

KINNITAN



.....
Dots.K.Herodes
TÜ Keemia Instituudi
katsekoja juhataja

„²⁹.....” märts 2012.a

KINNITAN



.....
Prof. I.Leito
TÜ Keemia Instituudi
katsekoja nõukogu esimees

„²⁹.....” märts 2012.a

ARUANNE

LABORITEVAHELISED TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED AASTAL 2011

Mikrokliima, ventilatsioonisüsteem ja ventilatsioonimüra

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, 2011/2012

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕOTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg

2 (34)

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	3
1.1 VÕRDLUSMÕOTMISTE KORRALDUSEST.....	3
1.2 MIKROKLIIMA MÕOTMISE ÜLESANDED.....	4
1.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI MÕOTMISE ÜLESANDED.....	6
2. VÕRDLUSMÕOTMISTES OSALENUD.....	11
3. MIKROKLIIMA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE.....	12
4. ÕHUVOO JA VENTILATSIOONIMÜRA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE.....	13
4.1 ÕHUVOO JA <i>k</i> -ARVU MÕOTMISTEST.....	13
4.2 ÕHUVOO REFERENTSVÄÄRTUS JA SELLE MÄÄRAMATUS	14
4.3 VENTILATSIOONIMÜRA REFERENTSVÄÄRTUSED JA MÄÄRAMATUS....	17
5. MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕOTMISTE TULEMUSTEST.....	18
6. VENTILATSIOONISÜSTEEMI PARAMEETRITE VÕRDLUSMÕOTMISTE TULEMUSTEST.....	18
6.1 ÜLDIST	18
6.2 ÕHUVOOGUDE MÕOTETULEMUSTE ANALÜÜS LISA 2 ALUSEL	19
6.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÕPPELEMENTIDE <i>k</i> -ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTEST LISA 3 ALUSEL.....	25
6.4 VENTILATSIOONIMÜRA MÕOTETULEMUSTE ANALÜÜS.....	27
6.5 KOKKUVÕTE VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕOTMISTEST.....	30
LISA 1 MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕOTMISTE TULEMUSED TABELITE JA JONISTENA.....	31
LISA 2 VENTILATSIOONISÜSTEEMI KANALITES ÕHUVOOGUDE VÕRDLUSMÕOTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL.....	36
LISA 3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÕPPELEMENTIDE <i>k</i> -ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTE KOONDTABEL.....	39
LISA 4 VENTILATSIOONIMÜRA VÕRDLUSMÕOTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL.....	42
LISA 5 KATSESTENDI SKEEMID SISSEPUHKE JA VÄLATÕMBE ÕHUVOOGUDE VÕRDLUSMÕOTMISTEKS.....	45
LISA 6 KEEMIALABORI RUUMI PLAAN.....	47

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg

3 (34)

1. SISSEJUHATUS

1.1 VÕRDLUSMÕÕTMISTE KORRALDUSEST

2011.a võrdlusmõõtmised viidi läbi referentsväärtuste suhtes vastavalt uue standardi nõuetele EVS-EN ISO/IEC 17043:2010 „Conformity assessment – General requirements for proficiency testing“. Tartu Ülikooli katsekojal oli selliste võrdlusmõõtmiste korraldamise kogemus aastast 2008 [1]. Siis olid võrdlusmõõtmiste korraldamise aluseks nõuded juhendist 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).

Enne 2008-ndat aastat Tartu Ülikooli katsekojas korraldatud töökeskkonnalaborite-vahelised võrdlusmõõtmised toimusid konsensusväärtuste suhtes (kõikide osalejate tulemuste aritmeetiliste keskmiste suhtes). Selliste võrdlusmõõtmiste korraldamine on tehniliselt lihtsam, kuid sellel on ka olulisi puudusi. Üks puudus seisneb selles, et sageli mahuvad peaaegu kõik tulemused kahe standardhälbe piiridesse, millest saab teha formaalse järeldus, et need tulemused on rahuldavad. Teiseks, suuremate hälbijate juhuslikud tulemused võivad mõjutada konsensusväärtust oluliselt. Seetõttu võib juhtuda, et ka väga vähe tõelisest (leppe)väärtusest erinevad tulemused on hinnatud teenimatult suuremateks hälbijateks, kui nad on tegelikult. See ei meeldi võrdlusmõõtmistes osalejatele. Sellepärast on igati eelistatum korraldada laboritevahelisi võrdlusmõõtmisi sõltumatute referentsväärtuste alusel, kui see on tehniliselt ja majanduslikult võimalik.

Ent referentsväärtuste suhtes võrdlusmõõtmiste organiseerimine on oluliselt mahukam, võrreldes konsensusväärtuse suhtes võrdlusmõõtmistega. Näiteks, reaalse töökeskkonna mikrokliima mõõtmiste imiteerimiseks tingimuste loomine ruumis, mille õhuparameetrite referentsväärtused oleksid teada 3 kuni 5 korda väikesema määramatusega, võrreldes võrdlusmõõtmistes osalejate mõõtemääramatusega on töömahukas. Reaalse ventilatsioonisüsteemi mõõtmiste imiteerimine vajab ka suurt ruumi, kuhu paigutada võrdlusmõõtmisteks sobiva konfiguratsiooniga katsestendid ja tööetalonid.

Referentsväärtusega võrdlusmõõtmiste puhul standardi EVS-EN ISO/IEC 17043:2010 kohaselt on tulemuste hindamise peamiseks aluseks nn E_n -arvud, 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 tulemus hinnatakse rahuldavaks, kui $|E_n| \leq 1$.**

Võrdlusmõõtmised toimusid kooskõlastatult SA Eesti Akrediteerimiskeskusega, kelle esindajaks oli EAK peaassessor PhD Raivo Rajamäe. Ajavahemikus 29. märts kuni 28. september 2011 toimunud võrdlusmõõtmised viidi läbi Tartu Ülikooli katsekoja laborites Tähe tn 4 Tartus. Iga osaleja sai detailse lähteülesande ja mõõteprotokolli plangid. Osalejal oli aega kuni 5 tundi mõõtmiste sooritamiseks ja mõõteprotokolli koostamiseks, kui võrdlusmõõtmised sooritati täies mahus (mikrokliima, ventilatsioonisüsteemi parameetrite ja ventilatsioonimüra osas). Iga osaleja pidi mõõtmistel kasutama kaasavõetud varustust (mikrokliima, ventilatsiooni ja müra ja mõõte- ja abivahendeid), mida ta kasutab tavaliselt objektidel mõõdistamiseks.

1.2 MIKROKLIIMA MÕÖTMISE ÜLESANDED

Mikrokliima võrdlusmõõtmise käigus täitsid võrdlusmõõtmisel osalejad kolme ülesannet.

Esimene ülesanne. Osalejad mõõtsid õhu temperatuuri ja suhtelist niiskust kahel kõrgusel: 0,1 m ja 1,1 m kõrgusel põrandast. Referentsmõõtevahenditeks olid kolm termohügromeetrit (Ahlborn FHA646-E1), mis olid eelnevalt kalibreeritud. Andurid olid kinnitatud spetsiaalsele rõngale (vt Foto 1).



Foto 1. Kolme sensori paigutus statiivil õhutamperatuuri ja -niiskuse referentsväärtuse määramiseks

Võrdlusmõõtmisel osaleja kinnitas oma temperatuuri ja niiskuse mõõtevahendi(d) kolme referentsmõõtevahendi lähedusse. Pärast mõõtmiste sooritamist 0,1 m kõrgusel tõsteti nii referentsmõõtevahendid kui ka võrdlusmõõtmisel osaleja mõõtevahend 1,1 m kõrgusele ja lasti mõõtevahenditel vähemalt kolme minuti vältel stabiliseeruda. Seejärel võeti uuesti mõõtevahendite lugemid. Referentsmõõtevahendite lugemid salvestati spetsiaalse programmi abil arvutisse. Hiljem töödeldi salvestatud andmeid programmiga MS Excel. Lugemid salvestati arvutisse orienteeruvalt viie minuti vältel ja lugemite võtmise ajaliseks intervalliks oli 10 sekundit.

Võrdlusmõõtmisel osalejad kas salvestasid mõõdetud väärtused mõõtevahendi mälusse või, kellel puudus salvestamise võimalus, märkisid oma lugemid mõõteprotokollis.

Teise ülesande puhul võrdlusmõõtmisel osaleja mõõtis õhu **operatiivse temperatuuri** ja **õhutemperatuuri** erinevust.

Antud ülesanne oli eeskätt õpetliku iseloomuga ja osalejate tulemusi ei võrreldud referentsväärtuse suhtes. Operatiivse temperatuuri mõõtmine Eestis on uudne nii võrdlusmõõtmise korraldajatele kui ka võrdlusmõõtmisel osalejatele. See on aktuaalseks muutunud seoses sisekliima standardi EVS 839:2003 annuleerimisega ja asemele pakutud standardiga EVS-EN 15251:2007 – „Sisekeskkonna alandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojustikust mugavusest, valgustusest ja akustikast“.

Operatiivse temperatuuri (õhutemperatuuri ja ruumi piirete ning esemete keskmiste kiirgustemperatuuride vahepealne temperatuur) mõõtmiseks kasutati õõnest klaaskera läbimõõduga 12 cm, mis on mustaks värvitud. Ava kaudu on võimalik kerasse paigutada võrdlusmõõtmises osaleja termomeeter nõnda, et termomeetri andur asub kera keskpunktis (vt foto 2).

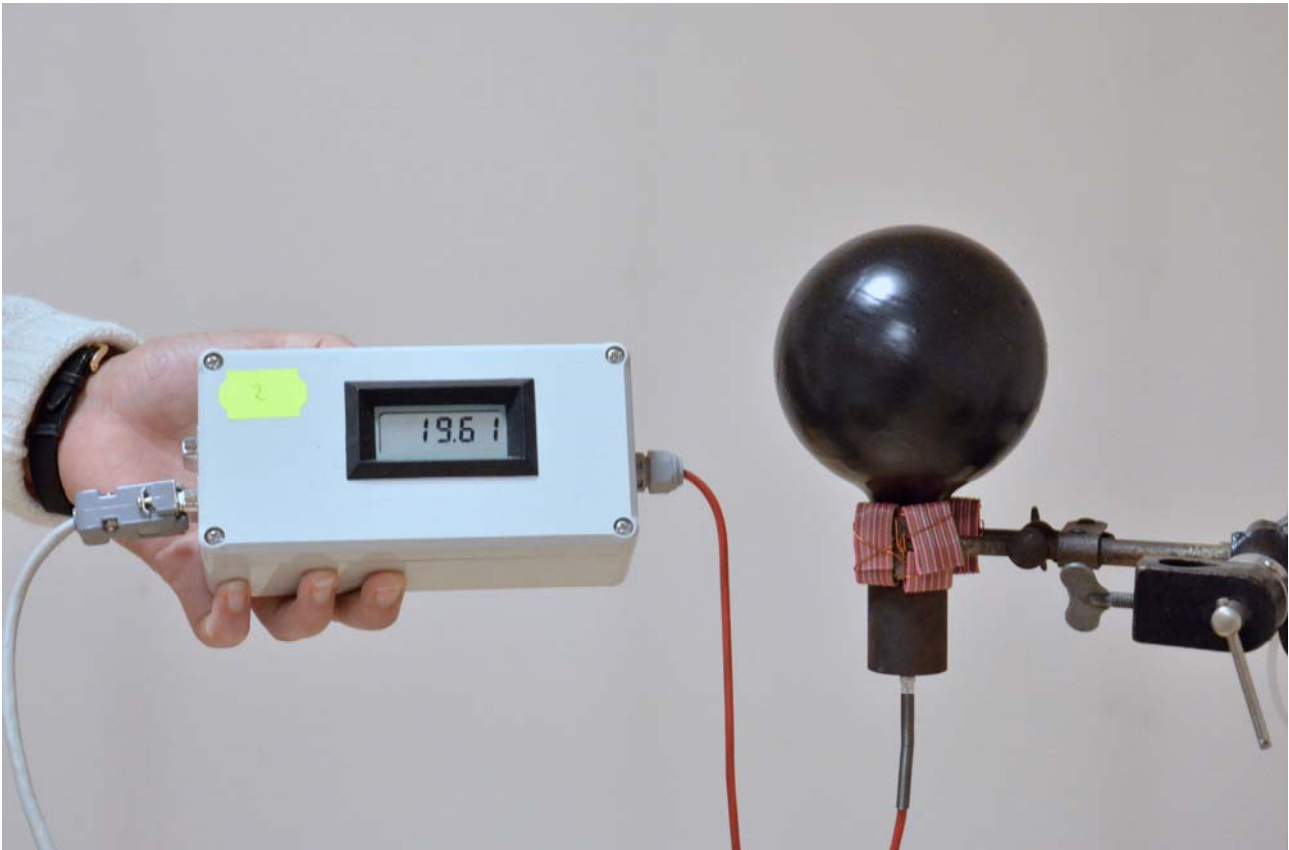


Foto 2. Statiivile kinnitatud musta klaaskera, mille sisemusse on paigaldatud takistustermomeetri andur.

Ruumis kiirgusvälja tekitamiseks kasutati mustaks värvitud ristkülikukujulist elektriradiaatorit, mille diagonaalide lõikepunkt asus samal kõrgusel nagu musta klaaskera keskpunkt. Nende vahekaugus oli umbes 1 m. Sellega tekitati antud katse korral õhutemperatuurist pisut kõrgem operatiivne temperatuur musta klaaskera asukohas. Teise ülesande vältel mõõdeti õhutemperatuuri püsivust musta klaaskera kõrval TÜ katsekoja kontrolltermomeeteriga, mille lahutusvõime on 0,01 °C.

Katse viidi läbi, nii et võrdlusmõõtmisel osaleja mõõtis esmalt õhutemperatuuri oma termomeetriga musta klaaskera kõrval. Õhutemperatuuriks loeti kümne lugemi aritmeetiline keskmine. Pärast seda võrdlusmõõtmisel osaleja, viinud oma õhutermeetri musta klaaskera sisemusse, ootas termomeetri näitude stabiliseerumiseni ja võttis teistkordselt kümnekond lugemit. Nende aritmeetiline keskmine on tõlgendatav operatiivse temperatuurina. Mõõdetud kahe aritmeetilise keskmise temperatuuri vahe annabki hinnangu õhutemperatuuri ja operatiivse temperatuuri erinevuse kohta. Mõõdetud operatiivne temperatuur ja õhutemperatuur on korrektsed vaid siis, kui kasutatakse vastavalt spetsiaalset soojuskiirgust peaaegu täielikult neelavat musta klaaskera ja peegeldava välispinnaga termomeetrit, mis peaaegu üldse ei neela soojuskiirgust.

Kolmanda ülesande sisuks oli õhu liikumise kiiruse mõõtmine umbes 1,1 m kõrgusel põrandast. Õhuvoolu tekitamiseks kasutati 2 m kaugusele paigutatud ventilaatoreid, mis tekitasid mõõtekohas

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg

6 (34)

õhu liikumise kiiruse 0,1 - 0,7 m/s. Võrdlusmõõtmisel paigutati osaleja anemomeeter ja referentsanemomeeter (Ahlborn FV A645-TH3) kõrvuti õhujoa sihis. Lugemeid võeti umbes 5 minuti vältel. Referentsmõõtevahend salvestas lugemid arvutisse iga 5 sekundi tagant.

Iga võrdlusmõõtmisel osaleja täitis mõõtmise ajal mõõteprotokoll, millesse märkis labori nimetuse, kontaktandmed, andmeid kasutatud mõõtevahendi kohta ja ka mõõdetud mikrokliima parameetrite lugemite aritmeetiliste keskmiste väärtused. Hiljem pidi iga osaleja hindama mikrokliima mõõdetud parameetritele laiendmääramatused ja esitama mõõtemääramatuse komponendid. Selleks otstarbeks andis võrdlusmõõtmise korraldaja igale osalenud laborile abistava juhendi. Võrdlusmõõtmise tulemusi hinnati ainult mõõdetud mikrokliima parameetrite väärtuste ja vastavate laiendmääramatuste kaudu, kasutades normeeritud E_n -väärtusi.

1.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI MÕÕTMISE ÜLESANDED

Ventilatsioonisüsteemi parameetrite mõõtmiste alal oli kokku kuus ülesannet.

Nelja esimese ülesande puhul eeldati peamise sellealase standardi EVS-EN 12599:2000 „Ventilation for buildings. Test procedures and measuring methods for handling over installed ventilation and air conditioning systems“ tundmist ja selles sisalduvate juhiste rakendamist.

Ülesanded olid koostatud kindla eesmärgiga nõnda, et nende järgi oleks võimalik hinnata ventilatsiooni-mõõtmise ja -seadistajate oskusi ja pädevust kõigi peamiste töövõtete kasutamisel ja tulemuste vormistamisel. Peamistena on silmas peetud järgmist:

- õhuvoo mõõtmine ventilatsioonikanalis läbi Ø12 mm ava viiepunkti meetodil (punktide arv võib olla ka suurem) erinevate läbimõõdudega torude puhul, kasutades termoanemomeetrit või Pitot' toru;
- õhuvoolu kiiruste ebaregulaarsust põhjustavate faktorite (härituste) arvessevõtmine satandardi EVS-EN 12599:2000 soovitude kohaselt, mis on peamine meetodist tulenev määramatuse komponent);
- staatilise rõhu meetodil lõppelemendi kaudu väljuva või siseneva õhuvoo mõõtmine kasutades tootja poolt antud k -arvu;
- k -arvu katseline määramine juhul, kui selleks on vajadus (seda saab teha kanalis mõõdetud õhuvoo ja plafoonil või mistahes muul lõppelemendil mõõdetud diferentsiaalrõhu kaudu);
- inimfaktorist tingitud mõõtemääramatuse katseline hindamine (iga mõõtja individuaalne karakteristik), mis üldiselt sõltub konkreetse mõõtja koolitusest, treenitusest, töövõtetest, kogemustest, tähelepanuvõimest, väsimusest, töötingimustest objektil ja muust.

Märkus. Käesolevas aruandes kasutatakse terminit „õhuvoog“ samas tähenduses, nagu mujal on kasutatud termineid „õhu vooluhulk“, „õhu ruumkiirus“, „õhu mahtkiirus“ jm., mille mõõtühikuks on ruumalühik jagatud ajahühikuga, nt m^3/h , dm^3/min , l/s jt.

