temperatuuri ja suhtelise niiskuse väärtusel umbes 0,18 °C. Seega võib üldiselt arvestada 0,1 °C kastepunkti temperatuuri ruumilise homogeensuse määramatusega kalibreerimise ruumiosas, kuid kõrgetel temperatuuridel ja madalatel suhtelistel niiskustel tuleb sellesse suhtuda ettevaatlikult.

## 4. ARUTELU

### 4.1 Parima mõõtevõime probleemid

Jooniselt 4 on näha, et õhuniiskuse sekundaaretaloni parim mõõtevõime, mida iseloomustatakse mõõtemääramatusega, on üle 3 %rh kõrgetel (90 %rh ümbruses) suhtelistel niiskustel. Madalamatel suhtelistel niiskustel on mõõtemääramatus oluliselt väiksem. Kuna etaloni mõõtemääramatus peab olema reeglina vähemalt kolm korda väiksem kalibreeritava mõõtevahendi lubatud põhiveast, siis tuleb leida viise, kuidas vähendada õhuniiskuse etaloni mõõtemääramatust. Alapunktis 3.3.6 on loeteluna esitatud erinevad määramatusekomponendid, mis mõjutavad suuremal või vähemal määral parimat mõõtevõimet. Etaloni mõõtemääramatuse vähendamiseks tuleb kuidagi vähendada just suuremaid määramatusekomponente. Kastepunkti temperatuuri kalibreerimise määramatust me vähendada ei saa, kuna see määramatusekomponent on hinnatud kalibreerimislabori poolt väljaspool Katsekoda. Samuti tundub, et ei õnnestu vähendada kastepunkti temperatuuri ajalise fluktrueerimise määramatust kliimakambris, kuna see määramatusekomponent sõltub kliimakambri ehitusest ja funktsioneerimisest. Seega ei saa ka vähendada kalibreeritava hügromeetri näitade määramatuse A-tüüpi hinnangut, kuna selle allikaks on samuti peamiselt kastepunkti temperatuuri ajaline mittestabiilsus kliimakambris. Küll aga on võimalik registreerida etaloni hügromeetri kastepunkti temperatuuri näit ja kalibreeritavate hügromeetrite näidud võimalikult samaaegselt, mis suurendab korrelatsioonikoefitsienti  $r(h_{lep}, h_x)$  valemis (37). Korrelatsioonikoefitsiendi suurenemine vähendab kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parandi määramatust. Täiendavad temperatuuri homogeensuse ja kastepunkti temperatuuri homogeensuse uuringud kliimakambris võivad anda alust nende määramatusekomponentide vähendamiseks. Nimelt on võimalik läbi viia homogeensusuuringuid, kus diferentsiaaltermopaaride või mahtuvuslike hügromeetrite asetusega vähendatakse veelgi kalibreerimise ruumiosa võrreldes seni sooritatud uuringuga. Siiski on küsitav, kas kõrgetel suhtelistel niiskustel saab kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse laiendmääramatust katteteguriga  $k=2$  vähendada põhjendatult alla 2 %rh. MIKES-i õhuniiskuse primaaretaloni parim mõõtevõime [16] allub valemile:

$$U(h) = 0,011 \times h \quad (46),$$

mis tähendab, et näiteks 90 %-niiskusel on MIKES-i õhuniiskuse primaaretaloniga mõõdetud suhtelise niiskuse laiendmääramatus umbes 1 %rh. Seepärast on vähe

lootust, et käesolevas töös kirjeldatud sekundaartaseme etaloni täiustamise tulemusena näiteks 90 %-niiskuse mõõtemääramatus katteteguriga  $k=2$  oleks oluliselt alla 2 %rh.

#### **4.2 Õhuniiskuse etaloni mõõtepiiride laiendamise võimalused**

Teiseks oluliseks sekundaartaseme etaloni omaduseks, mida tuleb püüda parendada, on mõõtepiirkond (vt. Joonis 3). Kliimakamber ja ka etalonhügromeeter võimaldaksid tõsta mõõtepiirkonna temperatuuri praeguselt 60 °C-lt 85 °C-ni. Samuti on võimalik välise kompressori lisamisega kliimakambrile tekitada selles madalamaid niiskuseid, kui see hetkel võimalik on. Ilmselt ei saa aga tekitada piisavalt madalaid niiskuseid meteoroloogiliste mõõtevahendite kalibreerimiseks ka välise kompressori lisamisega kliimakambrile.

#### **4.3 Etaloni ajalise karakteristika määramine**

Üheks ülesandeks, mis tuleb lähemas tulevikus ära teha, on kliimakambri temperatuuri ja suhtelise niiskuse siirdeprotsessi registreerimine. Seda võib teha näiteks firma Ahlborn hügromeetriga, mis võimaldab vastava tarkvara olemasolu tõttu esitada tulemusi nii arvujadana kui ka arvutiekraanil graafikuna. Siirdeprotsessi registreerimine on oluline, et teada, millise ajavahemiku jooksul temperatuur ja suhteline niiskus stabiliseeruvad kliimakambris ja võib alustada kalibreerimist.

#### **4.4 Näiduseadmega jäigalt ühendatud sensori kalibreerimise probleemid**

Kaugeltki mitte kõigil kalibreerimisele toodavatel hügromeetritel ei asetse sensor näiduseadmest eraldi. Selliste hügromeetrite näite tuleb võtta läbi kliimakambri akna, mistõttu ei saa peegeldavat katet täies mahus rakendada (ots tuleb avada). Teatud juhtudel kalibreerimise ajal on vaja kalibreeritava hügromeetri näiduriista nuppe vajutada. Üks võimalus selle probleemi lahendamiseks on kasutada spetsiaalset trossi, mis juhitakse läbi kliimakambri pordi. Seda trossi ümbritsev kest oleks kinnitatud kalibreeritava hügromeetri nuppude ette asetatud maski külge, nii et väljast oleks võimalik hügromeetri nupule vajutada.



#### **4.5 Psühromeetrite kalibreerimise probleem**

Siiani on peamiselt kõneletud hügromeetrite kalibreerimisest. Samas on Eestis veel kasutusel kahe klaastermomeetriga psühromeetreid, mis vajavad kalibreerimist. Paraku on psühromeetrite kalibreerimine kliimakambris tehniliselt väga raske. Peamiseks probleemiks on psühromeetri suka niisutamine. Kui seda teha enne kalibreerimist, siis psühromeetri märja termomeetri ümber olev niiske sukk kipub ära kuivama, kuna temperatuur ja suhteline niiskus kliimakambris stabiliseeruvad keskmiselt tunni aja jooksul. Seega psühromeetrite kalibreerimiseks tuleb otsida teisi meetodeid.

#### **4.6 Justeerimine kui kliendi soovi rahuldamine**

Leidub kliente, kes lisaks kalibreerimisteenusele soovivad lasta oma hügromeetrit justeerida. MIKES-is on selleks otstarbeks konstrueeritud spetsiaalne komparaator, milles justeerimine viiakse läbi toatemperatuuril. Komparaator töötab kahe-voolu põhimõttel, milles reguleeritakse läbi kuivati (silikageeli kolonni) ja niisuti liikuva õhu mahtkiiruseid tekitades niiviisi soovitud suhtelise niiskusega õhku. Soovitud niiskusega õhk imetakse mööda pesadest, millesse kinnitatakse etalonriist ja justeeritav hügromeeter. Justeerimise käigus püütakse reguleerida justeeritava hügromeetri näite etalonriista näitude järgi erinevatel suhtelistel niiskustel. Tulevikus oleks kasulik ka TÜ Katsekojas selline seade konstrueerida, et tulla vastu klientide soovidele justeerimise osas.

#### **4.7 Etaloni kalibreerimise probleem**

Etaloni hügromeeter vajab igal aastal kalibreerimist, mis on küllaltki kallis protseduur: 1,5-2,5 tuhat EUR. Selles mõttes oleks tulevikus majanduslikult kasulik konstrueerida TÜ Katsekojas oma niiskusgeneraator, millega kohapeal kalibreerida etaloni hügromeetrit. Sel juhul tuleks niiskusgeneraatoriga osaleda rahvusvahelistel võrdlusmõõtmistel, et see meetodika oleks valideeritud ja akrediteeritav, aga ka EUROMET-i süsteemis tunnustatud ja registreeritud.

## 5. KOKKUVÕTE

Kuni viimase ajani pole olnud Eestis võimalik õhuniiskuse mõõturite kalibreerimine vastavalt standardi EVS-EN ISO/IEC 17025:2000 olulistele nõuetele. Projekti Phare ES0102.01 "Development of Conformity Assessment in the Field of Metrology" raames on Euroopa Liit aidanud rahaliselt Eesti riiki kaasajastamaks metroloogilist infrastruktuuri. Õhuniiskuse etaloni väljaarendajaks Eestis on Tartu Ülikooli Katsekoda.

Arendatav õhuniiskuse etalon on oma olemuselt sekundaartaseme etalon. Etalonkomplekti tähtsaimateks osadeks on kastepunkti peegelhügromeeter, mis mõõdab kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri ning kliimakamber, milles viiakse läbi hügromeetrite kalibreerimine. Töös kirjeldatakse detailsemalt etaloni ülesehitust ja lahendusi teatud tehnilistele probleemidele seoses etaloni ülesseadmisega.

Töös on põhjalikumalt hinnatud hügromeetrite kalibreerimise mõõtemääramatust ja selle kaudu antud hinnang parimale mõõtevõimele. Hügromeetrite kalibreerimise laiendmääramatus sõltub tugevasti suhtelisest niiskusest ja vähemal määral temperatuurist, mille juures kalibreerimine läbi viiakse. Peamised määramatuse allikad on tingitud õhu temperatuuri ja kastepunkti temperatuuri ebatäpsest mõõtmisest, rõhu mõõtmise täpsus pole nii kriitiline.

Uurimaks õhu temperatuuri ja kastepunkti temperatuuri ruumilist mittehomogeensust kliimakambris, asetati kliimakambrisse ümber kalibreerimise ruumiosa vastavalt 6 diferentsiaaltermopaari ja 4 mahtuvuslikku hügromeetrit. Katsed viidi läbi erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel. Need näitasid, et kõrgematel temperatuuridel ja madalamate suhteliste niiskuste juures on õhu temperatuuri ja kastepunkti temperatuuri ruumiline mittehomogeensus suurem.

Oktoobris 2004 osales Katsekoda rahvusvahelises võrdlusmõõtmises Soome MITTATEKNIIKAN KESKUS-ega, kes oli meie pilootlaboriks. Võrdlusmõõtmise tulemus loeti positiivseks, ehkki ühes punktis üheksast ei langenud tulemused kokku. Selle punkti ümbruses tõstetakse edaspidi suhtelise niiskuse laiendmääramatust.

Töös on käsitatud ka õhuniiskuse etaloni arendamise probleeme, mille lahendamise vajadus on selgunud käesoleva uurimuse tulemusena, ja vaadeldud nende lahendamise võimalusi lähiaastatel TÜ Katsekojas. Need probleemid on järgmised: etaloni parima

mõõtevõime parandamine, etaloni mõõtepiirkonna laiendamine, muuta võimalikuks hügromeetrite justeerimine, psühromeetrite ja erinevat tüüpi hügromeetrite kalibreerimine ning etalonhügromeetri kalibreerimine Katsekojas.

/Martin Vilbaste/

## 6. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Laaneots, R., Mathiesen, O. *Mõõtmise alused*, Tallinn, TTÜ kirjastus, 2002, 5-206
2. Wexler, A. *Humidity and Moisture Measurement and Control in Science and Industry*, New York, Reinhold Publishing Corporation, 1965, 3-69
3. Piia Post  
“<http://ael.physic.ut.ee/KF.Private/Piia.Post/harjutused%5Clihtsaid%20%C3%Bclesandeid.pdf>”
4. Sonntag, D. Review-article: Advancements in the field of hygrometry, *Meteorol. Zeitschrift*, 1994, N.F.3, 51-66
5. Nielsen, J. *Report visit no. 7: Analyses of the measurement standards and proposal for further development in the field of temperature*, NMI Nederlands Meetinstituut, 2002
6. *S4000 Climatic Precision Dewpointmeter Installation, operation and maintenance manual*, Michell Instruments Ltd, 2004, 2-33
7. *Installation and operating instructions: Climatic Test Systems WK III*, Weiss Umwelttechnik GmbH, 2002, 1-68
8. Heinonen, M., Lovell-Smith, J. Investigation of chilled mirror hygrometers, *Papers from the 4-th International Symposium on Humidity and Moisture ITRI* 2002, 397-404
9. Heinonen, M. Simplified methods to calculate the dew-point temperature change due to a pressure drop, *Proc. Tempmeko* 2001, 1, 2002, 609-614
10. *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Switzerland, 1995, 1-101
11. Tamme, E., Võhandu, L., Luht, L. *Arvutusmeetodid*, Tallinn, Valgus, 1986, 4-311
12. *EA-4/02 Mõõtemääramatuse väljendamine kalibreerimisel*, tõlge eesti keelde, 2003
13. *GUIDE 43-1 Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes*, Switzerland, 1997, 1-16
14. *Comparison report no. M-04RHC001, EUROMET project no. 808*, 2004
15. *Richtlinie DKD-R 5-7 Kalibrierung von Klimaschränken*, DKD, 2004, 1-32
16. *Kansallinen kalibrointipalvelu*, Mittatekniikan keskus-MIKES, 2003
17. *EVS-EN ISO/IEC 17025:2000 Katse- ja kalibreerimislaborite kompetentsuse üldnõuded*, 1-68

## 7. SUMMARY

It has not been possible to correctly calibrate air humidity measuring devices in Estonia till today. EU has helped Estonia financially to update its metrological system by the project Phare ES0102.01 “Development of Conformity Assessment in the Field of Metrology”. The developer of air humidity standard in Estonia is Testing Centre of the University of Tartu.

The developed air humidity standard is a secondary standard. The most important blocks of the standard are the chilled mirror hygrometer that measures dewpoint temperature and air temperature and the climatic chamber in which the calibration of hygrometers is carried out. The set-up of the standard has been described more thoroughly in this paper.

The uncertainty of measurement in calibration of hygrometers has been studied thoroughly and the best measurement capability has been estimated. The uncertainty of measurement of air humidity strongly depends on relative humidity and less strongly on temperature at which the calibration is carried out. The main sources of uncertainty of measurement are due to inaccurate measurement of air temperature and dewpoint temperature.

Six differential thermocouples and four capacitive hygrometers were set around the measuring area in the climatic chamber to study the spatial inhomogeneity of temperature inside the climatic chamber and the spatial inhomogeneity of dewpoint temperature inside the measuring area respectively. The experiments were carried out at different temperatures and relative humidities. The study showed that the spatial inhomogeneity of temperature and dewpoint temperature is larger at higher temperatures and lower relative humidities.

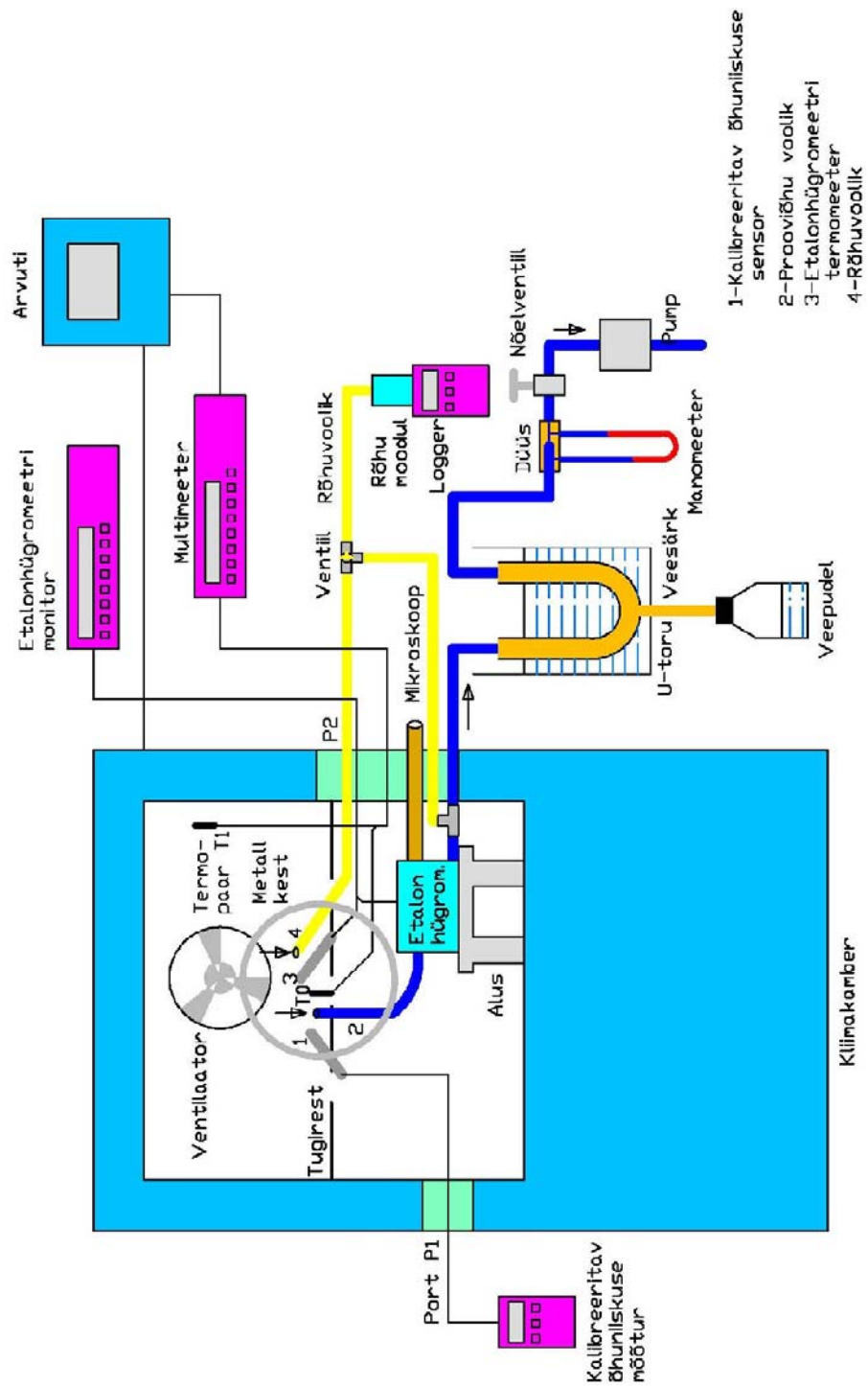
In October, 2004 an interlaboratory comparison was carried out between Testing Centre and Finnish MITTATEKNIKAN KESKUS (MIKES). The result of the comparison was positive although at one point out of nine our results did not coincide with that of MIKES. The uncertainty of measurement will be enlarged at that point when calibrations are carried out.

In near future the following problems about the air humidity standard have to be solved: raising the best measurement capability of the standard, expanding the measurement range of the standard, making possible the calibration and adjustment of

different types of hygrometers and psychrometers and making possible to calibrate our chilled mirror hygrometer at the Testing Centre.

