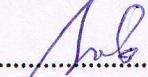


KINNITAN

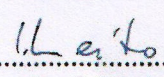

.....

V. Krutob

SA Eesti Akrediteerimiskeskuse
juhataja

„20.” märts 2009.a

KINNITAN


.....

Prof. I. Leito

TÜ Keemia Instituudi katse-
koja nõukogu esimees

„20.” märts 2009.a

ARUANNE

LABORITEVAHELISED TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED AASTAL 2008

Mikrokliima ja ventilatsioonisüsteem

Võrdlusmõõtmiste korraldajad:

Martin Vilbaste, MSc, Õhuparameetrite metroloogia laborijuhataja

Olev Saks, PhD, peametroloog

Raivo Rajamäe, PhD, EAK peaassessor

Aruande koostasid: Martin Vilbaste ja Olev Saks

Tartu, 2008/2009

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
Aruanne	Lehekülg	2 (29)

Sisukord

1. SISSEJUHATUS	3
1.1 VÕRDLUSMÕÕTMISTE KORRALDUSEST.....	3
1.2 MIKROKLIIMA PARAMETRID.....	3
1.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI PARAMETRID.....	4
2. VÕRDLUSMÕÕTMISTES OSALEJAD	6
3. MIKROKLIIMA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE	7
4. ÕHU RUUMKIIRUSE REFERENTSVÄÄRTUSTE MÄÄRAMINE	9
4.1 ÜLESANDE PÜSTITUS.....	9
4.2 TUULETUNNELIMEETODID ÕHU RUUMKIIRUSTE MÕÕTMISEKS	9
4.3 REFERENTSVÄÄRTUSTE MÄÄRAMATUSE HINNANGUD.....	11
5. MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕÕTMISTE TULEMUSTEST	14
6. VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕÕTMISTE TULEMUSTEST	14
6.1 KOKKUVÕTE VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕÕTMISTEST	15
LISA 1 Mikrokliima võrdlusmõõtmise tulemuste koondtabel	17
LISA 2 Mikrokliima võrdlusmõõtmiste tulemused graafikutena	19
LISA 3 Väljatõmbepoolel ventilatsiooniparameetrite võrdlusmõõtmise tulemuste Koondtabel	25
LISA 4 Sisepuhkepoolel ventilatsiooniparameetrite võrdlusmõõtmise tulemuste Koondtabel	27
LISA 5 Tuuletunneli düüsi väljuvas õhuvoos kiiruste jaotus (front) kalibreeritud laserdoppler-etaloniga (primaaretalon).	29

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
Aruanne	Lehekülg	3 (29)

1. SISSEJUHATUS

1.1 VÕRDLUSMÕÕTMISTE KORRALDUSEST

Varasemad laboritevahelised töökeskkonna võrdlusmõõtmised 2004. ja 2006. aastal viidi läbi konsensusväärtuste suhtes, mis on üks võimalikke viise selliste võrdlusmõõtmiste puhul. Konsensusväärtusena kasutati kõigi laborite tulemustest arvatud aritmeetilist keskmist, mille suhtes hinnati iga osaleja tulemuste hälbeid nn Z-arvu alusel. Seda lubab ISO/IEC Guide 43-1:1997(E) "Proficiency testing by interlaboratory comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes", Second edition 1997 (vt Annex A informative). Niisugustel võrdlusmõõtmistel on mõningaid põhimõttelisi puudusi. Üks puudus seisneb selles, et peaaegu kõik tulemused mahuvad kahe standardhälbe piiridesse, millest saab teha formaalse järelalus, et need tulemused on rahuldavad. Teiseks, suuremate hälbijate juhuslikud tulemused võivad mõjutada konsensusväärtust oluliselt. Seetõttu võib juhtuda, et ka väga vähe tõelisest (lepp) väärtusest erinevad tulemused on hinnatud teenimatult suuremateks hälbijateks, kui nad on tegelikult. See ei meeldi võrdlusmõõtmistes osalejatele.

Parem variant on korraldada võrdlusmõõtmisi referentsväärtuste ehk tugiväärtuste suhtes, mida näeb ette ka üldnimetatud Guide 43-1. 2008.a võrdlusmõõtmised viidi läbi referentsväärtuste suhtes. Ent selliste võrdlusmõõtmiste organiseerimine on oluliselt raskem korraldajale. Näiteks, reaalse töökeskkonna mikrokliima mõõtmiste imiteerimiseks tingimuste loomine ruumis, mille õhuparameetrite referentsväärtused oleksid teada 3 kuni 5 korda väikesema määramatusega, võrreldes võrdlusmõõtmistes osalejate mõõtemääramatusega – see on üsna kulukas ettevõtmine. Mingi reaalse ventilatsioonisüsteemi mõõtmiste imiteerimine on tehniliselt lihtsam, kuid vajab suurt ruumi, kuhu paigutada mõneks kuuks võrdlusmõõtmisteks sobiva konfiguratsiooniga ventilatsioonisüsteem ja tööetalonid.

Referentsväärtusega võrdlusmõõtmiste puhul Guide 43-1 kohaselt on tulemuste hindamise aluseks nn normeeritud E_n -väärtused, mis arvutatakse järgmise valemi kohaselt:

$$E_n = \frac{X - R}{\sqrt{U(X)^2 + U(R)^2}}, \quad (1)$$

kus X – võrdlusmõõtmises osaleja poolt saadud tulemuse väärtus, R – referentsväärtus; $U(X)$ ja $U(R)$ on vastavad mõõtemääramatuse hinnangud usaldusnivool 95%. Võrdlusmõõtmises osaleja tulemust hinnatakse rahuldavaks, kui $|E_n| \leq 1$. Viimast nimetatakse “rahuldavaks normeeritud E_n -väärtuseks”, allpool lühemalt ka E_n -kriteeriumiks või -hinnanguks, mida kasutatakse paljudel juhtudel, sh meetodite valideerimise tulemuse hindamiseks.

Võrdlusmõõtmised toimusid kooskõlastatult SA Eesti Akrediteerimiskeskusega, mille esindajaks oli EAK peaassessor PhD Raivo Rajamäe. Ajavahemikus 21. mai - 03. juuni 2008 toimunud võrdlusmõõtmised viidi läbi Tartu Ülikooli katsekoja laborites Tähe tn 4 Tartus. Iga osaleja sai detailse lähteülesande ja mõõteprotokolli plangid. Osalejal oli aega 2 tundi mõõtmiste sooritamiseks ja mõõteprotokolli koostamiseks. Iga osaleja pidi katsetel kasutama kaasavõetud varustust (ventilatsiooni ja mikrokliima mõõte- ja abivahendeid), mida ta kasutab tavaliselt objektidel mõõdistamiseks.

1.2 MIKROKLIIMA PARAMEETRID

Mikrokliima parameetrite – õhu temperatuuri, õhu suhtelise niiskuse ja õhu liikumise kiiruse – võrdlusmõõtmised viidi läbi kahes ruumis: stabiilse ja muutliku mikrokliimaga ruumis. Stabiilse mikrokliimaga ruumis pidi võrdlusmõõtmises osalev labor mõõtma temperatuuri ja suhtelist niiskust vähemalt 5 minuti vältel kahel kõrgusel põrandast: 0,1 m ja 1,1 m. Muutliku mikrokliimaga ruumis viidi läbi võrdluskatsed ainult kõrgusel 1,1 m põrandast, kus osaleja pidi mõõtma kuni 10 minuti vältel õhu temperatuuri, õhuniiskust ja õhu liikumise kiirust. Kõikidel mõõtmistel oli ülesandeks määrata õhuparameetrite keskmised väärtused antud ajavahemikus. Muutliku mikrokliimaga ruumis tuli lisaks keskmistele väärtustele määrata ka samas ajavahemikus parameetrite miinimum- ja maksimumväärtused. Muutlik mikrokliima tekitati ruumis oleva akna avamise ja sulgemise abil, mõningatel juhtudel, kui õues oli tuulevaikus, tõmbetuule tekitamiseks lülitati sisse ruumi ventilatsioonisüsteem forsseeritud režiimil. Õhutemperatuuri ja õhu suhtelise niiskuse referentsväärtusi registreeriti kolme tööetaloniga (foto 1), mis salvestasid mõõdetud andmed arvutisse iga 10 sekundi tagant.



Foto 1 Tööetaloni kolme sensori paigutus statiivil õhutemperatuuri ja -niiskuse referentsväärtuse määramiseks

Õhu liikumise kiiruse referentsväärtusi registreeriti üheaegselt kahe tööetaloniga – tiivikanemoomeetriga ja termoanemomeetriga. Ka õhu liikumise kiiruse väärtused salvestati arvutisse iga 10 sekundi tagant. Võrdlusmõõtmises osaleja kinnitas statiiviga oma mõõtevahendi ruumiosa keskele, mida ümbritsesid tööetalonide sensorid. Idee poolest pidi võrdlusmõõtmises osaleja registreerima näitused ettenähtud ajavahemiku jooksul oma mõõtevahendiga sellisel viisil, nagu näeb seda ette tema asutuses/ettevõttes kehtestatud mõõtemetoodika objektile töötamiseks.

1.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI PARAMEETRID

Ventilatsioonisüsteemi võrdlusmõõtmiste eesmärgiks oli hinnata osalevate mõõdistajate kompetentsi ja oskusi, aga ka kasutatavaid mõõtemeetodeid ventilatsioonisüsteemi imiteeriva stendi abil. Tuuletunnel oli jadaühenduses süsteemi väljatõmbe- ja sissepuhkepoolega. Süsteem oli kõikides töörežiimides kontrollitav õhu liikumise kiiruse tööetalonidega.



Foto 2. Tuuletunnel ja osa sissepuhkesüsteemist.

Osaleja pidi tulemused esitama õhu ruumkiiruse ühikutes l/s (liitrit sekundis) koos laiendmääramatusega tasemel $k = 2$, st usaldatavusega 95 %. Ventilatsioonimõõtmise ülesanded olid järgmised:

Ülesanne Vent 1

Uurida ja mõõta õhu liikumise joonkiirused ventilatsioonikanalites, kui lõppelemendid on kanalitelt eemaldatud. Mõõtetulemuste alusel arvutada väljatõmbe (VT) ja sissepuhke (SP) õhuhulgad ajaühikus koos laiendmääramatusega ($k=2$).

Ülesanne Vent 2

Korrata esimeses ülesandes ettenähtud mõõtmisi ventilatsioonikanalites, kui kanalite otstele on paigaldatud lõppelemendid (plafoonid, õhujaotuskastid jms). Mõõtetulemuste alusel arvutada väljatõmbe ja sissepuhke õhuhulgad ajaühikus koos laiendmääramatusega ($k=2$).