Nelja esimese ülesande jaoks oli koostatud katsestend ventilatsioonisüsteemi sektsioonide imiteerimiseks. Selleks kasutati standardelemente: ventilatsioonitorusid läbimõõduga Ø100, Ø125, Ø160, Ø 200, Ø250 mm ja riskülik-toru 300x400 mm², torude põlvühendusi, sadulühendusega torude hargmikke, mitmesuguseid väljatõmbe ja sissepuhke lõppelemente, jaotuskaste ja kõrge kanalite ajutiseks sulgemiseks (vt Foto 3).



Foto 3. Katsesend ventilatsioonisüsteemi parameetrite võrdlusmõõtmisteks

Pingeregulaatoriga ventilaator oli paigutatud süsteemi keskele nii, et üks pool süsteemist töötas väljatõmbe- (VT), teine pool sissepuhkesüsteemi (SP) imiteerimiseks (vt skeeme Lisa 5). Ventilaatori toitepinge stabiliseerimiseks kasutati ferroresonantsstabilisaatorit ja pinge stabiilsuse kontrollimiseks klass 0,1 voltmeetrit.

Võrdlusmõõtmiste korraldajate poolt oli valitud VT ja SP kanalites kummaski 5 ristlõiget, milles tuli mõõta õhuvoogusid. Seejuures ei taotletud võrdlusmõõtmistel osalejatele täpselt ühesuguste õhuvoo väärtuste etteandmist. Õhuvoo referentsväärtused mõõdeti samaaegselt võrdlusmõõtmistes osalejaga. Selleks paigutati spetsiaalne tiivikanemomeeter ventilatsioonitorustiku sisse iga kord nii, et sama õhuvoog, mida mõõtis osaleja, läbis ka referentsmõõturit (vt Foto 4 ja 5).

Ülesanne Vent 1

Antud režiimis töötava mehaanilise ventilatsioonisüsteemi puhul uurida ja mõõta õhu liikumise joonkiirused ventilatsioonikanalites, kui lõppelemendid on kanalitelt eemaldatud ja/või osaliselt korgitud. Mõõteväärtuste alusel arvutada väljatõmbe ja sissepuhke õhuvood q ühikutes „liitrit sekundis” (l/s) ja hinnata kõikide tulemuste laiendmääramatus ($k=2$).

Ülesanne Vent 2

Korratakse esimeses ülesandes ettenähtud mõõtmisi ventilatsioonikanalites, kui ventilatsioonikanalite vabadele otstele on paigaldatud lõppelemendid. Mõõteväärtuste alusel arvutada väljatõmbe ja sissepuhke õhuvood q koos laiendmääramatusega ($k=2$).

Ülesanne Vent 3

Mõõta lõppelementidel staatilised rõhud Δp_{st} . Arvutada lõppelementide k -arvud seosest $q = k \cdot \sqrt{\Delta p_{st}}$, kasutades ülesandes Vent 2 saadud õhuvoo väärtusi q .

Hinnata k -arvu mõõtemääramatus usaldatavusega 95%.

Võrdluseks arvutada õhuvoog q , kui on kasutada lõppelemendi tootja poolt antud kataloogiandmed k -arvu kohta ja enda mõõdetud staatiliste rõhkude väärtused.



Foto 4. Plasttoru välismõõduga Ø160 mm, mille sisse õhutihedalt kinnitatakse spetsiaalne tiivikanemomeeter. Need kokkumonteeritult sobituvad õhutihedalt standardsesse ventilat-sioonikanalisse Ø160 mm (Fotol 5.)



Foto 5. Kanalisse paigutatud tiivikanemomeeter ja tema juurde kuuluv sagedusmõõtur, mille näit on suurtes piirides ligikaudu võrdeline tiivikut läbiva õhuvooga.

Ülesanne Vent 4

Mõõta 15 korda väljatõmbekanalite) VT3 (ja, osaleja soovi korral, VT4) õhu liikumise keskmine kiirus \bar{v}_i korduvustingimustes, kui kiiruste jaotus kanali ristlõikepinnas on ebaühtlane. Arvutada keskmiste kiiruste aritmeetiline keskmine ja mõõdetud keskmiste kiiruste hajusust iseloomustav eksperimentaalne standardhälve.

Keskmistest kiirustest arvatud aritmeetiline keskmine $v_k = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \dots + \bar{v}_{14} + \bar{v}_{15}}{15}$,

Eksperimentaalne standardhälve $s(\bar{v}_i) = \sqrt{\frac{(\bar{v}_1 - v_k)^2 + (\bar{v}_2 - v_k)^2 + \dots + (\bar{v}_{14} - v_k)^2 + (\bar{v}_{15} - v_k)^2}{15 - 1}}$

Ülesanded **Vent 5** ja **Vent 6** olid pühendatud ventilatsioonimüra mõõtmistele. Peamise juhendina eeldati ja soovitati võrdlusmõõtmistes osalejatele Soome Metallitööstuse Standardikeskuse standardit SFS 5517 „Ventilatsioon. Ventilatsioonisüsteemi vastuvõtumõõtmised. Müramõõtmised“. Nende ülesannete peamiseks eesmärgiks oli hinnata mõõtjate pädevust juhul, kui mõõtetulemus ei ole triviaalne: 1) mõõtetulemus peab iseloomustama ventilatsioonimüra taset tõenäosuslikult üle kogu ruumi, mis on üks töökoht; 2) ventilatsioonimüra taseme mõõtmisel taustmüra arvessevõtmine, kui tulemus saadakse kogumürataseme ja taustmüra mõõtetulemustest.



Foto 6. Keemialabori laes olevate konditsioneerimisseadmete tekitatud mürataseme mõõtmine põrandale märgitud punktide kohal 1,5 m kõrgusel (ülesanne Vent 5).

Ülesanne Vent 5.

Antud keemialaboris, mis moodustab ühe töökohta (vt ruumi plaani Lisa 6), tekitavad ventilatsioonimüra peamiselt ripplaes asuvad kaks konditsioneerimissüsteemi. Mõõta 1,5 m kõrgusel põrandast ruumi mitmes punktis müratasemed (piisav 12-s punktis, mis jaotuvad ühtlaselt ca kahemeetrise vahedega üle kogu ruumi (mõõdetega ca 8,2 x 6 m²) ja arvutada neist laborit kui töökohta iseloomustav keskmine müratase. Mõõtepunktide arvu ja asukohad võib valida ka mõõtja. Mõõtetulemused esitada koos laiendmääramatusega 95% usaldatavusega.

Ühtlasi esitada koondtabel, millest nähtuvad mõõtemääramatuse arvesse võetud komponendid.

Ülesanne Vent 6.

Määrata ventilatsiooniagregaadi **SV1** poolt tekitatav müratase kaudsel meetodil, kui on kasutada kogumürataseme ja taustmürataseme mõõteväärtused, milliste vahe kaudu saab väljendada ülesandes nõutud mürataset. Taustmüra tekitab ventilatsiooniagregaat **SV2**.

Mõõtepunkti asukohaks on tuulekoja keskpunkt, mis on 1,5 m kõrgusel põrandast ja asub põrandale märgitud risti kohal. Mõõta tuleb vähemalt 15 s vältel taustmüra keskmist taset dB(A), mida tekitab peamiselt ventilatsiooniagregaat **SV2**, kui agregaat **SV1** on välja lülitatud. Seejärel mõõta samasuguses ajavahemikus kogumürataseme keskmine väärtus, kui mõlemad agregaadid on sisse lülitatud. Mõõtmist korrata agregaadid **SV1** kolme erineva võimsusega töörežiimil. Tulemused esitada koos mõõtemääramatusega usaldatavusega 95%.

Ühtlasi esitada koondtabel, millest nähtuvad mõõtemääramatuse komponendid.



Foto 7. Ventilatsiooniagregaat SV1 tuulekojas ja statiivile kinnitatud mõõtemikrofon 1,5 m kõrgusel.



Foto 8. Statiivile kinnitatud mõõtemikrofon. Tagaplaanil on taustmüra tekitaja agregaat SV2

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 11 (34)

2. VÕRDLUSMÕÕTMISTES OSALENUD

	Asutus/ ettevõtte (21 nimetust)	Osaleja nimi (34 mõõdistajat)	Mikro- kliima	Ventilatsioonisüsteem		
				õhu- vood	k-arv	müra
L019	Tervisekaitseameti Tartu labor	Peeter Saarelaid	+	+	+	+
L150		Ilmar Orav	+	+	+	+
L021	OÜ Tervisekaitsekeskus F.O.P. Servis	Irina Melnikova Valentina Mamõkina	+	+	+	+
L032	OÜ GL Grover	Jüri Noorlind Ljubov Zagamula	+	+	+	+
L041	AMECON OÜ Tartu	Tauno Heinaste	+	+	+	+
L042	Terviseameti Kesklabori Keemia labor	Sander Sannik	+	-	-	-
L047	OÜ Töökeskonna Uuringud	Tarmo Ahven Enn Saretok	+	+	+	+
L076	TTÜ Ergonoomialabor	Ada Traumann	+	-	-	-
		Piia Tint	+	-	-	-
		Sigrit Kalle	+	-	-	+
L081	OÜ EKUK Virumaa filial	Anna Vergaskina	+	-	-	-
		Eduard Ennukson	+	-	-	-
L088	Qualitas Arstikeskus AS	Kai Martin	+	-	-	-
		Alar Seiler	+	-	-	-
L091	ÖkoSil AS Keskkonnalabor	Nadežda Mironova Ekaterina Šumilina	+	-	-	-
L113	OÜ Variax	Tiit Luukas	+	+	+	+
		Ahto Linholm	+	+	+	+
L133	Eesti Energia Kaevandused AS Raudtee Kesklabor	Žanna Zenkova	+	-	-	-
L151	TÜ Tehnoloogia Instituudi töökeskonnalabor	Siim Kinnas Margit Oja	+	+	+	+
L181	Andrei Zagamula FIE	Andrei Zagamula Ljubov Zagamula	+	+	+	+
L186	Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ	Leena Paap	+	-	-	-
		Marko Nurmsalu	+	-	-	-
L191	Ventilatsiooni Ekspert OÜ	Veiko Välling	-	+	+	+
L200	Ventilatsioonihoidlus OÜ	Tauno Meier	-	+	+	+
L220	OÜ Feliton	Eero Kikerpill	-	+	+	-
	Majatehnik OÜ	Elvis Uusmaa	-	+	+	-
	Termopilt OÜ	Toomas Rähmonen	-	+	-	-
	Termopilt Tartu OÜ	Tõnu Jõesaar	-	+	-	-

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRD LUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
Aruanne		Lehekülg 12 (34)

3. MIKROKLIIMA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE

Õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse referentsväärtused arvutatakse vastavalt valemile

$$X_{ref} = \frac{[X_1 + q(X_1)] + [X_2 + q(X_2)] + [X_3 + q(X_3)]}{3}, \quad (2)$$

milles X_1 , X_2 ja X_3 on õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse väärtused, mis on arvutatud rõngale kinnitatud kolme termohügroomeetri salvestatud näitude aritmeetiliste keskmistena ja $q(X_1)$, $q(X_2)$ ning $q(X_3)$ tähistavad kolme termohügroomeetri õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse parandeid.

Õhu liikumise kiiruse referentsväärtus v_{ref} avaldub referentsanemomeetri salvestatud näitude aritmeetilise keskmise v ja selle parandi $q(v)$ summana:

$$v_{ref} = v + q(v). \quad (3)$$

Õhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse referentsväärtuse liitstandardmääramatus on leitav valemist:

$$u_c = \sqrt{u_{hom}^2 + u_{stab}^2 + u_{kiirgus}^2 + u_{kal}^2 + u_{res}^2}, \quad (4)$$

milles

u_{hom} – mõõtemääramatuse komponent, mis võtab arvesse, mikrokliima parameetri ruumilist mittehomogeensust. Selle mõõtemääramatuse komponendi hindamisel on kasutatud kolme referentsmõõtevahendi (parandatud) näitude erinevust.

u_{stab} – mõõtemääramatuse komponent, mis võtab arvesse mikrokliima parameetri ajalist fluktuuerumist mõõtmise vältel. See mõõtemääramatuse komponent on arvutatud aritmeetilise keskmise standardhälbena üksikmõõtmistest x_i , kordusmõõtmiste arvuga n , vastavalt valemile:

$$u_{stab} = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}, \quad (5)$$

$u_{kiirgus}$ – mõõtemääramatuse komponent, mis võtab arvesse kiirguse mõju referentsmõõtevahenditele. See mõõtemääramatuse komponent on hinnatud kogemuslikult, arvestades kuuma elektriradiaatori kaugust mõõtekohast ja anduri võimet soojuskiirgust hästi peegeldada.

u_{kal} – mõõtemääramatuse komponent, mis võtab arvesse mõõtevahendi kalibreerimisel sellele omistatud määramatust. See mõõtemääramatuse komponent sisaldab ka mõõtevahendi paranditunnusjoone empiirilise lähendamise määramatust.

u_{res} – mõõtemääramatuse komponent, mis arvestab mõõtevahendi lahutusvõimet Δx_{lah} , ja on arvutatav valemist:

$$u_{res} = \frac{\Delta x_{lah}}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (6)$$

Õhu liikumise kiiruse referentsväärtuse liitstandardmääramatuse hindamiseks soovitatakse võrdlusmõõtmiste korraldaja valemist:

$$u_c = \sqrt{u_{hom}^2 + u_{stab}^2 + u_{kal}^2 + u_{res}^2 + u_{muu}^2}, \quad (7)$$

milles u_{muu} võtab arvesse muid õhu liikumise kiiruse referentsväärtust mõjutavaid määramatuse komponente, näiteks võrreldava anemomeetri mõju referentsanemomeetrile. See mõõtemääramatuse komponent on hinnatud kogemuslikult.

Mikrokliima parameetrite laiendmääramatud usaldusnivool $P=95\%$ avalduvad vastavate liitstandardmääramatuste korrutamisel katteteguriga $k=2$:

$$U = 2 \cdot u_c \quad (8)$$

Kolme mikrokliima parameetri – õhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja õhu liikumise kiiruse hinnangulised mõõtemääramatuse komponendid ja laiendmääramatud usaldusnivool $P=95\%$ on esitatud tabelis 1.

Tabel 1

Mõõtemääramatuse komponent	Õhu temperatuur	Õhu suhteline niiskus	Õhu liikumise kiirus
	°C	%rh	m/s
u_{hom}	0,14	0,5	0,05
u_{stab}	0,02	0,1	0,05
$u_{kiirgus}$	0,1	0,4	–
u_{kal}	0,1	0,7	0,04
u_{res}	0,003	0,03	0,003
u_{muu}	–	–	0,02
u_c	0,20	0,95	0,09
$U(k=2)$	0,4	1,9	0,18

4. ÕHUVOO JA VENTILATSIOONIMÜRA REFERENTSVÄÄRTUSTE ARVUTAMINE

4.1 ÕHUVOO JA k -ARVU MÕÕTMISTEST

Peamisteks füüsikalisteks suurusteks, mida kasutatakse ventilatsioonisüsteemi ja tema osade iseloomustamiseks, on väljatõmbe (VT) ja sissepuhke (SP) õhuhulgad ajaühikus ehk õhuvood, mida tavaliselt mõõdetakse 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 valemi (9) järgi ruumkiirus q , kui on teada kanali ristlõikepindala S :

$$q = \bar{v} \cdot S \quad (9)$$

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

$$q = k \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (10)$$

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 14 (34)

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

Võrdlusmõõtmiste vm.2011 ülesanne **Vent 3** näeb ette k -arvu katselist määramist ja selle võrdlemist tootja poolt antud kataloogiandmetega. Tinglikult k -arvu referentsväärtuse rollis on tootjakataloogist saadud väärtused. Kuna korduvalt kasutusel olnud lõppelemendid võivad olla deformeerunud või mittekvaliteetsed, siis ei saa olla kindel tegeliku k -arvu vastavuses kataloogiväärtustele. Ülesande **Vent 3** eesmärgiks oli eelkõige mõõtjate ja seadistajate julgustamine ja kogemuse andmine k -arvu katseliseks määramiseks, kui selleks tekib vajadus.

4.2 ÕHUVOO REFERENTSVÄÄRTUS JA SELLE MÄÄRAMATUS

Õhuvoo referentsväärtus saadakse jälgitavalt kalibreeritud mõõtevahenditega. TÜ Keemia Instituudi katsekoda kasutas spetsiaalsete tiivikanemomeetrite kalibreerimiseks turbiin-gaasiarvestit Elster TRZ G400 DN100, mis on kalibreeritud Eesti Gaasi Ehitus AS kalibreerimislaboris laiendmääramatusega 0,25% ($k=2$). Selle labori kalibreerimistulemuste jälgitavus ulatub Saksamaa (PTB) vastava riigietalonini. Arvestid kalibreeritakse õhuga atmosfäärirõhul.

Ühiku edastamine spetsiaalsetele tiivikanemomeetritele (nimetame neid referentsanemomeetriteks) toimub järgmiselt. Üks ja sama õhuvoog läbib gaasiarvestit ja referentsanemomeetri. Referentsanemomeetri puhul on näiduriistaks sagedusmõõtur. Mõõdetava õhuvoo väärtus q saadakse sageduse f korrutamisel võrdeteguriga m , mis on katseliselt määratud referentsanemomeetri kalibreerimisel gaasiarvestiga, ehk $q = m \cdot f$. Põhimõtteliselt võrdetegur sõltub sagedusest, st $m = m(f)$, kuid see sõltuvus on piisavalt nõrk, et katseliselt saab määrata m keskmised väärtused erinevate sagedusvahemike kohta lubatud määramatuse piire ületamata.