**LISAD**

Lisa 1 Õhuniiskuse etaloni skeem

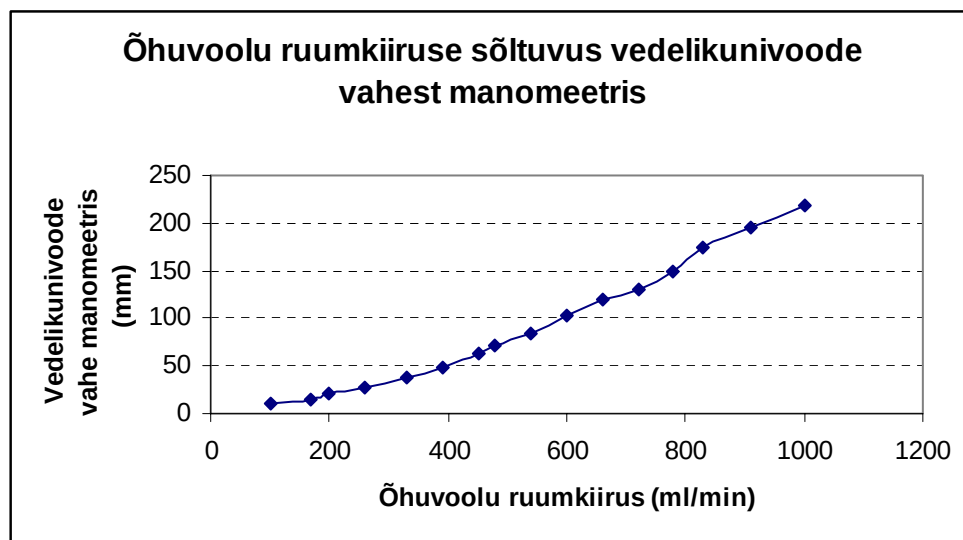




## Lisa 2 Etalonhügromeetri peeglikambrit läbiva õhuvoolu ruumkiiruse hindamine

Käesolevas lisas esitatakse etalonhügromeetri peeglikambrit läbiva õhuvoolu ruumkiiruse sõltuvus vedelikmanomeetri vedelikunivoode vahest.

| Õhuvoolu ruumkiirus (ml/min) | Vedeliku nivoo vahe manomeetris (mm) |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 100                          | 10                                   |
| 170                          | 14                                   |
| 200                          | 20                                   |
| 260                          | 28                                   |
| 330                          | 37                                   |
| 390                          | 49                                   |
| 450                          | 63                                   |
| 480                          | 71                                   |
| 540                          | 88                                   |
| 600                          | 103                                  |
| 660                          | 119                                  |
| 720                          | 130                                  |
| 780                          | 149                                  |
| 830                          | 174                                  |
| 910                          | 196                                  |
| 1000                         | 218                                  |



Graafikult on näha, et vedelikunivoode vahe manomeetris peab jääma vahemikku 40 mm kuni 120 mm, et täita tootja poolt nõutud õhuvoolu ruumkiirust 300 ml/min kuni 700 ml/min.

### Lisa 3 Kastepunkti temperatuuri langus tingituna rõhu langusest

Selles lisas toodud käsitus põhineb M. Heinoneni artiklil [9].

Küllastava veeauru rõhu arvutamiseks kasutatakse valemit:

$$E_w' = f(p, t_d) \cdot E_w(t_d) = X_w \cdot p \quad (1).$$

Valemis (1) tähistavad suurused  $E_w'$  - küllastava auru rõhku õhus,  $E_w$  - küllastava veeauru rõhku süsteemis vesi-veeaur,  $X_w$  - veeauru moolimurdu,  $t_d$  - kastepunkti temperatuuri,  $p$  - õhurõhku ja suurus  $f(p, t_d)$  mähib koefitsienti, mis seob omavahel küllastava veeauru rõhku süsteemis vesi-veeaur ja küllastavat veeauru rõhku õhus sama kastepunkti temperatuuri juures.

Olgu meil proovivõtu kohas rõhk  $p_1$  ja kastepunkti temperatuur  $t_{d,1}$ . See õhk imetakse läbi vooliku mõõtekohta, kus rõhk on  $p_2$  ja kastepunkti temperatuur  $t_{d,2}$ . Seejuures jääb õhu moolimurd konstantseks, juhul kui vooliku seinad ei adsorbeerid veeauru. Lähtudes valemist (1) kehtib moolimurdude võrdus:

$$\frac{f(p_1, t_{d,1}) \cdot E_w(t_{d,1})}{p_1} = \frac{f(p_2, t_{d,2}) \cdot E_w(t_{d,2})}{p_2} \quad (2).$$

Antud käsitluses eeldatakse, et õhurõhk muutub vähe. See lubab valemis (2) kummalgi võrduse poolel teguri  $f$  ära jätta, mistõttu kehtib ligikaudne võrdus:

$$\frac{E_w(t_{d,1})}{p_1} = \frac{E_w(t_{d,2})}{p_2} \quad (3).$$

Küllastatud veeauru rõhu arvutamisel kehtib Sonntagi valem:

$$E_w = \exp(A \cdot T_d^{-1} + B + C \cdot T_d + D \cdot T_d^2 + E \cdot \ln T_d) \quad (4),$$

milles suurus  $T_d$  on kastepunkti termodünaamiline temperatuur. Suurused  $A, B, C, D$  ja  $E$  on nn. Sonntagi koefitsiendid.

Küllastava veeauru rõhu diferentsiaal  $dE_w$  avaldub kastepunkti temperatuuri väikese muudu  $dt_d$  kaudu vastavalt diferentseerimise eeskirjale:

$$dE_w = \frac{\partial E_w}{\partial t_d} \cdot dt_d \quad (5).$$

Kastepunkti temperatuuri muudu  $\Delta t_d$  leidmiseks integreeritakse valemit (5), saades:

$$\Delta t_d = \left( \frac{\partial E_w}{\partial t_d} \right)^{-1} \cdot \Delta E_w \quad (6).$$

Valemis (6) on integreerimine võimalik, kuna selles esineva osatuletise võib lugeda konstantseks väikeses küllastava veeauru rõhu vahemikus.

Kasutades valemis (6) valemite (3) ja (4) tulemusi jõutakse lõppvalemini:

$$\Delta t_d = \frac{\frac{p_2}{p_1} - 1}{-A \cdot T_d^{-2} + C + 2 \cdot D \cdot T_d + E \cdot T_d^{-1}} \quad (7),$$

mis iseloomustabki rõhu languse mõju kastepunkti temperatuuri muudule.

#### Lisa 4: Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri parandigraafiku interpoleerimise määramatus

Kastepunkti temperatuuri parandigraafiku interpoleerimiseks lähendame parandigraafikul olevaid punkte nii  $N-1$  astme polünoomiga interpoleerimise teel kui ka sirgega, mis on leitud vähimruutude meetodil. Parandigraafiku interpoleerimise määramatust hinnatakse nende kahe joone võrrandi maksimaalse vahe kaudu, kastepunkti temperatuuri kalibreerimise kogu piirkonna ulatuses.

Järgnevas tabelis esitame, etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri parandid  $\Delta t_D$ , mis on kalibreerimisel määratud kastepunkti temperatuuridel  $t_D$  ning abisuurused, mis on vajalikud regressioonsirge tõusu ja algordinaadi määramiseks. Tabeli alumises veerus esitatakse ka vastavate veergude summad.

| Kastepunkti temperatuur $t_D$ | Parand $\Delta t_D$ | $U(\Delta t_D)$ , $k=2$ | $t_D^2$      | $t_D \Delta t_D$ |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------|------------------|
| -29,54                        | -0,05               | 0,24                    | 872,61       | 1,48             |
| 0,43                          | -0,04               | 0,18                    | 0,18         | -0,02            |
| 30,16                         | 0,12                | 0,21                    | 909,63       | 3,62             |
| 56,24                         | 0,20                | 0,25                    | 3162,94      | 11,25            |
| 82,05                         | 0,19                | 0,20                    | 6732,20      | 15,59            |
|                               |                     |                         |              |                  |
| <b>Summa</b>                  | <b>Summa</b>        |                         | <b>Summa</b> | <b>Summa</b>     |
| 139,34                        | 0,42                |                         | 11677,56     | 31,92            |

Regressioonsirge tõus  $a$  ja algordinaat  $b$  arvutatakse vastavalt valemitele [1]:

$$a = \frac{N \cdot \sum_i t_{D,i} \cdot \Delta t_{D,i} - \sum_i t_{D,i} \cdot \sum_i \Delta t_{D,i}}{N \cdot \sum_i t_{D,i}^2 - \left( \sum_i t_{D,i} \right)^2} \quad (1)$$

ja

$$b = \frac{\sum_i \Delta t_{D,i} \cdot \sum_i t_{D,i}^2 - \sum_i t_{D,i} \cdot \sum_i t_{D,i} \cdot \Delta t_{D,i}}{N \cdot \sum_i t_{D,i}^2 - \left( \sum_i t_{D,i} \right)^2} \quad (2).$$

Valemities (1) ja (2) tähistab  $N$  kalibreerimispunktide arvu, mis antud juhul on viis. Suurused  $a$  ja  $b$  omavad järgmisi väärtuseid:

$$a=0,0026$$

$$b=0,0117.$$

Parandigraafiku regressioonsirge arvutatakse vastavalt valemile:

$$f(t_D) = a \cdot t_D + b \quad (3).$$

Parandigraafiku interpoleerimisel kasutatakse antud töös Lagrange'i interpolatsiooni polünoomi [11]:

$$P(t_D) = \sum_{i=1}^N \Delta t_{D,i} \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{t_D - t_{D,j}}{t_{D,i} - t_{D,j}} \quad (4).$$

Pannes valemisse (4) sisse kalibreerimisel mõõdetud kastepunkti temperatuurid ja kastepunkti temperatuuri parandid ja lihtsustades seda polünoomi, jõutakse järgmise funktsioonini:

$$F(t_D) = k \cdot t_D^4 + l \cdot t_D^3 + m \cdot t_D^2 + n \cdot t_D + o \quad (5).$$

Valemis (5) esinevad kordajad omavad väärtuseid:

$$k=1,033 \cdot 10^{-8}$$

$$l=-2,052 \cdot 10^{-6}$$

$$m=7,675 \cdot 10^{-5}$$

$$n=4,640 \cdot 10^{-3}$$

$$o=-4,201 \cdot 10^{-2}$$

Kastepunkti temperatuuri parandigraafiku interpoleerimise määramatuse  $u(t_{D,Interp})$  hindamiseks kasutame valemit:

$$u(t_{D,Interp}) = \frac{\max[F(t_D) - f(t_D)]}{\sqrt{3}} \quad (6),$$

kusjuures arvutus näitab, et  $u(t_{D,Interp})=0,04 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## Lisa 5 Michelli täppistermomeetri parandite sõltuvus temperatuurist

Käesolevas näites lähendatakse kalibreerimiskõvera punkte ruutparabooliga, kasutades vähimruutude meetodit ja arvutatakse selle lähendamise standardmääratused [1, lk.122-124]. Allolevas tabelis esitatakse Michelli täppistermomeetri kalibreerimisel saadud temperatuuri parandid temperatuuridel, mille juures kalibreerimine läbi viidi. Samuti on tabelis esitatud temperatuuriparandite mõõtemääratused.

|               | $t$ °C | $\Delta t$ °C | $u(\Delta t)$ °C |
|---------------|--------|---------------|------------------|
|               | 10,17  | 0,00          | 0,05             |
|               | 20,46  | 0,00          | 0,05             |
|               | 30,23  | 0,02          | 0,05             |
|               | 39,95  | 0,02          | 0,05             |
|               | 50,81  | 0,02          | 0,05             |
|               | 62,32  | 0,05          | 0,05             |
|               | 70,29  | 0,06          | 0,05             |
|               | 84,74  | 0,10          | 0,05             |
|               |        |               |                  |
| <b>Summad</b> | 358,8  | 0,27          |                  |

Ruutparabool on kirjeldatud, kui on teada kordajad  $a$ ,  $b$  ja  $c$ . Järgnevalt arvutataksegi need kordajad välja. Selleks kasutatakse abisuuruseid  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  ja  $\Delta$ , kusjuures nimetatud suurused avalduvad determinantidena:

$$\Delta a = \begin{vmatrix} J & \sum_i t_i & \sum_i \Delta t_i \\ \sum_i t_i & \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i \cdot \Delta t_i \\ \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^2 \cdot \Delta t_i \end{vmatrix} \quad (1),$$

$$\Delta b = \begin{vmatrix} J & \sum_i \Delta t_i & \sum_i t_i^2 \\ \sum_i t_i & \sum_i t_i \cdot \Delta t_i & \sum_i t_i^3 \\ \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^2 \cdot \Delta t_i & \sum_i t_i^4 \end{vmatrix} \quad (2),$$

$$\Delta c = \begin{vmatrix} \sum_i \Delta t_i & \sum_i t_i & \sum_i t_i^2 \\ \sum_i t_i \cdot \Delta t_i & \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^3 \\ \sum_i t_i^2 \cdot \Delta t_i & \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^4 \end{vmatrix} \quad (3)$$

ja

$$\Delta = \begin{vmatrix} J & \sum_i t_i & \sum_i t_i^2 \\ \sum_i t_i & \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^3 \\ \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^4 \end{vmatrix} \quad (4).$$

Valemities (1) kuni (4) tähistab suurus  $J$  kalibreerimise punktide arvu. Ruutparabooli kordajad  $a$ ,  $b$  ja  $c$  avalduvad determinantide kaudu järgmiselt:

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta} \quad (5),$$

$$b = \frac{\Delta b}{\Delta} \quad (6),$$

$$c = \frac{\Delta c}{\Delta} \quad (7).$$

Suuruste  $a$ ,  $b$  ja  $c$  väärtused on toodud allolevas tabelis:

| <b>a</b> | <b>b</b> | <b>c</b> |
|----------|----------|----------|
| 0,00002  | -0,00027 | 0,00197  |

Termomeetri temperatuuriparandid  $\Delta T$  avalduvad temperatuuri  $T$  kaudu järgmise valemiga:

$$\Delta t = a \cdot t^2 + b \cdot t + c \quad (8).$$

Järgnevalt leitakse temperatuuriparandite ruutparabooliga lähendamise määramatus. Selleks tuuakse sisse abisuurused  $s^2$ ,  $\Delta 00$ ,  $\Delta 11$  ja  $\Delta 22$ :

$$s^2 = \frac{\sum_i (a \cdot t_i^2 + b \cdot t_i + c - \Delta t_i)^2}{J - (m + 1)} \quad (9),$$

$$\Delta 00 = \begin{vmatrix} \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^3 \\ \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^4 \end{vmatrix} \quad (10),$$

$$\Delta 11 = \begin{vmatrix} J & \sum_i t_i^2 \\ \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i^4 \end{vmatrix} \quad (11),$$

$$\Delta 22 = \begin{vmatrix} J & \sum_i t_i \\ \sum_i t_i & \sum_i t_i^2 \end{vmatrix} \quad (12).$$

Valemis (9) tähistab suurus  $m$  võrrandi järku, mis antud juhul on 2. Kordajate  $a$ ,  $b$  ja  $c$  dispersioonid avalduvad järgmiselt:

$$u^2(a) = s^2 \cdot \frac{\Delta 22}{\Delta} \quad (13),$$

$$u^2(b) = s^2 \cdot \frac{\Delta 11}{\Delta} \quad (14),$$

$$u^2(c) = s^2 \cdot \frac{\Delta 00}{\Delta} \quad (15).$$

Ruutparabooli kordajate dispersioonid on esitatud järgmises tabelis:

| $u^2(a)$ | $u^2(b)$ | $u^2(c)$ |
|----------|----------|----------|
| 1,52E-11 | 1,22E-07 | 4,81E-05 |

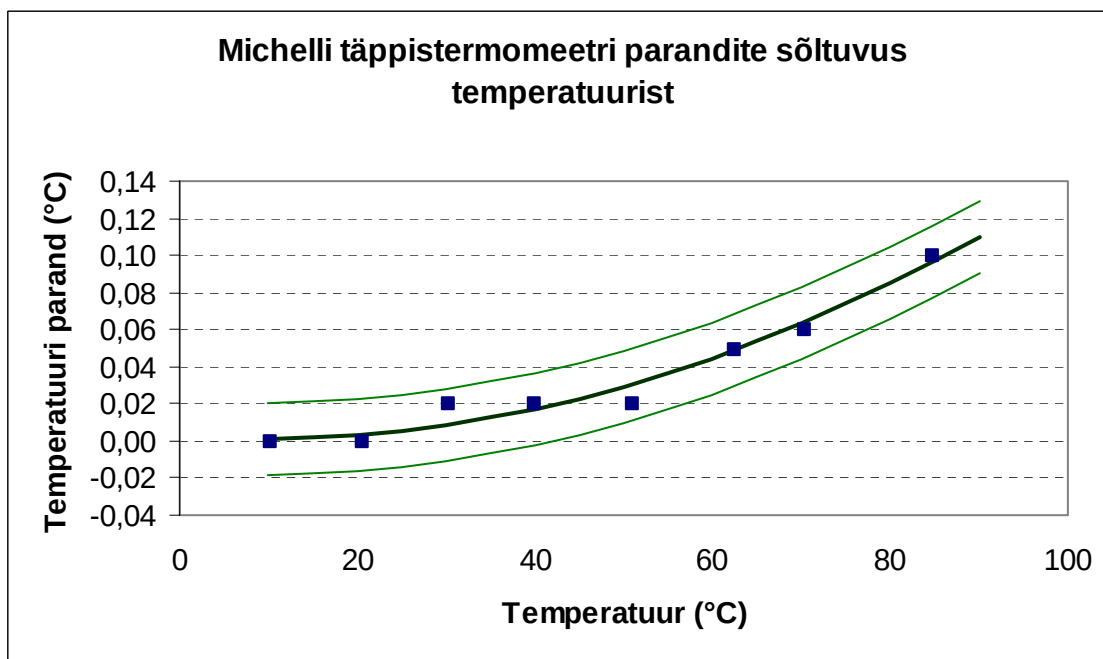
Ruutparabooli määramatuse leidmiseks diferentseeritakse ruutparabooli kordajate  $a$ ,  $b$  ja  $c$  järgi ja kasutatakse liitstandardmääramatuse arvutamise eeskirja:

$$u(t_{interp}) = \sqrt{t^4 \cdot u^2(a) + t^2 \cdot u^2(b) + u^2(c)} \quad (16).$$

Valemis (16) ei ole arvestatud ruutparabooli kordajate omavahelist sõltuvust. All-olevas tabelis esitatakse temperatuurid, nende parandid arvutatuna ruutparabooli kaudu ja parandite standardmääramatused.

| $T$ °C | $\Delta T$ °C | $u(T_{interp})$ °C |
|--------|---------------|--------------------|
| 10     | 0,00          | 0,02               |
| 20     | 0,00          | 0,02               |
| 30     | 0,01          | 0,02               |
| 40     | 0,02          | 0,02               |
| 50     | 0,03          | 0,02               |
| 60     | 0,04          | 0,02               |
| 70     | 0,06          | 0,02               |
| 80     | 0,08          | 0,02               |

Alloleval graafikul on märgitud Michelli termomeetri kalibreerimisel leitud parandid, lähendusparabool ja selle lähendusparabooli standardmääramatuse piirid.