Ülesanne Vent 3

Mõõta lõppelementidel väljatõmbe ja sissepuhke õhuhulgad ajaühikus koos laiendmääramatusega ($k=2$), kui puudub juurdepääs kiiruste mõõtmisteks ventilatsioonikanalites.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
Aruanne	Lehekülg	6 (29)

Ülesanne Vent 4

Mõõta 10 korda ühes kanalis õhu liikumise keskmine kiirus korduvustingimuste korral, kui kiiruste jaotus kanali ristlõikepinnas on ebaühtlane, kuid statsionaarne. Arvutada keskmiste kiiruste aritmeetiline keskmine ja mõõdetud keskmiste kiiruste hajusust iseloomustav eksperimentaalne standardhälve.

$$\text{Eksperimentaalne standardhälve } s(\bar{v}_i) = \sqrt{\frac{(\bar{v}_1 - v_k)^2 + (\bar{v}_2 - v_k)^2 + \dots + (\bar{v}_9 - v_k)^2 + (\bar{v}_{10} - v_k)^2}{10 - 1}}, \quad (2)$$

$$\text{kus } v_k \text{ on keskmistest kiirustest arvutatud aritmeetiline keskmine } v_k = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \dots + \bar{v}_9 + \bar{v}_{10}}{10}. \quad (3)$$

Kuna ülesandeid 1-3 tuli täita väljatõmbe- ja sissepuhkepoolel, siis kokku oli võimalus täita kuni 7 ülesannet. Osalejatelt ei nõutud, et nad peaksid sooritama mõõtmisülesanded täismahus ja kõik osalejad ühtemoodi. Arvestati ettevõtete vajadusi ja meetodikatele seatud eritingimusi. Sellise paindliku võimaluse annab võrdlusmõõtmiste korraldamine referentsväärtustega.

2. VÕRDLUSMÕÕTMISTES OSALEJAD

Mikrokliima parameetrite võrdlusmõõtmises osalesid kokku 15 töötajat järgmistest asutustest ja ettevõtetest:

Tervisekaitseinspektsiooni (TKI) töötajad

Kesklabori keemialaborist (1),

Tartu laborist (1)

Kohtla-Järve laborist (1)

Tervisekaitsetalituste töötajad

Virumaa Rakvere (1)

Virumaa Kohtla-Järve (1)

Tartu (1)

Tallinna (1)

Jõgevamaa (1)

TÜ Tehnoloogiainstituudi töökeskkonnalaborist (2)

AS Medicover Eesti Tallinna laborist (1) ja Tartu laborist (1)

OÜ Seiregupp töökeskkonna laborist (1)

OÜ Töökeskkonna Uuringud (1)

Ventilatsioonihoidus OÜ (1)

Ventilatsioonisüsteemi parameetrite võrdlusmõõtmises osalesid töötajad järgmistest ettevõtetest ja asutustest:

Õhukeskus OÜ (1)

Ventilatsioonihoidus OÜ (1)

OÜ Töökeskkonna Uuringud (1)

OÜ Seiregrupp töökeskkonna labor (1)

AS Ökosil Keskkonnalabor (1)

TÜ Tehnoloogiainstituudi töökeskkonnalabor (1)

Tervisekaitseinspektsiooni Tartu labor (1)

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg

7 (29)

3. MIKROKLIIMA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE

Õhu temperatuuri ja õhu suhtelise niiskuse referentsväärtused X_{Ref} leitakse kolme referentsmõõtevahendi, aga õhu liikumise kiiruse puhul kahe referentsmõõtevahendi näitudest ja neile lisatud paranditest järgmise valemi järgi:

$$X_{Ref} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + q(X_1) + q(X_2) + q(X_3)}{3}, \quad (4)$$

milles X_{Ref} on referentsväärtus, $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ tähistavad mõõteväärtuste aritmeetilisi keskmisi konkreetses ajavahemikus ning $q(X_1), q(X_2)$ ja $q(X_3)$ – mõõtevahendite kalibreerimisel saadud parandeid.

Valemi (4) kohaselt arvatud X_{Ref} väljendab vastavalt õhu temperatuuri, suhtelise niiskuse või õhu liikumise kiiruse keskmist väärtust konkreetses ajavahemikus ja ruumipunktis, mis asub võrdsetel kaugustel referentsmõõtevahendite sensoritest ja on määratud võrdlusmõõtmises osalejale tema sensori paigutamise kohaks.

Kui teatud ülesandeis on vaja leida referentsväärtustena registreeritud miinimum- ja maksimumväärtused, siis otsitakse salvestatud üksikmõõtmiste hulgast üles vastavad miinimum- ja maksimumväärtused.

Mikrokliima parameetrite referentsväärtuste määramatuse hindamisel võeti arvesse järgmist.

1. Referentsmõõtevahendite kalibreerimise standardmääramatus u_{Kal} on arvatud vastava laiendmääramatuse U jagamisel katteteguriga $k=2$:

$$u_{Kal} = \frac{U}{2}. \quad (5)$$

2. Tehes mõõtmisi reaalses töökeskkonnas ei pruugi mõõdetav väärtus ühtida aproksimeerimise teel saadud referentsväärtusega. Seepärast tuleb kasutada referentsmõõtevahendi kalibreerimispunktidest läbipandud aproksimeerimiskõverat (vähimruutude meetodil), mis võimaldab leida parandid väljaspool kalibreerimispunkte. Paraku esineb ka sellisel lähendamisel teatud määramatus $u_{Lähend}$.
3. Referentsmõõtevahendi näidiku lahutusvõimest tingitud määramatus u_{Lug} hinnatakse järgmisest valemist:

$$u_{Lug} = \frac{\Delta x}{2\sqrt{3}}, \quad (6)$$

milles Δx tähistab mõõtevahendi lahutusvõimet.

4. Võrreldav mõõtevahend paigutatakse referentsmõõtevahendite poolt ümbritsetud ruumiossa. Seejuures referentsmõõtevahendid võivad anda erinevaid väärtusi, mis on tingitud töökeskkonna mittehomogeensusest. Vastav mittehomoogeensuse standardmääramatus u_{Hom} on arvatav referentsväärtuse X_{Ref} ja mingi mõõteväärtuse (X_1, X_2, X_3) maksimaalse vahena:

$$u_{Hom} = \frac{\max|X_{Ref} - (X_1, X_2, X_3)|}{\sqrt{3}}. \quad (7)$$

5. Keskkonna mittestabiilsust ja muid juhuslikke tegureid, mis mõjutavad mõõtetulemust, kuid ei ole eraldi arvesse võetud, hinnatakse A-tüüpi standardmääramatusega u_A , mis on hinnatav aritmeetilise keskmise standardhälvena:

$$u_A(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (8)$$

milles n tähistab kordusmõõtmiste arvu.

- Muud süstemaatilised parandid, mida antud olukorras ei saa või ei osata arväärtustes väljendada, on täiendavaks standardmääramatuse allikaks, mida tähistame u_{Muu} . Nende hulka kuuluvad kiirguslik mõju referentstermomeetritele, õhu liikumise mõju referentshügroomeetritele (muutliku mikrokliimaga ruumis) jms.
- Muutliku mikrokliimaga ruumis akna avamise järgse temperatuuri miinimumi ja maksimumi mõõtmisel tuleb mõõtemääramatuse ühe allikana arvesse võtta referentismõõtevahendite inertsit. Vastavat standardmääramatuse komponeti tähistame u_{Inerts} . Seda määramatuse komponenti on hinnatud katseliselt.
- Mõõtesuuruse liitstandardmääramatuse hindamisel lähtutakse dispersioonide liitmise eeskirjast:

$$u(X_{Ref}) = \sqrt{u_{Kal}^2 + u_{Lähend}^2 + u_{Lug}^2 + u_{Hom}^2 + u_A^2 + u_{Muu}^2 + u_{Inerts}^2}. \quad (9)$$

Laiendmääramatus usaldusnivool 95%, eeldades normaaljaotust, saadakse liitstandardmääramatuse korutamisel katteteguriga $k=2$:

$$U(X_{Ref}) = 2 \cdot u(X_{Ref}). \quad (10)$$

Tabelis 1 on toodud standardmääramatuste (u) ja vastavate dispersioonide (u^2) hinnangud arväärtustena, aga ka laiendmääramatused ($U(X_{Ref})$).

Mikrokliima referentsväärtuste mõõtemääramatuse komponendid ja liitmääramatused

Tabel 1

Määramatuse komponent	Stabiilne mikrokliima				Muutlik mikrokliima					
	Õhu temperatuur (°C)		Õhu suhteline niiskus (%rh)		Õhu liikumise kiirus (m/s)		Õhu temperatuuri miinimum (°C)		Õhu suhtelise niiskuse miinimum (%rh)	
	u	u^2	u	u^2	u	u^2	u	u^2	u	u^2
u_{Kal}	0,10	0,01	0,5	0,25	0,025	0,0006	0,10	0,01	0,5	0,25
$u_{Lähend}$	0,017	0,0003	0,115	0,013	–	–	0,017	0,0003	0,115	0,013
u_{Lug}	0,003	0,0000	0,029	0,0008	0,003	0,0000	0,003	0,0000	0,029	0,0008
u_{Hom}	0,024	0,0006	0,28	0,077	0,02	0,0004	0,024	0,0006	0,28	0,077
u_A	0,062	0,0039	0,106	0,011	0,023	0,0005	–	–	–	–
u_{Muu}	0,15	0,0225	0,6	0,36	–	–	0,15	0,0225	0,6	0,36
u_{Inerts}	–	–	–	–	–	–	0,17	0,030	0,69	0,48
$u(X_{Ref})$	0,193	0,037	0,845	0,711	0,039	0,0015	0,252	0,063	1,09	1,18
$U(X_{Ref})$	0,39		1,7		0,08		0,50		2,2	

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg

9 (29)

4. ÕHU RUUMKIIRUSE REFERENTSVÄÄRTUSTE MÄÄRAMINE

4.1 ÜLESANDE PÜSTITUS

Peamisteks füüsikalisteks suurusteks, mida kasutatakse ventilatsioonisüsteemi ja tema osade iseloomustamiseks, on väljatõmbe (VT) ja sissepuhke (SP) õhuhulgad ajaühikus ehk ruumkiirused tavaliselt ühikutes liitrit sekundis (l/s) või kuupmeetrit tunnis (m^3/h). Ventilatsioonisüsteemi kanalites mõõdetakse tavaliselt õhu liikumise joonkiirusi, uuritakse kiiruste jaotust ja neist andmetest arvutatakse keskmine kiirus \bar{v} . Lõpuks arvutatakse valem (11) järgi ruumkiirus q , kui on teada kanali ristlõikepindala S :

$$q = \bar{v} \cdot S \quad (11)$$

Kui kanalites joonkiiruste mõõtmine mingil põhjusel (näiteks, kanal on seina sees ja mõõtmiseks avade tegemine kanalisse ei ole lubatud) on takistatud, siis on võimalik VT ja SP lõppelementidel mõõta ruumkiirusi. Selleks on vaja teada vastava lõppelemendi k -arvu ja mõõta rõhulangust Δp (rõhkude vahet) lõppelemendil. Neist andmetest saab arvutada lõppelementi läbiva õhuhulga ajaühikus, mida tähistame q :

$$q = k \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (12)$$

Kujutegur ehk k -arv saadakse lõppelemendi katsetamise andmetest või lõppelemendi tootja poolt antava infona.