Võrdlusmõõtmisel kasutatavate referentsanemomeetrite puhul referentsväärtuse matemaatiline mudel on järgmine:

$$R = Q' \pm Q_L = m_{ij} \cdot f \cdot \frac{p_X \cdot T_0}{p_0 \cdot T_X} \pm Q_L(k_L; \Delta p; \Delta T), \quad (11)$$

kus R – õhuvoo referentsväärtus, Q' - õhuvoog, mis on taandatud õhutiheduse väärtusele 1,20 kg/m³ (viimane vastab õhurõhule $p_0 = 101,3$ kPa ja temperatuurile $T_0 = 293$ K), m_{ij} - tiivikanemomeetri kalibreerimisel katseliselt leitav keskmine võrdetegur sagedusvahemikus $f_i \dots f_j$, f - sagedusmõõtuuri näit, p_X - õhurõhk paskalites õhukanali sees, kus asub referentsanemomeeter, T_X – õhukanalis temperatuur, Q_L - õhuvoo referentsväärtuse komponent, mis võib tekkida avastamata lekete tõttu ventilatsioonisüsteemis (pragudest, teiplindi vahelt jms). VT ja SP poolel võivad lekkes olla nii pluss- kui miinusmärgiga, sõltuvalt 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 õhuvoog 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 $Q_1 = 380$ l/s. Parimal juhul oli tulemuseks, et referentsanemomeeter, mis oli paigutatud kanalis, pöörles aeglaselt pika perioodiga vaheldumisi ühes ja teises suunas. Sellest võis järeldada, et süsteem oli niivõrd hästi õhupidav, et õhumassi liikumise inertsist tingitud rõhu pulseerumine ja fluktuatsioonid muutusid nähtavaks. Kui

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 15 (34)

aluseks võtta referentsanemomeetriga mõõdetava õhuvoo amplituudväärtus $q_{max} = 0,5$ l/s ühte ja teistpidi pöörlemisel, siis tähendaks see lekke ruumkiiruse Q_L hinnangut halvima juhu meetodil $Q_L \leq 0,5$ l/s.

Valime selle suurusjärguliselt maksimaalse lekke hinnangu aluseks

$$\delta Q_{L,max} = \frac{Q_L}{Q_1} = \frac{0,5}{380} = 0,0013 \approx 0,13\%, \quad (12)$$

Võrdlusmõõtmiste ajal ventilatsioonisüsteemi osade pörutamine, 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 0,13 % õhuvoo Q' laiendmääramatusele. Nii võtame võimalikku leket arvesse ühe osana õhuvoo referentsväärtuse laiendmääramatuses valemi (13) kujul. Seetõttu lekke õhuvoo ei pea liitma või lahutama eraldi, nagu see on valemis (11):

$$U(R;95\%) = U(Q') + 0,0013Q' \quad (13)$$

Standardtingimustele taandatud õhuvoo Q' suhtelise standardmääramatuse $\delta u(Q')$ saab esitada valemis (11) esinevate sisendsuuruste suhteliste määramatuste kaudu järgmiselt:

$$\delta u(Q') = \frac{u(Q')}{Q'} = \sqrt{\left[\frac{u(m_{ij})}{m_{ij}}\right]^2 + \left[\frac{u(f)}{f}\right]^2 + \left[\frac{u(\Delta q)}{q}\right]^2 + \left[\frac{u(p_x)}{p_x}\right]^2 + \left[\frac{u(T_x)}{T_x}\right]^2} \quad (14)$$

Õhuvoo referentsväärtuse suhteline standardmääramatus $\delta u(R)$ on väljendatav valemiga (15):

$$\delta u(R) = \frac{u(R)}{R} = \sqrt{\delta u(Q')^2 + \delta u(Q_L)^2} \quad (15)$$

Kuna laiendmääramatus $U(Q') = k \cdot u(Q') = 2 \cdot Q' \cdot \delta u(Q')$, siis saab valemile (13) anda suhtelise laiendmääramatuse kuju (16), mis lihtsustab edaspidi E_n -väärtuste arvutamist:

$$\delta U(R;95\%) = \frac{U(R;95\%)}{R} = \frac{U(Q') + 0,0013Q'}{Q'} = 2 \cdot \delta u(Q') + 0,0013 \quad (16)$$

Nagu allpool toodud tabeli 2 ja 3 andmetest näha $\delta u(Q') = 0,004$. See tähendab, et ruumkiiruste referentsväärtuste suhteline laiendmääramatus ei ületa 1 % :

$$\delta U(R;95\%) = 2 \cdot 0,004 + 0,0013 = 0,0093 \approx 1\% \quad (17)$$

Ventilatsioonisüsteemide kanalites õhuvooegade mõõtmisel termoanemomeetri või Pitot' toruga on laiendmääramatus reeglina suurem kui 5 %. Siit võime teha järelduse, et referentsanemomeetriga saavutatav 1 %-line laiendmääramatus on täiesti piisav referentsväärtuse jaoks võrdlusmõõtmiste korraldamisel.

Tabel 2 Võrdeteguri m_{ij} suhteliste standardmääramatuste koondtabel

Sisendsuuruste suhtelised standardmääramatused ja väljundsuuruse laiendmääramatus	Määramatuse allikad	Suhteliste standardmääramatuste hinnangud	Dispersioonide hinnangud ja nende summa,
$\delta u(V_A)$	Turbiin-gaasiarvesti kalibreerimismääramatus	0,00125	$1,5625 \times 10^{-6}$
$\delta u(par_A)$	Turbiin-gaasiarvesti näidule parandite rakendamine (interpolatsioon)	0,00035	$0,1225 \times 10^{-6}$
$\delta u(muu)$	Õhu temperatuuri, rõhu, lekete, näitude keskmistamise jm faktorite mõju	0,00035	$0,1225 \times 10^{-6}$
$\delta u(f)$	Sagedusmõõduri põhiviga	$0,0001/\sqrt{3}$	$0,00334 \times 10^{-6}$
$\delta u(m_{ij})$	Võrdeteguri m_{ij} suhteline standardmääramatus	0,00135	$1,8108 \times 10^{-6}$

Tabel 3 Referentsväärtuste Q' suhteliste standardmääramatuste koondtabel

Sisendsuuruste suhtelised standardmääramatused ja väljundsuuruse laiendmääramatus	Määramatuse allikad	Suhteliste standardmääramatuste hinnangud	Dispersioonide hinnangud ja nende summa
$\delta u(m_{ij})$	Võrdeteguri m_{ij} suhteline standardmääramatus	0,00135	$1,8108 \times 10^{-6}$
$\delta u(f)$	Sagedusmõõduri põhiviga	$0,0001/\sqrt{3}$	$0,00334 \times 10^{-6}$
$\delta u(\Delta q)$	Õhuvoo kõikumised	$0,001/\sqrt{3}$	$0,3334 \times 10^{-6}$
$\delta u(p_x)$	Ventilatsioonisüsteemi sees õhurõhu võimalikud erinevused atmosfäärirõhust	$0,005/\sqrt{3}$	$8,3333 \times 10^{-6}$

$\delta u(T_x)$	Ventilatsioonisüsteemi läbiva õhu temperatuuri võimalikud kõrvalekalded temperatuurist 20 ⁰ C	$0,004/\sqrt{3}$	$5,3333 \times 10^{-6}$
$\delta u(Q')$	Suhteline liitstandardmääramatus	$0,003977 \approx$ $\approx 0,004$	$15,814 \times 10^{-6}$
$\delta U(Q')$	Suhteline laiendmääramatus k = 2	0,008	
$\delta U(Q_r)$	Halvima juhu meetodil hinnatud suhteline õhupidamatus (leke käsitatud aditiivsena)	0,0013	
$\delta U(R)$	Referentsväärtuse suhteline laiendmääramatus usaldatavusega 95%	$0,0093 =$ $0,93\%$	

4.3 VENTILATSIOONIMÜRA REFERENTSVÄÄRTUSED JA MÄÄRAMATUS

Ülesandes **Vent 5** referentsväärtused on määratud paljukordsete mõõtmiste tulemuste keskmistamise teel. Sõltuvalt konditsioneerimiseseadme režiimist on saadud kaks referentsväärtuse taset: 47,0 dB(A) ja 48,9 d(A). Mõlemal juhul on laiendmääramatus 0,7 dB usaldatavusega 95% .

Ülesande **Vent 6** puhul mõõdeti müratasemed ja määrati referentsväärtused enne osaleja saabumist võrdlusmõõtmistele või pärast osaleja lahkumist. Uurimine näitas, et ventilatsioonigregaadid SV1 (REKU 700) ja SV2 (REKU 400) säilitasid kontrollitud mõne tunni vältel mürarežiimi piisavalt neis temperatuurioludes, kus toimusid võrdlusmõõtmised. Referentsmõõtevahendiks oli Brüel & Kjær täppisanalüsaator B&K2260 (klass 0), mikrofoni B&K4189 ja akustiline kalibraator B&K4231. Need kalibreeriti OÜ Tehnokontrollikeskuses (jälgitavusahel Taani EA MLA laborini) vahetult enne võrdlusmõõtmiste algust 20.04.2011.

Kalibreeritud mõõtevahendile omistatud standardmääramatus on $u(kal) = 0,2$ dB(A). Võrdlusmõõtmiste puhul peab sellele lisama standardmääramatuse komponendi, mis võtab arvesse mürataseme aeglasi muutusi vähenemise või suurenemise suunas. Võimalikeks põhjusteks on süsteemi soojenemisest või jahtumisest tingitud hõõrdetegurite muutused ventilaatori laagrites, tuule suuna muutused välisõhu sisenemisavas jms. Vaatlused näitasid, et selle komponendi standardhälbe hinnanguks võib lugeda $u(t) = 0,1$ dB(A). Kui referentsväärtuste määramine ja võrdlusmõõtmises osaleja mõõtmised toimuksid täpselt ühel ja samal ajal, siis kahaneks see komponent nullini.

Kolmanda komponendi lisab ventilatsioonigregaatide müra fluktuatsiooniline iseloom. Selle A-tüüpi määramatuse hinnang on $u(flukt) = 0,1$ dB(A).

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 18 (34)

Nii kujuneb ül. **Vent 6** puhul ventilatsioonimüra referentsväärtuse määramatuseks hinnanguliselt

$$u_c(\text{müra}) = \sqrt{u(\text{kal})^2 + u(t)^2 + u(\text{flukt})^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,245 \approx 0,25 \text{ dB(A)} \quad (18)$$

Laiendmääramatus $k=2$ puhul on siis $U(95\%) = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ dB(A)}$.

SV1 referentsväärtuste katseline määramine toimus väljalülitatud taustmüra tingimustes (SV2 ajutiselt väljalülitatud). See tagas ülesande **Vent 6** puhul referentsväärtuste mõõtemääramatuse ühtlase taseme $0,5 \text{ dB(A)}$.

5. MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕÖTMISTE TULEMUSTEST

Mikrokliima võrdlusmõõtmise tulemused on koondatud viide tabelisse aruande lõpus (LISA 1). Sealsamas on esitatud ka tulemused viiel graafikul. Tulemusi võib lugeda rahuldavaks. Enamik mõõtetulemusi kattub vastavate referentsväärtustega. Kokku saadi kahekümne kahe võrdlusmõõtmises osalenu kohta 104 E_n -väärtust, millest 13 ei olnud rahuldavad, sest normeeritud E_n -väärtus ületas lubatud piiri. Tulemuste suhet $13/104 = 12,5 \%$ võibki pidada rahuldavaks. Seitsmekümne viiel juhul oli E_n väärtus väiksem kui $0,50$ ja kuueteistkümnel juhul jäi E_n väärtus $0,50$ ja $1,00$ vahele.

Õhu temperatuuri mõõtmisel ei lange osalejate (ID 5, 6 ja 22) tulemused kokku referentsväärtustega. Selle põhjuseks võib olla liiga väikseks hinnatud mõõtemääramatus. Kõrgusel $0,1 \text{ m}$ põrandapinnast temperatuuri mõõtes ei lange osalejate (ID 2 ja 14) tulemused kokku referentsväärtustega. Halb kokkulangevus referentsväärtusega võib olla põhjustatud sellest, et mõõtevahend ei olnud jõudnud veel ümbritseva õhuga termilist tasakaalu saavutada. Samade mõõtjate tulemused kõrgusel $1,1 \text{ m}$ langesid referentsväärtustega kokku, kuna mõõtevahend oli juba pikemat aega labori õhu käes seisnud.

Õhu liikumise kiiruse mõõtmisel on osalejad (ID 1-3) hinnanud mõõtemääramatust põhjendamatult madalaks. Väikestel õhu liikumise kiiruse väärtustel ei ole põhjendatud suhtelise laiendmääramatuse hinnanguks anda 5% .

Õhu suhtelise niiskuse mõõtmisel ei lange osalejate (ID 3 ja 18) tulemused kokku referentsväärtustega mõlemal kõrgusel mõõtes. See võib olla põhjustatud mõõtevahendite vigadest või parandite vales rakendamisest.

6. VENTILATSIOONISÜSTEEMI PARAMEETRITE VÕRDLUSMÕÖTMISTE TULEMUSTEST

6.1 ÜLDIST

Ventilatsioonisüsteemi parameetrite võrdlusmõõtmistes osales kokku 21 asutust/ettevõtet/laborit. Need on tähistatud tähtedega A, B, ...R. Esimese ülesande puhul võrdlusmõõtmises osaleja pidi mõõtma süsteemi kanalites õhu liikumise keskmised kiirused ja neist arvutama õhuvood, arvestades kanalitorude ristlõikepindalasid. Kuna süsteem sisaldas erineva pikkusega sirgeid torusid, ühenduselemente, käänukohti („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 parameetrite võrdlusmõõtmiste tulemuste kohta on koostatud koondtabelid, mis on paigutatud aruande lõppu (LISA 2, 3 ja 4). Nagu eespool öeldud, tulemuste hindamise aluseks on E_n -arv: **võrdlusmõõtmises osaleja tulemust hinnatakse rahuldavaks, kui $|E_n| \leq 1$ ja**

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLU MÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 19 (34)

mitterahuldavaks, kui $|E_n| > 1$. Mitterahuldavad tulemused tabelite lahtrites on esitatud punase kirjaga.

Koondtabelites on kasutatud järgmisi tähistusi:

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

Lisa 2 puhul

X	- võrdlusemõõtmises osaleja identifitseerimistähis
LAB X	- osaleja X mõõdetud õhuvoog, L/s
U(X)	- osaleja X mõõtetulemuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, L/s
REF	- referentsväärtus, L/s
U(REF)	- referentsväärtuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, L/s
En(X)	- E_n -arv osaleja X mõõtetulemuse hindamiseks. Tulemus rahuldab, kui $ E_n \leq 1$.

Lisa 3 puhul, k-arvu ühik on: $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,5}$

X	- võrdlusemõõtmises osaleja identifitseerimistähis
LAB X	- osaleja X mõõteväärtus, k-arvu ühikutes
U(X)	- osaleja X mõõtetulemuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, k-arvu ühikutes
REF	- referentsväärtus, k-arvu ühikutes
U(REF)	- referentsväärtuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, k-arvu ühikutes
En(X)	- E_n -arv osaleja X mõõtetulemuse hindamiseks. Tulemus rahuldab, kui $ E_n \leq 1$.

Lisa 4 puhul,

X	- võrdlusemõõtmises osaleja identifitseerimistähis
LAB X	- osaleja X mõõdetud müratase, dB(A)
U(X)	- osaleja X mõõtetulemuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, dB(A)
REF	- referentsväärtus, dB(A)
U(REF)	- referentsväärtuse laiendmääramatus usaldusnivool 95%, dB(A)
En(X)	- E_n -arv osaleja X mõõtetulemuse hindamiseks. Tulemus rahuldab, kui $ E_n \leq 1$.

6.2 ÕHUVOOGUDE MÕÕTETULEMUSTE ANALÜÜS LISA 2 ALUSEL

Mõõtemääramatuse hinnanguid kasutatakse mitte ainult mõõtetulemuste esitamiseks. Neid saab kasutada ka mõõteeksperimendi planeerimiseks (eelhindamiseks), mõõtmiste organiseerimise puhul mõõtemetodite võrdlemiseks ja täiustamiseks, mõõteeksperimendi nõrkade kohtade väljaselgitamiseks, tulemuste analüüsiks jms. Käesoleva aruande puhul kasutame mõõtemääramatuse ja selle komponente võrdlusemõõtmiste tulemuste analüüsiks ja soovitude jagamiseks osalenutele.

Põhimõtteliselt on teada peamised mõõtemääramatuse komponendid, mida peaksid arvestama kõik ventilatsioonisüsteemide mõõtjad ja seadistajad. Need on järgmised:

- mõõtevahendi lubatud veapiiridest tulenev määramatus – $u(\Delta^0)$ või kalibreerimise määramatus – u_{kal} , mis on arvatud kalibreerimistunnistusel näidatud laiendmääramatusest $U_{kal}(95\%)$. Enamikul juhtudel moodustab standardmääramatuse komponent

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 20 (34)

$u(\Delta^0) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} \approx 1,73\%$ kuni $u_{kal} = \frac{U_{kal}(95\%)}{2} \approx 2,5\%$ mõõteväärtusest. Tähistame seda mõõtevahendiga seotud suhtelist standardmääramatust $\delta u(MV)$.

- mõõtemetodist tulenev määramatus ehk meetodiline määramatuse komponent – u_{met} .
- mõõdiste aritmeetilise keskmise A-tüüpi määramatus – $u_A(\bar{x})$, kui on tehtud $N > 1$ mõõtmist korduvustingimustes. Märkus. Enamikul juhtudel ventilatsioonisüsteemide tavamõõtmistel $N=1$.
- inimfaktorist tingitud määramatus – u_{in} , mida kujundavad mõõtja koolitus ja treening, töövõtted, kogemused, tähelepanuvõime, aga ka väsimus, töötingimused objektil jm.
- määramatuse muud komponendid – $u(muu)$, mis suurendab liitstandardmääramatuse arvvaartust, kuid mitte üle 1%, mõnikord ka (halvima juhu meetodil) kuni 2,5 %.

Muu määramatuse hulka võib kanda mitmesuguseid väiksema kaaluga komponente, mille arvvaartus ei ole täpsemalt teoreetiliselt või katseliselt hinnatud, näit. mõõtevahendi ajakonstandist τ tulenev määramatus – $u(\tau)$ või on arvvaartusega hinnatud, kuid need kokku ei suurenda liitstandardmääramatuse arvvaartust olulisel määral. Sellisteks on, näiteks, keskkonnatingimuste määramatus – $u(p, T, \eta, \rho, \dots)$, lähteandmete ja arvutustulemuste ümardamise määramatus – u_{im} , mõõtevahendi lahutusvõime määramatus – u_{res} jms.