## Lisa 6 Näited: Parandite arvutamine kalibreeritavatele hügromeetritele ja määramatuse hindamine

Järgnevad näited on arvutatud ja esitatud programmis Gum Workbench. Sisend-suurusteks on võetud reaalse kalibreerimise tulemused.

| Kalibreeritavale niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |                                                           |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------|----------|------|------------|------------|-----|---------------------------|--------------------|-----|---------------------------------|-------|-----|----------------------------------------------------|--------------------------|-----|-----------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------|
| <p><b>Kalibreeritavale niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine</b></p> <p>Käesolevas näites leitakse programmi GUM Workbench abil kalibreeritavale niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parand ja selle laiendmääramatus usaldusnivool <math>P=95\%</math>. Antud juhul on mõõtepunktiks temperatuur <math>20\text{ °C}</math> ja suhteline niiskus <math>15\text{ %rh}</math>.</p> <p><b>Model Equation:</b></p> $\Delta h = h_{\text{Leppe}} - h_x - \delta h_{\text{xres}};$ $h_{\text{Leppe}} = Ew1/Ew2 * 100;$ $A = -6096.9385;$ $B = 16.635794;$ $C = -0.02711193;$ $D = 0.00001673952;$ $E = 2.433502;$ $g = 1.0016;$ $h = 0.00000315;$ $k = -0.074;$ $Ew1 = (\exp(A/T_D + B + C * T_D + D * T_D * T_D + E * \ln(T_D))) * (g + h * p_{\text{proof}} - k/p_{\text{proof}}) + \delta Ew1;$ $Ew2 = (\exp(A/T + B + C * T + D * T * T + E * \ln(T))) * (g + h * p_{\text{proof}} - k/p_{\text{proof}}) + \delta Ew2;$ $T_D = t_D + 273.15;$ $T = t + 273.15;$ $t_D = t_{\text{DMichell}} + \Delta t_{\text{Dpar}} + \Delta t_{\text{Dp}} + \delta t_{\text{Dinterp}} + \delta t_{\text{Dhom}} + \delta t_{\text{Dres}};$ $\Delta t_{\text{Dp}} = ((p_{\text{proof}}/p_{\text{Michell}}) - 1) / (-1 * A / (T_{\text{DMichell}} * T_{\text{DMichell}}) + C + 2 * D * T_{\text{DMichell}} + E / T_{\text{DMichell}});$ $p_{\text{Michell}} = p_{\text{proof}} - (p_{\text{proof}} - p_0) / 2;$ $t = t_{\text{Michell}} + \Delta t_{\text{par}} + \delta t_{\text{interp}} + \delta t_{\text{hom}} + \delta t_{\text{res}};$ $T_{\text{DMichell}} = t_{\text{DMichell}} + 273.15;$ <p><b>List of Quantities:</b></p> <table> <tr> <th>Quantity</th><th>Unit</th><th>Definition</th></tr> <tr> <td><math>\Delta h</math></td><td>%rh</td><td>Suhtelise niiskuse parand</td></tr> <tr> <td><math>h_{\text{Leppe}}</math></td><td>%rh</td><td>Suhtelise niiskuse leppeväärtus</td></tr> <tr> <td><math>h_x</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit</td></tr> <tr> <td><math>\delta h_{\text{xres}}</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri lahutusvõimest tingitud parand</td></tr> <tr> <td>Ew1</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril</td></tr> <tr> <td>Ew2</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril</td></tr> </table> |                |                                                           | Quantity | Unit | Definition | $\Delta h$ | %rh | Suhtelise niiskuse parand | $h_{\text{Leppe}}$ | %rh | Suhtelise niiskuse leppeväärtus | $h_x$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit | $\delta h_{\text{xres}}$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri lahutusvõimest tingitud parand | Ew1 | hPa | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril | Ew2 | hPa | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril |
| Quantity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Unit           | Definition                                                |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\Delta h$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | %rh            | Suhtelise niiskuse parand                                 |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_{\text{Leppe}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | %rh            | Suhtelise niiskuse leppeväärtus                           |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_x$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | %rh            | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit        |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | %rh            | Kalibreeritava hügromeetri lahutusvõimest tingitud parand |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | hPa            | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril          |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | hPa            | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril                  |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | File: Vordlus1 | Page 1 of 8                                               |          |      |            |            |     |                           |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                           |     |     |                                                  |     |     |                                          |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                            |                |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                |                                                                                                  |
| <b>Quantity</b>                                                                            | <b>Unit</b>    | <b>Definition</b>                                                                                |
| A                                                                                          |                |                                                                                                  |
| B                                                                                          |                |                                                                                                  |
| C                                                                                          |                |                                                                                                  |
| D                                                                                          |                |                                                                                                  |
| E                                                                                          |                |                                                                                                  |
| g                                                                                          |                |                                                                                                  |
| h                                                                                          |                |                                                                                                  |
| k                                                                                          |                |                                                                                                  |
| $T_D$                                                                                      | K              | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Kelvini järgi                                           |
| $p_{\text{proov}}$                                                                         | hPa            | Õhurõhk mõõtekohas                                                                               |
| $\delta E_{w1}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga kastepunkti temperatuuril      |
| T                                                                                          | K              | Temperatuuri tõeline väärtus kelvinites                                                          |
| $\delta E_{w2}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga õhu temperatuuril              |
| $t_D$                                                                                      | °C             | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                        |
| t                                                                                          | °C             | Temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                                    |
| $t_{D\text{Michell}}$                                                                      | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $\Delta t_{D\text{par}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetrite kalibreerimisel omistatud kastepunkti temperatuuri parand                    |
| $\Delta t_{Dp}$                                                                            | °C             | Rõhu parand kastepunkti temperatuurile                                                           |
| $\delta t_{D\text{interp}}$                                                                | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri kalibreerimiskõvera interpoleerimist väljendav suurus |
| $\delta t_{D\text{hom}}$                                                                   | °C             | Kastepunkti temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                     |
| $\delta t_{D\text{res}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri resolutsiooni väljendav suurus                        |
| $p_{\text{Michell}}$                                                                       | hPa            | Rõhk etalonhügromeetri peegli juures                                                             |
| $T_{D\text{Michell}}$                                                                      | K              | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $p_0$                                                                                      | hPa            | Rõhk vahetult etalonhügromeetri peegli järel                                                     |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                       | °C             | Etalonhügromeetri juurde kuuluva termomeetri näit                                                |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                    | °C             | Termomeetrite kalibreerimisel omistatud parand                                                   |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                 | °C             | Termomeetri kalibreerimiskõvera interpoleerimise viga                                            |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                    | °C             | Temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                                 |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                    | °C             | Termomeetri lõplikku resolutsiooni väljendav suurus                                              |
| <b><math>\Delta h</math>:</b>                                                              | Result         |                                                                                                  |
| <b><math>h_{\text{Leppe}}</math>:</b>                                                      | Interim Result |                                                                                                  |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus1 | Page 2 of 8                                                                                      |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|----|------|
| <b><math>h_x</math>:</b>                                                                   | <p>Type A</p> <p>Method of observation: Direct</p> <p>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10.9</td></tr> <tr><td>2</td><td>10.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>10.8</td></tr> <tr><td>4</td><td>10.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>10.8</td></tr> <tr><td>6</td><td>10.7</td></tr> <tr><td>7</td><td>10.7</td></tr> <tr><td>8</td><td>10.7</td></tr> <tr><td>9</td><td>10.6</td></tr> <tr><td>10</td><td>10.6</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 10.7500 %rh<br/> Standard Deviation: 0.11 %rh<br/> Standard Uncertainty: 0.0342 %rh<br/> Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 10.9 | 2 | 10.9 | 3 | 10.8 | 4 | 10.8 | 5 | 10.8 | 6 | 10.7 | 7 | 10.7 | 8 | 10.7 | 9 | 10.6 | 10 | 10.6 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 1                                                                                          | 10.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 2                                                                                          | 10.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 3                                                                                          | 10.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 4                                                                                          | 10.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 5                                                                                          | 10.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 6                                                                                          | 10.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 7                                                                                          | 10.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 8                                                                                          | 10.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 9                                                                                          | 10.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 10                                                                                         | 10.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>\delta h_{xres}</math>:</b>                                                       | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0 %rh</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.05 %rh</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew1:</b>                                                                                | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew2:</b>                                                                                | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>A:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>B:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>C:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>D:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>E:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>g:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>h:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>k:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>T_D</math>:</b>                                                                   | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| Page 3 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|--------|---|--------|---|------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|----|--------|
| <p><b>p<sub>proov</sub>:</b></p>                                                           | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1007.9</td></tr> <tr><td>2</td><td>1007.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>1008</td></tr> <tr><td>4</td><td>1007.9</td></tr> <tr><td>5</td><td>1008.1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1008.1</td></tr> <tr><td>7</td><td>1008.1</td></tr> <tr><td>8</td><td>1008.1</td></tr> <tr><td>9</td><td>1008.1</td></tr> <tr><td>10</td><td>1008.1</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 1008.0300 hPa<br/>Standard Deviation: 0.095 hPa<br/>Standard Uncertainty: 0.0300 hPa<br/>Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 1007.9 | 2 | 1007.9 | 3 | 1008 | 4 | 1007.9 | 5 | 1008.1 | 6 | 1008.1 | 7 | 1008.1 | 8 | 1008.1 | 9 | 1008.1 | 10 | 1008.1 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 1                                                                                          | 1007.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 2                                                                                          | 1007.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 3                                                                                          | 1008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 4                                                                                          | 1007.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 5                                                                                          | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 6                                                                                          | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 7                                                                                          | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 8                                                                                          | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 9                                                                                          | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 10                                                                                         | 1008.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p><b>δEw1:</b></p>                                                                        | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 hPa<br/>Halfwidth of Limits: 0.01 hPa</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p><b>T:</b></p>                                                                           | <p>Interim Result</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p><b>δEw2:</b></p>                                                                        | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 hPa<br/>Halfwidth of Limits: 0.01 hPa</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p><b>t<sub>D</sub>:</b></p>                                                               | <p>Interim Result</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p><b>t:</b></p>                                                                           | <p>Interim Result</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p>Date: 05/16/2005</p>                                                                    | <p>File: Vordlus1</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <p>Page 4 of 8</p>                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |      |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|
| $t_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | <p>Type A<br/> Method of observation: Direct<br/> Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-8.75</td></tr> <tr><td>2</td><td>-8.79</td></tr> <tr><td>3</td><td>-8.82</td></tr> <tr><td>4</td><td>-8.87</td></tr> <tr><td>5</td><td>-8.89</td></tr> <tr><td>6</td><td>-8.92</td></tr> <tr><td>7</td><td>-8.94</td></tr> <tr><td>8</td><td>-8.99</td></tr> <tr><td>9</td><td>-8.99</td></tr> <tr><td>10</td><td>-9.02</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: -8.8980 °C<br/> Standard Deviation: 0.091 °C<br/> Standard Uncertainty: 0.0288 °C<br/> Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | -8.75 | 2 | -8.79 | 3 | -8.82 | 4 | -8.87 | 5 | -8.89 | 6 | -8.92 | 7 | -8.94 | 8 | -8.99 | 9 | -8.99 | 10 | -9.02 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 1                                                                                          | -8.75                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 2                                                                                          | -8.79                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 3                                                                                          | -8.82                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 4                                                                                          | -8.87                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 5                                                                                          | -8.89                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 6                                                                                          | -8.92                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 7                                                                                          | -8.94                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 8                                                                                          | -8.99                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 9                                                                                          | -8.99                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 10                                                                                         | -9.02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/> Value: -0.05 °C<br/> Halfwidth of Limits: 0.21 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dp}}$ :                                                                   | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$ :                                                              | <p>Type B rectangular distribution<br/> Value: 0 °C<br/> Halfwidth of Limits: 0.07 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/> Value: 0 °C<br/> Halfwidth of Limits: 0.17 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dres}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/> Value: 0 °C<br/> Halfwidth of Limits: 0.005 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $p_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $T_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Page 5 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|----|--------|
| <b>p<sub>0</sub>:</b>                                                                      | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px 10px;">No.</th> <th style="padding: 2px 10px;">Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1006.1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1006.1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1006.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>1006.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1006.3</td></tr> <tr><td>6</td><td>1006.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>1006.4</td></tr> <tr><td>8</td><td>1006.4</td></tr> <tr><td>9</td><td>1006.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>1006.4</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 1006.2800 hPa<br/>Standard Deviation: 0.15 hPa<br/>Standard Uncertainty: 0.0467 hPa<br/>Degrees of Freedom: 9</p>                | No. | Observation | 1 | 1006.1 | 2 | 1006.1 | 3 | 1006.2 | 4 | 1006.1 | 5 | 1006.3 | 6 | 1006.3 | 7 | 1006.4 | 8 | 1006.4 | 9 | 1006.5 | 10 | 1006.4 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 1                                                                                          | 1006.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 2                                                                                          | 1006.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 3                                                                                          | 1006.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 4                                                                                          | 1006.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 5                                                                                          | 1006.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 6                                                                                          | 1006.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 7                                                                                          | 1006.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 8                                                                                          | 1006.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 9                                                                                          | 1006.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 10                                                                                         | 1006.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <b>t<sub>Michell</sub>:</b>                                                                | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px 10px;">No.</th> <th style="padding: 2px 10px;">Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>2</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>3</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>4</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>5</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>6</td><td>20.27</td></tr> <tr><td>7</td><td>20.27</td></tr> <tr><td>8</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>9</td><td>20.26</td></tr> <tr><td>10</td><td>20.26</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 20.26200 °C<br/>Standard Deviation: 4.2·10<sup>-3</sup> °C<br/>Standard Uncertainty: 1.33·10<sup>-3</sup> °C<br/>Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 20.26  | 2 | 20.26  | 3 | 20.26  | 4 | 20.26  | 5 | 20.26  | 6 | 20.27  | 7 | 20.27  | 8 | 20.26  | 9 | 20.26  | 10 | 20.26  |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 1                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 2                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 3                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 4                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 5                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 6                                                                                          | 20.27                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 7                                                                                          | 20.27                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 8                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 9                                                                                          | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 10                                                                                         | 20.26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <b>Δt<sub>par</sub>:</b>                                                                   | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0.01 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.09 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| Page 6 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                  |               |                          |              |                         |                          |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|--------|
| $\delta t_{\text{interp}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.04 °C |               |                          |              |                         |                          |        |
| $\delta t_{\text{hom}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.14 °C    |               |                          |              |                         |                          |        |
| $\delta t_{\text{res}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.005 °C   |               |                          |              |                         |                          |        |
| Correlation Coefficients:                                                                                   |               |                          |              |                         |                          |        |
| $r(h_x, k) = 0.95$                                                                                          |               |                          |              |                         |                          |        |
| $r(h_x, t_{\text{DMichell}}) = 0.95$                                                                        |               |                          |              |                         |                          |        |
| Uncertainty Budget:                                                                                         |               |                          |              |                         |                          |        |
| Quantity                                                                                                    | Value         | Standard Uncertainty     | Distribution | Sensitivity Coefficient | Uncertainty Contribution | Index  |
| $h_x$                                                                                                       | 10.7500 %rh   | 0.0342 %rh               | normal       | -1.0                    | -0.034 %rh               | 0.6 %  |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                    | 0.0 %rh       | 0.0289 %rh               | rectangular  | -1.0                    | -0.029 %rh               | 2.4 %  |
| $p_{\text{proof}}$                                                                                          | 1008.0300 hPa | 0.0300 hPa               | normal       | $6.5 \cdot 10^{-3}$     | $190 \cdot 10^{-6}$ %rh  | 0.0 %  |
| $\delta Ew1$                                                                                                | 0.0 hPa       | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | 4.2                     | 0.024 %rh                | 1.7 %  |
| $\delta Ew2$                                                                                                | 0.0 hPa       | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | -0.55                   | $-3.2 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $t_{\text{DMichell}}$                                                                                       | -8.8980 °C    | 0.0288 °C                | normal       | 1.0                     | 0.030 %rh                | -0.2 % |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$                                                                                    | -0.050 °C     | 0.121 °C                 | rectangular  | 1.0                     | 0.12 %rh                 | 43.8 % |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$                                                                                 | 0.0 °C        | 0.0404 °C                | rectangular  | 1.0                     | 0.041 %rh                | 4.9 %  |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$                                                                                    | 0.0 °C        | 0.0981 °C                | rectangular  | 1.0                     | 0.10 %rh                 | 28.7 % |
| $\delta t_{\text{Dres}}$                                                                                    | 0.0 °C        | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | 1.0                     | $3.0 \cdot 10^{-3}$ %rh  | 0.0 %  |
| $p_0$                                                                                                       | 1006.2800 hPa | 0.0467 hPa               | normal       | $-6.5 \cdot 10^{-3}$    | $-300 \cdot 10^{-6}$ %rh | 0.0 %  |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                                        | 20.26200 °C   | $1.33 \cdot 10^{-3}$ °C  | normal       | -0.81                   | $-1.1 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                                     | 0.0100 °C     | 0.0520 °C                | rectangular  | -0.81                   | -0.042 %rh               | 5.0 %  |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                                  | 0.0 °C        | 0.0231 °C                | rectangular  | -0.81                   | -0.019 %rh               | 1.0 %  |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                                     | 0.0 °C        | 0.0808 °C                | rectangular  | -0.81                   | -0.065 %rh               | 12.1 % |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                                     | 0.0 °C        | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | -0.81                   | $-2.3 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $\Delta h$                                                                                                  | 2.344 %rh     | 0.188 %rh                |              |                         |                          |        |
| Date: 05/16/2005      File: Vordlus1      Page 7 of 8                                                       |               |                          |              |                         |                          |        |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                               |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                  | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle<br>määramatuse leidmine |             |
| <p><b>Result:</b> Quantity: <math>\Delta h</math><br/> Value: 2.34 %rh<br/> Expanded Uncertainty: <math>\pm 0.38</math> %rh<br/> Coverage Factor: 2.00<br/> Coverage: manual</p> |                                                                                               |             |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                 | File: Vordlus1                                                                                | Page 8 of 8 |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                              |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|------|------------|------------|-----|------------------------------------------------------|--------------------|-----|---------------------------------|-------|-----|----------------------------------------------------|--------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------|
| <p><b>Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine</b></p> <p>Käesolevas näites leitakse programmi GUM Workbench abil calibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parand ja selle laiendmääramatus usaldusnivool 95 %. Antud juhul on mõõtepunktiks temperatuur 20 °C ja suhteline niiskus 50 %rh.</p> <p><b>Model Equation:</b></p> $\Delta h = h_{\text{Leppe}} - h_x - \delta h_{\text{xres}};$ $h_{\text{Leppe}} = Ew1/Ew2 * 100;$ $A = -6096.9385;$ $B = 16.635794;$ $C = -0.02711193;$ $D = 0.00001673952;$ $E = 2.433502;$ $g = 1.0016;$ $h = 0.00000315;$ $k = -0.074;$ $Ew1 = (\exp(A/T_D + B + C * T_D + D * T_D * T_D + E * \ln(T_D))) * (g + h * p_{\text{proov}} + k / p_{\text{proov}}) + \delta Ew1;$ $Ew2 = (\exp(A/T + B + C * T + D * T * T + E * \ln(T))) * (g + h * p_{\text{proov}} + k / p_{\text{proov}}) + \delta Ew2;$ $T_D = t_D + 273.15;$ $T = t + 273.15;$ $t_D = t_{\text{DMichell}} + \Delta t_{\text{Dpar}} + \Delta t_{\text{Dp}} + \delta t_{\text{Dinterp}} + \delta t_{\text{Dhom}} + \delta t_{\text{Dres}};$ $\Delta t_{\text{Dp}} = (p_{\text{proov}} / p_{\text{Michell}} - 1) / (-A / (T_{\text{DMichell}} * T_{\text{DMichell}}) + C + 2 * D * T_{\text{DMichell}} + E / T_{\text{DMichell}});$ $p_{\text{Michell}} = (p_{\text{proov}} + p_0) / 2;$ $t = t_{\text{Michell}} + \Delta t_{\text{par}} + \delta t_{\text{interp}} + \delta t_{\text{hom}} + \delta t_{\text{res}};$ $T_{\text{DMichell}} = t_{\text{DMichell}} + 273.15;$ <p><b>List of Quantities:</b></p> <table> <tr> <th>Quantity</th><th>Unit</th><th>Definition</th></tr> <tr> <td><math>\Delta h</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand</td></tr> <tr> <td><math>h_{\text{Leppe}}</math></td><td>%rh</td><td>Suhtelise niiskuse leppeväärtus</td></tr> <tr> <td><math>h_x</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit</td></tr> <tr> <td><math>\delta h_{\text{xres}}</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand</td></tr> <tr> <td>Ew1</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril</td></tr> <tr> <td>Ew2</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril</td></tr> </table> |                                                                                            |                                                                              | Quantity | Unit | Definition | $\Delta h$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand | $h_{\text{Leppe}}$ | %rh | Suhtelise niiskuse leppeväärtus | $h_x$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit | $\delta h_{\text{xres}}$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand | Ew1 | hPa | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril | Ew2 | hPa | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril |
| Quantity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Unit                                                                                       | Definition                                                                   |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\Delta h$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand                         |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_{\text{Leppe}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | %rh                                                                                        | Suhtelise niiskuse leppeväärtus                                              |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_x$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit                           |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | hPa                                                                                        | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril                             |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | hPa                                                                                        | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril                                     |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | File: Vordlus2                                                                             | Page 1 of 8                                                                  |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                            |                |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                |                                                                                                  |
| <b>Quantity</b>                                                                            | <b>Unit</b>    | <b>Definition</b>                                                                                |
| A                                                                                          |                |                                                                                                  |
| B                                                                                          |                |                                                                                                  |
| C                                                                                          |                |                                                                                                  |
| D                                                                                          |                |                                                                                                  |
| E                                                                                          |                |                                                                                                  |
| g                                                                                          |                |                                                                                                  |
| h                                                                                          |                |                                                                                                  |
| k                                                                                          |                |                                                                                                  |
| $T_D$                                                                                      | K              | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Kelvini järgi                                           |
| $p_{\text{proov}}$                                                                         | hPa            | Õhurõhk mõõtekohas                                                                               |
| $\delta E_{w1}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga kastepunkti temperatuuril      |
| T                                                                                          | K              | Temperatuuri tõeline väärtus kelvinites                                                          |
| $\delta E_{w2}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga õhu temperatuuril              |
| $t_D$                                                                                      | °C             | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                        |
| t                                                                                          | °C             | Temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                                    |
| $t_{D\text{Michell}}$                                                                      | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $\Delta t_{D\text{par}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetrite kalibreerimisel omistatud kastepunkti temperatuuri parand                    |
| $\Delta t_{Dp}$                                                                            | °C             | Rõhu parand kastepunkti temperatuurile                                                           |
| $\delta t_{D\text{interp}}$                                                                | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri kalibreerimiskõvera interpoleerimist väljendav suurus |
| $\delta t_{D\text{hom}}$                                                                   | °C             | Kastepunkti temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                     |
| $\delta t_{D\text{res}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri resolutsiooni väljendav suurus                        |
| $p_{\text{Michell}}$                                                                       | hPa            | Rõhk etalonhügromeetri peegli juures                                                             |
| $T_{D\text{Michell}}$                                                                      | K              | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $p_0$                                                                                      | hPa            | Rõhk vahetult etalonhügromeetri peegli järel                                                     |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                       | °C             | Etalonhügromeetri juurde kuuluva termomeetri näit                                                |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                    | °C             | Termomeetrite kalibreerimisel omistatud parand                                                   |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                 | °C             | Termomeetri kalibreerimiskõvera interpoleerimise viga                                            |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                    | °C             | Temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                                 |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                    | °C             | Termomeetri lõplikku resolutsiooni väljendav suurus                                              |
| <b><math>\Delta h</math>:</b>                                                              | Result         |                                                                                                  |
| <b><math>h_{\text{Leppe}}</math>:</b>                                                      | Interim Result |                                                                                                  |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus2 | Page 2 of 8                                                                                      |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                      | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|-------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|----|------|