4.2 TUULETUNNELIMEETODID ÕHU RUUMKIIRUSTE MÕÕTMISEKS

Nii esimese (valem 11) kui teise (valem 12) valemi alusel mõõtmine on kaudne mõõtmine. Ka õhu ruumkiiruste võrdlusmõõtmised ja vastavad referentsväärtused TÜ Katsekoja käsutuses olevate etalonseadmetega on realiseeritavad kahel meetodil kaudse mõõtmise teel valemile (11) vastaval printsiibil. Stabiilne soovitud keskmise kiirusega õhuvoog tekitatakse tuuletunneliga (edaspidi TT).

Meetod M_1 : Katsekoja tuuletunnel tekitab telje suunas düüsisid väljuva õhuvoogu kujuteldavas silindrilises tööruumalas $\text{Ø}110 \times 120 \text{ mm}^2$, mille teljega risti oleva lõikepinna kõikides punktides õhuosakeste liikumise kiirusvektor on nii suuna kui väärtuse poolest ühesugune. Seda nimetatakse tasapinnalise frondiga õhuvooks. Ent silindrilisest tööruumalast raadiuse suunas kaugenedes õhu liikumise joonkiiruse komponent, mis on silindri teljega paralleelne, väheneb. Seetõttu TT düüsisid väljuv õhuhulk ajaühikus ja TT mõõtekambrisse paigutatud anemomeetri näit on omavahel seotud kujuteguriga k_D :

$$R = Q(D) = k_D \cdot v_A \cdot S_D, \quad (13)$$

Kus R – referentsväärtus ühikutes l/s, $Q(D)$ – TT düüsi läbiv õhuhulk ajaühikus, v_A – õhu liikumise keskmine kiirus, mida näitab etalonanemomeeter, S_D – düüsi väljumisava pindala. $S_D = \pi \cdot r_D^2 = \pi \cdot 76^2 = 18146 \text{ mm}^2 = 1,8146 \text{ dm}^2$.

Meetodi M_1 aluseks on valem (13). Selle meetodi puhul mõõdab kiirust v_A etalonanemomeeter, mis on paigutatud tuuletunneli mõõtekambri keskele sellises asendis, nagu on anemomeetri paigutus ette nähtud kalibreerimise olukorras.

Düüsi ava ristlõikes kiiruste jaotus (front) on kalibreeritud laserdoppler-etaloniga Saksamaal TT-tootjaettevõttes (vt LISA 5). TÜ Katsekojas on kalibreerimistunnistuse andmetest arvutatud kujutegur $k_D = 0,93$. Selle laiendmääramatus usaldatavusega $P = 95\%$ on hinnatud $U(D) = 0,02$, eeldades normaaljaotust.

Meetodi M_1 valideerimiseks on kasutatud ventilatsioonikanalis õhu ruumkiiruse otsemõõtmist turbiin-tüüpi gaasiarvestiga ELSTER tüüp TRZ G400 DIN100, mis on kalibreeritud vahemikus 32 – 300 m³/h. Ruumkiiruse keskmise väärtuse saamiseks mõõdetakse gaasiarvestist läbivoolanud õhuhulka ja selleks kulunud aega. Nende suhe on ruumkiirus. Gaasiarvesti annab signaali elektriabelasse iga kuupmeetri täitumise hetkel. Kahe järjestikuse signaali vahelist aega mõõdetakse numbrilise millisekundomeetriga. Ajaintervalli määramatus on väiksem kui 1 ms. Nii saadakse gaasiarvesti näidust tuletatud ruumkiiruse leppeline tõeline keskmine väärtus $R(G)$ laiendmääramatusega 0,25% näidust, kui arvetist läbivoolanud gaasi hulk on vähemalt 1 m³.

Valideerimise tulemused on koondatud tabelisse 2. Selles toodud andmetest nähtub, et gaasiarvestiga mõõdetud $R(G)$ ja etalonanemomeetriga mõõdetud väärtustest arvatud õhu ruumkiirused $Q(D)$ on rahuldavas kooskõlas, ehk vastavalt valemile (1) kõigil juhtudel normeeritud väärtus $E_n < 1$.

Meetodi M_1 valideerimise tulemused**Tabel 2**

Gaasiarvesti, l/s		TT etalonanemomeeter, l/s		$E_n = \frac{Q(D) - R(G)}{\sqrt{[U(D)]^2 + [U(G)]^2}}$
näidust tuletatud $R(G)$	$U(G)$ $P=95\%$	valemi (13) järgi arvatud $Q(D)$	$U(D)$ $P=95\%$	
65,41	0,17	64,30	1,6	-0,69
51,26	0,13	50,26	1,3	-0,77
34,07	0,09	33,92	1,0	-0,15
33,89	0,09	33,92	1,0	0,03
16,38	0,04	16,71	0,8	0,41
7,88	0,02	8,27	0,7	0,56

Meetod M_2 : Etalonanemomeeterina kasutatav tiivikanemomeeter on paigutatud TT mõõtekambrisse ja kinnitatud õhukanali otsa sulgeva korgi abil. Korgi tsentris on anemomeetri välisläbimõõdule vastav ava. Kogu mõõdetav õhuhulk on suunatud läbi korgi tsentriava, millesse on tihedalt surutud etalonanemomeeter. Õhu ruumkiiruse arvutusvalem (14) on sarnane valemiga (13):

$$R = Q(A) = k_A \cdot v \cdot S_A, \quad (14)$$

kus R – referentsväärtus, $Q(A)$ - etalonanemomeetrit läbiv õhuhulk ajaühikus, v – õhu liikumise keskmine kiirus, mida näitab etalonanemomeeter, S_A – etalonanemomeetri sisenemisava pindala. Anemomeetri sisenemisava raadius on $r_A = (39,25 \pm 0,05)$ mm.

$$S_A = \pi \cdot r_A^2 = \pi \cdot 39,25^2 = 4840 \text{ mm}^2 = 0,4840 \text{ dm}^2.$$

Katseliselt määratud kujutegur väljatõmbe ruumkiiruse mõõtmise puhul $k_A(\text{VT}) = 0,75$ ja sissepuhke mõõtmisel $k_A(\text{SP}) = 0,74$. Mõlemal juhul on laiendmääramatused $U(k_A) = 0,022$, mis on hinnatud usaldatavusega 95%, eeldades normaaljaotust.

Meetod M_2 on valideeritud samal viisil, nagu esimene meetod. Valideerimise tulemused on koondatud tabelisse 3. Gaasiarvestiga otseselt mõõdetud ruumkiirused $R(G)$ ja etalonanemomeetriga mõõdetud väärtustest arvatud ruumkiirused $Q(A)$ on kooskõlas, ehk $|E_n| < 1$.

Meetodi M₂ valideerimise tulemused**Tabel 3**

	Gaasiarvesti, l/s		Etalonanemomeeter, l/s		$E_n = \frac{Q(A) - R(G)}{\sqrt{[U(A)]^2 + [U(G)]^2}}$
	näidust tuletatud R(G)	U (G) P=95%	valemi (14) järgi arvutatud Q(A)	U(A) P=95%	
VT	58,20	0,15	56,77	1,6	-0,89
	47,59	0,12	46,97	1,3	-0,48
	38,63	0,10	38,37	1,1	-0,24
	31,93	0,08	31,91	0,9	-0,03
	22,94	0,06	23,23	0,65	0,45
	14,57	0,04	14,81	0,42	0,57
SP	55,07	0,14	54,80	1,6	-0,17
	46,59	0,12	46,27	1,3	-0,25
	37,80	0,09	37,68	1,0	-0,12
	31,24	0,08	31,52	0,9	0,31
	22,50	0,06	22,74	0,63	0,38
	14,10	0,04	14,51	0,42	0,98

4.3 REFERENTSVÄÄRTUSTE MÄÄRAMATUSE HINNANGUD

Võrdlusmõõtmisel kasutatava ventilatsioonisüsteemi referentsväärtuse matemaatiline mudel on järgmine:

$$R = Q' \pm Q_L = k_{D,A} \cdot v_A \cdot S_{D,A} \cdot \frac{p_X \cdot T_0}{p_0 \cdot T_X} \pm Q_L(k_L; \Delta p; \Delta T), \quad (15)$$

kus R – referentsväärtus, Q' - õhu ruumkiirus vastavalt valemile (13) või (14), mis on taandatud õhutiheduse väärtusele $1,20 \text{ kg/m}^3$ (viimane vastab õhurõhule $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ ja temperatuurile $T_0 = 293 \text{ K}$), $k_{D,A}$ - kujutegur vastavalt meetodile M₁ või M₂, v_A - etalonanemomeetriga mõõdetav õhu liikumise kiirus, $S_{D,A}$ - ava ristlõikepindala vastavalt meetodile M₁ või M₂, p_X - õhurõhk paskalites tuuletunneli mõõtekambris, kus asub etalonanemomeeter, T_X - mõõtekambris õhu temperatuur, Q_L - õhu ruumkiiruse referentsväärtuse komponent, mis võib tekkida avastamata lekete tõttu ventilatsioonisüsteemis (pragudest, teiplindi vahelt jms). VT ja SP poolel võivad lekked olla nii pluss- kui miinusmärgiga sõltuvalt meetodist (M₁ või M₂) ja konkreetsest lekkekohast. Q_L sõltub lekkekoha kujutegurist k_L , rõhkude vahest Δp süsteemi sees- ja väljaspool ning temperatuuride erinevusest sees- ja väljaspool, ehk Q_L on põhimõtteliselt kolme sisendsuuruse funktsioon $Q_L(k_L; \Delta p; \Delta T)$. Ilmutatud kujul ei ole see funktsioon tuntud. Teada on vaid see, et lekke ruumkiirus on ligikaudu proportsionaalne üle- või alarõhuga Δp .