Ventilatsioonisüsteemis õhuvoo mõõtmisel tavamõõtevahenditega suhteline liitstandardmääramatus saadakse järgmiselt:

$$\delta u(q)_C = \sqrt{\delta u(MV)^2 + \delta u_{met}^2 + \delta u_{in}^2 + \delta u(muu)^2} \quad (19)$$

Siin kõige raskemini hinnatav määramatuse komponent on meetodist tulenev määramatus. Selles osas Eestis juhendatakse peamiselt standardist EVS-EN 12599.

Märkus. Kahjuks on selle standardi koostajad ignoreerinud rahvusvahelisi kokkuleppeid ja standardeid mõõtemääramatuse tähistamiseks kasutatavate tähtede osas, mis valmistab sageli raskusi standardi lugemisel ja sellest arusaamisel. Näiteks, standardis EVS-EN 12599 on joonisel G.7 ja mujal häiritud õhuvoolamise puhul kasutatud tähist $U\%$ vooluprofiili korrapäratuse (irregularity) tähistamiseks, samas mõõtemääramatust tähistatakse τ (loe: tau), kuigi vastavalt rahvusvahelistele kokkulepetele ja standarditele peaks laiendmääramatust tähistama suure tähega U .

Võrdlusmõõtmiste vm.2011 korraldajad on kasutanud suhtelise korrapäratuse ehk häirituse tähisena H , aga mõõtemääramatuse puhul rahvusvaheliselt kokkulepitud tähiseid: U – laiendmääramatus, u – standardmääramatus, δU ja δu – vastavalt suhteline laiendmääramatus ja suhteline standardmääramatus.

Standardis EVS-EN 12599 meetodilist määramatuse komponenti hinnatakse sõltuvalt kahest parameetrist:

- 1) ventilatsioonikanalis häirituskoha kaugus mõõtekohast;
- 2) mõõtepunktide arv n kanali ristlõikes.

Võrdlusmõõtmistes vm.2011 häiritus oli vahemikus $H = 10\% \dots 40\%$. Samal ajal enamikul juhtudel kasutati 5-punkti meetodit ($n = 5$) ümarate ristlõigete puhul, aga ühel juhul $n = 12$ (ristkülikulise kanali puhul). samal ajal vastavalt standardi EN 12599 tabelile G.7 nimetatud parameetrid annavad meetodilise suhtelise standardmääramatuse vahemikus $\delta u_{met} = 3\% \dots 15\%$.

Lõpuks on vaja veel hinnangut inimfaktorist tingitud määramatuse komponendile δu_{in} , mis on iga võrdlusmõõtmistes osaleja puhul individuaalne karakteristik. Ülesande **Vent 4** kohaselt pidid kõik osalejad mõõtma vähemalt ühes ja samas kanali ristlõikes korduvustingimustes 15 korda keskmist

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 21 (34)

kiirust, millest tuli arvutada eksperimentaalne standardhälve kujul:

$$s(\bar{v}_i) = \sqrt{\frac{(\bar{v}_1 - v_k)^2 + (\bar{v}_2 - v_k)^2 + \dots + (\bar{v}_{14} - v_k)^2 + (\bar{v}_{15} - v_k)^2}{15 - 1}},$$

kus $v_k = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \dots + \bar{v}_{14} + \bar{v}_{15}}{15}$. Kuna keskmine kiirus v_k ristlõikes on võrdeline õhuvooga q_k

samas ristlõikes, siis võib arvutada mõõtja individuaalse karakteristiku δu_{in} ühe või teise kaudu:

$$\delta u_{in} = \frac{s(\bar{v}_i)}{v_k} \cdot 100\% = \frac{s(q_i)}{q_k} \cdot 100\%$$

Tabelisse 4 on koondatud kõigi võrdlusmõõtmistes osalenute tulemused. Kuid need annavad vaid ligikaudse pildi, sest ainult üks katse iga osalejaga lubab anda vaid väga jämeda hinnangu komponendile δu_{in} .

Kõigile osalejatele oli antud esimene võimalus mõõtmised teha torus $\varnothing 200$ mm ja soovi korral teine mõõtmine torus $\varnothing 100$ mm. Mõõtjad võisid kasutada oma soovi kohaselt termoanemomeetrit või Pitot toruga mõõturit või mõlemaid (isikliku kogemuse saamise eesmärgil).

Tabel 4. Ülesande Vent 4 tulemused. Inimfaktorist sõltuv mõõtemääramatuse komponent δu_{in} , väljendatud protsentides õhuvoogu mõõteväärtusest

LAB	A	N	J	E	P	C	B	G	M	D	L	K	O	I	H	F
Anem. $\varnothing 200$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7		1,9	2,3	2,8	2,9	3,0	3,1	3,6	4,2	5,0	6,9
Pitot t. $\varnothing 200$			0,8			1,7			1,6							
Anem. $\varnothing 100$	1,0	1,4														2,6

Kasutades tabeli 4 andmeid ja eespool antud määramatuse teiste komponentide väärtuste võimalikke piire, saame orienteeruvalt hinnata piire, milles õhuvoogude mõõtemääramatused on põhjendatud. Neid andmeid saab, näiteks, kasutada Lisa 2 tabelites toodud tulemuste analüüsiks.

Esitame siinkohal kokkuvõetult kõik peamised suhtelise määramatuse komponendid ja nende võimalikud väärtused:

$$\delta u(MV) = 1,73 \% \dots 2,5 \%, \text{ keskmine } 2 \%;$$

$$\delta u_{met} = 3 \% \dots 15 \%, \text{ keskmine } 7 \%;$$

$$\delta u_{in} = 1 \% \dots 7 \%, \text{ keskmine } 3 \%;$$

$$\delta u(muu) = 1 \% \dots 2,5 \%, \text{ keskmine } 1,5 \%.$$

Märkus. Keskmised on hinnatud aruande koostaja kogemuste põhjal, mitte aritmeetiliste keskmistena.

Asetades need väärtused valemisse (19), saame anda hinnangud suhtelise liitstandardmääramatuse ja suhtelise laiendmääramatuse piiridele ning keskmisele. Need on koondatud tabelisse 5.

Tabel 5.

	Suhteline liitstandardmääramatus	Suhteline laiendmääramatus
Min	$\delta u(q)_C = \sqrt{1,73^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2} = \sqrt{14} = 3,74 \%$	$\delta U_{\min}(95\%) = 2 \cdot 3,74 \approx 7,5 \%$
Keskm	$\delta u(q)_C = \sqrt{2^2 + 7^2 + 3^2 + 1,5^2} = \sqrt{64,25} \approx 8 \%$	$\delta U_{\text{kesk}}(95\%) = 2 \cdot 8 \approx 16 \%$
Max	$\delta u(q)_C = \sqrt{2,5^2 + 15^2 + 7^2 + 2,5^2} = \sqrt{286,5} \approx 16,9 \%$	$\delta U_{\max}(95\%) = 2 \cdot 16,9 \approx 34 \%$

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 22 (34)

Järgnevat tabelites 6, 7, 8 ja 10, 11, 12 on esitatud võrdlusmõõtmistes osalejate poolt ülesande Vent 1 puhul mõõdetud õhuvood q ühikutes L/s (mõõteväärtused antud paksu kirjaga). Kõigis neis tabelites kolmandal real on märgitud osaleja mõõteväärtuse hälve referentsväärtuse suhtes $\delta(q)$,

mis on väljendatud protsentides:

$$\delta(q) = \frac{q - R}{R} \cdot 100\%,$$

kus R on referentsväärtus.

Tulemused on kantud tabelitesse suhteliste hälvete kasvu järjekorras. Kui kasutada kriteeriumina tabelis 5 antud keskmist suhtelist laiendmääramtust $\delta U_{kesk}(95\%) = 16\%$, siis rõhuv enamuse osalejate tulemusi on rahuldavad (tabelites näidatud kollases piirkonnas).

Erandina peab vaatlema tabelleid 6 ja 10. Mõõtmiskoht VT1 on ristkülikukujulise ristlõikega kanalis (ristlõike pindala 12 dm²), mille puhul standard EVS-EN 12599 soovib valida mõõtepunktide arvuks ristlõikes vähemalt $n = 12$. See asjaolu vähendab oluliselt meetodilist määramatuse komponenti. Standardi tabelis G.7 pakutakse $n = 12$ ja $H = 11$ puhul $\delta u_{met} \approx 3\%$. Sellel juhul saame

$\delta u(q)_c = \sqrt{2^2 + 3^2 + 3^2 + 1,5^2} = \sqrt{24,25} \approx 5\%$ ja $\delta U_{kesk}(95\%) = 2 \cdot 5 = 10\%$ (Tabel 6).

Teine erand puudutab mõõtmiskohta VT3 (Tabel 10), kus iga osaleja on teinud viie- (või enama) punkti meetodil 15 korda keskmise kiiruse määramist, mis vähendab meetodilise määramatuse komponenti $\sqrt{15}$ korda ehk

$\delta u_{met} = \frac{7\%}{\sqrt{15}} = 1,8\%$.

Siis $\delta u(q)_c = \sqrt{2^2 + 1,8^2 + 3^2 + 1,5^2} = \sqrt{18,5} \approx 4,3\%$ ja $\delta U_{kesk}(95\%) = 2 \cdot 4,3 \approx 9\%$.

Tulemuste analüüs

Tabel 6 Mõõtja poolt esitatud VT1 mõõteväärtused* ristlõikes 300x400 mm

LAB	K	F	A	H	L	E	C	B	D	M	J	I	N	G	P	O
L/s	258	264	264	266	266	268	269	269	272	273	274	282	283	286	310	325
$\delta(q)\%$	-1,3	1,3	1,9	2,0	2,3	3,5	3,5	4,3	5,8	5,8	5,8	8,8	8,8	9,7	19,5	25,6

Tabel 7 Mõõtja poolt esitatud VT2 mõõteväärtused* kanalis Ø250 mm

LAB	D	J	E	C	B	N	H	F	M	I	G	A	L	K	O	P
L/s	260	264	265	267	265	269	247	275	272	276	278	279	284	232	318	333
$\delta(q)\%$	1,2	1,3	2,3	2,8	3,1	3,4	-5,4	5,4	5,6	6,1	6,8	8,1	9,7	-11	23	29

Tabel 8 Mõõtja poolt esitatud SP1 mõõteväärtused* kanalis Ø250 mm

LAB	I	G	E	F	J	H	M	C	K	D	B	A	N	L	O	P
L/s	256	268	270	271	272	274	274	277	241	289	311	312	319	326	340	393
$\delta(q)\%$	-1,6	2,5	3,5	3,9	4,0	5,5	6,4	6,7	-7,5	12	20	20	22	25	30	51

*) mõõteväärtused on antud paksu kirjaga

Mõnevõrra üllatav on mõõteväärtuste kohati suur erinevus, teades et mõõtekohtades VT1, VT2 ja SP1 läbib kanaleid praktiliselt üks ja sama õhuvoog (vt Lisa 2 ja Tabelid 6-8). Näiteks, vaatleme osaleja A tulemusi: referentsväärtused on 259-258-259 L/s, osaleja mõõdetud väärtused 264-279-312 L/s. Nendele vastavalt mõõdetud õhuvoogude suhtelised hälbed referentsväärtuste suhtes on 1,9-8,1-20%. Liidame algebraliselt iga osaleja protsentarvud ja asetame need summad suurenemise järjekorras tabelisse 9. Näiteks osaleja A puhul summa on $1,9+8,1+20 = 30\%$, osaleja K puhul miinus 20%.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRD LUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 23 (34)

Table 9 VT1, VT2 ja SP1 mõõteväärtuste suhteliste hälvete algebraline summa protsentides

LAB	K	H	E	F	J	C	I	M	D	G	B	A	N	L	O	P
$\delta(q)\%$	-20	2,1	9,3	11	11	13	13	18	19	19	27	30	34	37	79	99

Sellise tabeli alusel saab teha järeldusi. Me ei tea küll tegelikke asjaolusid igal konkreetsel juhul, kuid teoreetiliselt on võimalikud järgmised hinnangud ja otsused:

1. Kui kõik mõõtetulemuste hälbed on positiivsed või negatiivsed, siis on võimalik, et:
 - 1.1 mõõtevahend vajab kalibreerimist;
 - 1.2 mõõtemeetod vajab korrigeerimist;
 - 1.3 mõõtetulemuse fikseerimise momendil mõõtevahendi sensori asendid kanali ristlõikes ei asu teooria järgi kavandatud punktides;
 - 1.4 kanalis voolamine on statsionaarne, kuid häirituse tõttu suunatud teisiti, võrreldes teoreetiliselt normaalse joonkiiruste jaotusega (taotluslikult selline olukord oli mõõtekohtades VT4 ja SP1 vt Lisa 2).
2. positiivseid ja negatiivseid hälbeid referentsväärtuse suhtes esineb enamvähem võrdselt, kuid:
 - 2.1 samal ajal hälvete absoluutväärtused ei ületa eelhinnanguga prognoositavaid mõõtemääramatusi, siis **tulemus on rahuldav** (normaalne, parim olukord, mis esines mõõtekohtades VT1, VT3, SP2, SP3, vt Lisa 2).
 - 2.2 samal ajal esinevad olulised mõõteväärtuse fluktuatsioonid, siis on voolamine kanalis häiritud ehk korrapäratu, mille tulemuseks on A-tüüpi mõõtemääramatuse suurenemine (selline olukord oli mõõtekohtas SP1, vt tabel 8).

Nii võiks jätkata detailset analüüsi iga osaleja tulemuste alusel, kuid see ei ole käesoleva aruande põhiline ülesanne. Peamine ja objektiivne hinnang antakse Lisa 2, 3 ja 4 tabelites E_n – arvudega. Ent ka võrdlemine teiste mõõtjate tulemustega annab kasulikku teavet igale mõõtjale, kas või enda arenguruumi kohta. Selge on see, et osalejate H, E, F, J, C, I, M, D, G tulemused on väga head, kui hindamise mõõduks võtta oodatav minimaalne laiendmääramatus $\delta U_{\min}(95\%) \approx 7,5\%$, mis on prognoositud Tabelis 5. Halvima juhu meetodil kolme $\delta U_{\min}(95\%)$ summa on 22,5 %. Rahuldava tulemuse saanud osalejad on Tabelis 9 kollasel taustal.

Kõigi osalejate mõõteväärtuste suhtelistes hälvetes on kindlasti juhuslikkusel suur osakaal, kuid neis (suhtelistes hälvetes) võib olla ka süstemaatiline komponent, mille analüüs võib aidata selgitada vajakajäämisi mõõtemeetodi ja mõõtja oskuste ja teadmiste osas. Juhusliku komponendi osakaal väheneb, kui keskmistada iga osaleja suhtelised hälbed. Juhuslik komponent läheneb nullile katsete arvu suurendamisel lõpmatuseni. Praktiliste järelduste tegemiseks piisaks umbes kolmekümnest katsest, ent vm.2011 raames see võimalus puudub.

Ka kuuekatseliste seeriatega on lootust mingeid järeldusi teha, kas või näidiseks tulevikus läbiviidavate analüüside jaoks. Selleks lisame tabelitele 6,7 ja 8 tabelid 10, 11 ja 12, milliste ülesehitused on sarnased eelmistele.

Iga osaleja poolt saadud tulemuste suhtelised hälbed, mis on antud kuues tabelis, liidame absoluutväärtustena (st arvestamata märki pluss ja miinus) ja jagame summa hälvete hulga 6. Nii saadud keskmised suhtelised hälbed on esitatud Tabelis 13 nende suurenemise järjekorras.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 24 (34)

Tabel 10 Mõõtja poolt esitatud VT3 mõõteväärtused* kanalis Ø200 mm

LAB	H	L	C	E	M	D	I	A	K	J	B	G	F	N	O	P
L/s	78	81	62	92	72	89	55	80	98	155	112	78	79	115	81	86
$\delta(q)\%$	-0,5	0,6	0,8	0,9	-1,6	-2,4	3,2	3,6	-4,1	4,2	4,7	-5,8	5,8	7,5	12	19

Table 11 Mõõtja poolt esitatud SP2 mõõteväärtused* kanalis Ø160 mm

LAB	D	E	C	B	A	J	H	K	N	L	F	I	G	M	P	O
L/s	60	60	63	103	76	71	70	63	75	70	63	88	66	57	61	64
$\delta(q)\%$	2,0	2,7	3,4	3,6	3,8	5,7	6,7	-7,6	8,0	8,5	9,1	9,6	11	-11	15	21

Tabel 12 Mõõtja poolt esitatud SP3 mõõteväärtused* kanalis Ø125 mm

LAB	C	J	N	B	G	D	F	L	I	H	K	A	E	M	O	P
L/s	36	45	43	92	41	35	35	35	56	35	40	48	40	40	38	38
$\delta(q)\%$	-0,5	-1,3	1,4	2,9	4,9	-5,4	-5,4	6,4	7,5	-7,9	-8,0	8,1	8,1	-9,5	15	15

*) mõõteväärtused on antud paksu kirjaga

Tabel 13 Mõõtjaid iseloomustavad keskmised suhtelised hälbed referentsväärtuste suhtes

LAB	C	E	J	H	D	F	I	B	K	M	G	A	N	L	O	P
$\delta(q)\%$	3,0	3,5	3,7	4,7	4,8	5,1	5,6	6,4	6,6	6,7	6,8	7,6	8,5	8,7	21	25

Järeldused, mida võime teha tabeli 13 alusel on järgmised:

- 1) antud võrdlusmõõtmiste puhul keskmiselt vähimate hälvetega referentsväärtuste suhtes on saavutanud osaleja C. Sellele järgnevad E, J, H jne;
- 2) keskmiste hälvete tase 3 % näitab head kooskõla referentsväärtustega, mis tõendab, et kasutatud mõõtevahendid on heas seisukorras ja kalibratsioon säilinud;
- 3) osaleja C oskab rakendada tema jaoks sobivat mõõtemetodit ja valdab eeskujulikult mõõtevahendi käsitlemist;
- 4) võiks arvata, et 3 % kuni 5% on kõigile osalejatele saavutatav keskmine suhteline hälve õhuvoo mõõtmisel, kui mõõtevahendit hoida korras (kord aastas kalibreerida, mida soovitab tootja), harjutada mõõtevahendi käsitlemist ja teadlikult valida mõõtepunktid ventilatsioonikanalis, tuginedes teooriale. Selleks on vajalikud füüsikalised põhiteadmised õhu voolamisest ümarates ja kandilistes torudes;
- 5) kõige paremini oskab iga võrdlusmõõtmistes osalenu ise oma tulemust analüüsida ja otsustada selle üle, milline konkreetne puudujääk või tegemata kodutöö on suurendanud tema keskmist suhtelist hälvet.