| <b><math>h_x</math>:</b>             | <p>Type A<br/> Method of observation: Direct<br/> Number of observations: 10</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">No.</th> <th style="width: 90%;">Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>53.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>52.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>52.3</td></tr> <tr><td>4</td><td>53.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>51.1</td></tr> <tr><td>6</td><td>51.4</td></tr> <tr><td>7</td><td>52.1</td></tr> <tr><td>8</td><td>52.3</td></tr> <tr><td>9</td><td>51.9</td></tr> <tr><td>10</td><td>51.9</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 52.260 %rh<br/> Standard Deviation: 0.82 %rh<br/> Standard Uncertainty: 0.260 %rh<br/> Degrees of Freedom: 9</p> |             | No. | Observation | 1 | 53.4 | 2 | 52.4 | 3 | 52.3 | 4 | 53.8 | 5 | 51.1 | 6 | 51.4 | 7 | 52.1 | 8 | 52.3 | 9 | 51.9 | 10 | 51.9 |
| No.                                  | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 1                                    | 53.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 2                                    | 52.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 3                                    | 52.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 4                                    | 53.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 5                                    | 51.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 6                                    | 51.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 7                                    | 52.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 8                                    | 52.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 9                                    | 51.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 10                                   | 51.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>\delta h_{xres}</math>:</b> | <p>Type B rectangular distribution<br/> Value: 0 %rh<br/> Halfwidth of Limits: 0.05 %rh</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew1:</b>                          | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew2:</b>                          | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>A:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>B:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>C:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>D:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>E:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>g:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>h:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>k:</b>                            | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>T_D</math>:</b>             | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| Date: 05/16/2005                     | File: Vordlus2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Page 3 of 8 |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                       |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|---|------|---|------|---|--------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|----|--------|--|
| <p><b>p<sub>proov</sub>:</b></p> <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1009</td></tr> <tr><td>2</td><td>1009</td></tr> <tr><td>3</td><td>1008.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>1009</td></tr> <tr><td>5</td><td>1009</td></tr> <tr><td>6</td><td>1009</td></tr> <tr><td>7</td><td>1009</td></tr> <tr><td>8</td><td>1009</td></tr> <tr><td>9</td><td>1009</td></tr> <tr><td>10</td><td>1009.1</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 1009.0000 hPa<br/>Standard Deviation: 0.047 hPa<br/>Standard Uncertainty: 0.0149 hPa<br/>Degrees of Freedom: 9</p> <p><b>δEw1:</b> Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 hPa<br/>Halfwidth of Limits: 0.01 hPa</p> <p><b>T:</b> Interim Result</p> <p><b>δEw2:</b> Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 hPa<br/>Halfwidth of Limits: 0.01 hPa</p> <p><b>t<sub>D</sub>:</b> Interim Result</p> <p><b>t:</b> Interim Result</p> | No.                                   | Observation | 1 | 1009 | 2 | 1009 | 3 | 1008.9 | 4 | 1009 | 5 | 1009 | 6 | 1009 | 7 | 1009 | 8 | 1009 | 9 | 1009 | 10 | 1009.1 |  |
| No.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Observation                           |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1008.9                                |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1009                                  |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1009.1                                |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | File: Vordlus2 <div>Page 4 of 8</div> |             |   |      |   |      |   |        |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |        |  |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|
| $t_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10.21</td></tr> <tr><td>2</td><td>10.00</td></tr> <tr><td>3</td><td>11.27</td></tr> <tr><td>4</td><td>10.54</td></tr> <tr><td>5</td><td>11.15</td></tr> <tr><td>6</td><td>10.88</td></tr> <tr><td>7</td><td>10.29</td></tr> <tr><td>8</td><td>10.63</td></tr> <tr><td>9</td><td>10.67</td></tr> <tr><td>10</td><td>10.72</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 10.636 °C<br/>Standard Deviation: 0.40 °C<br/>Standard Uncertainty: 0.127 °C<br/>Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 10.21 | 2 | 10.00 | 3 | 11.27 | 4 | 10.54 | 5 | 11.15 | 6 | 10.88 | 7 | 10.29 | 8 | 10.63 | 9 | 10.67 | 10 | 10.72 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 1                                                                                          | 10.21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 2                                                                                          | 10.00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 3                                                                                          | 11.27                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 4                                                                                          | 10.54                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 5                                                                                          | 11.15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 6                                                                                          | 10.88                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 7                                                                                          | 10.29                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 8                                                                                          | 10.63                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 9                                                                                          | 10.67                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 10                                                                                         | 10.72                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0.01 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.2 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dp}}$ :                                                                   | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$ :                                                              | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.07 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.18 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dres}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.005 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $p_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $T_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Page 5 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|----|--------|
| <b>p<sub>0</sub>:</b>                                                                      | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px 10px;">No.</th> <th style="padding: 2px 10px;">Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1007.2</td></tr> <tr><td>2</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>3</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>4</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>6</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>8</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>9</td><td>1007.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>1007.3</td></tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 100px;">           Arithmetic Mean: 1007.2900 hPa<br/>           Standard Deviation: 0.032 hPa<br/>           Standard Uncertainty: 0.0100 hPa<br/>           Degrees of Freedom: 9         </p> | No. | Observation | 1 | 1007.2 | 2 | 1007.3 | 3 | 1007.3 | 4 | 1007.3 | 5 | 1007.3 | 6 | 1007.3 | 7 | 1007.3 | 8 | 1007.3 | 9 | 1007.3 | 10 | 1007.3 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 1                                                                                          | 1007.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 2                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 3                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 4                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 5                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 6                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 7                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 8                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 9                                                                                          | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 10                                                                                         | 1007.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <b>t<sub>Michell</sub>:</b>                                                                | <p>Type A<br/>Method of observation: Direct<br/>Number of observations: 10</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px 10px;">No.</th> <th style="padding: 2px 10px;">Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20.19</td></tr> <tr><td>2</td><td>20.19</td></tr> <tr><td>3</td><td>20.23</td></tr> <tr><td>4</td><td>20.20</td></tr> <tr><td>5</td><td>20.21</td></tr> <tr><td>6</td><td>20.20</td></tr> <tr><td>7</td><td>20.23</td></tr> <tr><td>8</td><td>20.22</td></tr> <tr><td>9</td><td>20.22</td></tr> <tr><td>10</td><td>20.22</td></tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 100px;">           Arithmetic Mean: 20.21100 °C<br/>           Standard Deviation: 0.015 °C<br/>           Standard Uncertainty: 4.82·10<sup>-3</sup> °C<br/>           Degrees of Freedom: 9         </p> | No. | Observation | 1 | 20.19  | 2 | 20.19  | 3 | 20.23  | 4 | 20.20  | 5 | 20.21  | 6 | 20.20  | 7 | 20.23  | 8 | 20.22  | 9 | 20.22  | 10 | 20.22  |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 1                                                                                          | 20.19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 2                                                                                          | 20.19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 3                                                                                          | 20.23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 4                                                                                          | 20.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 5                                                                                          | 20.21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 6                                                                                          | 20.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 7                                                                                          | 20.23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 8                                                                                          | 20.22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 9                                                                                          | 20.22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| 10                                                                                         | 20.22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| <b>Δt<sub>par</sub>:</b>                                                                   | <p>Type B rectangular distribution<br/>Value: 0.01 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.09 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |
| Page 6 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |             |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |    |        |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                          |              |                         |                          |        |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|--------|----------|-------|----------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|-------|-------|------------|-----------|--------|------|-----------|--------|--------------------------|---------|------------|-------------|------|------------|-------|-------------------|---------------|------------|--------|-------|-------------------------|-------|---------------------|---------|--------------------------|-------------|-----|-----------|-------|---------------------|---------|--------------------------|-------------|------|------------|-------|-----------------------|-----------|----------|--------|-----|----------|--------|--------------------------|----------|----------|-------------|-----|----------|--------|-----------------------------|--------|-----------|-------------|-----|----------|-------|--------------------------|--------|----------|-------------|-----|----------|--------|--------------------------|--------|-------------------------|-------------|-----|-----------|-------|-------|---------------|------------|--------|--------|--------------------------|-------|----------------------|-------------|-------------------------|--------|------|------------|-------|-------------------------|-----------|-----------|-------------|------|-----------|-------|----------------------------|--------|-----------|-------------|------|------------|-------|-------------------------|--------|-----------|-------------|------|-----------|-------|-------------------------|--------|-------------------------|-------------|------|------------|-------|------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| <p><math>\delta t_{\text{interp}}</math>: Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.04 °C</p> <p><math>\delta t_{\text{hom}}</math>: Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.09 °C</p> <p><math>\delta t_{\text{res}}</math>: Type B rectangular distribution<br/>Value: 0 °C<br/>Halfwidth of Limits: 0.01 °C</p> <p><b>Correlation Coefficients:</b><br/> <math>r(h_x, k) = -0.5</math><br/> <math>r(h_x, t_{\text{DMichell}}) = -0.5</math></p> <p><b>Uncertainty Budget:</b></p> <table> <tr> <th>Quantity</th><th>Value</th><th>Standard Uncertainty</th><th>Distribution</th><th>Sensitivity Coefficient</th><th>Uncertainty Contribution</th><th>Index</th></tr> <tr> <td><math>h_x</math></td><td>52.260 %rh</td><td>0.260 %rh</td><td>normal</td><td>-1.0</td><td>-0.26 %rh</td><td>15.9 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta h_{\text{xres}}</math></td><td>0.0 %rh</td><td>0.0289 %rh</td><td>rectangular</td><td>-1.0</td><td>-0.029 %rh</td><td>0.1 %</td></tr> <tr> <td><math>p_{\text{prov}}</math></td><td>1009.0000 hPa</td><td>0.0149 hPa</td><td>normal</td><td>0.027</td><td><math>400 \cdot 10^{-6}</math> %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta \text{Ew1}</math></td><td>0.0 hPa</td><td><math>5.77 \cdot 10^{-3}</math> hPa</td><td>rectangular</td><td>4.2</td><td>0.024 %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta \text{Ew2}</math></td><td>0.0 hPa</td><td><math>5.77 \cdot 10^{-3}</math> hPa</td><td>rectangular</td><td>-2.3</td><td>-0.013 %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>t_{\text{DMichell}}</math></td><td>10.636 °C</td><td>0.127 °C</td><td>normal</td><td>3.6</td><td>0.46 %rh</td><td>33.6 %</td></tr> <tr> <td><math>\Delta t_{\text{Dpar}}</math></td><td>0.010 °C</td><td>0.115 °C</td><td>rectangular</td><td>3.6</td><td>0.42 %rh</td><td>21.7 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{Dinterp}}</math></td><td>0.0 °C</td><td>0.0404 °C</td><td>rectangular</td><td>3.6</td><td>0.15 %rh</td><td>2.7 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{Dhom}}</math></td><td>0.0 °C</td><td>0.104 °C</td><td>rectangular</td><td>3.6</td><td>0.37 %rh</td><td>17.6 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{Dres}}</math></td><td>0.0 °C</td><td><math>2.89 \cdot 10^{-3}</math> °C</td><td>rectangular</td><td>3.6</td><td>0.010 %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>p_0</math></td><td>1007.2900 hPa</td><td>0.0100 hPa</td><td>normal</td><td>-0.027</td><td><math>-270 \cdot 10^{-6}</math> %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>t_{\text{Michell}}</math></td><td>20.21100 °C</td><td><math>4.82 \cdot 10^{-3}</math> °C</td><td>normal</td><td>-3.3</td><td>-0.016 %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>\Delta t_{\text{par}}</math></td><td>0.0100 °C</td><td>0.0520 °C</td><td>rectangular</td><td>-3.3</td><td>-0.17 %rh</td><td>3.8 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{interp}}</math></td><td>0.0 °C</td><td>0.0231 °C</td><td>rectangular</td><td>-3.3</td><td>-0.077 %rh</td><td>0.7 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{hom}}</math></td><td>0.0 °C</td><td>0.0520 °C</td><td>rectangular</td><td>-3.3</td><td>-0.17 %rh</td><td>3.8 %</td></tr> <tr> <td><math>\delta t_{\text{res}}</math></td><td>0.0 °C</td><td><math>5.77 \cdot 10^{-3}</math> °C</td><td>rectangular</td><td>-3.3</td><td>-0.019 %rh</td><td>0.0 %</td></tr> <tr> <td><math>\Delta h</math></td><td>1.859 %rh</td><td>0.894 %rh</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> |                |                          |              |                         |                          |        | Quantity | Value | Standard Uncertainty | Distribution | Sensitivity Coefficient | Uncertainty Contribution | Index | $h_x$ | 52.260 %rh | 0.260 %rh | normal | -1.0 | -0.26 %rh | 15.9 % | $\delta h_{\text{xres}}$ | 0.0 %rh | 0.0289 %rh | rectangular | -1.0 | -0.029 %rh | 0.1 % | $p_{\text{prov}}$ | 1009.0000 hPa | 0.0149 hPa | normal | 0.027 | $400 \cdot 10^{-6}$ %rh | 0.0 % | $\delta \text{Ew1}$ | 0.0 hPa | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular | 4.2 | 0.024 %rh | 0.0 % | $\delta \text{Ew2}$ | 0.0 hPa | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular | -2.3 | -0.013 %rh | 0.0 % | $t_{\text{DMichell}}$ | 10.636 °C | 0.127 °C | normal | 3.6 | 0.46 %rh | 33.6 % | $\Delta t_{\text{Dpar}}$ | 0.010 °C | 0.115 °C | rectangular | 3.6 | 0.42 %rh | 21.7 % | $\delta t_{\text{Dinterp}}$ | 0.0 °C | 0.0404 °C | rectangular | 3.6 | 0.15 %rh | 2.7 % | $\delta t_{\text{Dhom}}$ | 0.0 °C | 0.104 °C | rectangular | 3.6 | 0.37 %rh | 17.6 % | $\delta t_{\text{Dres}}$ | 0.0 °C | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C | rectangular | 3.6 | 0.010 %rh | 0.0 % | $p_0$ | 1007.2900 hPa | 0.0100 hPa | normal | -0.027 | $-270 \cdot 10^{-6}$ %rh | 0.0 % | $t_{\text{Michell}}$ | 20.21100 °C | $4.82 \cdot 10^{-3}$ °C | normal | -3.3 | -0.016 %rh | 0.0 % | $\Delta t_{\text{par}}$ | 0.0100 °C | 0.0520 °C | rectangular | -3.3 | -0.17 %rh | 3.8 % | $\delta t_{\text{interp}}$ | 0.0 °C | 0.0231 °C | rectangular | -3.3 | -0.077 %rh | 0.7 % | $\delta t_{\text{hom}}$ | 0.0 °C | 0.0520 °C | rectangular | -3.3 | -0.17 %rh | 3.8 % | $\delta t_{\text{res}}$ | 0.0 °C | $5.77 \cdot 10^{-3}$ °C | rectangular | -3.3 | -0.019 %rh | 0.0 % | $\Delta h$ | 1.859 %rh | 0.894 %rh |  |  |  |  |
| Quantity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Value          | Standard Uncertainty     | Distribution | Sensitivity Coefficient | Uncertainty Contribution | Index  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $h_x$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 52.260 %rh     | 0.260 %rh                | normal       | -1.0                    | -0.26 %rh                | 15.9 % |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.0 %rh        | 0.0289 %rh               | rectangular  | -1.0                    | -0.029 %rh               | 0.1 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $p_{\text{prov}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1009.0000 hPa  | 0.0149 hPa               | normal       | 0.027                   | $400 \cdot 10^{-6}$ %rh  | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta \text{Ew1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.0 hPa        | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | 4.2                     | 0.024 %rh                | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta \text{Ew2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.0 hPa        | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | -2.3                    | -0.013 %rh               | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $t_{\text{DMichell}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10.636 °C      | 0.127 °C                 | normal       | 3.6                     | 0.46 %rh                 | 33.6 % |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.010 °C       | 0.115 °C                 | rectangular  | 3.6                     | 0.42 %rh                 | 21.7 % |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.0 °C         | 0.0404 °C                | rectangular  | 3.6                     | 0.15 %rh                 | 2.7 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.0 °C         | 0.104 °C                 | rectangular  | 3.6                     | 0.37 %rh                 | 17.6 % |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{Dres}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.0 °C         | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | 3.6                     | 0.010 %rh                | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $p_0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1007.2900 hPa  | 0.0100 hPa               | normal       | -0.027                  | $-270 \cdot 10^{-6}$ %rh | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 20.21100 °C    | $4.82 \cdot 10^{-3}$ °C  | normal       | -3.3                    | -0.016 %rh               | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.0100 °C      | 0.0520 °C                | rectangular  | -3.3                    | -0.17 %rh                | 3.8 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.0 °C         | 0.0231 °C                | rectangular  | -3.3                    | -0.077 %rh               | 0.7 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.0 °C         | 0.0520 °C                | rectangular  | -3.3                    | -0.17 %rh                | 3.8 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.0 °C         | $5.77 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | -3.3                    | -0.019 %rh               | 0.0 %  |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| $\Delta h$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.859 %rh      | 0.894 %rh                |              |                         |                          |        |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | File: Vordlus2 |                          |              |                         | Page 7 of 8              |        |          |       |                      |              |                         |                          |       |       |            |           |        |      |           |        |                          |         |            |             |      |            |       |                   |               |            |        |       |                         |       |                     |         |                          |             |     |           |       |                     |         |                          |             |      |            |       |                       |           |          |        |     |          |        |                          |          |          |             |     |          |        |                             |        |           |             |     |          |       |                          |        |          |             |     |          |        |                          |        |                         |             |     |           |       |       |               |            |        |        |                          |       |                      |             |                         |        |      |            |       |                         |           |           |             |      |           |       |                            |        |           |             |      |            |       |                         |        |           |             |      |           |       |                         |        |                         |             |      |            |       |            |           |           |  |  |  |  |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                                                                                                                |                                                                                            |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |             |
| <p><b>Result:</b> Quantity: <math>\Delta h</math><br/> Value: 1.9 %rh<br/> Expanded Uncertainty: <math>\pm 1.8</math> %rh<br/> Coverage Factor: 2.00<br/> Coverage: manual</p> |                                                                                            |             |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                               | File: Vordlus2                                                                             | Page 8 of 8 |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                              |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|------|------------|------------|-----|------------------------------------------------------|--------------------|-----|---------------------------------|-------|-----|----------------------------------------------------|--------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------|
| <p><b>Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine</b></p> <p>Käesolevas näites leitakse programmi GUM Workbench abil calibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parand ja selle laiendmääramatus usaldusnivool 95 %. Antud juhul on mõõtepunktiks temperatuur 60 °C ja suhteline niiskus 95 %rh.</p> <p><b>Model Equation:</b></p> $\Delta h = h_{\text{Leppe}} - h_x - \delta h_{\text{xres}};$ $h_{\text{Leppe}} = Ew1/Ew2 * 100;$ $A = -6096.9385;$ $B = 16.635794;$ $C = -0.02711193;$ $D = 0.00001673952;$ $E = 2.433502;$ $g = 1.0016;$ $h = 0.00000315;$ $k = -0.074;$ $Ew1 = (\exp(A/T_D + B + C * T_D + D * T_D * T_D + E * \ln(T_D))) * (g + h * p_{\text{proov}} + k/p_{\text{proov}}) + \delta Ew1;$ $Ew2 = (\exp(A/T + B + C * T + D * T * T + E * \ln(T))) * (g + h * p_{\text{proov}} + k/p_{\text{proov}}) + \delta Ew2;$ $T_D = t_D + 273.15;$ $T = t + 273.15;$ $t_D = t_{\text{DMichell}} + \Delta t_{\text{Dpar}} + \Delta t_{\text{Dp}} + \delta t_{\text{Dinterp}} + \delta t_{\text{Dhom}} + \delta t_{\text{Dres}};$ $\Delta t_{\text{Dp}} = (p_{\text{proov}}/p_{\text{Michell}} - 1) / (-A/(T_{\text{DMichell}} * T_{\text{DMichell}}) + C + 2 * D * T_{\text{DMichell}} + E/T_{\text{DMichell}});$ $p_{\text{Michell}} = (p_{\text{proov}} + p_0)/2;$ $t = t_{\text{Michell}} + \Delta t_{\text{par}} + \delta t_{\text{interp}} + \delta t_{\text{hom}} + \delta t_{\text{res}};$ $T_{\text{DMichell}} = t_{\text{DMichell}} + 273.15;$ <p><b>List of Quantities:</b></p> <table> <tr> <th>Quantity</th><th>Unit</th><th>Definition</th></tr> <tr> <td><math>\Delta h</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand</td></tr> <tr> <td><math>h_{\text{Leppe}}</math></td><td>%rh</td><td>Suhtelise niiskuse leppeväärtus</td></tr> <tr> <td><math>h_x</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit</td></tr> <tr> <td><math>\delta h_{\text{xres}}</math></td><td>%rh</td><td>Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand</td></tr> <tr> <td>Ew1</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril</td></tr> <tr> <td>Ew2</td><td>hPa</td><td>Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril</td></tr> </table> |                                                                                            |                                                                              | Quantity | Unit | Definition | $\Delta h$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand | $h_{\text{Leppe}}$ | %rh | Suhtelise niiskuse leppeväärtus | $h_x$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit | $\delta h_{\text{xres}}$ | %rh | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand | Ew1 | hPa | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril | Ew2 | hPa | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril |
| Quantity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Unit                                                                                       | Definition                                                                   |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\Delta h$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse parand                         |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_{\text{Leppe}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | %rh                                                                                        | Suhtelise niiskuse leppeväärtus                                              |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $h_x$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse näit                           |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | %rh                                                                                        | Kalibreeritava hügromeetri suhtelise niiskuse lahutusvõimest tingitud parand |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | hPa                                                                                        | Küllastav veeauru rõhk kastepunkti temperatuuril                             |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Ew2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | hPa                                                                                        | Küllastav veeauru rõhk õhu temperatuuril                                     |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | File: Vordlus3                                                                             | Page 1 of 8                                                                  |          |      |            |            |     |                                                      |                    |     |                                 |       |     |                                                    |                          |     |                                                                              |     |     |                                                  |     |     |                                          |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                            |                |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                |                                                                                                  |
| <b>Quantity</b>                                                                            | <b>Unit</b>    | <b>Definition</b>                                                                                |
| A                                                                                          |                |                                                                                                  |
| B                                                                                          |                |                                                                                                  |
| C                                                                                          |                |                                                                                                  |
| D                                                                                          |                |                                                                                                  |
| E                                                                                          |                |                                                                                                  |
| g                                                                                          |                |                                                                                                  |
| h                                                                                          |                |                                                                                                  |
| k                                                                                          |                |                                                                                                  |
| $T_D$                                                                                      | K              | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Kelvini järgi                                           |
| $p_{\text{proov}}$                                                                         | hPa            | Õhurõhk mõõtekohas                                                                               |
| $\delta E_{w1}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga kastepunkti temperatuuril      |
| T                                                                                          | K              | Temperatuuri tõeline väärtus kelvinites                                                          |
| $\delta E_{w2}$                                                                            | hPa            | Küllastava veeauru rõhu Sonntagi valemi ebatäpsusest tulenev viga õhu temperatuuril              |
| $t_D$                                                                                      | °C             | Kastepunkti temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                        |
| t                                                                                          | °C             | Temperatuuri tõeline väärtus Celsiuse skaalas                                                    |
| $t_{D\text{Michell}}$                                                                      | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $\Delta t_{D\text{par}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetrite kalibreerimisel omistatud kastepunkti temperatuuri parand                    |
| $\Delta t_{Dp}$                                                                            | °C             | Rõhu parand kastepunkti temperatuurile                                                           |
| $\delta t_{D\text{interp}}$                                                                | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri kalibreerimiskõvera interpoleerimist väljendav suurus |
| $\delta t_{D\text{hom}}$                                                                   | °C             | Kastepunkti temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                     |
| $\delta t_{D\text{res}}$                                                                   | °C             | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri resolutsiooni väljendav suurus                        |
| $p_{\text{Michell}}$                                                                       | hPa            | Rõhk etalonhügromeetri peegli juures                                                             |
| $T_{D\text{Michell}}$                                                                      | K              | Etalonhügromeetri kastepunkti temperatuuri näit                                                  |
| $p_0$                                                                                      | hPa            | Rõhk vahetult etalonhügromeetri peegli järel                                                     |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                       | °C             | Etalonhügromeetri juurde kuuluva termomeetri näit                                                |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                    | °C             | Termomeetrite kalibreerimisel omistatud parand                                                   |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                 | °C             | Termomeetri kalibreerimiskõvera interpoleerimise viga                                            |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                    | °C             | Temperatuuri mittehomoogeensust väljendav suurus                                                 |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                    | °C             | Termomeetri lõplikku resolutsiooni väljendav suurus                                              |
| <b><math>\Delta h</math>:</b>                                                              | Result         |                                                                                                  |
| <b><math>h_{\text{Leppe}}</math>:</b>                                                      | Interim Result |                                                                                                  |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus3 | Page 2 of 8                                                                                      |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|----|------|
| <b><math>h_x</math>:</b>                                                                   | <p>Type A</p> <p>Method of observation: Direct</p> <p>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>2</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>91.8</td></tr> <tr><td>4</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>5</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>6</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>7</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>8</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>9</td><td>91.7</td></tr> <tr><td>10</td><td>91.7</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 91.7300 %rh<br/> Standard Deviation: 0.048 %rh<br/> Standard Uncertainty: 0.0153 %rh<br/> Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 91.8 | 2 | 91.8 | 3 | 91.8 | 4 | 91.7 | 5 | 91.7 | 6 | 91.7 | 7 | 91.7 | 8 | 91.7 | 9 | 91.7 | 10 | 91.7 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 1                                                                                          | 91.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 2                                                                                          | 91.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 3                                                                                          | 91.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 4                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 5                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 6                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 7                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 8                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 9                                                                                          | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| 10                                                                                         | 91.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>\delta h_{xres}</math>:</b>                                                       | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0 %rh</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.05 %rh</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew1:</b>                                                                                | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>Ew2:</b>                                                                                | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>A:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>B:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>C:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>D:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>E:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>g:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>h:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b>k:</b>                                                                                  | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| <b><math>T_D</math>:</b>                                                                   | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |
| Page 3 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |    |      |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|
| $t_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | <p>Type A</p> <p>Method of observation: Direct</p> <p>Number of observations: 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Observation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>59.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>59.38</td></tr> <tr><td>3</td><td>59.38</td></tr> <tr><td>4</td><td>59.36</td></tr> <tr><td>5</td><td>59.36</td></tr> <tr><td>6</td><td>59.35</td></tr> <tr><td>7</td><td>59.35</td></tr> <tr><td>8</td><td>59.35</td></tr> <tr><td>9</td><td>59.34</td></tr> <tr><td>10</td><td>59.34</td></tr> </tbody> </table> <p>Arithmetic Mean: 59.36100 °C</p> <p>Standard Deviation: 0.020 °C</p> <p>Standard Uncertainty: <math>6.23 \cdot 10^{-3}</math> °C</p> <p>Degrees of Freedom: 9</p> | No. | Observation | 1 | 59.4 | 2 | 59.38 | 3 | 59.38 | 4 | 59.36 | 5 | 59.36 | 6 | 59.35 | 7 | 59.35 | 8 | 59.35 | 9 | 59.34 | 10 | 59.34 |
| No.                                                                                        | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 1                                                                                          | 59.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 2                                                                                          | 59.38                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 3                                                                                          | 59.38                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 4                                                                                          | 59.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 5                                                                                          | 59.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 6                                                                                          | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 7                                                                                          | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 8                                                                                          | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 9                                                                                          | 59.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 10                                                                                         | 59.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0.2 °C</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.2 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dp}}$ :                                                                   | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$ :                                                              | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0 °C</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.07 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0 °C</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.18 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dres}}$ :                                                                 | <p>Type B rectangular distribution</p> <p>Value: 0 °C</p> <p>Halfwidth of Limits: 0.005 °C</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $p_{\text{Michell}}$ :                                                                     | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $T_{\text{DMichell}}$ :                                                                    | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Date: 05/16/2005                                                                           | File: Vordlus3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| Page 5 of 8                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |

|                               | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----|-------------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|
| $t_{\text{DMichell}}$ :       | Type A<br>Method of observation: Direct<br>Number of observations: 10<br><table><tr><th>No.</th><th>Observation</th></tr><tr><td>1</td><td>59.4</td></tr><tr><td>2</td><td>59.38</td></tr><tr><td>3</td><td>59.38</td></tr><tr><td>4</td><td>59.36</td></tr><tr><td>5</td><td>59.36</td></tr><tr><td>6</td><td>59.35</td></tr><tr><td>7</td><td>59.35</td></tr><tr><td>8</td><td>59.35</td></tr><tr><td>9</td><td>59.34</td></tr><tr><td>10</td><td>59.34</td></tr></table><br>Arithmetic Mean: 59.36100 °C<br>Standard Deviation: 0.020 °C<br>Standard Uncertainty: $6.23 \cdot 10^{-3}$ °C<br>Degrees of Freedom: 9 |  | No. | Observation | 1 | 59.4 | 2 | 59.38 | 3 | 59.38 | 4 | 59.36 | 5 | 59.36 | 6 | 59.35 | 7 | 59.35 | 8 | 59.35 | 9 | 59.34 | 10 | 59.34 |
| No.                           | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 1                             | 59.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 2                             | 59.38                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 3                             | 59.38                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 4                             | 59.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 5                             | 59.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 6                             | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 7                             | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 8                             | 59.35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 9                             | 59.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| 10                            | 59.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$ :    | Type B rectangular distribution<br>Value: 0.2 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.2 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\Delta t_{\text{Dp}}$ :      | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$ : | Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.07 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$ :    | Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.18 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $\delta t_{\text{Dres}}$ :    | Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.005 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $p_{\text{DMichell}}$ :       | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |
| $T_{\text{DMichell}}$ :       | Interim Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |     |             |   |      |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |

|                  |                |             |
|------------------|----------------|-------------|
| Date: 05/16/2005 | File: Vordlus3 | Page 5 of 8 |
|------------------|----------------|-------------|

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                           | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---|-------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|-------|---|--------|----|--------|--|
| $p_0$ :                   | <div>Type A</div> <div>Method of observation: Direct</div> <div>Number of observations: 10</div> <table><tr><th>No.</th><th>Observation</th></tr><tr><td>1</td><td>1005</td></tr><tr><td>2</td><td>1004.9</td></tr><tr><td>3</td><td>1004.8</td></tr><tr><td>4</td><td>1004.9</td></tr><tr><td>5</td><td>1004.9</td></tr><tr><td>6</td><td>1004.9</td></tr><tr><td>7</td><td>1004.8</td></tr><tr><td>8</td><td>1005</td></tr><tr><td>9</td><td>1004.9</td></tr><tr><td>10</td><td>1004.9</td></tr></table> <div>Arithmetic Mean: 1004.9000 hPa</div> <div>Standard Deviation: 0.067 hPa</div> <div>Standard Uncertainty: 0.0211 hPa</div> <div>Degrees of Freedom: 9</div>                                         | No.         | Observation | 1 | 1005  | 2 | 1004.9 | 3 | 1004.8 | 4 | 1004.9 | 5 | 1004.9 | 6 | 1004.9 | 7 | 1004.8 | 8 | 1005  | 9 | 1004.9 | 10 | 1004.9 |  |
| No.                       | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 1                         | 1005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 2                         | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 3                         | 1004.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 4                         | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 5                         | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 6                         | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 7                         | 1004.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 8                         | 1005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 9                         | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 10                        | 1004.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| $t_{\text{Michell}}$ :    | <div>Type A</div> <div>Method of observation: Direct</div> <div>Number of observations: 10</div> <table><tr><th>No.</th><th>Observation</th></tr><tr><td>1</td><td>60.33</td></tr><tr><td>2</td><td>60.33</td></tr><tr><td>3</td><td>60.33</td></tr><tr><td>4</td><td>60.33</td></tr><tr><td>5</td><td>60.33</td></tr><tr><td>6</td><td>60.33</td></tr><tr><td>7</td><td>60.33</td></tr><tr><td>8</td><td>60.33</td></tr><tr><td>9</td><td>60.33</td></tr><tr><td>10</td><td>60.34</td></tr></table> <div>Arithmetic Mean: 60.33100 °C</div> <div>Standard Deviation: <math>3.2 \cdot 10^{-3}</math> °C</div> <div>Standard Uncertainty: <math>1.00 \cdot 10^{-3}</math> °C</div> <div>Degrees of Freedom: 9</div> | No.         | Observation | 1 | 60.33 | 2 | 60.33  | 3 | 60.33  | 4 | 60.33  | 5 | 60.33  | 6 | 60.33  | 7 | 60.33  | 8 | 60.33 | 9 | 60.33  | 10 | 60.34  |  |
| No.                       | Observation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 1                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 2                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 3                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 4                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 5                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 6                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 7                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 8                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 9                         | 60.33                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| 10                        | 60.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| $\Delta t_{\text{par}}$ : | <div>Type B rectangular distribution</div> <div>Value: 0.07 °C</div> <div>Halfwidth of Limits: 0.09 °C</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |
| Date: 05/16/2005          | File: Vordlus3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Page 6 of 8 |             |   |       |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |       |   |        |    |        |  |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

| Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine                  |               |                          |              |                         |                          |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|--------|
| $\delta t_{\text{interp}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.04 °C |               |                          |              |                         |                          |        |
| $\delta t_{\text{hom}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.18 °C    |               |                          |              |                         |                          |        |
| $\delta t_{\text{res}}$ : Type B rectangular distribution<br>Value: 0 °C<br>Halfwidth of Limits: 0.005 °C   |               |                          |              |                         |                          |        |
| Correlation Coefficients:                                                                                   |               |                          |              |                         |                          |        |
| $r(h_x,k) = 0.9$                                                                                            |               |                          |              |                         |                          |        |
| $r(h_x,t_{\text{DMichell}}) = 0.9$                                                                          |               |                          |              |                         |                          |        |
| Uncertainty Budget:                                                                                         |               |                          |              |                         |                          |        |
| Quantity                                                                                                    | Value         | Standard Uncertainty     | Distribution | Sensitivity Coefficient | Uncertainty Contribution | Index  |
| $h_x$                                                                                                       | 91.7300 %rh   | 0.0153 %rh               | normal       | -1.0                    | -0.015 %rh               | 0.0 %  |
| $\delta h_{\text{xres}}$                                                                                    | 0.0 %rh       | 0.0289 %rh               | rectangular  | -1.0                    | -0.029 %rh               | 0.1 %  |
| $p_{\text{proof}}$                                                                                          | 1007.1900 hPa | 0.0180 hPa               | normal       | 0.048                   | $860 \cdot 10^{-6}$ %rh  | 0.0 %  |
| $\delta \text{Ew1}$                                                                                         | 0.0 hPa       | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | 0.49                    | $2.8 \cdot 10^{-3}$ %rh  | 0.0 %  |
| $\delta \text{Ew2}$                                                                                         | 0.0 hPa       | $5.77 \cdot 10^{-3}$ hPa | rectangular  | -0.47                   | $-2.7 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $t_{\text{DMichell}}$                                                                                       | 59.36100 °C   | $6.23 \cdot 10^{-3}$ °C  | normal       | 4.5                     | 0.028 %rh                | 0.0 %  |
| $\Delta t_{\text{Dpar}}$                                                                                    | 0.200 °C      | 0.115 °C                 | rectangular  | 4.5                     | 0.52 %rh                 | 33.6 % |
| $\delta t_{\text{Dinterp}}$                                                                                 | 0.0 °C        | 0.0404 °C                | rectangular  | 4.5                     | 0.18 %rh                 | 4.1 %  |
| $\delta t_{\text{Dhom}}$                                                                                    | 0.0 °C        | 0.104 °C                 | rectangular  | 4.5                     | 0.46 %rh                 | 27.2 % |
| $\delta t_{\text{Dres}}$                                                                                    | 0.0 °C        | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | 4.5                     | 0.013 %rh                | 0.0 %  |
| $p_0$                                                                                                       | 1004.9000 hPa | 0.0211 hPa               | normal       | -0.048                  | $-1.0 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $t_{\text{Michell}}$                                                                                        | 60.33100 °C   | $1.00 \cdot 10^{-3}$ °C  | normal       | -4.4                    | $-4.4 \cdot 10^{-3}$ %rh | 0.0 %  |
| $\Delta t_{\text{par}}$                                                                                     | 0.0700 °C     | 0.0520 °C                | rectangular  | -4.4                    | -0.23 %rh                | 6.7 %  |
| $\delta t_{\text{interp}}$                                                                                  | 0.0 °C        | 0.0231 °C                | rectangular  | -4.4                    | -0.10 %rh                | 1.3 %  |
| $\delta t_{\text{hom}}$                                                                                     | 0.0 °C        | 0.104 °C                 | rectangular  | -4.4                    | -0.46 %rh                | 26.9 % |
| $\delta t_{\text{res}}$                                                                                     | 0.0 °C        | $2.89 \cdot 10^{-3}$ °C  | rectangular  | -4.4                    | -0.013 %rh               | 0.0 %  |
| $\Delta h$                                                                                                  | 4.566 %rh     | 0.891 %rh                |              |                         |                          |        |
| Date: 05/16/2005      File: Vordlus3      Page 7 of 8                                                       |               |                          |              |                         |                          |        |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132

|                                                                                                                                                                                |                                                                                            |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                | Kalibreeritava niiskuse mõõturile suhtelise niiskuse parandi ja selle määramatuse leidmine |             |
| <p><b>Result:</b> Quantity: <math>\Delta h</math><br/> Value: 4.6 %rh<br/> Expanded Uncertainty: <math>\pm 1.8</math> %rh<br/> Coverage Factor: 2.00<br/> Coverage: manual</p> |                                                                                            |             |
| Date: 05/16/2005                                                                                                                                                               | File: Vordlus3                                                                             | Page 8 of 8 |

Generated with GUM Workbench TrainMIC Version 1.3.3.132



## Lisa 7 Kliimakambri temperatuuri homogeensuse ja kastepunkti temperatuuri homogeensuse määramine

Selles lisas esitatakse kliimakambri temperatuuri homogeensuse ja kastepunkti temperatuuri homogeensuse määramiseks vajalikud mõõtetulemused. Temperatuuri ruumilist homogeensust määrati nii kliimakambri nurkades kui ka silindrilise peegeldava katte sees. Kastepunkti temperatuuri ruumilist homogeensust määrati ainult peegeldava katte sees.

### Temperatuuri homogeensuse uurimine

#### Termopaarid kliimakambri nurkades

Temperatuuri homogeensuse määramisel seoti kõigepealt termopaarid omavahel kokku, et teha kindlaks termopaaride nullinihked. Diferentsiaalsete termopaaride poolt genereeritud termopinged ning nende aritmeetiliste keskmiste põhjal arvutatud temperatuuri erinevused ja standardmääramatused erinevatel temperatuuridel on esitatud alljärgnevas tabelis:

|                 | $t$ (°C) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 10,17    | -1,0      | 0,1       | -0,8      | -0,2      | -1,3      | -1,6      |
|                 | 10,17    | -1,0      | 0,2       | -0,5      | -1,3      | -1,9      | -0,8      |
|                 | 10,17    | -0,9      | -0,3      | -0,3      | -0,1      | -0,9      | -1,9      |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,02     | 0,00      | -0,01     | -0,01     | -0,03     | -0,04     |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,001     | 0,004     | 0,004     | 0,010     | 0,007     | 0,008     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |
|                 | 20,24    | 0,0       | -0,4      | 0,1       | -0,3      | -0,7      | -1,4      |
|                 | 20,23    | -0,6      | -0,6      | 0,4       | -0,2      | -0,5      | -1,4      |
|                 | 20,24    | -1,1      | -1,4      | -0,2      | -0,3      | 0,0       | -0,2      |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,01     | -0,02     | 0,00      | -0,01     | -0,01     | -0,03     |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,008     | 0,008     | 0,004     | 0,001     | 0,005     | 0,010     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |
|                 | 30,23    | -1,4      | -0,8      | -0,1      | -0,2      | -0,8      | -0,6      |
|                 | 30,22    | -1,2      | -0,2      | 0,4       | 0,0       | 0,0       | -0,9      |
|                 | 30,23    | -1,4      | -0,5      | 0,0       | 0,0       | -0,6      | -0,8      |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,03     | -0,01     | 0,00      | 0,00      | -0,01     | -0,02     |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,002     | 0,004     | 0,004     | 0,002     | 0,006     | 0,002     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |
|                 | 40,28    | -1,0      | -0,5      | -0,1      | 0,0       | -0,7      | -0,7      |
|                 | 40,27    | -1,8      | -0,8      | 0,0       | -0,1      | -1,1      | -0,6      |
|                 | 40,26    | -1,3      | -0,2      | -0,1      | 0,0       | -0,7      | -0,6      |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,03     | -0,01     | 0,00      | 0,00      | -0,02     | -0,02     |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,006     | 0,004     | 0,001     | 0,001     | 0,003     | 0,001     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |
|                 | 50,24    | -1,6      | -0,5      | -0,6      | 0,0       | -0,9      | -0,4      |
|                 | 50,24    | -1,5      | -0,1      | -0,2      | -0,2      | -0,9      | -0,1      |
|                 | 50,24    | -1,6      | -0,2      | 0,1       | 0,1       | -0,4      | -0,3      |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,04     | -0,01     | -0,01     | 0,00      | -0,02     | -0,01     |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,000     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     |

|                 | $t$ (°C) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 60,27    | -1,2      | -0,4      | -0,6      | -0,3      | -0,5      | -0,2      |
|                 | 60,26    | -1,5      | 0,0       | -0,8      | 0,0       | -0,6      | -0,2      |
|                 | 60,26    | -1,5      | -0,5      | -0,1      | 0,2       | -0,4      | 0,2       |
| $t_{kesk}$ (°C) |          | -0,04     | -0,01     | -0,01     | 0,00      | -0,01     | 0,00      |
| $u(t)$ (°C)     |          | 0,002     | 0,004     | 0,005     | 0,004     | 0,001     | 0,003     |

Edasi paigutati termopaarid kliimakambri nurkadesse ja võeti näidud erinevate temperatuuride ja suhteliste niiskuste korral. Allolevas tabelis on esitatud termopaaride poolt genereeritud termopinged ja nende kaudu arvutatud temperatuuri erinevused ja standardmääramatused erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel:

|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 10,25    | 63,9      | -4        | -6        | 1         | 0         | 2         | -3        |
|                 | 10,24    | 63        | -3        | -4        | 1         | 0         | 1         | -4        |
|                 | 10,22    | 61,7      | -4        | -3        | 1         | -1        | 1         | -2        |
|                 | 10,24    | 63,9      | -2        | -5        | 1         | 0         | 1         | -5        |
| $t_{kesk}$ (°C) | 10,24    | 63,1      | -0,08     | -0,11     | 0,03      | -0,01     | 0,03      | -0,09     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,014     | 0,019     | 0,000     | 0,007     | 0,007     | 0,019     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 10,18    | 92,2      | -3        | -6        | 0         | 0         | -1        | -1        |
|                 | 10,17    | 92,2      | -3        | -7        | 0         | 0         | -1        | -2        |
|                 | 10,17    | 91,6      | -4        | -5        | 0         | 1         | 0         | -2        |
|                 | 10,16    | 92,2      | -3        | -7        | 0         | -1        | -1        | -1        |
| $t_{kesk}$ (°C) | 10,17    | 92,1      | -0,08     | -0,16     | 0,00      | 0,00      | -0,02     | -0,04     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,014     | 0,000     | 0,012     | 0,007     | 0,008     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 20,24    | 16,9      | 0         | 1         | 3         | 0         | 6         | -2        |
|                 | 20,24    | 16,8      | 0         | 1         | 4         | 0         | 6         | -2        |
|                 | 20,24    | 16,6      | 0         | 2         | 4         | 1         | 6         | -3        |
|                 | 20,23    | 16,5      | 1         | 1         | 4         | 0         | 7         | -2        |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,24    | 16,7      | 0,01      | 0,03      | 0,09      | 0,01      | 0,16      | -0,06     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,007     | 0,007     | 0,007     | 0,007     | 0,007     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 20,21    | 48,1      | -1        | -2        | 0         | 0         | 2         | -1        |
|                 | 20,22    | 48,1      | -4        | -1        | 0         | -1        | 2         | -1        |
|                 | 20,23    | 47,8      | -3        | -2        | 0         | 0         | 2         | -1        |
|                 | 20,21    | 46,5      | -1        | -4        | 0         | -1        | 2         | -1        |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,22    | 47,6      | -0,06     | -0,06     | 0,00      | -0,01     | 0,05      | -0,03     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,019     | 0,016     | 0,000     | 0,007     | 0,000     | 0,000     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 20,17    | 88,2      | -4        | -6        | -2        | -1        | -1        | 0         |
|                 | 20,16    | 88,2      | -5        | -5        | -2        | -1        | 0         | 1         |
|                 | 20,17    | 88,8      | -4        | -8        | -1        | 0         | -1        | 0         |
|                 | 20,17    | 88,8      | -5        | -9        | -1        | -1        | -1        | 0         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,17    | 88,5      | -0,11     | -0,18     | -0,04     | -0,02     | -0,02     | 0,01      |

|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,023     | 0,007     | 0,006     | 0,006     | 0,006     |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 30,26    | 9,4       | 1         | 3         | 4         | 0         | 8         | -1        |
|                 | 30,27    | 9,3       | 0         | 4         | 5         | 1         | 9         | -1        |
|                 | 30,26    | 9,3       | 0         | 6         | 4         | 0         | 8         | -2        |
|                 | 30,26    | 9,3       | 1         | 3         | 4         | 0         | 8         | -1        |
| $t_{kesk}$ (°C) | 30,26    | 9,3       | 0,01      | 0,10      | 0,11      | 0,01      | 0,21      | -0,03     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,018     | 0,006     | 0,006     | 0,006     | 0,006     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 30,25    | 49,2      | -1        | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         |
|                 | 30,26    | 49,2      | -1        | 0         | 0         | 0         | 2         | 0         |
|                 | 30,26    | 48,9      | -1        | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 30,26    | 49,1      | -0,03     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,03      | 0,00      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,000     | 0,000     | 0,000     | 0,000     | 0,008     | 0,000     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 30,25    | 87,5      | -4        | -3        | -2        | 0         | -1        | 0         |
|                 | 30,25    | 87,5      | -2        | -2        | -2        | 0         | -1        | 0         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 30,25    | 87,5      | -0,08     | -0,06     | -0,05     | 0,00      | -0,03     | 0,00      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,025     | 0,013     | 0,000     | 0,000     | 0,000     | 0,000     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 40,22    | 10,2      | 1         | 5         | 2         | -1        | 7         | 2         |
|                 | 40,22    | 10        | 1         | 6         | 3         | 0         | 6         | 1         |
|                 | 40,23    | 10        | 0         | 5         | 2         | -1        | 7         | 2         |
|                 | 40,22    | 10        | 1         | 6         | 4         | 0         | 8         | 2         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,22    | 10,1      | 0,02      | 0,14      | 0,07      | -0,01     | 0,18      | 0,04      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,006     | 0,007     | 0,012     | 0,007     | 0,010     | 0,006     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 40,26    | 49,5      | -1        | 1         | 0         | 0         | 1         | 1         |
|                 | 40,27    | 47,8      | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1         |
|                 | 40,27    | 46,4      | -1        | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         |
|                 | 40,27    | 47,8      | -1        | 0         | 0         | 0         | 1         | 1         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,27    | 47,9      | -0,02     | 0,01      | 0,00      | 0,00      | 0,02      | 0,03      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,006     | 0,007     | 0,000     | 0,000     | 0,006     | 0,000     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 40,3     | 90,3      | -2        | 0         | -1        | 0         | 0         | 0         |
|                 | 40,29    | 89,8      | -1        | 0         | 0         | 0         | -1        | 0         |
|                 | 40,29    | 90,3      | -2        | 0         | -1        | 0         | -1        | 1         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,29    | 90,1      | -0,04     | 0,00      | -0,02     | 0,00      | -0,02     | 0,01      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,008     | 0,000     | 0,008     | 0,000     | 0,008     | 0,008     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 50,2     | 9,9       | 0         | 7         | 4         | -1        | 8         | 5         |
|                 | 50,21    | 9,9       | 1         | 8         | 1         | -3        | 9         | 5         |
|                 | 50,22    | 9,9       | 0         | 10        | 2         | -2        | 8         | 4         |
|                 | 50,23    | 9,9       | -1        | 6         | 3         | -2        | 9         | 5         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 50,22    | 9,9       | 0,00      | 0,19      | 0,06      | -0,05     | 0,21      | 0,12      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,010     | 0,021     | 0,016     | 0,010     | 0,007     | 0,006     |

|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 50,25    | 51,7      | -1        | 2         | 0         | -1        | 2         | 4         |
|                 | 50,25    | 50,9      | 0         | 3         | 0         | -1        | 1         | 4         |
|                 | 50,26    | 51,4      | -1        | 1         | 0         | -1        | 1         | 3         |
|                 | 50,26    | 50,9      | -2        | 2         | 0         | -1        | 1         | 3         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 50,26    | 51,2      | -0,03     | 0,05      | 0,00      | -0,03     | 0,03      | 0,09      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,010     | 0,010     | 0,000     | 0,000     | 0,006     | 0,007     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 50,33    | 90,5      | -2        | 0         | -1        | 0         | -1        | 1         |
|                 | 50,33    | 90        | -2        | 0         | -2        | 0         | 0         | 1         |
|                 | 50,33    | 90        | -2        | 0         | -2        | 0         | -2        | 2         |
|                 | 50,3     | 88,7      | -1        | 0         | -1        | 0         | 0         | 3         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 50,32    | 89,8      | -0,04     | 0,00      | -0,04     | 0,00      | -0,02     | 0,04      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,006     | 0,000     | 0,007     | 0,000     | 0,012     | 0,012     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 60,27    | 9,9       | 1         | 9         | 4         | -1        | 11        | 6         |
|                 | 60,27    | 10,1      | -1        | 7         | 2         | -2        | 11        | 5         |
|                 | 60,25    | 10        | -2        | 9         | 4         | -3        | 13        | 6         |
|                 | 60,24    | 10,1      | 0         | 10        | 2         | -3        | 12        | 5         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,26    | 10,0      | -0,01     | 0,22      | 0,08      | -0,06     | 0,29      | 0,14      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,016     | 0,016     | 0,014     | 0,012     | 0,012     | 0,007     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 60,3     | 49,9      | 0         | 4         | 0         | 0         | 2         | 4         |
|                 | 60,3     | 49,9      | 0         | 3         | 0         | -1        | 1         | 4         |
|                 | 60,31    | 49,4      | 0         | 3         | 0         | 0         | 2         | 3         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,30    | 49,7      | 0,00      | 0,08      | 0,00      | -0,01     | 0,04      | 0,09      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,000     | 0,008     | 0,000     | 0,008     | 0,008     | 0,008     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 60,36    | 90,2      | -2        | 0         | -2        | 0         | -1        | 3         |
|                 | 60,35    | 90,2      | -1        | 0         | -2        | 0         | -1        | 2         |
|                 | 60,36    | 89,8      | -2        | 0         | -2        | 0         | -2        | 2         |
|                 | 60,35    | 90,2      | -1        | 0         | -2        | 0         | -1        | 2         |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,36    | 90,1      | -0,04     | 0,00      | -0,05     | 0,00      | -0,03     | 0,06      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,000     | 0,000     | 0,000     | 0,006     | 0,006     |

Allolevas koondtabelis esitatakse kliimakambri temperatuuri erinevused ja temperatuuri mõõtmise standardmääramatused erinevatel temperatuuri ja suhtelise niiskuse väärtustel. Kliimakambri temperatuurierinevuste hindamisel on kliimakambri laiali olevate termopaaride poolt genereeritud termopingetest lahutatud termopinged, kui termopaarid olid omavahel kokku seotud ja tulemused teisendatud temperatuurideks.