Katseliselt määrati lekke ruumkiirus Q_L staatilise ülerõhu puhul ca 1000 Pa , kui kõik ventilatsioonisüsteemi avad SP-polel olid suletud. Ülerõhule 1000 Pa vastab ventilaatori võimsus, millest piisab tavatingimustel ruumkiiruse tekitamiseks $Q_1 = 55 \text{ l/s}$. Parimal juhul oli tulemuseks, et etalonanemomeeter, mis oli paigutatud mõõtekambrisse meetodi M₂ skeemi kohaselt, pöörles aeglaselt pika perioodiga vaheldumisi ühes ja teises suunas. Sellest võis järeldada, et süsteem oli niivõrd hästi õhkupidav, et õhumassi liikumise inertsist tingitud rõhu pulseerumine ja fluktuatsioonid muutusid nähtavaks. Kui aluseks võtta anemomeetriga mõõdetava kiiruse amplituudväärtused $v_{max} = 0,15 \text{ m/s}$ ühte ja teistpidi pöörlemisel, siis tähendaks see lekke ruumkiiruse Q_L hinnangut halvima juhu meetodil.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRD LUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
Aruanne	Lehekülg	12 (29)

$$Q_L \leq k_A(SP) \cdot v_{\max} S_A = 0,74 \cdot 0,15 \cdot 10 \cdot 0,484 \approx 0,537 \text{ l/s}$$

Valime selle suurusjärguliselt maksimaalse lekke hinnangu aluseks

$$\delta Q_{L,\max} = \frac{Q_L}{Q_1} = \frac{0,537}{55} = 0,0098\% \approx 1\%$$

Võrdlusmõõtmiste ajal ventilatsioonisüsteemi osade põrutamine, väänamine jm sarnased mõjutused ruumis viibivate inimeste poolt võivad suvalisel hetke põhjustada kontrollimatuid lekkeid teibitud kohtades (*Märkus: aegajalt vaadatakse teibitud kohad üle ja tehakse vajalikud tihendamised*). Sellepärast hindame leket halvima juhu meetodil aditiivsena, liites 1 % ruumkiiruse Q' laiendmääramatusele. Nii võtame võimalikku leket arvesse ühe osana ruumkiiruse referentsväärtuse laiendmääramatuses valemi (16) kujul. Seetõttu lekke ruumkiirust ei pea liitma või lahutama eraldi, nagu see on valemis (15):

$$U(R;95\%) = U(Q') + 0,01Q' \quad (16)$$

Standardtingimustele taandatud ruumkiiruse Q' suhtelise standardmääramatuse $\delta u(Q')$ saab esitada valemis (15) esinevate sisendsuuruste suhteliste määramatuste kaudu järgmiselt:

$$\delta u(Q') = \frac{u(Q')}{Q'} = \sqrt{\left[\frac{u(k)}{k_{D,A}}\right]^2 + \left[\frac{u(v_A)}{v_A}\right]^2 + \left[\frac{u(S)}{S_{D,A}}\right]^2 + \left[\frac{u(p_X)}{p_X}\right]^2 + \left[\frac{u(T_X)}{T_X}\right]^2} \quad (17)$$

Ruumkiiruse referentsväärtuse suhteline standardmääramatus $\delta u(R)$ on väljendatav valemiga (18):

$$\delta u(R) = \frac{u(R)}{R} = \sqrt{\delta u(Q')^2 + \delta u(Q_L)^2} \quad (18)$$

Kuna valemis (16) laiendmääramatus $U(Q') = k \cdot u(Q') = 2 \cdot Q' \cdot \delta u(Q')$, siis saab valemile anda suhtelise laiendmääramatuse kuju (19), mis lihtsustab E_n -väärtuste arvutamist:

$$\delta U(R;95\%) = \frac{U(R;95\%)}{R} = \frac{U(Q') + 0,01Q'}{Q'} = 2 \cdot \delta u(Q') + 0,01 \quad (19)$$

Nagu allpool toodud tabeli 4 andmetest näha $\delta u(Q') = 0,02$. See tähendab, et ruumkiiruste referentsväärtuste laiendmääramatuse hinnang arväärtustes on:

$$\delta U(R;95\%) = 2 \cdot 0,02 + 0,01 = 0,05 \quad (20)$$

Suhteliste standardmääramatuste koondtabel meetodi M2 puhul Tabel 4

Sisendsuuruste suhtelised standardmääramatused ja väljundsuuruse laiendmääramatus	Määramatuse allikad	Suhteliste standardmääramatuste hinnangud	Dispersioonide hinnangud ja nende summa, $\times 10^{-4}$
$\delta u(k)$	Meetodi M2 puhul kujuteguri mõõtmine	0,015	2,25
$\delta u(v_A)$	Etalonanemomeetri näidu ebastabiilsus, kalibreerimistunnistusel antud parandi määramatus ja interpoleerimine	0,01	1,0
$\delta u(S_A)$	Tiivikanemomeetri sisenemisava pindala mõõtmine ja arvutus	0,0013	0,02
$\delta u(p_X)$	Ventilatsioonisüsteemi sees õhurõhu võimalikud kõrvalekalded normaalõhurõhust	$0,01/\sqrt{3}$	0,33
$\delta u(T_X)$	Ventilatsioonisüsteemi läbiva õhu temperatuuri hindamine ja võimalikud kõrvalekalded temperatuurist 20^0 C	$0,01/\sqrt{3}$	0,33
$\delta u(Q')$	Suhteline liitstandardmääramatus	$0,0198 \approx 0,02$	3,93
$\delta U(Q')$	Suhteline laiendmääramatus $k = 2$	0,04	
$\delta U(Q_L)$	Halvima juhu meetodil hinnatud suhteline õhupidamatus (leke käsitatud aditiivsena)	0,01	
$\delta U(R)$	Referentsväärtuse suhteline laiendmääramatus usaldatavusega 95%	0,05	

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 14 (29)

5. MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕÕTMISTE TULEMUSTEST

Mikrokliima võrdlusmõõtmise tulemused on koondatud tabelisse aruande lõpus (LISA 1). Tulemusi võib lugeda rahuldavaks. Enamik mõõtetulemusi kattub vastavate referentsväärtustega. Kokku saadi viieteistkümne võrdlusmõõtmises osalenu kohta 144 E_n -väärtust, millest 14 ei olnud rahuldavad, sest normeeritud E_n -väärtus ületas lubatud piiri. Tulemuste suhet $14/144 = 9,7\%$ võibki pidada rahuldavaks.

LISAs 2 on kujutatud mikrokliima võrdlusmõõtmiste tulemused üheteistkümnel graafikul. Võib tekkida küsimus, miks referentsväärtuse mõõtemääramatus on muutlik? Peamine põhjus on selles, et muutlikes tingimustes suureneb mõõtemääramatuse komponent, mille allikaks on mõõtevahendi reageerimise inerts.

Suhtelise niiskuse mõõtmist puudutatavalt graafikutelt on näha, et osalenu ID-numbriga 12 tulemuse ja suhtelise niiskuse referentsväärtuse vahel esineb lubatust suurem normeeritud hälve. Olulisel määral on see põhjustatud osaleja poolt hinnatud väga väikesest laiendmääramatusest, mis on antud juhul $U(95\%) = 0,9\%$. Ka osalejatel 7, 8 ja 11 on teatud mõõteliikide puhul $E_n > 1$ põhjustatud liigselt alla hinnatud mõõtemääramatustest. Samas ei propageeri võrdlusmõõtmise läbiviijad huupi suurendada mõõtemääramatust, vaid peavad vajalikuks anda need teadlikult ja põhjendatult, nagu näevad seda ette rahvusvahelised mõõtemääramatuse hindamise juhendid.

Temperatuuri ja suhtelise niiskuse miinimumide ja maksimumide määramatuste osas on ekslikud ka nende võrdlusmõõtmises osalejate hinnangud, kes on vastavaid laiendmääramatust hinnanud sama suureks kui aritmeetiliste keskmiste laiendmääramatust. Osalejad ID-numbriga 1 ja 2 on koguni hinnanud mõõdetud temperatuuri miinimumide ja maksimumide laiendmääramatust väiksemaks kui on aritmeetilistele keskmistele omistatud laiendmääramatus. See ei saa nii olla sellepärast, et keskmine temperatuur ja niiskus on arvutatud suurest hulgast mõõdistest (nn silumise efekt), aga muutuvates tingimustes (näiteks, akna avamisel ja sulgemisel) miinimumi ja maksimumi mõõtmise puhul tuleb arvesse võtta mõõdetava objekti kiiremaid muutusi ja mõõtevahendi inertsist tekkivat olulist määramatuse allikat.

Probleeme tekitab ka õhu liikumise kiiruse mõõtmine ja määramatuse hindamine töökeskkonnas väikestel õhu liikumise kiirustel. Mõõtealas ($1 - 20$) cm/s on täiesti normaalne, et õhu liikumise kiiruse laiendmääramatus võib osutada suurusjärguliselt võrreldavaks mõõdetud kiirusega. Osalejate 11 ja 15 poolt hinnatud õhu liikumise kiiruse laiendmääramatus 3 cm/s on selgelt liiga optimistlik hinnang, sest tavamõõtevahenditega ei ole see praktiliselt saavutatav. Seda väidet kinnitab ka LISA-s 2 toodud viimane graafik

6. VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕÕTMISTE TULEMUSTEST

Ventilatsioonisüsteemi võrdlusmõõtmistes osales kokku 7 laborit. Need on tähistatud tähtedega A, B, ...G. Esimese ülesande puhul võrdlusmõõtmises osaleja pidi mõõtma süsteemi peakanalites ja harudes õhu liikumise kiirused ja neist arvutama õhuhulgad ajaühikus, arvestades kanalitorude läbimõõte, mis olid standardsed 100, 125, 160, 200 ja 250 mm. Kuna süsteem sisaldas erineva pikkusega sirgeid torusid, ühenduselemente ja käänukehti („põlvi” ja sadulühendusi), siis oli antud igale osalejale võimalus mõõtmiskohti valida parimal viisil oma äranägemist mööda ja selleks puurida kanalitesse avasid või kasutada olemasolevaid.

Ventilatsioonisüsteemi võrdlusmõõtmiste tulemuste kohta on koostatud koondtabelid eraldi väljatõmbe- ja sissepuhkepoole jaoks, mis on paigutatud aruande lõppu (LISA 3 ja LISA 4).

Esimeses ülesandes, kui lõppelemente ei olnud kanalitele paigaldatud, saadi seitsmelt osalejalt kokku 47 tulemust. Nendest 24 tulemust on hinnatud mitterahuldavaks, kuna normeeritud hälve E_n osutus suuremaks kui 1.

Teine ülesanne keskendus küsimusele, kui hästi suudavad osalejad mõõta õhu ruumkiirusi oma meetodit ja vilumust kasutades. Selleks oli tarvis mõõta ruumkiirusi peakanalis ja sellega seotud hargmikes. Peakanalis mõõdetud ruumkiiruse q_0 suhe harudes 1...N mõõdetud ruumkiiruste summaga annab suhtarvu δq . Kuna mõõtetulemused q_0 ja q_1, \dots, q_N on saadud ühe ja sama mõõtja poolt, kasutades ühte mõõtevahendit, siis karakteristik δq iseloomustab eelkõige mõõtjat.

$$\delta q = \frac{q_0}{q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_N} \quad (21)$$

Peakanalis ja tema harudes mõõdetud ruumkiiruste summa suhte Tabel 5

Labori ID	A	B	C	D	E	F	G
Suhtarv δq	0,97	0,98	0,98	0,97	0,95	–	–

Ka neljas ülesanne võimaldas osalejatel oma mõõtemetodi efektiivsust kontrollida. Mõõtes oma mõõtevahendi anduriga ventilatsioonitorusse tehtud väikese ava kaudu torus liikuva õhu keskmist kiirust korduvustingimuste korral sai iga osaleja kümme tulemust, mis olid vähemal või suuremal määral hajuvad. Nendest arvatud üksikmõõtmise suhteline standardhälve δs (siin antud protsentides) iseloomustab tulemuste stabiilsust

$$\delta s = \frac{s(\bar{v}_i)}{v_k} \cdot 100\% \quad (22)$$

δs on peaaegu igas ventilatsioonimõõtmise tulemuses oluline A-tüüpi määramatuse komponent. Samal ajal on ta koondkarakteristikuks, mida saab praktikas kasutada mõõtja ja tema töövõtete viimistlemise tulemuste näitajana. Tuleb lisada, et iga toruläbimõõdu jaoks võib δs arvvaartus olla erinev. Tabelis 6 antud tulemused on saadud võrdlusmõõtmistel 160 mm läbimõõduga kanalil.