6.3 VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÕPPELEMENTIDE *k*-ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTEST LISA 3 ALUSEL

k-arvu puhul on referentsväärtusena kasutatud lõppelemendi tootja poolt pakutud *k*-arve või nende korrigeeritud väärtusi, mis võtavad arvesse konkreetse lõppelemendi seadistust.

k-arvu katselise määramise oskus ja kogemus on paljudel ventilatsioonimõõtjatel ja seadistajatel olemas ja see ei tekita raskusi. Probleeme võib olla *k*-arvu mõõtemääramatuse hindamisega.

Hindamise aluseks on matemaatiline mudel:

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 25 (34)

$$k = \frac{q}{\sqrt{p_1 - p_2}} = \frac{q}{\sqrt{\Delta p}}, \quad (20)$$

kus k on katseliselt määratav k -arv, q - ventilatsioonikanalis anemomeetriliselt (või Pitot toruga) mõõdetud õhuvoog, p_1 ja p_2 - staatilised rõhud ühel- ja teiselpool õhujaotuselementi vastavalt tootja poolt defineeritud asendites. Lihtsamate lõppelementide puhul, nagu, näiteks plafoonid, õhujaotuskarbid jms, üks mõõdetavatest rõhkudest on ventilatsioonisüsteemi ümbritseva õhu rõhk. Mõõtemääramatuse arvutamise seisukohalt on tegemist ikkagi diferentsiaalrõhuga, mida võime tähistada Δp .

LISA 3 tabelite veergudes on antud osaleja poolt kanalis mõõdetud õhuvoo väärtus q L/s, diferentsiaalrõhk Δp Pa, ja arvutatud väärtus $k = q/\sqrt{\Delta p}$. Võrdlusmõõtmistes osalejad on ka hinnanud enda poolt katseliselt määratud k -arvude laiendmääramatust, mis on toodud iga osaleja puhul vastaval real $U(X)$.

Osalejate poolt antud konkreetseid laiendmääramatuse on asjakohane võrrelda nende määramatustega, mida saame arvutada, lähtudes matemaatilise mudelist (20) ja õhuvoo mõõtemääramatuse hinnangutest, mis on toodud tabelis 5.

k -arvu määramatuse peamised komponendid on järgmised:

$\delta u(q)$ - ventilatsioonikanalis mõõdetud õhuvoo suhteline määramatus (vt tabel 5);

$\delta u(\Delta p)$ - diferentsiaalrõhu suhteline määramatus, kusjuures on teada ventilatsioonimõõtmisteks kasutatavate diferentsiaalrõhu mõõturite lubatud piirviga, tavaliselt $\pm (1\% \text{ näidust} + 1 \text{ kuni } 2 \text{ Pa})$;

δu_{met} - meetodiline suhteline määramatus. Viimane on seotud rõhuanduri vooliku ja selle otsiku paigaldamise piiratud täpsusega ja lõppelemendi reguleerimise määramatusega. Tavaliselt selle laiendmääramatus ei ületa 5% (usaldatavusega 95%). Eeldades normaaljaotust saame suhtelise standardmääramatuse $\delta u_{met} \approx 2,5\%$.

Nende komponentide summeerimise tulemusena saadakse k -arvu suhteline standardmääramatus:

$$\delta u(k) = \frac{u(k)}{k} = \sqrt{\left[\frac{u(q)}{q}\right]^2 + \left[\frac{u(\Delta p)}{2\Delta p}\right]^2} + \delta u_{met}^2 \quad (21)$$

Kasutades tabelis 5 antud arvvaatusi õhuvoo suhteliste määramatuste jaoks, saame arvutada määramatuse hinnangud k -arvu kohta:

$$\delta u(k)_{\min} = \sqrt{0,0374^2 + \left[\frac{0,01}{2\sqrt{3}}\right]^2} + 0,025^2 \approx 0,045 = 4,5\%$$

$$\delta u(k)_{\text{kesk}} = \sqrt{0,08^2 + \left[\frac{0,01}{2\sqrt{3}}\right]^2} + 0,025^2 \approx 0,084 = 8,4\%$$

$$\delta u(k)_{\max} = \sqrt{0,169^2 + \left[\frac{0,01}{2\sqrt{3}}\right]^2} + 0,025^2 \approx 0,17 = 17\%$$

Seega katseliselt määratud k -arvu laiendmääramatused, mis on hästi põhjendatud, võiksid olla hinnanguliselt vahemikus $\delta U = 2 \cdot \delta u(k) \approx 9\% \dots 34\%$. Rahuldavaks võiks lugeda laiendmääramatuse vahemikus 12% kuni 17%. 12%-st väiksemad määramatused on head ja väga head tulemused, kui silmas pidada, et 9%-st väiksemate määramatuste saavutamine tavamõõtevahenditega on küsitav. Kui mõõtekoht kanalis on valitud ühelt poolt häirituskohast ja teiselt poolt lõppelemendist vähemalt toru diameetri viiekordsel kaugusel, siis k -arvu laiendmääramatus peaks olema

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÖRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 26 (34)

minimaalne. Samas määramatus suureneb ebalineaarselt, kui mõõtekohta lõppelemendile lähemale viia, sest lõppelement toimib häirituskohana.

Vaadeldes Lisas 3 toodud tulemusi rõhuasetusega mõõtemääramatusele, on koostatud tabelid 14 - 17.

Neis tabelites on osalejad järjestatud suhtelise laiendmääramatuse suurenemise järjekorras. Punase kirjaga on esitatud need osalejad, kelle poolt katseliselt määratud k -arvud on referentsväärtuste suhtes osutunud mitterahuldavaks, st $|E_n| > 1$ (vt ka LISA 3).

Tabel 14 Mõõtja poolt katseliselt määratud k -arv plafoonile URH-125

Ref. *	LAB	H	M	D	E	J	A	G	N	I	L	B	C	K	F
2,17	k-arv	2,3	1,9	2,3	2,3	1,9	2,4	1,6	2,5	1,8	1,8	2,9	3,1	1,5	3,1
$\pm 0,1$	$\mathcal{U}, \%$	8,7	12	13	13	15	17	19	19	20	22	22	23	27	40
		Hea	Keskmised tulemused					Tulemused vajaksid põhjendusi							

*) k -arvu referentsväärtus tootjalt

Tabel 15 Mõõtja poolt katseliselt määratud k -arv plafoonile DVS-P125

Ref. **	LAB	F	I	J	D	E	M	C	G	K	H	A	B	N	L
4,6	k-arv	4,1	4,8	5	4,5	4,5	4,4	4,7	4,7	4,2	4,9	5	4,5	4,6	4,7
$\pm 0,2$	$\mathcal{U}, \%$	6,1	10	10	11	11	11	11	11	14	14	14	15	15	15
		Head tulemused							Keskmised tulemused						

**) k -arvu referentsväärtus plafooni antud eksemplari jaoks korrigeeritud

Tabel 16 Mõõtja poolt katseliselt määratud k -arv õhujaotuskarbile STH-125

Ref. *	LAB	I	H	C	J	B	D	E	M	A	N	K	L	F	G
2,8	k-arv	2,8	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	2,7	3,0	2,9	2,7	2,5	3,1	2,5	
$\pm 0,15$	$\mathcal{U}, \%$	8,7	9	10	10,6	11	11	11	12	14	15	16	16	?	
		Head tulemused							Keskmised tulemused						

*) k -arvu referentsväärtus tootjalt

Tabel 17 Mõõtja poolt katseliselt määratud k -arv õhujaotuskastile PER125-160

Ref. **	LAB	E	I	J	M	D	G	A	F	N	K	B	L	C	H	
10,6	k-arv	10,3	9,9	11,8	9,8	10,3	10,4	11	11	11	9,9	10,9	11,3	10,5	11,4	
$\pm 0,5$	$\mathcal{U}, \%$	7,8	9,1	10	12	12	12	14	15	15	16	16	18	20	20	
		Head tulemused				Keskmised tulemused							Vaj. põhjendusi			

**) k -arvu referentsväärtus antud eksemplari jaoks korrigeeritud

Tabelite alusel võime teha järelduse, et erinevatel lõppelementidel k -arvu katseline määramine on olnud erineva raskusastmega. Sellest annab tunnistust heade ja väga heade tulemuste erinev osakaal lõppelemendist sõltuvalt.

Kui mõõtemääramatus on hinnatud põhjendamatult madalaks, siis võib juhtuda, et $|E_n| > 1$, mis tähendab mitterahuldavat tulemust. Näitena võib tuua tulemusi tabelis 14 osaleja M ja tabelis 15 osaleja F puhul. Ent mitterahuldava tulemuse võib põhjustada ka k -arvu katselise määramise mõne sisendsuuruse ekslik mõõtetulemus, samas kui määramatus on hinnatud näiliselt küllaltki põhjendatult. Siia sobivad näitena osalejate G, B, C ja K mitterahuldavad tulemused (vt tabel 14). Viimasel juhul olid põhjuseks kanalise õhuvoo mõõtmist häirivad tingimused, kuna plafooniga URH-125 toru kogupikkus oli vaid ca 1000 mm. See ei võimalda valida mõõtekohta vähemalt viie diameetri kaugusel mõlemast toru otsast, nagu see on juhendites soovitatud, kuid praktikas mitte alati realiseeritav. Olgu lisatud, et antud juhul võrdlusmõõtmiste korraldamine taotleski raskemaid tingimusi k -arvu katseliseks määramiseks.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 27 (34)

6.4 VENTILATSIOONIMÜRA MÕÖTETULEMUSTE ANALÜÜS

Ventilatsioonimüra võrdlusmõõtmiste tulemuste koondtabelist (Lisas 4) võiks järeldada, et selles valdkonnas on kõik hästi, sest tulemuste E_n –arvud rahuldavad tingimust $|E_n| \leq 1$. Selline tulemus tekib seetõttu, et kõik osalenud on kasutanud jälgitavalt kalibreeritud mõõtevahendeid ja võrdlusmõõtmise vastavad ülesanded **Vent 5** ja **Vent 6** olid suhteliselt lihtsad kuni mõõtemääramatuse hindamiseni. Logaritmilise skaala puhul on mõõtemääramatuse arvutamine spetsiifiline, mida nähtavasti ükski võrdlusmõõtmistes osalenu ei ole arvestanud.

Lisa 4 koondtabeli andmetest on tehtud väljavõtte tabeli 18 kujul, milles tulemused on järjestatud mõõtemääramatuse suurenemise alusel.

Tabel 18 Mõõtja poolt esitatud keskmine müratase \bar{L} keemialaboris koos laiendmääramatusega

LAB	K	R	C	B	E	D	N	G	A	J	F	H	M
\bar{L} dB(A)	47,2	47,8	49,8	46,4	47,1	47,3	46,0	47,2	46,4	48,3	47,5	46,9	47,4
$U(95\%)$ dB(A)	0,4	0,80	1	1,1	1,5	1,5	2,28	2,3	2,4	2,4	2,5	2,72	3
$L_{\max} - L_{\min}$	4,2	3,6	3,1	4,5	3,3	3,2	4,2	3,4	4,1	4,1	3,3	4,4	3,6

Keemialaboris mürataseme referentsväärtused ($47 \pm 0,7$) dB(A) või ($48,9 \pm 0,7$) dB(A)

Märkus 1. Allpool kasutatakse edaspidi ühiku „dB(A)“ tähenduses sageli ka lühivarianti „dB“, sest käesolevas aruandes on tegemist ainult A-filtriiga tehtavatest mõõtmistest.

Märkus 2: Täpsuse huvides peab mainima, et logaritmiliste skaalade puhul ei ole füüsikalis-matemaatiliselt õige kasutada samasuguseid kattetegureid, mida kasutatakse lineaarsete skaalade puhul laiendmääramatuse esitamiseks. Ent kokkuleppeliselt kasutatakse ka dB-skaala puhul seni veel kattetegurit $k = 2$, sest praktilistes arvutustes tuleb sageli laiendmääramatuselt tagasi minna standardmääramatusele ja kokkuleppelise $k = 2$ puhul on see teisendamine lihtsam. Edaspidi, kui leitakse konsensus selles küsimuses, võiks mürataset väljendada kujul, näiteks 47,2(9) dB(A), mis tähendab, et mõõteväärtus on 47,2 dB(A) ja mõõtetulemuse standardmääramatus on $u_c = 0,9$ dB(A). Ent sellise erandi kehtestamine lõpptulemuse esitamiseks ei ole võrdlusmõõtmiste korraldajate ülesanne. Seni kehtib nõue töökesekkonna mõõtmiste puhul ja paljudes teistes valdkondades lõpptulemused esitada usaldatavusega 95%.

Peamisteks müraallikateks keemialaboris on kaks laes asuvat konditsioneerimisest (vt Foto 6 ja Lisa 6 - keemialabori ruumi plaan). Müratasemete suurimad erinevused $L_{\max} - L_{\min}$ ruumis on osalejate andmetel varieerunud 3,1 dB kuni 4,5 dB, mis annab 13 osaleja puhul keskmise erinevuse 3,74 dB. Üks võimalus iseloomustada mürataseme hajusust on kasutada selleks standardhälvet, mis moodustab mõõtemääramatuse ühe komponendi. Vähese mõõtepunktide arvu tõttu (12 punkti) võib eeldada tõenäosuse ühtlast tihedusjaotust. Arvutades jämeda hinnangu kohaselt, saame järgmised standardmääramatused minimaalse, keskmise ja maksimaalse erinevuse puhul:

$$u_A(\min) = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2\sqrt{3}} = \frac{3,1}{2\sqrt{3}} \approx 0,9 \text{ dB} \qquad u_A(\text{kesk}) = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2\sqrt{3}} = \frac{3,74}{2\sqrt{3}} \approx 1,1 \text{ dB}$$

$$u_A(\max) = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2\sqrt{3}} = \frac{4,5}{2\sqrt{3}} \approx 1,3 \text{ dB}$$

Kalibreeritud mõõtevahendile omistatud standardmääramatus on tavaliselt $u(kal) = 0,2$ dB(A). Sellele peaks lisama standardmääramatuse komponendi $u(mu) = 0,1$ dB(A), mis võtab arvesse läheduses oleva mõõtja poolt müra sumbutavat või tekitavat mõju, kalibreerimisparandi sisestamise perioodi, elektromagnetilisi häireid jm.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRD LUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 28 (34)

Nii kujuneb ventilatsioonimüra liitstandardmääramatuseks:

$$u_C(\text{min}) = \sqrt{u_A^2 + u(\text{kal})^2 + u(\text{muu})^2} = \sqrt{0,9^2 + 0,2^2 + 0,1^2} \approx 0,93 \text{ dB(A)} \quad \text{Laiendmääramatus } k=2$$

puhul on siis $U(\text{min}) = 2 \cdot 0,93 = 1,86 \approx 1,9 \text{ dB(A)}$.

$$u_C(\text{kesk}) = \sqrt{u_A^2 + u(\text{kal})^2 + u(\text{muu})^2} = \sqrt{1,1^2 + 0,2^2 + 0,1^2} \approx 1,12 \text{ dB(A)}$$

$$\text{Laiendmääramatus } U(\text{kesk}) = 2 \cdot 1,12 = 2,24 \approx 2,2 \text{ dB(A)}$$

$$u_C(\text{max}) = \sqrt{u_A^2 + u(\text{kal})^2 + u(\text{muu})^2} = \sqrt{1,3^2 + 0,2^2 + 0,1^2} \approx 1,32 \text{ dB(A)} \quad \text{Laiendmääramatus } k=2$$

puhul on siis $U(\text{max}) = (1,73...2) \cdot 1,32 = 2,3...2,6 \text{ dB(A)}$.

Selline laiendmääramatus iseloomustab antud keemialaborit kui ühte töökohta, kus võib tööl olla üks või enam inimest, kes päeva jooksul täidavad tööülesandeid samas ruumis, muutes korduvalt asukohta (tõenäosuslikult saab seda kirjeldada ühtlase jaotusega). Näiteks osaleja F andmetel ventilatsioonimüra tase iseloomustab tegelikult vahemikku 45...50 dB(A), kusjuures info seisukohalt keskmine tase 47,5 dB(A) ei ole üldse olulisem, võrreldes mistahes muu väärtusega vahemikus 45...50 dB(A), mis on hinnatud usaldatavusega 95%. Sinise taustaga tabelis 18 märgitud tulemused koos mõõtemääramatusega sobivad hästi labori kui töökoha iseloomustamiseks statistiliste hinnangute puhul.

Kollasel taustal hinnangud (absoluutväärtuse poolest) võiksid olla mürataseme keskmise väärtuse \bar{L} iseloomustamiseks (aga sama ei sobi antud labori ventilatsioonimüra jaotuse iseloomustamiseks).

\bar{L} iseloomustamiseks A-tüüpi standardmääramatus sõltub mõõtepunktide arvust N , mis antud juhul on $N = 12$:

$$u_A(\bar{L}) = \frac{u_A(\text{min})}{\sqrt{N}} \approx 0,29 \cdot 0,9 = 0,261 \text{ dB}$$

$$u'_C(\text{min}) = \sqrt{u_A(\bar{L})^2 + u(\text{kal})^2 + u(\text{muu})^2} = \sqrt{0,261^2 + 0,2^2 + 0,1^2} \approx 0,34 \text{ dB ja}$$

$$U'(\text{min}) = 2 \cdot 0,34 = 0,68 \approx 0,7 \text{ dB}$$

$$u'_C(\text{max}) = \sqrt{u_A(\bar{L})^2 + u(\text{kal})^2 + u(\text{muu})^2} = \sqrt{0,383^2 + 0,2^2 + 0,1^2} \approx 0,44 \text{ dB ja}$$

$$U'(\text{max}) = 2 \cdot 0,44 = 0,88 \approx 0,9 \text{ dB}$$

Pöördume tagasi tabeli 18 juurde. Näiteks, osaleja R tulemus ($47,8 \pm 0,8$) dB(A) väljendab seda, et müra keskmine väärtus usaldatavusega 95% on vahemikus 47,0...48,6 dB(A), kuid oluline info töökohal müra iseloomustamiseks võib kaotsi minna, kui see ei sisalda ligilähedaseltki teavet mõõteväärtuste diapasooni kohta (vt andmed Lisas 4, osaleja R: 46,3...49,9 dB(A)).