| $t_{Mich} (^{\circ}\text{C})$ | $h (\%rh)$ | $\Delta t_1 (^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t_2 (^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t_3 (^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t_4 (^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t_5 (^{\circ}\text{C})$ | $\Delta t_6 (^{\circ}\text{C})$ | $u(\Delta t) (^{\circ}\text{C})$ |
|-------------------------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 10,24                         | 63,1       | -0,06                           | -0,11                           | 0,04                            | 0,01                            | 0,07                            | -0,05                           | 0,02                             |
| 10,17                         | 92,1       | -0,06                           | -0,16                           | 0,01                            | 0,01                            | 0,02                            | 0,00                            | 0,01                             |
| 20,24                         | 16,7       | 0,02                            | 0,05                            | 0,09                            | 0,01                            | 0,17                            | -0,03                           | 0,01                             |
| 20,22                         | 47,6       | -0,04                           | -0,04                           | 0,00                            | -0,01                           | 0,06                            | 0,00                            | 0,02                             |
| 20,17                         | 88,5       | -0,10                           | -0,16                           | -0,04                           | -0,01                           | -0,01                           | 0,03                            | 0,02                             |
| 30,26                         | 9,3        | 0,05                            | 0,11                            | 0,10                            | 0,01                            | 0,22                            | -0,01                           | 0,02                             |
| 30,26                         | 49,1       | 0,01                            | 0,01                            | 0,00                            | 0,00                            | 0,05                            | 0,02                            | 0,01                             |
| 30,25                         | 87,5       | -0,04                           | -0,05                           | -0,05                           | 0,00                            | -0,01                           | 0,02                            | 0,03                             |
| 40,22                         | 10,1       | 0,05                            | 0,15                            | 0,07                            | -0,01                           | 0,20                            | 0,06                            | 0,01                             |
| 40,27                         | 47,8       | 0,02                            | 0,03                            | 0,00                            | 0,00                            | 0,04                            | 0,04                            | 0,01                             |
| 40,29                         | 90,1       | -0,01                           | 0,01                            | -0,02                           | 0,00                            | 0,00                            | 0,02                            | 0,01                             |
| 50,22                         | 9,9        | 0,04                            | 0,20                            | 0,07                            | -0,05                           | 0,23                            | 0,13                            | 0,02                             |
| 50,26                         | 51,2       | 0,01                            | 0,06                            | 0,01                            | -0,02                           | 0,05                            | 0,09                            | 0,01                             |
| 50,32                         | 89,8       | 0,00                            | 0,01                            | -0,03                           | 0,00                            | 0,00                            | 0,05                            | 0,01                             |
| 60,26                         | 10,0       | 0,02                            | 0,23                            | 0,09                            | -0,06                           | 0,31                            | 0,14                            | 0,02                             |
| 60,30                         | 49,7       | 0,04                            | 0,09                            | 0,01                            | -0,01                           | 0,05                            | 0,09                            | 0,01                             |
| 60,36                         | 90,1       | 0,00                            | 0,01                            | -0,04                           | 0,00                            | -0,02                           | 0,06                            | 0,01                             |

### Termopaarid peegeldava katte sees

Allolevas tabelis esitatakse termopinged, kui termopaarid on omavahel kokku seotud ning nende termopingete kaudu arvutatud temperatuuri erinevused ja standardmääramatused kliimakambri erinevatel temperatuuridel.

|                               | $t (^{\circ}\text{C})$ | $U1 (\mu\text{V})$ | $U2 (\mu\text{V})$ | $U3 (\mu\text{V})$ | $U4 (\mu\text{V})$ | $U5 (\mu\text{V})$ | $U6 (\mu\text{V})$ |
|-------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                               | 20,36                  | -0,8               | -0,3               | -0,6               | -0,4               | -0,5               | -0,7               |
|                               | 20,36                  | -0,8               | -1                 | -0,6               | -0,6               | -0,4               | -0,8               |
|                               | 20,35                  | -0,8               | -0,8               | -0,5               | -0,4               | -0,4               | -0,7               |
|                               | 20,35                  | -0,8               | -0,6               | -0,4               | -0,5               | -0,4               | -0,7               |
| $t_{kesk} (^{\circ}\text{C})$ | 20,36                  | -0,02              | -0,02              | -0,01              | -0,01              | -0,01              | -0,02              |
| $u(t) (^{\circ}\text{C})$     |                        | 0,000              | 0,004              | 0,001              | 0,001              | 0,001              | 0,001              |
|                               |                        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|                               | 40,34                  | -0,5               | -0,5               | -0,7               | -0,5               | -0,2               | -0,6               |
|                               | 40,32                  | -0,6               | -0,3               | -0,4               | -0,5               | -0,2               | -0,4               |
|                               | 40,33                  | -0,5               | -0,3               | -0,6               | -0,3               | -0,1               | -0,3               |
|                               | 40,33                  | -0,7               | -0,3               | -0,5               | -0,3               | -0,2               | -0,5               |
| $t_{kesk} (^{\circ}\text{C})$ | 40,33                  | -0,01              | -0,01              | -0,01              | -0,01              | 0,00               | -0,01              |
| $u(t) (^{\circ}\text{C})$     |                        | 0,001              | 0,001              | 0,002              | 0,001              | 0,001              | 0,002              |
|                               |                        |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|                               | 60,38                  | -1,3               | 0,0                | 0,2                | 0,7                | -0,2               | -0,6               |
|                               | 60,38                  | -1,2               | 0,1                | -0,2               | 0,4                | 0,0                | -0,4               |
|                               | 60,37                  | -1,2               | -0,5               | -0,1               | 0,7                | 0,0                | -0,3               |
|                               | 60,37                  | -1,7               | -0,1               | 0,2                | 0,6                | -0,1               | -0,3               |
| $t_{kesk} (^{\circ}\text{C})$ | 60,38                  | -0,03              | 0,00               | 0,00               | 0,02               | 0,00               | -0,01              |
| $u(t) (^{\circ}\text{C})$     |                        | 0,003              | 0,003              | 0,003              | 0,002              | 0,001              | 0,002              |

Edasi paigutati termopaarid metallkesta sees laiali.

Allolevas tabelis on esitatud termopaaride poolt genereeritud termopinged erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel:

|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 20,35    | 12,5      | 0,0       | 0,7       | 0,5       | -0,1      | 0,1       | -2,4      |
|                 | 20,35    | 12,5      | -0,3      | 0,9       | 0,4       | -0,7      | 0,5       | -2,3      |
|                 | 20,35    | 12,6      | -0,3      | 1,0       | 0,2       | -0,1      | 0,4       | -2,3      |
|                 | 20,35    | 12,6      | 0,3       | 0,5       | 0,2       | -0,1      | 0,5       | -2,4      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,35    | 12,6      | 0,00      | 0,02      | 0,01      | -0,01     | 0,01      | -0,06     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,004     | 0,003     | 0,002     | 0,004     | 0,002     | 0,001     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 20,17    | 46,5      | -1,4      | -0,1      | 0,0       | -0,1      | -0,6      | -1,0      |
|                 | 20,19    | 48,4      | -1,6      | -0,1      | 0,3       | -0,1      | -0,3      | -0,3      |
|                 | 20,22    | 49,8      | -1,3      | 0,2       | 0,2       | 0,0       | -0,3      | -0,6      |
|                 | 20,24    | 53,6      | -1,9      | 0,0       | 0,4       | -0,1      | -1,0      | -1,5      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,21    | 49,6      | -0,04     | 0,00      | 0,01      | 0,00      | -0,01     | -0,02     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,003     | 0,002     | 0,002     | 0,001     | 0,004     | 0,006     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 20,12    | 88,2      | -2,4      | -1,6      | -0,3      | 0,7       | -1,3      | 1,5       |
|                 | 20,13    | 88,2      | -2,2      | 0,1       | 0,6       | 0,6       | -1,6      | 0,6       |
|                 | 20,13    | 88,2      | -1,5      | 0,2       | 0,4       | 0,0       | -2,1      | 0,3       |
|                 | 20,13    | 88,2      | -1,8      | -0,6      | 0,0       | -0,1      | -2,4      | 1,9       |
| $t_{kesk}$ (°C) | 20,13    | 88,2      | -0,05     | -0,01     | 0,00      | 0,01      | -0,05     | 0,03      |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,005     | 0,010     | 0,005     | 0,005     | 0,006     | 0,009     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|                 | 40,39    | 9,2       | 1,3       | 2,4       | -0,4      | 0,2       | 2,1       | -5,5      |
|                 | 40,4     | 9,2       | 1,8       | 2,3       | 0,1       | -0,1      | 2,4       | -4,7      |
|                 | 40,41    | 9,1       | 1,9       | 2,6       | -0,5      | -0,1      | 2,7       | -5,1      |
|                 | 40,42    | 9,1       | 1,4       | 2,6       | 0,1       | -0,1      | 2,9       | -5,4      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,41    | 9,2       | 0,04      | 0,06      | 0,00      | 0,00      | 0,06      | -0,13     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,004     | 0,002     | 0,004     | 0,002     | 0,004     | 0,004     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 40,29    | 49,2      | 0,1       | 1,1       | 0,3       | 0,6       | 0,5       | -1,5      |
|                 | 40,30    | 49,8      | -0,1      | 0,5       | 0,0       | 0,9       | 0,5       | -2,4      |
|                 | 40,29    | 49,5      | -0,4      | 0,8       | 0,2       | 0,6       | 0,6       | -1,4      |
|                 | 40,29    | 48,3      | -0,3      | 0,7       | 0,1       | 0,6       | 0,6       | -1,4      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,29    | 49,2      | 0,00      | 0,02      | 0,00      | 0,02      | 0,01      | -0,04     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,003     | 0,003     | 0,002     | 0,002     | 0,001     | 0,006     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 40,27    | 89,3      | -1,3      | 0,1       | 0,1       | 0,6       | -0,4      | -0,7      |
|                 | 40,27    | 89,8      | -1,0      | 0,2       | 0,2       | 0,7       | -0,2      | -0,5      |
|                 | 40,28    | 89,8      | -1,2      | 0,0       | 0,1       | 0,7       | -0,2      | -0,5      |
|                 | 40,28    | 89,8      | -1,1      | 0,2       | 0,0       | 0,7       | -0,3      | -0,5      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 40,28    | 89,7      | -0,03     | 0,00      | 0,00      | 0,02      | -0,01     | -0,01     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,002     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     | 0,001     |

|                 | $t$ (°C) | $h$ (%rh) | $U1$ (μV) | $U2$ (μV) | $U3$ (μV) | $U4$ (μV) | $U5$ (μV) | $U6$ (μV) |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 60,39    | 10,2      | 0,7       | 2,7       | -1,9      | -0,8      | 2,4       | -10,7     |
|                 | 60,38    | 10,2      | 1,2       | 1,2       | -2,8      | -1,0      | 1,5       | -11,2     |
|                 | 60,36    | 10,0      | 0,0       | 1,5       | -2,1      | -0,2      | 2,9       | -8,7      |
|                 | 60,36    | 10,0      | 0,1       | 0,8       | -2,0      | -0,9      | 3,0       | -9,8      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,37    | 10,1      | 0,01      | 0,04      | -0,06     | -0,02     | 0,06      | -0,25     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,007     | 0,010     | 0,005     | 0,004     | 0,009     | 0,014     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 60,32    | 50,1      | 0,2       | 1,1       | -0,4      | 1,1       | 1,2       | -3,9      |
|                 | 60,33    | 50,1      | -0,3      | 1,3       | -0,6      | 0,4       | 1,5       | -3,4      |
|                 | 60,35    | 50,1      | 0,4       | 1,2       | -0,5      | 0,6       | 1,6       | -3,8      |
|                 | 60,36    | 50,1      | 0,6       | 1,1       | -0,2      | 0,6       | 1,7       | -3,8      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,34    | 50,1      | 0,01      | 0,03      | -0,01     | 0,02      | 0,04      | -0,09     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,005     | 0,001     | 0,002     | 0,004     | 0,003     | 0,003     |
|                 |          |           |           |           |           |           |           |           |
|                 | 60,32    | 90,2      | -0,9      | 0,3       | 0,0       | 0,9       | 0,1       | -1,0      |
|                 | 60,31    | 90,2      | -0,6      | 0,4       | 0,1       | 0,8       | 0,3       | -0,8      |
|                 | 60,31    | 90,2      | -0,7      | 0,4       | -0,3      | 1,3       | 0,3       | -0,7      |
|                 | 60,31    | 90,2      | -0,8      | 0,2       | -0,1      | 1,0       | 0,2       | -0,9      |
| $t_{kesk}$ (°C) | 60,31    | 90,2      | -0,02     | 0,01      | 0,00      | 0,03      | 0,01      | -0,02     |
| $u(t)$ (°C)     |          |           | 0,002     | 0,001     | 0,002     | 0,003     | 0,001     | 0,002     |

Allolevas koondtabelis esitatakse temperatuuri erinevused peegeldava katte sees ja nende standardmääramatused erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel. Temperatuuri erinevuste hindamisel peegeldava katte sees on lahutatud selles laiali olevate termopaaride poolt genereeritud termopingetest vastavad termopinged, kui termopaarid olid omavahel kokku seotud ja tulemused teisendatud temperatuurideks.

| $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $\Delta t_1$ (°C) | $\Delta t_2$ (°C) | $\Delta t_3$ (°C) | $\Delta t_4$ (°C) | $\Delta t_5$ (°C) | $\Delta t_6$ (°C) | $u(\Delta t)$ (°C) |
|-----------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 20,35           | 12,6      | 0,02              | 0,04              | 0,02              | 0,01              | 0,02              | -0,04             | 0,004              |
| 20,21           | 49,6      | -0,02             | 0,02              | 0,02              | 0,01              | 0,00              | 0,00              | 0,006              |
| 20,13           | 88,2      | -0,03             | 0,01              | 0,02              | 0,02              | -0,04             | 0,05              | 0,010              |
| 40,41           | 9,2       | 0,05              | 0,07              | 0,01              | 0,01              | 0,07              | -0,12             | 0,004              |
| 40,29           | 49,2      | 0,01              | 0,03              | 0,02              | 0,03              | 0,02              | -0,03             | 0,006              |
| 40,28           | 89,7      | -0,01             | 0,01              | 0,02              | 0,03              | 0,00              | 0,00              | 0,002              |
| 60,37           | 10,1      | 0,05              | 0,04              | -0,06             | -0,03             | 0,06              | -0,24             | 0,014              |
| 60,34           | 50,1      | 0,04              | 0,03              | -0,01             | 0,00              | 0,04              | -0,08             | 0,005              |
| 60,31           | 90,2      | 0,02              | 0,01              | 0,00              | 0,01              | 0,01              | -0,01             | 0,003              |

### Kastepunkti temperatuuri homogeensuse uurimine

Järgnevas tabelis on esitatud nelja hügromeetri näidud erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel, kui hügromeetrid olid kimpu seotud peegeldava katte sees.

|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|-------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | 20,31           | 12,8      | -7,0          | -7,0          | -7,1          | -7,1          |
|             | 20,32           | 12,8      | -7,1          | -7,1          | -7,1          | -7,2          |
|             | 20,31           | 12,7      | -7,1          | -7,1          | -7,1          | -7,2          |
|             | 20,31           | 12,7      | -7,2          | -7,2          | -7,2          | -7,2          |
|             | 20,32           | 12,6      | -7,1          | -7,1          | -7,1          | -7,1          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,31           | 12,7      | -7,10         | -7,10         | -7,12         | -7,16         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,03          | 0,03          | 0,02          | 0,02          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,22           | 46,5      | 8,6           | 8,7           | 9,0           | 9,1           |
|             | 20,24           | 48,1      | 9,2           | 9,2           | 9,6           | 9,5           |
|             | 20,24           | 49,8      | 9,7           | 9,7           | 10,1          | 10,0          |
|             | 20,21           | 49,8      | 9,3           | 9,3           | 9,7           | 9,6           |
|             |                 |           | 8,9           | 8,9           | 9,3           | 9,2           |
| $t_{Dkesk}$ | 20,23           | 48,6      | 9,14          | 9,16          | 9,54          | 9,48          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,19          | 0,17          | 0,19          | 0,16          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,16           | 87,7      | 18,5          | 18,6          | 19,2          | 19,0          |
|             | 20,16           | 88,2      | 18,6          | 18,6          | 19,2          | 19,0          |
|             | 20,16           | 88,2      | 18,5          | 18,6          | 19,2          | 19,0          |
|             | 20,16           | 87,7      | 18,5          | 18,6          | 19,1          | 19,0          |
|             | 20,16           | 87,1      | 18,5          | 18,6          | 19,1          | 19,0          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,16           | 87,8      | 18,52         | 18,60         | 19,16         | 19,00         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,02          | 0,00          | 0,02          | 0,00          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|             | 40,42           | 9,6       | 3,2           | 2,5           | 4,0           | 3,9           |
|             | 40,42           | 9,6       | 3,2           | 2,5           | 4,0           | 3,9           |
|             | 40,42           | 9,6       | 3,3           | 2,5           | 4,1           | 3,9           |
|             | 40,42           | 9,6       | 3,3           | 2,4           | 4,0           | 3,9           |
|             | 40,41           | 9,6       | 3,3           | 2,4           | 4,0           | 3,9           |
| $t_{Dkesk}$ | 40,42           | 9,6       | 3,26          | 2,46          | 4,02          | 3,90          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,02          | 0,02          | 0,02          | 0,00          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 40,30           | 49,8      | 27,3          | 26,3          | 27,2          | 27,1          |
|             | 40,30           | 49,8      | 27,3          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
|             | 40,30           | 49,8      | 27,3          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
|             | 40,30           | 49,8      | 27,3          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
|             | 40,30           | 49,8      | 27,3          | 26,3          | 27,3          | 27,1          |
| $t_{Dkesk}$ | 40,30           | 49,8      | 27,30         | 26,36         | 27,28         | 27,16         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,00          | 0,02          | 0,02          | 0,02          |



|             |                 |           |               |               |               |               |
|-------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 40,28           | 90,3      | 38,7          | 37,7          | 38,7          | 38,5          |
|             | 40,28           | 90,3      | 38,8          | 37,7          | 38,7          | 38,5          |
|             | 40,28           | 90,3      | 38,8          | 37,7          | 38,7          | 38,5          |
|             | 40,28           | 90,3      | 38,7          | 37,7          | 38,6          | 38,4          |
|             | 40,27           | 90,3      | 38,4          | 37,4          | 38,3          | 38,1          |
| $t_{Dkesk}$ | 40,28           | 90,3      | 38,68         | 37,64         | 38,60         | 38,40         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,07          | 0,06          | 0,08          | 0,08          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|             | 60,34           | 10,0      | 16,9          | 15,2          | 18,9          | 18,7          |
|             | 60,34           | 10,0      | 16,9          | 15,0          | 18,9          | 18,7          |
|             | 60,34           | 10,0      | 16,9          | 15,0          | 18,9          | 18,5          |
|             | 60,32           | 10,0      | 16,5          | 15,0          | 18,6          | 18,4          |
|             | 60,31           | 9,8       | 16,4          | 14,8          | 18,6          | 18,2          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,33           | 10,0      | 16,72         | 15,00         | 18,78         | 18,50         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,11          | 0,06          | 0,07          | 0,09          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 60,29           | 45,7      | 43,4          | 41,2          | 43,0          | 42,7          |
|             | 60,28           | 48,4      | 43,3          | 41,1          | 42,9          | 42,7          |
|             | 60,27           | 45,4      | 43,3          | 41,1          | 42,9          | 42,7          |
|             | 60,25           | 45,2      | 43,5          | 41,3          | 43,1          | 42,8          |
|             | 60,25           | 45,4      | 43,6          | 41,4          | 43,2          | 43,0          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,27           | 46,0      | 43,42         | 41,22         | 43,02         | 42,78         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,06          | 0,06          | 0,06          | 0,06          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 60,34           | 90,6      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
|             | 60,34           | 89,4      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
|             | 60,34           | 90,2      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
|             | 60,34           | 90,6      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
|             | 60,34           | 90,6      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,34           | 90,3      | 58,3          | 56,0          | 57,4          | 57,2          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           |