Korduvustingimustel saadud standardhälve Tabel 6

Labori ID	A	B	C	D	E	F	G
Suhteline standardhälve δs , %	2,2	1,3	2,7	4,4	2,3	–	16

Kolmandas ülesandes tuli mõõta lõppelemente läbivad õhuhulgad ajaühikus eeldusel, et kanalitesse juurdepääs puudub. Lõppelementideks olid plafoonid ja õhujaoituskastid. Niisiis mõõtmine oli võimalik diferentsiaalrõhu mõõtevahendiga, aga õhuhulga arvutamiseks tuli kasutada lõppelemendi tootja poolt publitseeritud k-arvused või graafilisi andmeid. Selles ülesandes oli kõige enam mitterahuldavaid tulemusi $|E_n| > 1$. Kolmanda ülesande puhul mitterahuldavate tulemuste hulga suhe mõõtetulemuste koguarvusse oli $24/45 = 53\%$.

6.1 KOKKUVÕTE VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLU MÕÕTMISTEST

1. Võrdlusmõõtmised tõid välja peamise puudusena mõõdistajate liiga optimistlikke hinnanguid mõõtemääramatuse osas. Kui mõõtemääramatus oleks olnud hinnatud põhjendatult realistlikult, siis tulemused referentsväärtuste suhtes oleksid rõhuval enamikul juhtudel olnud rahuldavad. Puudused ilmnesid mitte mõõdistajate oskustes kasutada mõõtevahendeid, vaid peamiselt teadmistes ja praktilistes oskustes hinnata mõõtemääramatust.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2008	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2008
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 16 (29)

2. p.1 toodud puudus võib olla tingitud ka oselenud labori(te) kirjapandud mõõtemetoodikate vigadest või pealiskaudsusest. See on küll vaid võrdlusmõõtmiste korraldajate oletus (sest ei ole osalejate metoodikaid näinud), kuid väärrib tähelepanu juhtimist.

3. Ventilatsioonisüsteemide puhul peetakse mõõtemääramatust kuni 20 % mõõdetud väärtusest lubatavaks. See nõue võib tunduda kergesti täidetav. Ent 2008. aasta võrdlusmõõtmiste tulemused näitavad hoopis vastupidist. Sellepärast on ka igapäevatoos igal objektil vajalik kasutada kõiki olemasolevaid võimalusi mõõtemääramatuse realistlikuks hindamiseks ja hoolikalt valida mõõtekohti, kus mõõtemääramatus on parimal viisil hinnatav.

4. Plafoone ja teisi lõppelemente läbivate õhuhulkade mõõtmist oma töövõtetega ja harjumuspäraste mõõtevahenditega on vaja praktiliselt treenida ja kontrollida igal ventilatsioonisüsteemide mõõtjal, kasutades selleks töökohal realiseeritavaid mõõtmiskeeme, näiteks korduvustingimustel erinevate meetoditega saadud ruumkiiruste võrdlemist valemi (1) järgi E_n -kriteeriumi alusel. Üksnes standardites ja lõppelementide tootja poolt antud dokumentides toodud k-arvud ei taga mõõtetulemuste usaldusväärsust, mida kinnitas ka võrdlusmõõtmine 2008. aastal. Kui mõõtja saab oma töökohal või mujal tehtud katsetega kinnitust, et antud k-arv kehtib ka tema poolt kasutatavate töövõtete puhul, siis võib seda lugeda usaldusväärselt valideerituks. Selle kinnituseks peavad olema ette näidata dokumenteeritud mõõtetulemused E_n -väärtustega.

* * *

Tartu Ülikooli katsekoda tänab EG Ehitus AS kalibreerimislabori juhatajat hr. Hainar Kalevit täppismõõtevahendi kasutamise võimaldamise eest ventilatsioonisüsteemi võrdlusmõõtmise meetodi valideerimiseks.

LISA 1

vm.2008

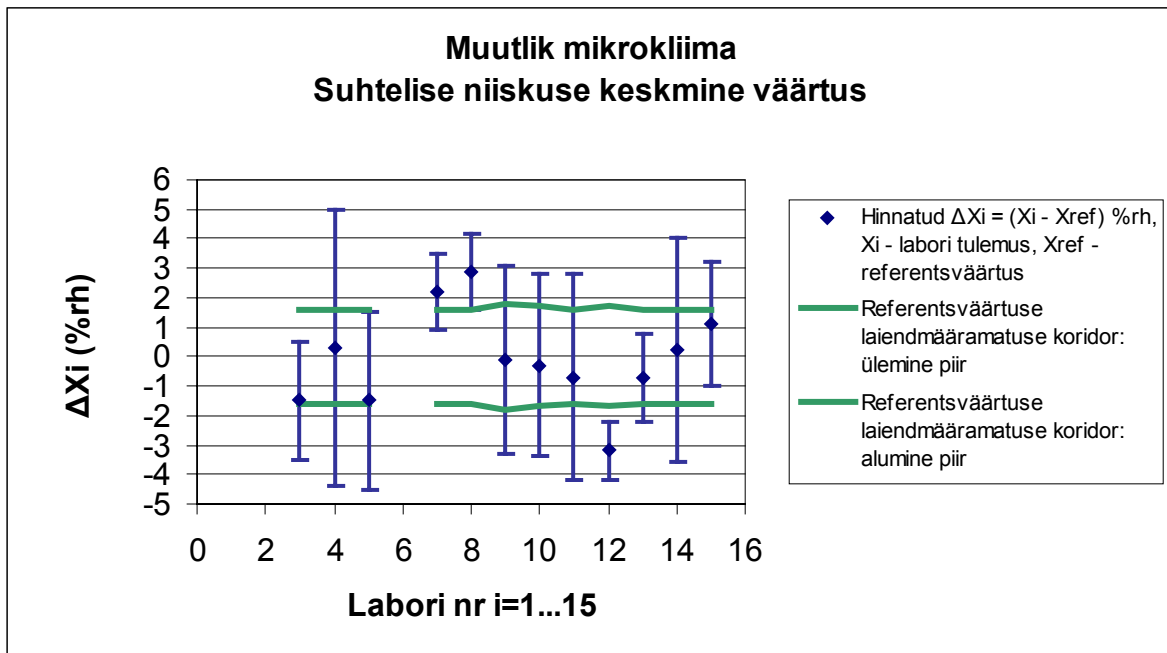
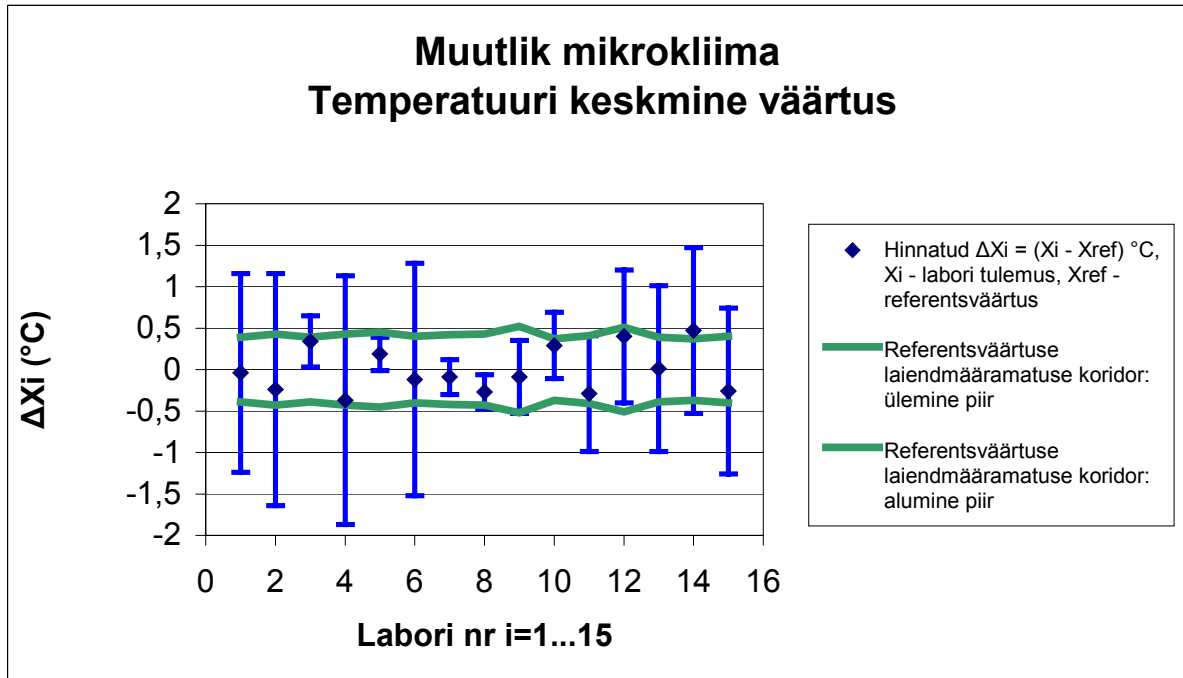
Mikrokliima võrdlusmõõtmise tulemuste koondtabel