Sellega ei taha võrdlusmõõtmiste korraldajad väita, et kollasega märgitud mõõtemääramatuste osas (tabel 18) midagi valesti on. See on isegi hea, et need näited on olemas. See annab võimaluse juhtida osalejate tähelepanu esitusviiside erinevustele, mida saab kasutada statistiliste andmete puhul olulise osa esiletõstmiseks.

Ülesande **Vent 6** puhul on peamiseks probleemiks, kuidas arvutada olulise taustmüra puhul müranivood (kogumüra ja taustmüra vahet) ja selle mõõtemääramatust. Lisas 4 toodud koondtabelist on tehtud väljavõtted tabelite 19, 20 ja 21 kujul, kus tulemused on järjestatud mõõtemääramatuse suurenemise alusel. Kuna paljude osalejate poolt hinnatud mõõtemääramatused on esitatud kolme erineva režiimi puhul ühesuguse väärtusega, siis vajab see detailsemat analüüsi ja tähelepanu.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÕTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-------------------------------------	--	--

Aruanne

Lehekülg 29 (34)

Kogumüra ja taustmüra vahe arvutatakse valemi (22) järgi:

$$L_X = 10 \log \left(10^{\frac{L_K}{10}} - 10^{\frac{L_T}{10}} \right) \quad (22)$$

kus tähistused on: L_X - objekti (antud juhul SV1) poolt tekitatava müra tase, dB

L_K - kogumüratase, dB

L_T - taustmüratase, dB

Liitsandardmääramatus on avaldatav valemi (23) kujul:

$$u(L_X) = \sqrt{\left[\frac{10^{\frac{L_K}{10}}}{10^{\frac{L_X}{10}}} \cdot u(L_K) \right]^2 + \left[\frac{10^{\frac{L_T}{10}}}{10^{\frac{L_X}{10}}} \cdot u(L_T) \right]^2} \quad (23)$$

ja laiendmääramatus valemi (24) kujul: $U(95\%) = 2 \cdot u(L_X)$ (24)

Järgnevates tabelites kasutatud tähistused on järgmised:

p.o.= valemite (23) ja (24) järgi arvutatud määramatused	üle hinnatud	hea hinnang	alla hinnatud
--	--------------	-------------	---------------

Tabel 19 Mõõtja poolt antud müratase vent-agregaadi SV1 kohta I režiimi puhul

LAB	R	M	B	K	D	E	H	A	N	J	
Müratase dB(A)	50,2	44,6	48,9	49,1	44,7	44,7	45,4	48,8	49,1	45,4	
U(L _X ;95%) dB(A)	On	0,46	0,6	1,2	1,34	2	2	2,12	2,2	3,1	-
	p.o.	0,7	3,1	1,3	2,2	7	7	5,1	1,3	3,2	4,8

Tabel 20 Mõõtja poolt antud müratase vent-agregaadi SV1 kohta II režiimi puhul

LAB	R	M	B	K	E	D	H	A	F	N	G	C	J	
Müratase dB(A)	52,0	50,7	50,2	50,2	50,2	50,2	49,8	50,4	49,8	51	48,9	51,3	50	
U(95%) dB(A)	On	0,48	0,6	1,2	1,34	2	2	2,12	2,2	2,6	3,1	3,1	-	-
	p.o.	0,7	1,2	1,1	2,0	2,1	2,1	2,4	1,1	2,7	2,8	4,1	2,8	2,3

Tabel 21 Mõõtja poolt antud müratase vent-agregaadi SV1 kohta III režiimi puhul

LAB	R	M	B	K	D	E	H	A	F	N	G	C	J	
Müratase dB(A)	54,9	55,5	54,3	53,4	55	55	55,5	53,9	55,2	55	52,9	54,9	55,8	
U(95%) dB(A)	On	0,47	0,6	1,2	1,34	2	2	2,12	2,2	2,6	3,1	3,15	-	-
	p.o.	0,5	0,8	1	1,63	1,3	1,3	1,4	1	1,7	2,7	2,8	1,8	1,3

Valemist (23) järeldub, et arvutatud mõõtemääramatus peab järk-järgult vähenema, kui kogumüra tase suureneb vastavalt võimsuse suurenemisele üleminekul režiimilt I režiimidele II ja III, aga samal ajal taustmüra tase on praktiliselt muutumatu. Tabelites (19), (20) ja (21) esitatud andmed aga kõnelevad sellest, et need osalejad, kellel on kolmel režiimil hinnatud mõõtemääramatus muutumatu, ei ole ülesannet **Vent 6** õigesti lahendanud.

TARTU ÜLIKOOLI KATSEKODA	TÖÖKESKKONNA-ALASED VÕRDLUSMÕÖTMISED 2011	Koostas: O. Saks Kinnitas: K. Herodes Kuupäev 30.12.2011
-----------------------------	---	--

Aruanne

Lehekülg 30 (34)

6.5 KOKKUVÕTE VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUSMÕÖTMISTEST

1. Võrdlusmõõtmised tõid välja peamise puudusena mõõdistajate liiga optimistlikke hinnanguid mõõtemääramatuse osas. Kui mõõtemääramatus oleks olnud hinnatud põhjendatult realistlikult, siis tulemused referentsväärtuste suhtes oleksid paremad. Puudused ilmsid **peamiselt teadmistes ja praktilistes oskustes hinnata mõõtemääramatust.**
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 meetodikaid näinud), kuid väärrib tähelepanu juhtimist.
3. Ventilatsioonisüsteemide puhul peetakse õhuvoo mõõtemääramatust kuni 20 % mõõdetud väärtusest lubatavaks. See nõue võib tunduda kergesti täidetav. Ent 2008. ja 2011. aasta võrdlusmõõtmiste tulemused näitavad hoopis vastupidist. Sellepärast on ka igapäevatoös igal objektil vajalik kasutada kõiki olemasolevaid võimalusi mõõtemääramatuse realistlikuks hindamiseks ja hoolikalt valida mõõtekohti, kus häiritus on minimaalne ja mõõtemääramatus on parimal viisil hinnatav. **Võrdlusmõõtmiste korraldajad peavad ainuõigeks mõõtemääramatuse hindamist objektil viibimise ajal kohe pärast mõõteväärtuse fikseerimist.**
4. Murettekitav on asjaolu, et õhuvoogude mõõtmisel termoanemomeetriga või mistahes muu selleks sobiva sensoriga rõhuval enamusel juhtudest on vm.2011 osalenud saanud õhuvoo tulemused referentsväärtuste suhtes ühesuunaliste hälvetega, enamasti positiivsed (vt Lisa 2). Kui mõõteprotseduuri tövõtted oleksid ideaalsed, siis peaks positiivseid ja negatiivseid hälbeid olema võrdselt. Ühemärgiliste hälvete esinemist võib põhjustada sensori vale asend lugemi fikseerimise hetkel. See väärriks eraldi uurimist iga osaleja puhul ja vajadusel mõõtevahendi käsitlemise treenimist. Referentsväärtust teadmata seda puudust ei olegi võimalik kõrvaldada. Siit järeldus, et **on vajadus referentslabori järele, kus oleksid ventilatsioonimõõtmistele treenimise võimalused.**
5. Plafoonide ja teiste lõppelementidega varustatud seadmete puhul õhuhulkade mõõtmist on vaja treenida ja kontrollida igal ventilatsioonisüsteemide mõõtjal. Selleks on võimalik kasutada töökohal realiseeritavaid mõõtmisstrateegiaid, näiteks erinevate meetoditega saadud õhuvoogude võrdlemist E_n -arvu alusel (valemi (1) järgi). Üksnes lõppelementide tootja poolt antud k -arvud ei taga mõõtetulemuste usaldusväärsust, mida kinnitasid ka võrdlusmõõtmised 2008. ja 2011. aastal. **Kui mõõtja saab oma töökohal või mujal tehtud katsetega kinnitust, et antud k -arv kehtib ka tema poolt kasutatavate tövõtete ja meetodi puhul, siis võib mõõtemetodit lugeda usaldusväärselt valideerituks.** Selle kinnituseks peaksid olema dokumenteeritud mõõtetulemused E_n -väärtustega.
6. Ventilatsioonimüra mõõtmiste puhul peamised puudused esinevad mõõtemääramatuse hindamise osas. **Seda puudust aitaks kõrvaldada või vähendada ventilatsioonimõõtmiste vastav koolitus.**

* * *

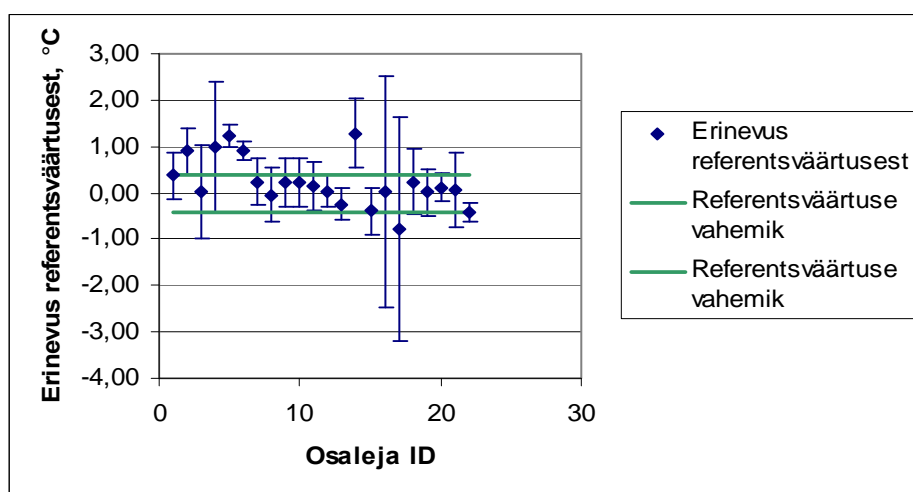
Tartu Ülikooli katsekoda tänab EG Ehitus AS kalibreerimislabori juhatajat hr. Hainar Kalevit võimaluse eest kasutada täppismõõtevahendit, millela ei oleks saanud korraldada õhuvoo võrdlusmõõtmisi referentsväärtuste alusel.

LISA 1

MIKROKLIIMA VÕRDLUSMÕÖTMISTE TULEMUSED TABELITE JA
JOONISTENA

Tabel L1 Õhu temperatuuri mõõtmise tulemused kõrgusel 0,1 m põrandast

ID	T _{ref} °C	U(T _{ref}) °C	T _x °C	U(T _x) °C	ΔT °C	E _n
1	20,61	0,4	21,0	0,5	0,37	0,58
2	20,61	0,4	21,5	0,5	0,89	1,39
3	21,58	0,4	21,6	1,0	0,02	0,02
4	22,61	0,4	23,6	1,4	0,99	0,68
5	22,61	0,4	23,84	0,23	1,23	2,67
6	22,40	0,4	23,3	0,2	0,90	2,01
7	21,77	0,4	22,0	0,5	0,23	0,36
8	23,44	0,4	23,4	0,6	-0,04	-0,06
9	22,27	0,4	22,49	0,53	0,22	0,33
10	22,30	0,4	22,53	0,53	0,23	0,35
11	22,27	0,4	22,41	0,53	0,14	0,21
12	22,56	0,4	22,60	0,35	0,04	0,08
13	22,54	0,4	22,30	0,35	-0,24	-0,45
14	23,11	0,4	24,40	0,74	1,29	1,53
15	22,79	0,4	22,4	0,5	-0,39	-0,61
16	22,58	0,4	22,6	2,5	0,02	0,01
17	22,58	0,4	21,8	2,4	-0,78	-0,32
18	22,47	0,4	22,7	0,7	0,23	0,29
19	22,49	0,4	22,5	0,5	0,01	0,02
20	22,29	0,4	22,4	0,3	0,11	0,22
21	20,04	0,4	20,10	0,82	0,06	0,07
22	20,23	0,4	19,80	0,21	-0,43	-0,95

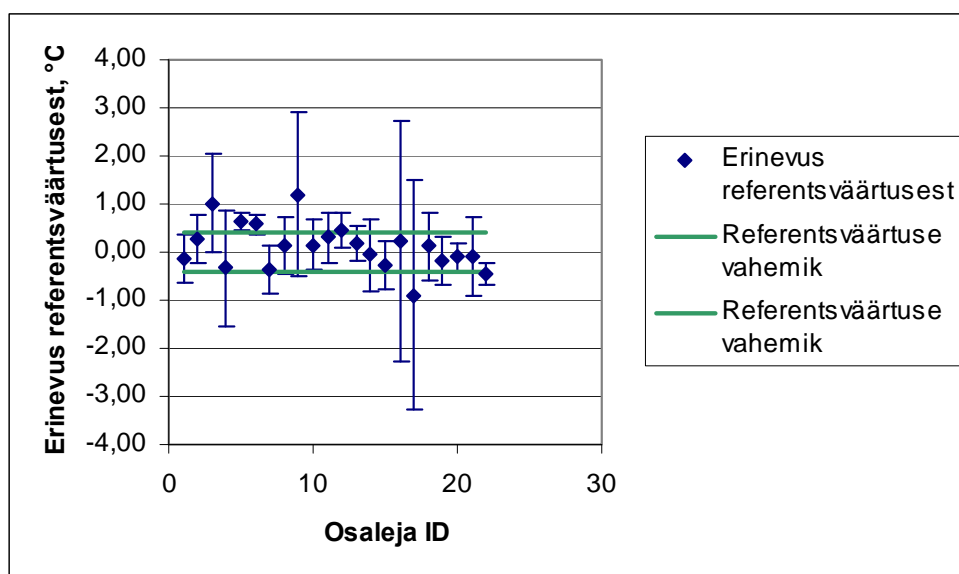


Joonis L1 Õhu temperatuuri mõõtmise tulemused kõrgusel 0,1 m põrandast

LISA 1 (JÄRG)

Tabel L2 Õhu temperatuuri mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

ID	T_{ref}	$U(T_{ref})$	T_x	$U(T_x)$	ΔT	E_n
	°C	°C	°C	°C	°C	
1	21,63	0,4	21,5	0,5	-0,13	-0,20
2	21,63	0,4	21,9	0,5	0,27	0,42
3	22,28	0,4	23,3	1,0	1,02	0,94
4	23,33	0,4	23,0	1,2	-0,33	-0,26
5	23,33	0,4	24,0	0,2	0,64	1,43
6	23,13	0,4	23,7	0,2	0,57	1,27
7	23,48	0,4	23,1	0,5	-0,38	-0,59
8	24,16	0,4	24,3	0,6	0,14	0,19
9	23,85	0,4	25,0	1,7	1,19	0,68
10	23,73	0,4	23,88	0,53	0,15	0,23
11	23,69	0,4	24,00	0,53	0,31	0,47
12	24,14	0,4	24,60	0,35	0,46	0,87
13	24,01	0,4	24,20	0,35	0,19	0,36
14	24,26	0,4	24,20	0,74	-0,06	-0,07
15	23,56	0,4	23,3	0,5	-0,26	-0,41
16	24,09	0,4	24,3	2,5	0,21	0,08
17	24,09	0,4	23,2	2,4	-0,89	-0,37
18	23,18	0,4	23,3	0,7	0,12	0,15
19	24,09	0,4	23,9	0,5	-0,19	-0,30
20	22,91	0,4	22,8	0,3	-0,11	-0,22
21	21,07	0,4	21,00	0,82	-0,07	-0,08
22	21,37	0,4	20,90	0,23	-0,47	-1,02

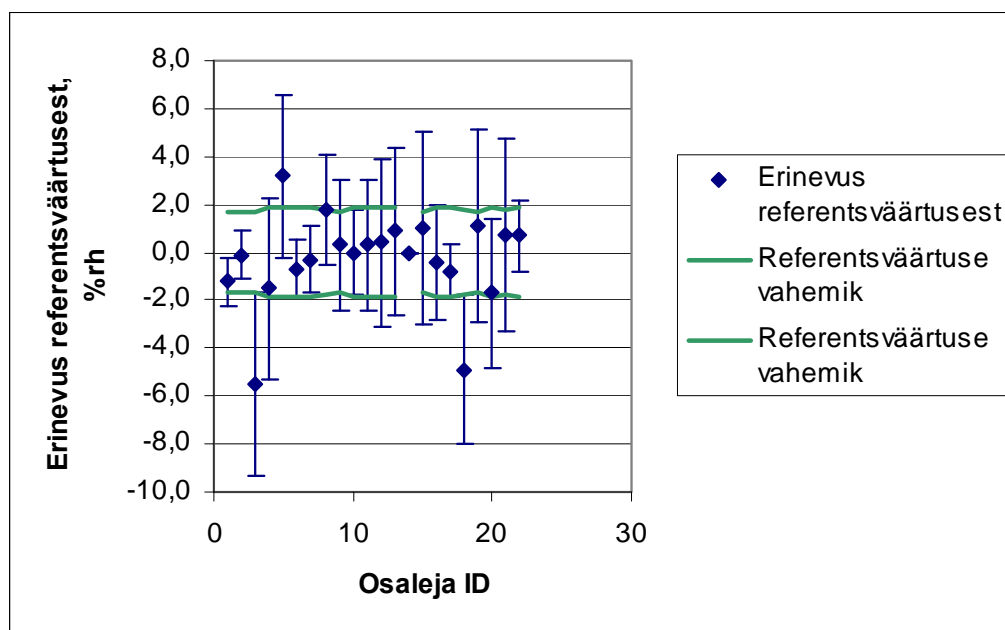


Joonis L2 Õhu temperatuuri mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

LISA 1 (JÄRG)