Järgnevas tabelis on esitatud hügromeetrite kastepunkti temperatuuri erinevused neist ühe hügromeetri suhtes erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

| $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $\Delta t_{D1}$ (°C) | $\Delta t_{D2}$ (°C) | $\Delta t_{D3}$ (°C) |
|-----------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 20,31           | 12,7      | 0,00                 | 0,02                 | 0,06                 |
| 20,23           | 48,6      | -0,02                | -0,40                | -0,34                |
| 20,16           | 87,8      | -0,08                | -0,64                | -0,48                |
| 40,42           | 9,6       | 0,80                 | -0,76                | -0,64                |
| 40,30           | 49,8      | 0,94                 | 0,02                 | 0,14                 |
| 40,28           | 90,3      | 1,04                 | 0,08                 | 0,28                 |
| 60,33           | 10,0      | 1,72                 | -2,06                | -1,78                |
| 60,27           | 46,0      | 2,20                 | 0,40                 | 0,64                 |
| 60,34           | 90,3      | 2,3                  | 0,9                  | 1,1                  |

*Hügromeetrid peegeldava katte sees laiali, hügromeetrite esimene paigutus*

Järgnevas tabelis esitatakse hügromeetrite näidud nende esimese asetuse korral peegeldava katte sees erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|-------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | 20,33           | 12,8      | -7,2          | -7,3          | -7,2          | -7,2          |
|             | 20,33           | 12,7      | -7,2          | -7,3          | -7,2          | -7,3          |
|             | 20,33           | 12,7      | -7,2          | -7,2          | -7,1          | -7,2          |
|             | 20,33           | 12,8      | -7,2          | -7,2          | -7,1          | -7,3          |
|             | 20,33           | 12,8      | -7,2          | -7,2          | -7,1          | -7,2          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,33           | 12,8      | -7,20         | -7,24         | -7,14         | -7,24         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,00          | 0,02          | 0,02          | 0,02          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,22           | 48,8      | 9,5           | 9,6           | 10,0          | 9,9           |
|             | 20,22           | 49,1      | 9,3           | 9,4           | 9,9           | 9,7           |
|             | 20,21           | 49,1      | 9,0           | 9,1           | 9,5           | 9,4           |
|             | 20,21           | 48,8      | 9,1           | 9,1           | 9,6           | 9,5           |
|             | 20,22           | 48,4      | 9,4           | 9,4           | 9,9           | 9,8           |
| $t_{Dkesk}$ | 20,22           | 48,8      | 9,26          | 9,32          | 9,78          | 9,66          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,09          | 0,10          | 0,10          | 0,09          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,11           | 90,0      | 18,6          | 18,6          | 19,3          | 19,1          |
|             | 20,11           | 90,0      | 18,6          | 18,6          | 19,3          | 19,2          |
|             | 20,11           | 90,0      | 18,6          | 18,6          | 19,3          | 19,1          |
|             | 20,11           | 90,0      | 18,6          | 18,7          | 19,3          | 19,1          |
|             | 20,11           | 90,0      | 18,6          | 18,6          | 19,2          | 19,0          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,11           | 90,0      | 18,60         | 18,62         | 19,28         | 19,10         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,00          | 0,02          | 0,02          | 0,03          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|             | 40,39           | 9,1       | 2,0           | 1,1           | 3,0           | 2,9           |
|             | 40,40           | 9,0       | 1,8           | 1,1           | 3,0           | 2,7           |
|             | 40,39           | 9,1       | 1,7           | 1,1           | 3,0           | 2,7           |
|             | 40,40           | 9,0       | 1,7           | 1,1           | 3,0           | 2,7           |
|             | 40,40           | 9,0       | 1,8           | 1,1           | 2,8           | 2,7           |
| $t_{Dkesk}$ | 40,40           | 9,0       | 1,80          | 1,10          | 2,96          | 2,74          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,05          | 0,00          | 0,04          | 0,04          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 40,29           | 51,8      | 27,3          | 26,3          | 27,3          | 27,1          |
|             | 40,26           | 49,5      | 26,8          | 25,8          | 26,7          | 26,6          |
|             | 40,24           | 46,1      | 26,4          | 25,5          | 26,4          | 26,3          |
|             | 40,23           | 45,8      | 26,2          | 25,2          | 26,2          | 26,0          |
|             | 40,23           | 46,1      | 26,2          | 25,3          | 26,3          | 26,1          |
| $t_{Dkesk}$ | 40,25           | 47,9      | 26,58         | 25,62         | 26,58         | 26,42         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,21          | 0,20          | 0,20          | 0,20          |

|                               |                                   |                             |                                 |                                 |                                 |                                 |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                               | 40,27                             | 89,8                        | 38,6                            | 37,5                            | 38,5                            | 38,3                            |
|                               | 40,27                             | 88,3                        | 38,5                            | 37,4                            | 38,4                            | 38,2                            |
|                               | 40,26                             | 85,5                        | 38,5                            | 37,4                            | 38,5                            | 38,3                            |
|                               | 40,27                             | 86,9                        | 38,6                            | 37,6                            | 38,6                            | 38,4                            |
|                               | 40,27                             | 86,4                        | 38,7                            | 37,7                            | 38,7                            | 38,5                            |
| <b><math>t_{Dkesk}</math></b> | 40,27                             | 87,4                        | 38,58                           | 37,52                           | 38,54                           | 38,34                           |
| <b><math>u(t_D)</math></b>    |                                   |                             | 0,04                            | 0,06                            | 0,05                            | 0,05                            |
|                               |                                   |                             |                                 |                                 |                                 |                                 |
|                               | <b><math>t_{Mich}</math> (°C)</b> | <b><math>h</math> (%rh)</b> | <b><math>t_{D1}</math> (°C)</b> | <b><math>t_{D2}</math> (°C)</b> | <b><math>t_{D3}</math> (°C)</b> | <b><math>t_{D4}</math> (°C)</b> |
|                               | 60,36                             | 9,8                         | 16,3                            | 14,7                            | 18,5                            | 18,4                            |
|                               | 60,37                             | 10,0                        | 16,4                            | 14,7                            | 18,6                            | 18,5                            |
|                               | 60,36                             | 10,0                        | 16,3                            | 14,5                            | 18,4                            | 18,3                            |
|                               | 60,34                             | 9,8                         | 16,1                            | 14,3                            | 18,6                            | 18,1                            |
|                               | 60,34                             | 9,8                         | 16,1                            | 14,3                            | 18,3                            | 18,1                            |
| <b><math>t_{Dkesk}</math></b> | 60,35                             | 9,9                         | 16,24                           | 14,50                           | 18,48                           | 18,28                           |
| <b><math>u(t_D)</math></b>    |                                   |                             | 0,06                            | 0,09                            | 0,06                            | 0,08                            |
|                               |                                   |                             |                                 |                                 |                                 |                                 |
|                               | 60,38                             | 50,4                        | 45,3                            | 43,2                            | 44,8                            | 44,6                            |
|                               | 60,38                             | 50,1                        | 45,3                            | 43,2                            | 44,8                            | 44,7                            |
|                               | 60,38                             | 50,4                        | 45,4                            | 43,4                            | 45,0                            | 44,8                            |
|                               | 60,39                             | 50,7                        | 45,6                            | 43,4                            | 45,1                            | 44,9                            |
|                               | 60,38                             | 51,2                        | 45,3                            | 43,2                            | 44,8                            | 44,6                            |
| <b><math>t_{Dkesk}</math></b> | 60,38                             | 50,6                        | 45,38                           | 43,28                           | 44,90                           | 44,72                           |
| <b><math>u(t_D)</math></b>    |                                   |                             | 0,06                            | 0,05                            | 0,06                            | 0,06                            |
|                               |                                   |                             |                                 |                                 |                                 |                                 |
|                               | 60,36                             | 90,2                        | 58,2                            | 56,0                            | 57,4                            | 57,1                            |
|                               | 60,36                             | 90,6                        | 58,2                            | 56,0                            | 57,4                            | 57,1                            |
|                               | 60,35                             | 90,6                        | 58,2                            | 56,0                            | 57,4                            | 57,1                            |
|                               | 60,35                             | 90,6                        | 58,2                            | 56,0                            | 57,3                            | 57,1                            |
|                               | 60,35                             | 91,1                        | 58,2                            | 56,0                            | 57,4                            | 57,1                            |
| <b><math>t_{Dkesk}</math></b> | 60,35                             | 90,6                        | 58,20                           | 56,00                           | 57,38                           | 57,10                           |
| <b><math>u(t_D)</math></b>    |                                   |                             | 0,00                            | 0,00                            | 0,02                            | 0,00                            |

Allolevas tabelis on esitatud hügromeetrite kastepunkti temperatuuri erinevused neist ühe hügromeetri suhtes hügromeetrite esimese asetuse korral erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

| <b><math>t_{Mich}</math> (°C)</b> | <b><math>h</math> (%rh)</b> | <b><math>\Delta t_{D1}</math> (°C)</b> | <b><math>\Delta t_{D2}</math> (°C)</b> | <b><math>\Delta t_{D3}</math> (°C)</b> | <b><math>u(t_D)</math> (°C)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| 20,33                             | 12,8                        | 0,04                                   | -0,06                                  | 0,04                                   | 0,02                            |
| 20,22                             | 48,8                        | -0,06                                  | -0,52                                  | -0,40                                  | 0,10                            |
| 20,11                             | 90,0                        | -0,02                                  | -0,68                                  | -0,50                                  | 0,03                            |
| 40,40                             | 9,0                         | 0,70                                   | -1,16                                  | -0,94                                  | 0,05                            |
| 40,25                             | 47,9                        | 0,96                                   | 0,00                                   | 0,16                                   | 0,21                            |
| 40,27                             | 87,4                        | 1,06                                   | 0,04                                   | 0,24                                   | 0,06                            |
| 60,35                             | 9,9                         | 1,74                                   | -2,24                                  | -2,04                                  | 0,09                            |
| 60,38                             | 50,6                        | 2,10                                   | 0,48                                   | 0,66                                   | 0,06                            |
| 60,35                             | 90,6                        | 2,20                                   | 0,82                                   | 1,10                                   | 0,02                            |

### Hügrimeetrid peegeldava katte sees laiali, hügrimeetrite teine paigutus

Järgnevas tabelis esitatakse hügrimeetrite näidud nende teise asetuse korral peegeldava katte sees erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|-------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | 20,40           | 10,8      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
|             | 20,40           | 11,0      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
|             | 20,40           | 11,1      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
|             | 20,39           | 11,2      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
|             | 20,39           | 11,1      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,40           | 11,0      | -9,4          | -9,4          | -9,6          | -9,5          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,21           | 50,1      | 9,0           | 9,1           | 9,5           | 9,5           |
|             | 20,23           | 51,4      | 9,4           | 9,4           | 9,9           | 9,8           |
|             | 20,23           | 52,7      | 9,3           | 9,4           | 9,7           | 9,7           |
|             | 20,21           | 51,1      | 8,7           | 8,7           | 9,1           | 9,0           |
|             | 20,19           | 49,7      | 8,3           | 8,2           | 8,6           | 8,6           |
| $t_{Dkesk}$ | 20,21           | 51,0      | 8,94          | 8,96          | 9,36          | 9,32          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,20          | 0,23          | 0,23          | 0,23          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 20,05           | 89,5      | 18,4          | 18,4          | 19,0          | 18,9          |
|             | 20,06           | 89,8      | 18,3          | 18,4          | 19,0          | 18,9          |
|             | 20,06           | 89,9      | 18,3          | 18,4          | 19,0          | 18,9          |
|             | 20,07           | 89,9      | 18,2          | 18,4          | 18,9          | 18,8          |
|             | 20,07           | 90,3      | 18,3          | 18,4          | 18,9          | 18,8          |
| $t_{Dkesk}$ | 20,06           | 89,9      | 18,30         | 18,40         | 18,96         | 18,86         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,03          | 0,00          | 0,02          | 0,02          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|             | 40,37           | 10,1      | 2,2           | 1,5           | 3,1           | 3,1           |
|             | 40,37           | 9,9       | 2,4           | 1,5           | 3,0           | 3,1           |
|             | 40,37           | 10,1      | 2,2           | 1,4           | 3,0           | 3,1           |
|             | 40,37           | 10,0      | 2,2           | 1,4           | 3,0           | 3,1           |
|             | 40,37           | 9,9       | 1,9           | 1,4           | 2,8           | 2,9           |
| $t_{Dkesk}$ | 40,37           | 10,0      | 2,18          | 1,44          | 2,98          | 3,06          |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,08          | 0,02          | 0,05          | 0,04          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 40,28           | 49,5      | 27,4          | 26,4          | 27,3          | 27,3          |
|             | 40,30           | 50,4      | 27,4          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
|             | 40,29           | 50,1      | 27,2          | 26,3          | 27,1          | 27,1          |
|             | 40,30           | 50,1      | 27,3          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
|             | 40,30           | 50,2      | 27,4          | 26,4          | 27,3          | 27,2          |
| $t_{Dkesk}$ | 40,29           | 50,1      | 27,34         | 26,38         | 27,26         | 27,20         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,04          | 0,02          | 0,04          | 0,03          |

|             |                 |           |               |               |               |               |
|-------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | 40,29           | 90,1      | 38,6          | 37,6          | 38,6          | 38,4          |
|             | 40,29           | 90,0      | 38,7          | 37,6          | 38,6          | 38,4          |
|             | 40,29           | 90,0      | 38,7          | 37,6          | 38,6          | 38,4          |
|             | 40,29           | 90,1      | 38,7          | 37,6          | 38,6          | 38,4          |
|             | 40,29           | 90,1      | 38,7          | 37,6          | 38,6          | 38,4          |
| $t_{Dkesk}$ | 40,29           | 90,1      | 38,68         | 37,60         | 38,60         | 38,40         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,04          | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $t_{D1}$ (°C) | $t_{D2}$ (°C) | $t_{D3}$ (°C) | $t_{D4}$ (°C) |
|             | 60,39           | 10,1      | 15,7          | 14,0          | 17,9          | 17,8          |
|             | 60,38           | 10,0      | 15,7          | 14,0          | 17,9          | 17,8          |
|             | 60,38           | 9,9       | 15,6          | 13,8          | 17,7          | 17,7          |
|             | 60,37           | 9,8       | 15,4          | 13,6          | 17,7          | 17,5          |
|             | 60,38           | 9,8       | 15,4          | 13,6          | 17,6          | 17,5          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,38           | 9,9       | 15,56         | 13,80         | 17,76         | 17,66         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,15          | 0,20          | 0,13          | 0,15          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 60,37           | 50,1      | 45,2          | 43,1          | 44,7          | 44,5          |
|             | 60,36           | 50,0      | 45,2          | 43,1          | 44,7          | 44,5          |
|             | 60,36           | 50,0      | 45,2          | 43,1          | 44,7          | 44,6          |
|             | 60,35           | 50,0      | 45,2          | 43,1          | 44,7          | 44,5          |
|             | 60,35           | 50,1      | 45,2          | 43,1          | 44,7          | 44,6          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,36           | 50,0      | 45,20         | 43,10         | 44,70         | 44,54         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,02          |
|             |                 |           |               |               |               |               |
|             | 60,35           | 90,2      | 58,2          | 56,0          | 57,3          | 57,2          |
|             | 60,34           | 90,2      | 58,2          | 56,0          | 57,3          | 57,1          |
|             | 60,34           | 90,1      | 58,2          | 55,9          | 57,3          | 57,1          |
|             | 60,35           | 90,1      | 58,2          | 55,9          | 57,3          | 57,1          |
|             | 60,35           | 90,1      | 58,2          | 55,9          | 57,3          | 57,1          |
| $t_{Dkesk}$ | 60,35           | 90,1      | 58,20         | 55,94         | 57,30         | 57,12         |
| $u(t_D)$    |                 |           | 0,00          | 0,02          | 0,00          | 0,02          |

Allolevas tabelis on esitatud hügromeetrite kastepunkti temperatuuri erinevused neist ühe hügromeetri suhtes hügromeetrite teise asetuse korral erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

| $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $\Delta t_{D1}$ (°C) | $\Delta t_{D2}$ (°C) | $\Delta t_{D3}$ (°C) | $u(t_D)$ (°C) |
|-----------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| 20,40           | 11,0      | 0,0                  | 0,2                  | 0,1                  | 0,0           |
| 20,21           | 51,0      | -0,02                | -0,42                | -0,38                | 0,23          |
| 20,06           | 89,9      | -0,10                | -0,66                | -0,56                | 0,03          |
| 40,37           | 10,0      | 0,74                 | -0,80                | -0,88                | 0,08          |
| 40,29           | 50,1      | 0,96                 | 0,08                 | 0,14                 | 0,04          |
| 40,29           | 90,1      | 1,08                 | 0,08                 | 0,28                 | 0,04          |
| 60,38           | 9,9       | 1,76                 | -2,20                | -2,10                | 0,20          |
| 60,36           | 50,0      | 2,10                 | 0,50                 | 0,66                 | 0,02          |
| 60,35           | 90,1      | 2,26                 | 0,90                 | 1,08                 | 0,02          |

Viimases tabelis on esitatud kastepunkti temperatuuri erinevused ühe nurga suhtes peegeldava katte sees erinevatel temperatuuridel ja suhtelistel niiskustel.

| $t_{Mich}$ (°C) | $h$ (%rh) | $\Delta t_{D1}$ (°C) | $\Delta t_{D2}$ (°C) | $\Delta t_{D3}$ (°C) | $\Delta t_{D4}$ (°C) | $\Delta t_{D5}$ (°C) | $\Delta t_{D6}$ (°C) |
|-----------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 20,36           | 11,9      | 0,04                 | -0,08                | -0,02                | 0,00                 | 0,18                 | 0,04                 |
| 20,22           | 49,9      | -0,04                | -0,12                | -0,06                | 0,00                 | -0,02                | -0,04                |
| 20,09           | 89,9      | 0,06                 | -0,04                | -0,02                | -0,02                | -0,02                | -0,08                |
| 40,38           | 9,5       | -0,10                | -0,40                | -0,30                | -0,06                | -0,04                | -0,24                |
| 40,27           | 49,0      | 0,02                 | -0,02                | 0,02                 | 0,02                 | 0,06                 | 0,00                 |
| 40,28           | 88,7      | 0,02                 | -0,04                | -0,04                | 0,04                 | 0,00                 | 0,00                 |
| 60,37           | 9,9       | 0,02                 | -0,18                | -0,26                | 0,04                 | -0,14                | -0,32                |
| 60,37           | 50,3      | -0,10                | 0,08                 | 0,02                 | -0,10                | 0,10                 | 0,02                 |
| 60,35           | 90,4      | -0,10                | -0,08                | 0,00                 | -0,04                | 0,00                 | -0,02                |