Osaleja	Muutlik mikrokliima							Stabiilne mikrokliima			
	Kõrgusel 1,1 m							Kõrgusel 0,1 m		Kõrgusel 1,1 m	
	T ± U	T _{max} ± U	T _{min} ± U	h ± U	h _{max} ± U	h _{min} ± U	v ± U	T ± U	h ± U	T ± U	h ± U
	°C	°C	°C	%rh	%rh	%rh	m/s	°C	%rh	°C	%rh
Osaleja 1	18,6±1,2	19,5±0,5	17,8±0,5					19,5±1,1		20,6±1,3	
REF	18,64±0,39	19,30±0,51	18,02±0,51					19,45±0,47		19,86±0,43	
E _n	-0,03	0,28	-0,30					0,04		0,54	
Osaleja 2	18,4±1,4	20,2±0,5	17,2±0,5					19,5±1,2		20,1±1,2	
REF	18,64±0,43	19,91±0,51	17,82±0,51					19,06±0,32		19,66±0,39	
E _n	-0,16	0,41	-0,87					0,36		0,35	
Osaleja 3	20,06±0,31	20,8±0,3	19,5±0,3	23,6±2,0	25,7±2,0	22,1±2,0		19,6±0,3	34,0±2,0	20,5±0,3	32,3±2,0
REF	19,72±0,39	20,41±0,51	19,13±0,51	25,1±1,6	27,3±2,1	23,1±2,1		19,21±0,32	35,0±1,4	20,08±0,31	33,6±1,3
E _n	0,68	0,65	0,63	-0,57	-0,54	-0,36		0,90	-0,39	0,97	-0,55
Osaleja 4	19,0±1,5	21,0±1,5	17,7±1,5	37,5±4,7	38,1±4,7	36,7±4,7		19,2±1,1	39,4±4,6	19,7±1,1	38,6±4,6
REF	19,37±0,43	20,95±0,50	18,30±0,50	37,2±1,6	39,5±2,1	34,4±2,1		19,24±0,30	40,0±1,3	19,79±0,31	38,1±1,3
E _n	-0,24	0,03	-0,38	0,06	-0,27	0,44		-0,03	-0,12	-0,08	0,11
Osaleja 5	20,11±0,2	21,39±0,2	19,07±0,2	32,4±3,0	33,1±3,0	30,2±3,0		19,72±0,2	35,9±3,0	20,21±0,2	34,6±3,0
REF	19,92±0,45	21,31±0,53	18,92±0,53	33,9±1,6	36,0±2,1	31,7±2,1		19,38±0,29	37,6±1,3	20,12±0,31	35,9±1,3
E _n	0,39	0,15	0,26	-0,45	-0,78	-0,40		0,98	-0,53	0,25	-0,41
Osaleja 6	19,5±1,4	21,1±1,4	17,9±1,4					19,4±1,1		20,2±1,2	
REF	19,62±0,40	20,65±0,50	18,72±0,50					19,07±0,30		19,89±0,36	
E _n	-0,08	0,30	-0,55					0,29		0,24	
Osaleja 7	20,6±0,21	23,0±0,21	18,6±0,21	46,6±1,3	49,3±1,3	40,8±1,3	0,25±0,07	21,5±0,20	43,9±1,3	22,7±0,20	40,9±1,2
REF	20,69±0,42	22,46±0,51	18,88±0,51	44,4±1,6	49,1±2,1	39,6±2,1	0,15±0,10	22,04±0,35	44,2±1,6	22,79±0,29	42,0±1,3
E _n	-0,20	0,99	-0,51	1,07	0,09	0,47	0,79	-1,36	-0,17	-0,26	-0,63

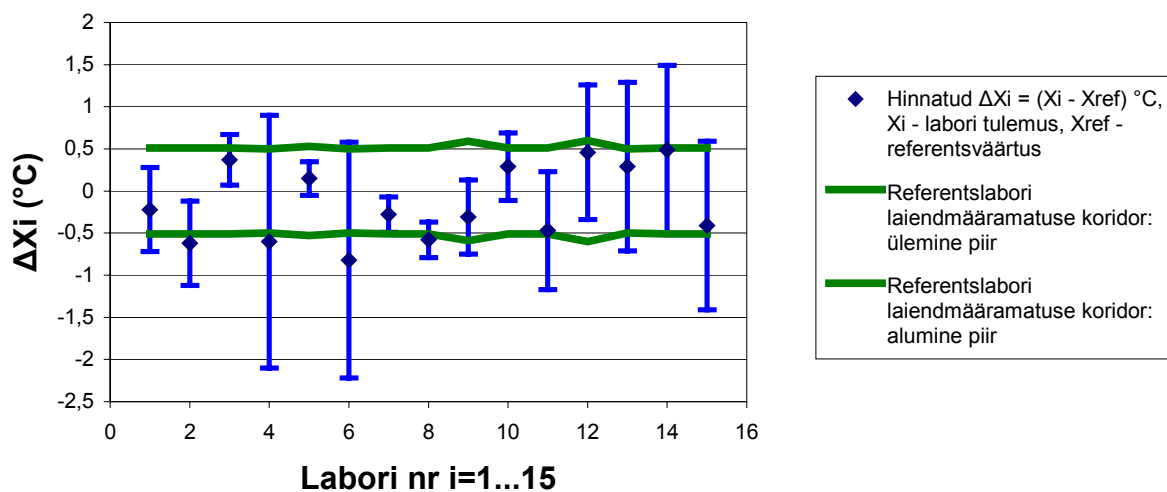
vm.2008 Mikrokliima võrdlusmõõtmise tulemuste koondtabeli järg

Osaleja	Muutlik mikrokliima							Stabiilne mikrokliima			
	Kõrgusel 1,1 m							Kõrgusel 0,1 m		Kõrgusel 1,1 m	
	T ± U	T _{max} ± U	T _{min} ± U	h ± U	h _{max} ± U	h _{min} ± U	v ± U	T ± U	h ± U	T ± U	h ± U
	°C	°C	°C	%rh	%rh	%rh	m/s	°C	%rh	°C	%rh
Osaleja 8	20,9±0,21	23,1±0,21	18,8±0,21	46,4±1,3	49,0±1,3	41,4±1,3	0,15±0,12	21,4±0,20	44,5±1,3	22,9±0,20	41,5±1,2
REF	21,17±0,43	23,04±0,51	19,38±0,51	43,5±1,6	48,5±2,1	38,5±2,2	0,11±0,07	21,77±0,33	45,1±1,5	22,70±0,31	43,8±1,3
E _n	-0,57	0,12	-1,06	1,37	0,19	1,18	0,63	-0,96	-0,28	0,56	-1,31
Osaleja 9	20,5±0,44	21,9±0,44	19,2±0,44	26,1±3,2	29,4±3,2	23,9±3,2	0,15±0,12	20,7±0,44	30,7±3,2	21,2±0,44	29,7±3,2
REF	20,59±0,52	21,93±0,59	19,51±0,59	26,2±1,8	29,2±2,2	22,7±2,2	0,25±0,07	20,11±0,30	32,0±1,3	20,59±0,46	32,1±1,5
E _n	-0,13	-0,04	-0,42	-0,03	0,04	0,30	-0,70	1,11	-0,37	0,95	-0,69
Osaleja 10	22,0±0,4	22,1±0,4	21,9±0,4	33,4±3,1	34,7±3,1	32,1±3,1	0,35±0,12	21,1±0,3	39,3±2,0	21,7±0,3	39,6±1,4
REF	21,71±0,37	21,83±0,51	21,61±0,51	33,7±1,7	36,8±2,1	32,3±2,1	0,20±0,10	20,72±0,39	39,9±1,5	21,46±0,30	40,2±1,3
E _n	0,54	0,42	0,45	-0,09	-0,57	-0,04	0,96	0,78	-0,24	0,58	-0,33
Osaleja 11	20,1±0,7	21,0±0,7	19,4±0,7	34,3±3,5	35,0±3,5	33,5±3,5	0,23±0,03	19,8±0,4	39,0±3,5	20,7±0,4	37,7±3,5
REF	20,39±0,41	21,02±0,51	19,87±0,51	35,0±1,6	36,2±2,1	33,7±2,1	0,13±0,07	19,84±0,32	41,3±1,3	20,87±0,37	39,2±1,5
E _n	-0,36	-0,03	-0,54	-0,18	-0,30	-0,04	1,35	-0,07	-0,60	-0,32	-0,40
Osaleja 12	19,0±0,8	19,8±0,8	18,6±0,8	33,7±1,0	34,0±1,0	33,4±1,0	0,2±0,14	20,2±0,3	34,3±0,9	20,3±0,3	34,1±0,9
REF	18,60±0,51	19,11±0,60	18,14±0,60	36,9±1,7	37,8±2,2	35,8±2,2	0,19±0,07	20,07±0,33	37,3±1,3	20,55±0,37	35,9±1,4
E _n	0,43	0,69	0,46	-1,62	-1,60	-1,00	0,05	0,29	-1,92	-0,53	-1,05
Osaleja 13	19,5±1,0	20,6±1,0	19,0±1,0	34,2±1,5	34,9±1,5	33,7±1,5	0,27±0,19	19,7±0,3	37,6±1,2	20,3±0,3	36,9±1,2
REF	19,49±0,39	20,63±0,50	18,71±0,50	34,9±1,6	36,4±2,1	33,3±2,1	0,19±0,08	19,74±0,33	39,0±1,4	20,35±0,32	37,6±1,3
E _n	0,01	-0,03	0,26	-0,34	-0,59	0,17	0,37	-0,09	-0,78	-0,11	-0,41
Osaleja 14	23,9±1,0	24,1±1,0	23,8±1,0	36,3±3,8	36,9±3,8	36,0±3,8	0,35±0,18	22,5±1,2	41,4±4,1	23,8±1,0	38,6±3,8
REF	23,43±0,37	23,58±0,51	23,31±0,51	36,1±1,6	36,8±2,1	35,7±2,1	0,13±0,10	22,38±0,32	40,9±1,4	23,29±0,30	38,5±1,3
E _n	0,44	0,46	0,44	0,06	0,02	0,07	1,08	0,10	0,11	0,49	0,02
Osaleja 15	19,0±1,0	19,8±1,0	18,3±1,0	35,3±2,1	35,5±2,1	34,8±2,1	0,28±0,03	20,3±1,0	38,2±2,2	20,8±1,0	37,3±2,2
REF	19,26±0,40	20,13±0,51	18,71±0,51	34,2±1,6	34,8±2,1	33,5±2,1	0,09±0,06	20,41±0,32	37,9±1,3	20,90±0,40	36,5±1,4
E _n	-0,24	-0,29	-0,36	0,41	0,22	0,43	2,73	-0,11	0,10	-0,09	0,30