Tabel L3 Õhu suhtelise niiskuse mõõtmise tulemused kõrgusel 0,1 m põrandast

ID	h_{ref}	$U(h_{ref})$	h_x	$U(h_x)$	Δh	E_n
	%rh	%rh	%rh	%rh	%rh	
1	30,1	1,7	28,9	1,0	-1,2	-0,61
2	30,1	1,7	30,0	1,0	-0,1	-0,05
3	29,6	1,7	24,1	3,8	-5,5	-1,32
4	25,5	1,9	24,0	3,8	-1,5	-0,35
5	25,5	1,9	28,7	3,4	3,2	0,82
6	29,4	1,9	28,7	1,2	-0,7	-0,31
7	30,4	1,9	30,1	1,4	-0,3	-0,13
8	27,5	1,8	29,3	2,3	1,8	0,62
9	30,6	1,7	30,9	2,7	0,3	0,09
10	30,2	1,9	30,2	1,8	0,0	0,00
11	30,5	1,9	30,8	2,7	0,3	0,09
12	26,8	1,9	27,2	3,5	0,4	0,10
13	26,4	1,9	27,3	3,5	0,9	0,23
14			-	-	-	-
15	25,0	1,7	26	4	1,0	0,23
16	28,5	1,9	28,1	2,4	-0,4	-0,13
17	28,5	1,9	27,7	1,1	-0,8	-0,36
18	29,0	1,8	24,1	3,1	-4,9	-1,37
19	26,9	1,7	28	4	1,1	0,25
20	28,9	1,9	27,2	3,1	-1,7	-0,47
21	42,9	1,8	43,6	4,0	0,7	0,16
22	43,2	1,9	43,9	1,5	0,7	0,29

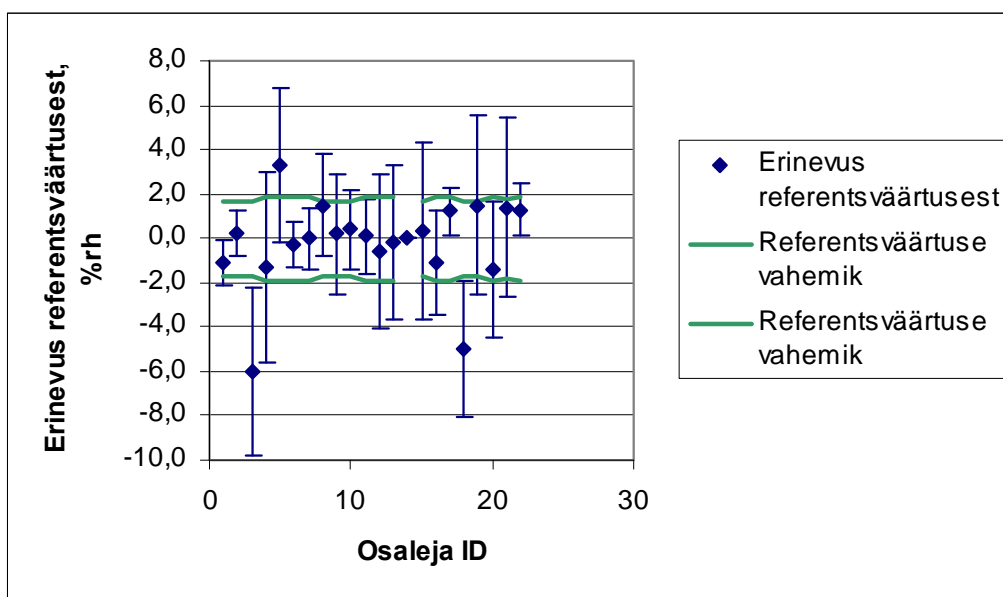


Joonis L3 Õhu suhtelise niiskuse mõõtmise tulemused kõrgusel 0,1 m põrandast

LISA 1 (JÄRG)

Tabel L4 Õhu suhtelise niiskuse mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

ID	h_{ref}	$U(h_{ref})$	h_x	$U(h_x)$	Δh	E_n
	%rh	%rh	%rh	%rh	%rh	
1	29,2	1,7	28,1	1,0	-1,1	-0,56
2	29,2	1,7	29,4	1,0	0,2	0,10
3	29,9	1,7	23,9	3,8	-6,0	-1,44
4	25,3	1,9	24,0	4,3	-1,3	-0,28
5	25,3	1,9	28,6	3,5	3,3	0,83
6	29,4	1,9	29,1	1,0	-0,3	-0,14
7	30,8	1,9	30,8	1,4	0,0	0,00
8	29,2	1,7	30,7	2,3	1,5	0,52
9	31,0	1,7	31,2	2,7	0,2	0,06
10	30,7	1,7	31,1	1,8	0,4	0,16
11	30,7	1,9	30,8	1,7	0,1	0,04
12	26,9	1,9	26,3	3,5	-0,6	-0,15
13	26,2	1,9	26,0	3,5	-0,2	-0,05
14			-	-	-	-
15	24,7	1,7	25	4	0,3	0,07
16	29,3	1,9	28,2	2,4	-1,1	-0,36
17	29,3	1,9	30,5	1,1	1,2	0,55
18	28,9	1,7	23,9	3,1	-5,0	-1,41
19	27,5	1,7	29	4	1,5	0,35
20	29,0	1,9	27,6	3,1	-1,4	-0,39
21	42,9	1,8	44,3	4,0	1,4	0,32
22	41,0	1,9	42,3	1,2	1,3	0,58

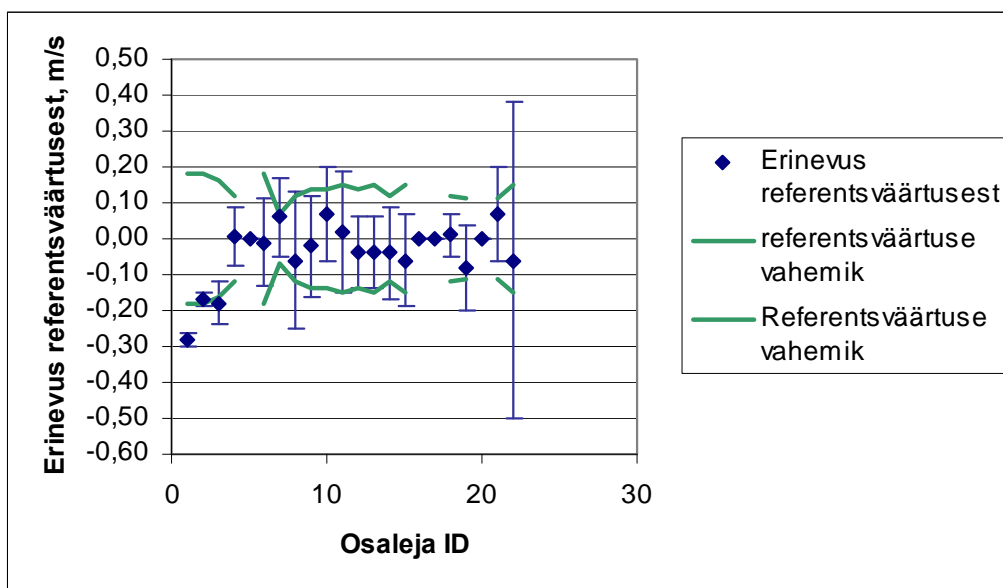


Joonis L4 Õhu suhtelise niiskuse mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

LISA 1 (JÄRG)

Tabel L5 Õhu liikumise kiiruse mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

ID	v_{ref}	$U(v_{ref})$	v_x	$U(v_x)$	Δv	E_n
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	
1	0,71	0,18	0,43	0,02	-0,28	-1,55
2	0,53	0,18	0,36	0,02	-0,17	-0,94
3	0,52	0,16	0,34	0,06	-0,18	-1,05
4	0,18	0,12	0,185	0,08	0,005	0,03
5			-	-	-	-
6	0,55	0,18	0,54	0,12	-0,01	-0,05
7	0,11	0,07	0,17	0,11	0,06	0,46
8	0,29	0,12	0,23	0,19	-0,06	-0,27
9	0,48	0,14	0,46	0,14	-0,02	-0,10
10	0,36	0,14	0,43	0,13	0,07	0,37
11	0,37	0,15	0,39	0,17	0,02	0,09
12	0,40	0,14	0,36	0,10	-0,04	-0,23
13	0,36	0,15	0,32	0,10	-0,04	-0,22
14	0,24	0,12	0,20	0,13	-0,04	-0,23
15	0,36	0,15	0,30	0,13	-0,06	-0,30
16			-	-	-	-
17			-	-	-	-
18	0,22	0,12	0,23	0,06	0,01	0,07
19	0,16	0,11	0,08	0,12	-0,08	-0,49
20			-	-	-	-
21	0,24	0,11	0,31	0,13	0,07	0,41
22	0,55	0,15	0,49	0,44	-0,06	-0,13



Joonis L5 Õhu liikumise kiiruse mõõtmise tulemused kõrgusel 1,1 m põrandast

LISA 1 (LÖPP)

LISA 2

vm.2011

VENTILATSIOONISÜSTEEMI KANALITES ÕHUVOOGUDE VÕRDLUSMÕÕTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL

Õhuvoo väärtused ühikutes L/s

	VÄLJATÕMME					SISSEPUHE				
	VT1 300x400	VT2 Ø250	VT3 Ø200	VT4 Ø100	VT5 Ø125	SP1 Ø250	SP2 Ø160	SP3 Ø125	SP3 Ø125	SP3 Ø125
LAB A	264	279	79,7	58,7	37,4	312	76	48,3	36,5	64
U(A)	37	47	4,5	17,6	7,1	45	10	5,8	4,4	7,7
REF	259	258	76,9	46,4	35,7	259	73,2	44,7	34,6	59,4
U(REF)	2,6	2,6	0,8	0,5	0,5	2,6	0,8	0,5	0,4	0,6
En(A)	0,13	0,45	0,61	0,70	0,10	1,18	0,28	0,62	0,43	0,60
LAB B	269	265	112	89	95	311	103	92	43	75
U(B)	54	32	19	27	14	53	13	13	7	12
REF	258	257	107	66,4	86,2	258	99,4	89,4	42,7	74,7
U(REF)	2,6	2,6	1,1	0,7	0,9	2,6	1	0,9	0,5	0,8
En(B)	0,20	0,25	0,26	0,84	0,63	1,00	0,28	0,20	0,04	0,02
LAB C	268,8	266,9	62	40,8	14,8	276,8	63	36,4	29,3	50,4
U(C)	54,6	25	10,8	9,8	3,4	47	3,3	4,7	2,9	10,5
REF	259,7	259,7	61,5	33,6	12,8	259,5	60,9	36,6	29,6	51,4
U(REF)	2,6	2,6	0,6	0,4	0,2	2,6	0,6	0,4	0,3	0,5
En(C)	0,17	0,29	0,05	0,73	0,59	0,37	0,63	-0,04	-0,10	-0,10
LAB D	272	260	89		28	289	60	35	27	47
U(D)	29,5	29,5	6,5		3	42	5,5	3,5	2,5	4,5
REF	257,2	256,8	91,2		22,6	258,1	58,8	37	28,7	49,8
U(REF)	2,6	2,6	0,9		0,3	2,6	0,6	0,4	0,3	0,5
En(D)	0,50	0,11	-0,34		1,79	0,73	0,22	-0,57	-0,68	-0,62
LAB E	268	265	92		35,8	270	60,2	39,9	29,3	52,2
U(E)	29	22	4,4		3	37	4,5	3	2	4
REF	258,8	259	91,2		22,8	260,9	58,6	36,9	28,7	49,9
U(REF)	2,6	2,6	0,9		0,3	2,6	0,6	0,4	0,3	0,5
En(E)	0,32	0,27	0,18		4,31	0,25	0,35	0,99	0,30	0,57

LISA 2 (JÄRG)

VENTILATSIOONISÜSTEEMI KANALITES ÕHUVOOGUDE VÕRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL (JÄRG)

	VÄLJATÖMME					SISSEPUHE				
	VT1 300x400	VT2 Ø250	VT3 Ø200	VT4 Ø100	VT5 Ø125	SP1 Ø250	SP2 Ø160	SP3 Ø125	SP3 Ø125	SP3 Ø125
LAB F	264	274,7	78,5	19,6	12	271,3	63,5	34,7	25,8	49,1
U(F)	60	44	17	6,3	4,8	38	10,5	4,4	3,7	7,4
REF	260,5	261	74,2	16,7	10,1	261	58,2	36,7	28,4	49,7
U(REF)	2,6	2,6	0,8	0,2	0,15	2,6	0,6	0,4	0,3	0,5
En(F)	0,06	0,31	0,25	0,46	0,40	0,27	0,50	-0,45	-0,70	-0,08
LAB G	286	278	78,1	63	21,6	268	66	40,6		46,5
U(G)	19	42	12	18	3,5	38	9,3	4,9		5,6
REF	260,8	260,4	82,9	49,4	23,1	261,5	59,6	38,7		51
U(REF)	2,6	2,6	0,9	0,5	0,3	2,6	0,6	0,4		0,5
En(G)	1,31	0,42	-0,40	0,76	-0,43	0,17	0,69	0,39		-0,80
LAB H	266	247	78,1	26	33,9	274	70,5	35,1	29,1	42,5
U(H)	29	40	17	7,5	6,5	45	12	4,7	2,6	2,6
REF	260,7	261,2	78,5	47,6	23,4	259,8	66,1	38,1	30,4	51
U(REF)	2,6	2,6	0,8	0,5	0,3	2,6	0,7	0,4	0,4	0,6
En(H)	0,18	-0,35	-0,02	-2,87	1,61	0,32	0,37	-0,64	-0,49	-3,19
LAB I	282	276	54,7	36,1	9,2	256	88	55,8	41	71
U(I)	26,5	33,6	4	10,3	1,5	33	8,3	5,6	5,6	3,6
REF	259,3	260,2	53	27,9	8,6	260,2	80,3	51,9	40,5	67,6
U(REF)	2,6	2,6	0,53	0,3	0,1	2,6	0,8	0,6	0,5	0,7
En(I)	0,85	0,47	0,42	0,80	0,40	-0,13	0,92	0,69	0,09	0,93
LAB J	273,6	264	154,6	51,5	24	272	71	45	35,3	58,5
U(J)	27	26	16	6	2,4	27	7	5	4,2	6
REF	259,2	260,6	148,3	48,3	21,7	261,6	67,2	45,6	37	58,3
U(REF)	2,6	2,6	1,5	0,5	0,3	2,6	0,7	0,5	0,4	6
En(J)	0,53	0,13	0,39	0,53	0,95	0,38	0,54	-0,12	-0,40	0,02

LISA 2 (JÄRG)

VENTILATSIOONISÜSTEEMI KANALITES ÕHUVOOGUDE VÕRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABEL (JÄRG)

	VÄLJATÕMME					SISSEPUHE				
	VT1 300x400	VT2 Ø250	VT3 Ø200	VT4 Ø100	VT5 Ø125	SP1 Ø250	SP2 Ø160	SP3 Ø125	SP3 Ø125	SP3 Ø125
LAB K	258	232	97,5	49	17	241	63	40	29	53
U(K)	38	33	9	7	3	43	10	6	4	7
REF	261,5	261,5	101,7	43,3	20	260,5	68,2	43,5	34,5	57,3
U(REF)	2,6	2,6	1	0,5	0,2	2,6	0,7	0,5	0,4	0,6
En(K)	-0,09	-0,89	-0,46	0,81	-1,00	-0,45	-0,52	-0,58	-1,37	-0,61
LAB L	266	284	81,3	62,5	27,6	326	70	35	28	48
U(L)	23	43	8	7	4	52	7	4	3	5
REF	259,6	258,8	80,8	56,7	26,5	260	64,5	32,9	25,2	44,3
U(REF)	2,6	2,6	0,8	0,6	0,3	2,6	0,7	0,4	0,3	0,5
En(L)	0,28	0,58	0,06	0,83	0,27	1,27	0,78	0,52	0,93	0,74
LAB M	273	272	72	49	22	274	57	40	37	51
U(M)	43	65	13	12	4,5	49	14	4,8	4,5	6
REF	258,1	257,6	73,2	47,7	22	257,4	64,5	44,2	34,6	56,2
U(REF)	2,6	2,6	0,8	0,5	0,3	2,6	0,7	0,5	0,4	0,6
En(M)	0,35	0,22	-0,09	0,11	0,00	0,34	-0,54	-0,87	0,53	-0,86
LAB N	283	269	115	47,5	38,2	319	75,5	43,4	33,1	60
U(N)	39	40	8	5	7,1	50	8,2	6,2	4,7	8,5
REF	260,1	260,1	107	43,4	29,2	260,4	69,9	42,8	33,4	57,1
U(REF)	2,6	2,6	1,1	0,5	0,4	2,6	0,8	0,5	0,4	0,6
En(N)	0,59	0,22	0,99	0,82	1,27	1,17	0,68	0,10	-0,06	0,34
LAB O	325	318,5	80,7	65	27,1	339,5	63,9	38		
U(O)	30,5	49	14,5	9,2	5	49	7,5	4,6		
REF	258,8	258,4	72,1	50,2	22,4	260,4	52,8	33		
U(REF)	2,6	2,6	0,72	0,5	0,3	2,6	0,6	0,4		
En(O)	2,16	1,22	0,59	1,61	0,94	1,61	1,48	1,08		
LAB P	310	333	86	64	27	393	61	38		
U(P)	29	51	14	9	4	56	7	5		
REF	259,5	258,6	72,3	50,4	22,4	260,7	53,2	33,1		
U(REF)	2,6	2,6	0,72	0,5	1,12	2,6	0,6	0,4		
En(P)	1,73	1,46	0,98	1,51	1,11	2,36	1,11	0,98		

VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÕPPELEMENTIDE k -ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTE KOONDtabel

	URH-125			DVS-P125			STH-125			PER125-160		
	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$
LAB A	37,4	242	2,4	48,3	94	5	36,5	160	2,9	64	34	11
U(A)			0,4			0,7			0,4			1,5
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(A)			0,56			0,55			0,23			0,25
LAB B	55	364	2,9	55	149	4,5	43	233	2,8	75	47	10,9
U(B)			0,63			0,66			0,3			1,7
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(B)			1,14			-0,15			0,00			0,17
LAB C	14,8	23	3,1	36,4	60	4,7	29,3	101	2,9	50,4	23	10,5
U(C)			0,7			0,5			0,3			2,1
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(C)			1,32			0,19			0,30			-0,05
LAB D	28	148	2,3	35	61	4,5	27	100	2,7	47	21	10,3
U(D)			0,3			0,5			0,3			1,2
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(D)			0,41			-0,19			-0,30			-0,23
LAB E	29,4	163	2,3	36	64	4,5	27,3	102	2,7	47,2	21	10,3
U(E)			0,3			0,5			0,3			0,8
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(E)			0,41			-0,19			-0,30			-0,32