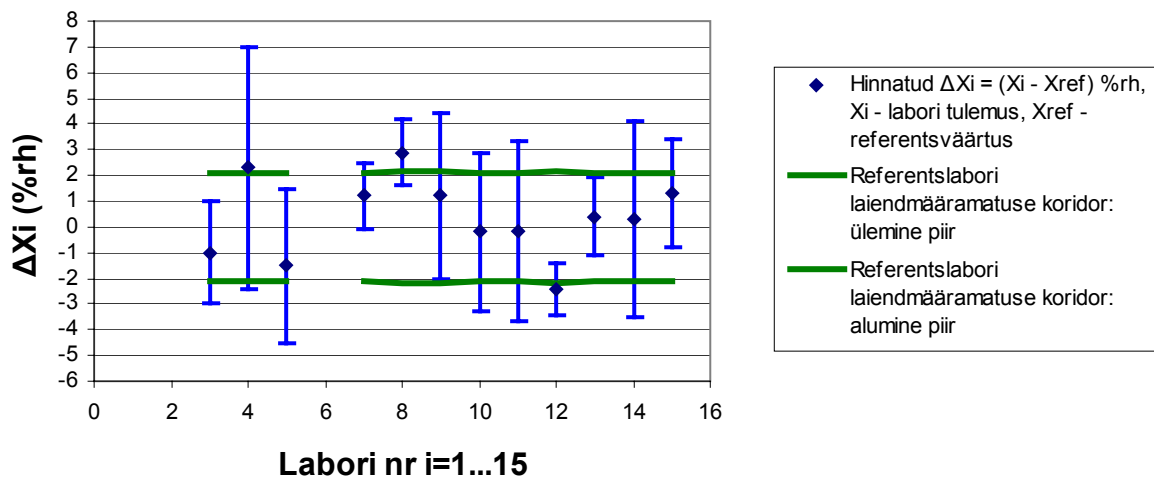
LISA 2



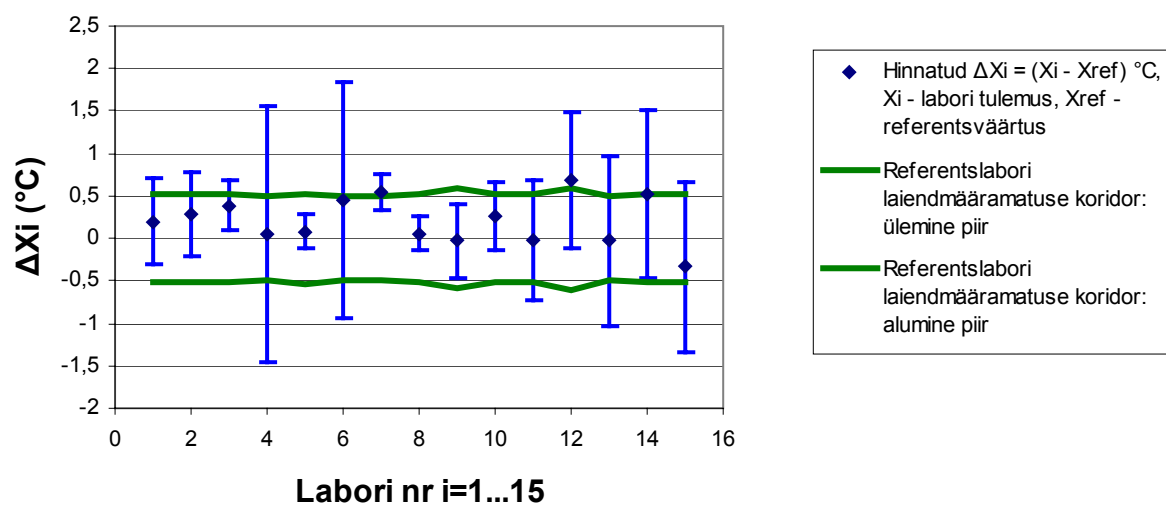
Muutlik mikrokliima Temperatuuri miinimum



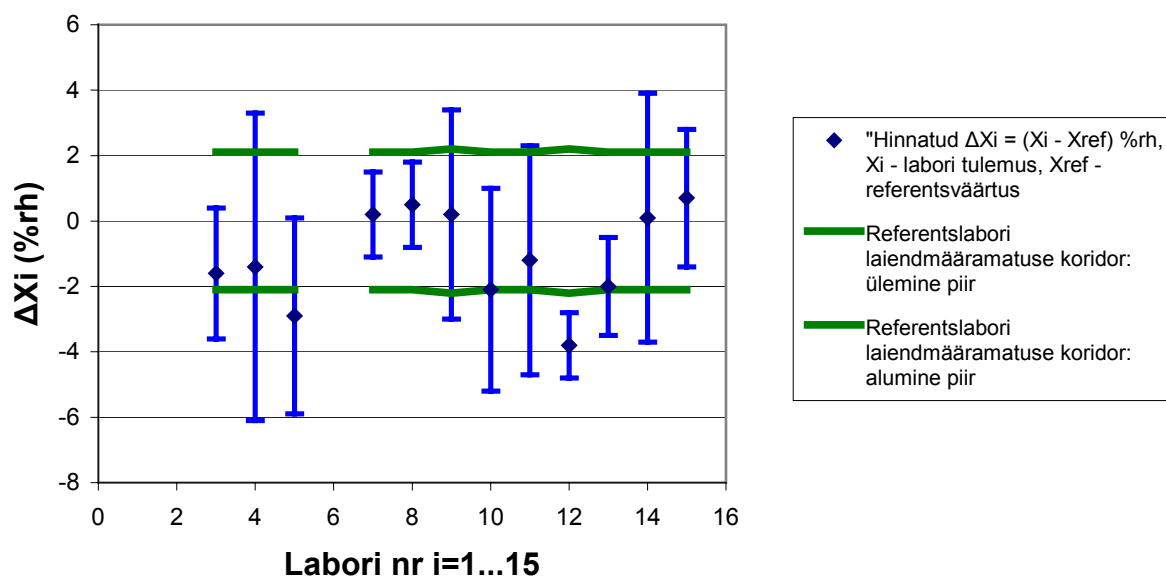
muutlik mikrokliima Suhtelise niiskuse miinimum



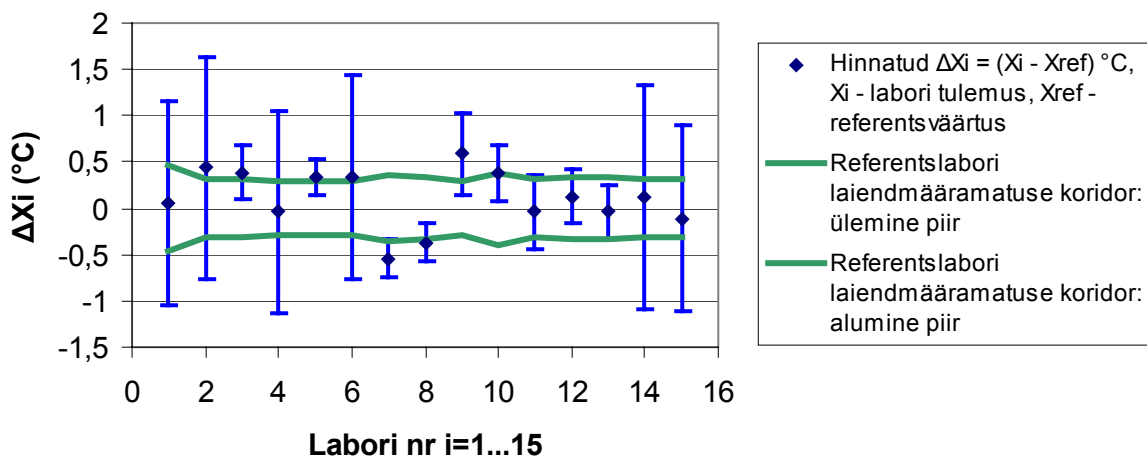
Muutlik mikrokliima Temperatuuri maksimum



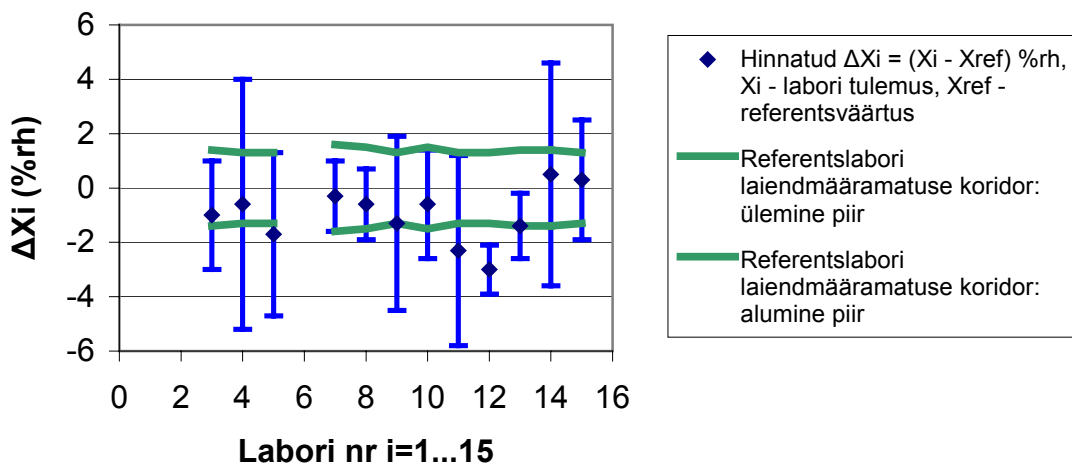
Muutlik mikrokliima Suhtelise niiskuse maksimum



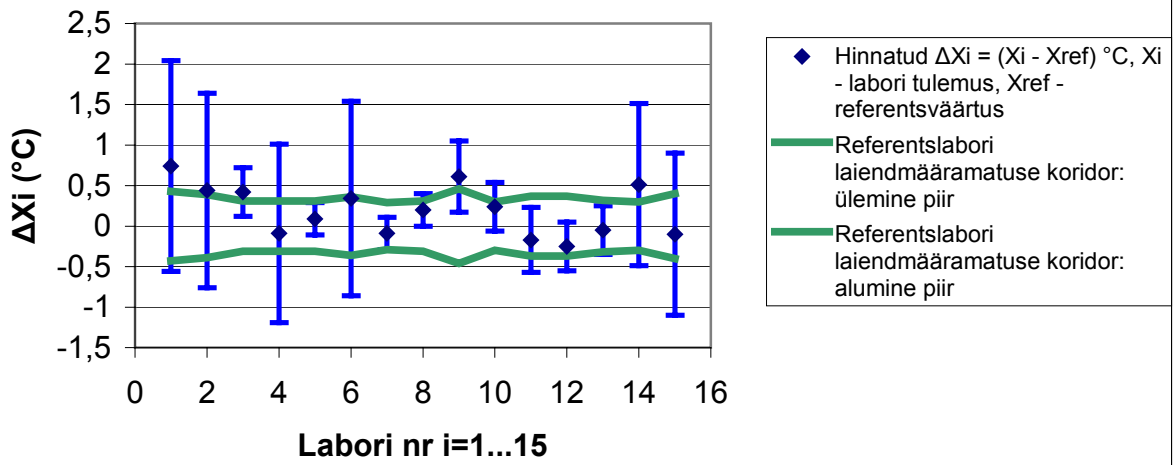
Stabiilne mikrokliima Temperatuur kõrgusel 0,1 m



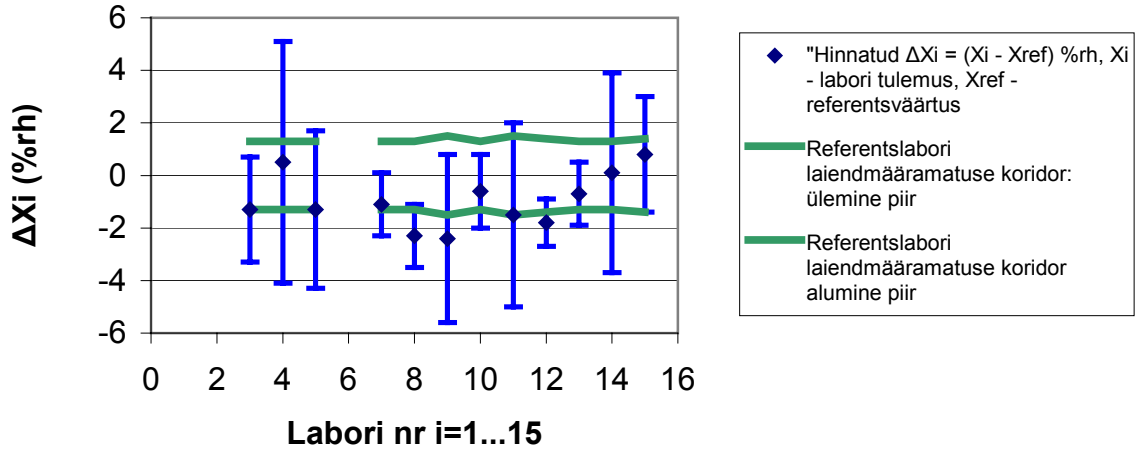
Stabiilne mikrokliima Suhteline niiskus kõrgusel 0,1 m



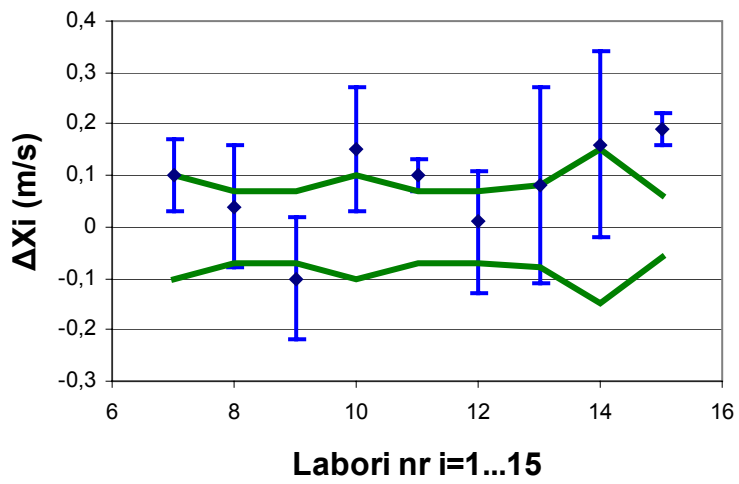
Stabiilne mikrokliima Temperatuur kõrgusel 1,1 m



Stabiilne mikrokliima Suhteline niiskus kõrgusel 1,1 m



Muutlik mikrokliima Õhu liikumise kiirus



LISA 3

vm.2008

VÄLJATÖMBEPOOLEL VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÖRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL

	VENT1 VÄLJATÖMME				VENT 2 VÄLJATÖMME				VENT 3 VÄLJATÖMME		
	VT0	VT1	VT2	VT3	VT0	VT1+L6	VT2+L7	VT3+L8	VT1+L6	VT2+L7	VT3+L8
LAB A		30	36	35	36	6	25	9			
U(A)		6,2	12	7,2	12	1,2	5	1,8			
REF		31,7	35,5	34,3	36,7	Summa = 6+25+9 = 40					
U(REF)		1,6	1,8	1,7	1,835	36/40 = 0,90					
E _n (A)		-0,27	0,04	0,09	-0,06						
LAB A1	110±24	17±4,4	47±12	49±10	Summa = 17+47+49 = 113 ,			110/113 = 0,97			
LAB B	35	34	35	35	30	7	25	8	11	27	16
U(B)	4	4	4	4	3	1	3	1	1	3	2
REF	33,7	29,6	33,3	33,3	31,3	Summa = 7+25+8 = 40			12,1	22,1	16,3
U(REF)	1,7	1,5	1,7	1,7	1,6	30/40 = 0,75			0,60	1,1	0,8
E _n (B)	0,30	1,03	0,39	0,39	-0,38				-0,94	1,53	-0,14
LAB C	38,5	35,2	38,5	37	28,1	6,1	21,7	5,8	12	28	17
U(C)	5	4,6	5	4,8	3,7	0,8	2,8	0,8	1,6	3,7	2,2
REF	34,4	29,1	32,3	31,7	25,4	Summa = 6,1+21,7+5,8 = 33,6			12,9	23,2	12,6
U(REF)	1,7	1,5	1,6	1,6	1,3	28,1/33,6 = 0,84			0,6	1,2	0,6
E _n (C)	0,78	1,3	1,8	1,05	0,69				-0,52	1,24	1,92
LAB D	45,6	44,7	47,2	47,4	42,4	8,1	27,4	8,4	39,7	25,8	49
U(D)	13	5	11	12	9,6	1,2	23	3,5	4,4	3,6	3,8
REF	34,5	30,6	34,5	33,3	33,2	Summa = 8,1+27,4+8,4 = 43,9			13,9	24,9	13,6
U(REF)	1,7	1,5	1,7	1,7	1,7	42,4/43,9 = 0,97			0,7	1,2	0,7
E _n (D)	0,85	2,70	1,14	1,16	0,94				5,8	0,24	9,2

vm.2008 VÄLJATÕMBEPOOLEL VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕÕTMISE TULEMUSTE KOONDTABELI JÄRG

	VENT1 VÄLJATÕMME				VENT 2 VÄLJATÕMME				VENT 3 VÄLJATÕMME		
	VT0	VT1	VT2	VT3	VT0	VT1+L6	VT2+L7	VT3+L8	VT1+L6	VT2+L7	VT3+L8
LAB E	43,2	38,2	38,9	40,3	30,4	5,75	22,9	6,1	13	22,5	19,4
U(E)	2	1,8	1,8	1,9	1,4	0,3	1,1	0,3	0,6	1,1	0,9
REF	37,3	32,8	36,8	35,5	26,1	Summa = 5,75+22,9+6,1= 34,75			14,5	26,1	14,5
U(REF)	1,9	1,6	1,8	1,8	1,3	30,4/34,75 = 0,87			0,7	1,3	0,7
E _n (E)	2,161	2,22	0,82	1,85	2,25				-1,59	-2,11	4,24
LAB F	35	39	43	41		24	45	20	23	40	23
U(F)	7	7,8	8,6	8,2		4,8	9	4	4,6	8	4,6
REF	39,3	34,4	38,7	37,8		25,1	44,7	24,6	18,6	34,1	18,3
U(REF)	2,0	1,7	1,9	1,9		0,24	0,5	1,2	0,9	1,7	0,9
E _n (F)	-0,59	0,58	0,49	0,38		-0,23	0,033	-1,10	0,94	0,72	1,00
LAB G	<69	60	86	72					12	33	18
U(G)		6	14	10					4	2	2
REF	61,1	54,5	77,9	58,6					13,4	24,8	17,9
U(REF)	3,0	2,7	3,9	2,9					0,7	1,3	0,9
E _n (G)		0,83	0,56	1,28					-0,34	3,5	0,046
E _n ≥ 1	11/26 = 42 %				2/8 = 25 %				9/18 = 50 %		

LISA 4

vm.2008

SISSEPUHKEPOOLEL VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÖRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL

	VENT 1 SISSEPUHE AVATUD KANALID			VENT 2 SISSEPUHE+ LE			VENT 3 SISSEPUHE+ LE			
	SP0	SP3	SP4	SP0	DVS P-125	Balnce S-100	DVS P125	STH 125	PER 125-160	Balnce S-100
LAB A	65	43	40				42	25	38	25
U(A)	35	7,2	5,2				8,4	5	7,6	5
REF	41,2	41,2	39				34,8	22,6	37	34,7
U(REF)	2,06	2,06	1,95				1,74	1,13	1,85	2,35
E _n (A)	0,68	0,24	0,18				0,84	0,47	0,13	-1,76
LAB B	47	45	46	41	18	22	14	25	39	13
U(B)	5	5	5	4	2	2	1	3	4	1
REF	41,6	40,1	37,8	35,1	Summa =18+22= 40		24	22,6	37,8	42,1
U(REF)	2,08	2,005	1,89	1,755	41/40 = 1,03		1,2	1,13	1,89	2,105
E _n (B)	1,00	0,91	1,53	1,35			-6,40	0,75	0,27	-12,49
LAB C	50,5	50,5	47,4	35,7	17,2	19,4	27	25	38	36
U(C)	6,6	6,6	6,2	4,7	2,4	2,6	3,6	3,3	5	4,7
REF	43,8	42,4	40,1	29,9	Summa =17,2+19,4=36,6		24,2	22,7	37,8	26,5
U(REF)	2,19	2,12	2,005	1,495	35,7/36,6 = 0,98		1,21	1,135	1,89	1,325
E _n (C)	0,96	1,17	1,12	1,18			0,74	0,66	0,04	1,95
LAB D	49	64	58	49	24	28	22	27,2	48	40,6
U(D)	30	9	9	19	5	9	4	4	4	4
REF	46,9	44,6	41,6	38,2	S=24+28=52		26,5	33	40,8	30,2
U(REF)	2,345	2,23	2,08	1,91	49/52 = 0,94		1,325	1,65	2,04	1,51
E _n (D)	0,07	2,09	1,78	0,57			-1,07	-1,34	1,60	2,43

vm.2008 SISSEPUHKEPOOLEL VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÖRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABELI JÄRG

	VENT 1 SISSEPUHE AVATUD KANALID			VENT 2 SISSEPUHE+ LE			VENT 3 SISSEPUHE+ LE			
	SP0	SP3	SP4	SP0	DVS P-125	Balnce S-100	DVS P125	STH 125	PER 125-160	Balnce S-100
LAB E	51,5	51	48,6	38,8	18,5	22,5	29	30	45	40
U(E)	2,4	2,4	2,3	1,1	0,9	1,8	1,4	1,4	2,1	1,9
REF	45,4	43,2	40,9	26,3	S=18,5+22,5=41		28	26,5	44,6	31
U(REF)	2,27	2,16	2,045	1,315	38,8/41 = 0,95		1,4	1,325	2,23	1,55
E _n (E)	1,85	2,42	2,50	7,29			0,51	1,82	0,13	3,67
					STH-125	Balnce S-100				
LAB F	50	30	22		27	31	39	30	46	39
U(F)	10	6	4,4		6	5,4	7,8	6	9,2	7,8
REF	47,7	45	41,7		25,3	29,5	29	26,8	44,6	31,2
U(REF)	2,385	2,25	2,085		1,265	1,475	1,45	1,8	3	1,56
E _n (E)	0,22	-2,34	-4,05		0,28	0,27	1,26	0,51	0,14	0,98
E_n ≥ 1	10/18 = 56 %						12/24 = 50 %			
	VENT 1 SISSEPUHE AVATUD KANALID				VENT 3 SISSEPUHE+ LE					
		SP3	SP4	SP2		SP2+L2	SP3+L3	SP4+L4		
LAB G	<196	76	69	69		31	53	30		
U(G)		6	6	6		2	4	2		
REF		63,6	60,1	59,9		24,2	22,6	24,9		
U(REF)		3,18	3,005	2,995		1,21	1,13	1,245		
E _n (G)		1,83	1,33	1,36		2,91	7,31	2,16		