LISA 3 JÄRG

VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÖPPELEMENTIDE k -ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTE KOONDTABEL

	URH-125			DVS-P125			STH-125			PER125-160		
	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$	q L/s	Δp Pa	Arvutatud $k = q:\sqrt{\Delta p}$
LAB F	12	15	3,1	34,7	73	4,1	25,8	108	2,5	49,1	20	11
U(F)			1,24			0,25						1,7
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2						0,5
En(F)			0,75			-1,56						0,23
LAB G	23,1	209	1,6	40,6	74	4,7				51	24	10,4
U(G)			0,3			0,5						1,2
REF			2,17			4,6						10,6
U(REF)			0,1			0,2						0,5
En(G)			-1,80			0,19						-0,15
LAB H	33,9	223	2,3	38,1	60	4,9	30,4	108	2,9	51	20	11,4
U(H)			0,2			0,7			0,26			2,3
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(H)			0,58			0,41			0,33			0,34
LAB I	9,2	26	1,8	55	129	4,8	41	221	2,76	73	54	9,9
U(I)			0,4			0,5			0,24			0,9
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(I)			-0,90			0,37			-0,14			-0,68
LAB J	24	153	1,94	49,5	97	5	35,3	156	2,83	63,5	29	11,8
U(J)			0,3			0,5			0,3			1,2
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(J)			-0,73			0,74			0,09			0,92

LISA 3 JÄRG

VENTILATSIOONISÜSTEEMI LÖPPELEMENTIDE k -ARVU KATSELISE MÄÄRAMISE TULEMUSTE KOONDTABEL

	URH-125			DVS-P125			STH-125			PER125-160		
	q	Δp	Arvutatud	q	Δp	Arvutatud	q	Δp	Arvutatud	q	Δp	Arvutatud
	L/s	Pa	$k = q:\sqrt{\Delta p}$	L/s	Pa	$k = q:\sqrt{\Delta p}$	L/s	Pa	$k = q:\sqrt{\Delta p}$	L/s	Pa	$k = q:\sqrt{\Delta p}$
LAB K	17,2	131,7	1,5	40,1	90	4,2	29,4	142,8	2,5	52,7	28,4	9,9
U(K)			0,4			0,6			0,4			1,6
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(K)			-1,62			-0,63			-0,70			-0,42
LAB L	27,6	239	1,8	35	55	4,7	28	83	3,1	48	18	11,3
U(L)			0,4			0,7			0,5			2
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(L)			-0,90			0,14			0,57			0,34
LAB M	25,3	145	1,9	40	84	4,36	33,6	144	3	51	27	9,8
U(M)			0,23			0,5			0,35			1,2
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(M)			-1,08			-0,45			0,53			-0,62
LAB N	38,2	240	2,46	43,4	87,5	4,6	33,1	148	2,7	60	28	11
U(N)			0,46			0,7			0,4			1,6
REF			2,17			4,6			2,8			10,6
U(REF)			0,1			0,2			0,15			0,5
En(N)			0,62			0,00			-0,23			0,24

LISA 4

vm.2011 VENTILATSIOONIMÜRA VÖRDLUSMÕÖTMISTE TULEMUSTE KOONDTABEL

Müra tasemed antud ühikutes dB(A)

	Keemialabor 12 punkti			SV1- režiim I			SV1- režiim II			SV1- režiim III		
	Miinim.	Maksim.	Keskmine	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud
LAB A	44,6	48,7	46,4	45,5	50,5	48,8	45,5	51,6	50,4	45,5	54,5	53,9
U(A)			2,4			2,2			2,2			2,2
REF			47			49,1			50			54,4
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(A)			-0,24			-0,13			0,18			-0,22
LAB B	44,2	48,7	46,4	46	50,7	48,9	46	51,6	50,2	46	54,9	54,3
U(B)			1,1			1,2			1,2			1,2
REF			47			49			50,4			54,6
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(B)			-0,46			-0,08			-0,15			-0,23
LAB C	48,1	51,2	49,8				52,9	55,2	51,3	52,9	57	54,9
U(C)			1						1			1
REF			48,9						50,8			54,7
U(REF)			0,7						0,5			0,5
En(C)			0,74						0,45			0,18
LAB D	45,1	48,3	47,33	49,8	50,7	44,7	49,8	53	50,2	49,8	56,2	55
U(D)			1,5			2			2			2
REF			47			43,5			50,1			54,9
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(D)			0,20			0,58			0,05			0,05
LAB E	45	48,3	47,05	49,8	50,7	44,7	49,8	53	50,2	49,8	56,2	55
U(E)			1,5			2			2			2
REF			47			43,5			50,1			54,9
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(E)			0,03			0,58			0,05			0,05

LISA 4 (JÄRG)

vm.2011 VENTILATSIOONIMÜRA VÖRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABELI JÄRG

	Keemialabor 12 punkti			SV1- režiim I			SV1- režiim II			SV1- režiim III		
	Miinim.	Maksim.	Keskmine	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud
LAB F	46	49,3	47,5				49,4	52,4	49,8	49,4	56,2	55,2
U(F)			2,5						2,6			2,6
REF			47						49,4			55,4
U(REF)			0,7						0,5			0,5
En(F)			0,19						0,15			-0,08
LAB G	45	48,4	47,2				48,3	51,6	48,9	48,3	54,2	52,9
U(G)			2,3						3,1			3,15
REF			47						49,1			52,6
U(REF)			0,7						0,5			0,5
En(G)			0,08						-0,06			0,09
LAB H	44,8	49,2	46,87	49,95	51,25	45,38	49,95	52,89	49,81	49,95	56,57	55,5
U(H)			2,72			2,12			2,12			2,12
REF			47			45,8			50,4			55,8
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(H)			-0,05			-0,19			-0,27			-0,14
LAB J	46,4	50,5	48,3	50	51,3	45,4	50	53	50	50	56,8	55,8
U(J)			2,4			1,3			1,3			1,3
REF			48,9			45			50			55,1
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(J)			-0,24			0,29			0,00			0,50
LAB K	44,9	49,1	47,2	46,3	50,9	49,1	46,3	51,7	50,2	46,3	54,2	53,4
U(K)			0,4			1,34			1,34			1,34
REF			47			49			50,4			53,5
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(K)			0,25			0,07			-0,14			-0,07

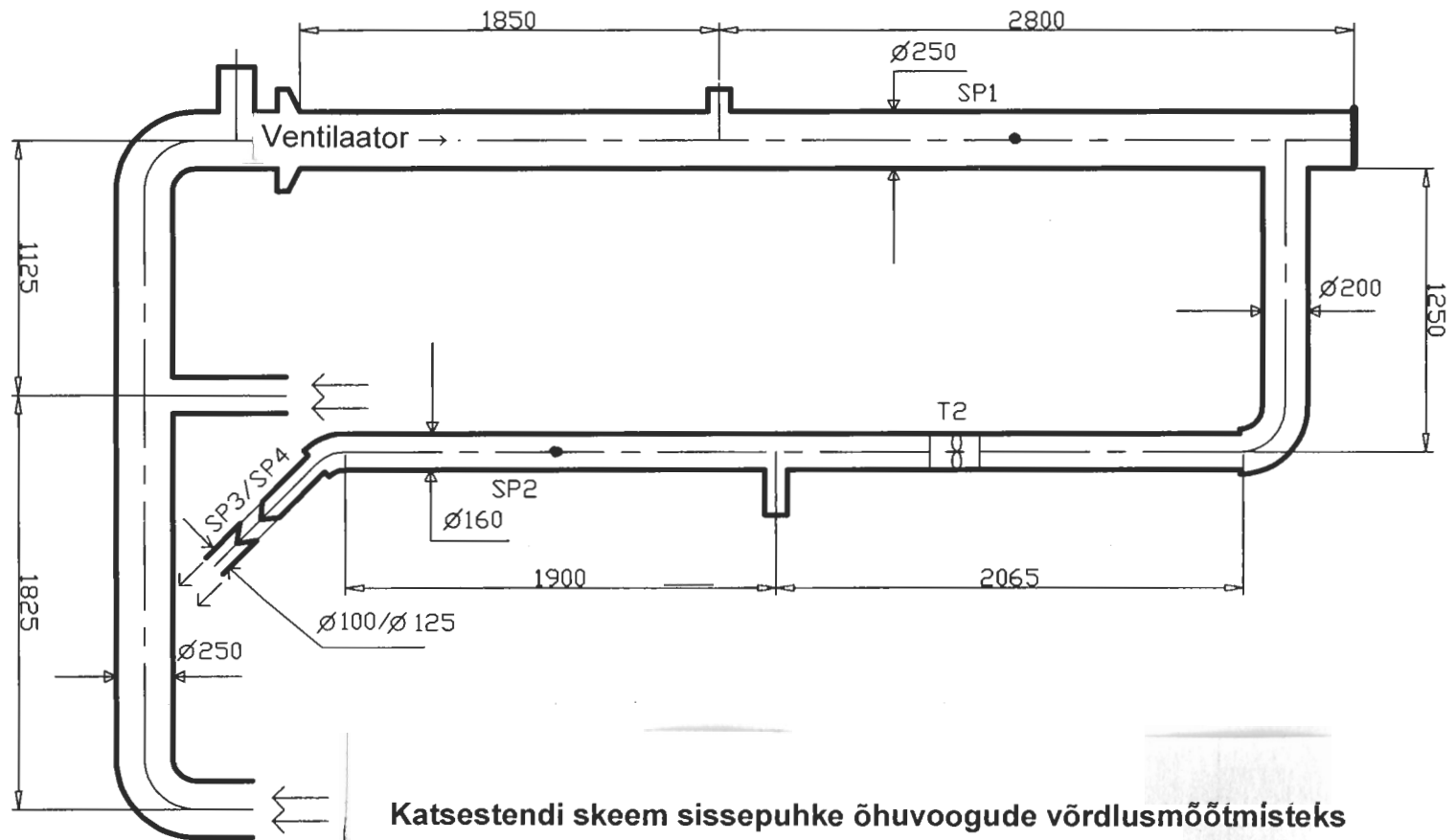
LISA 4 (JÄRG)

vm.2011 VENTILATSIOONIMÜRA VÕRDLUSMÕÖTMISE TULEMUSTE KOONDTABELI JÄRG

	Keemialabor 9-12 punkti			SV1- režiim I			SV1- režiim II			SV1- režiim III		
	Miinim.	Maksim.	Keskmine	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud	Taust- müra	Koos- taustaga	Taustmüra lahutatud
LAB M	45,1	48,7	47,4	49,6	50,8	44,6	49,6	53,2	50,7	49,6	56,5	55,5
U(M)			3			0,6			0,6			0,6
REF			47			45,2			50,5			55,4
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(M)			0,13			-0,77			0,26			0,13
LAB N	44,2	48,4	46,04	45,9	51,1	49,1	45,9	52	51	45,9	55	54
U(N)			2,28			2,2			2,2			2,2
REF			47			49,5			50,7			54,6
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(N)			-0,40			-0,18			0,13			-0,27
LAB R	46,27	49,92	47,81	46,88	52,15	50,15	46,88	53,03	52,03	46,88	55,9	54,9
U(R)			0,796			0,46			0,484			0,472
REF			47			50,6			52			55
U(REF)			0,7			0,5			0,5			0,5
En(R)			0,86			-0,66			0,04			-0,15

LISA 4 (LÕPP)

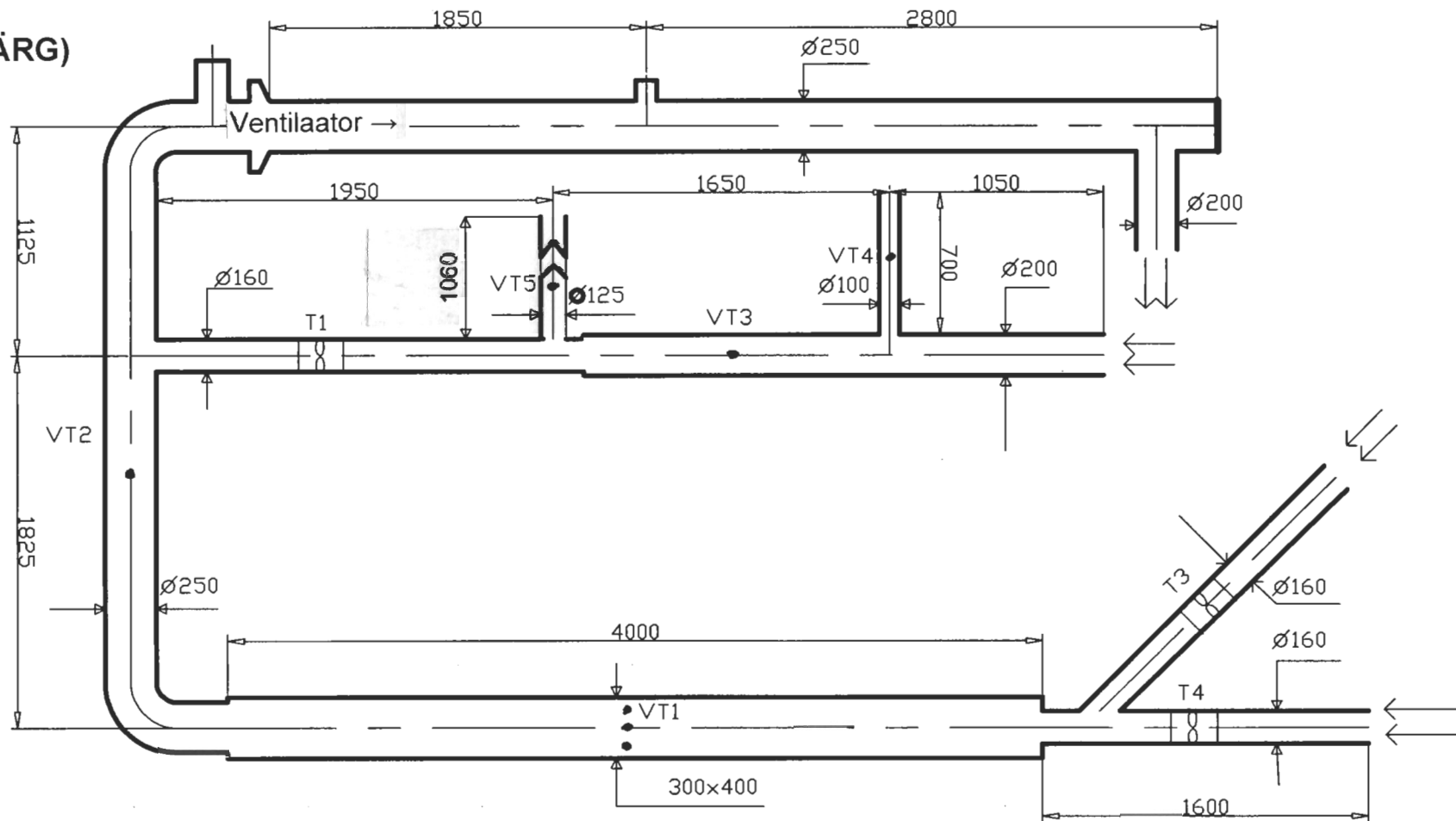
LISA 5



Katsestendi skeem sissepuhke õhuvoogude võrdlusmõõtmisteks

T2 - spetsiaalne anemomeeter õhuvoo referentsväärtuse määramiseks
SP1 – SP3 - mõõtepunktid sissepuhke õhuvoogude mõõtmiseks

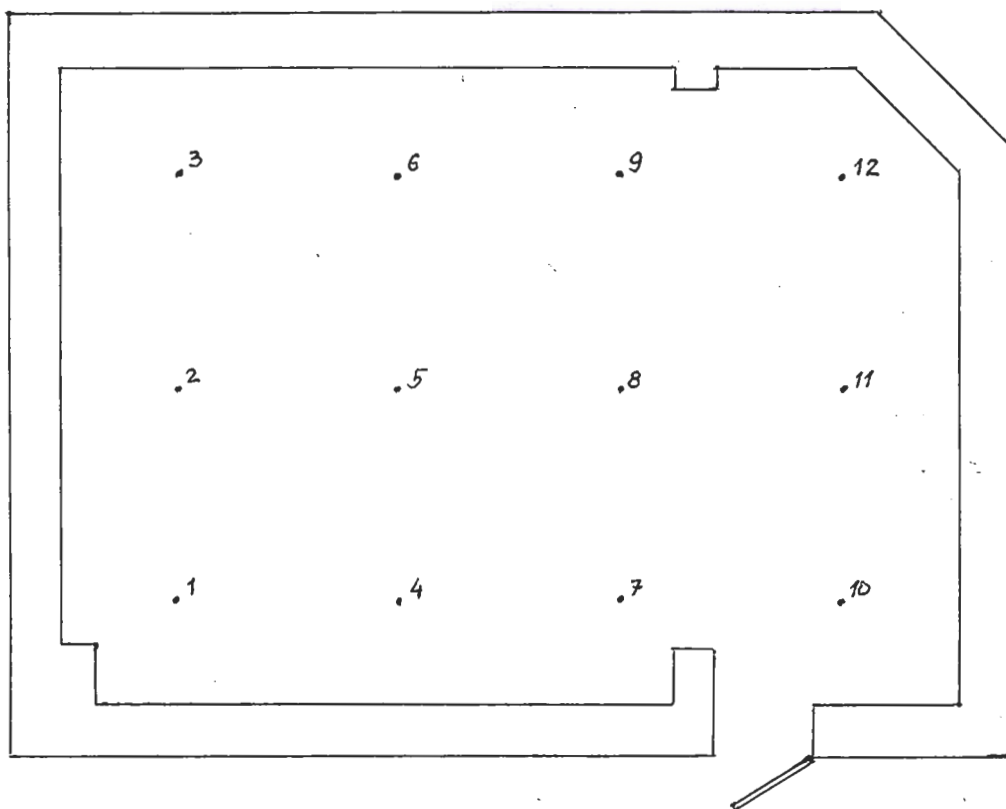
LISA 5 (JÄRG)



Katsestendi skeem väljatõmbe õhuvoogude võrdlusmõõtmisteks

T1, T3, T4 - spetsiaalsed anemomeetrid õhuvoo referentsväärtuse määramiseks
VT1 – VT5 - mõõtepunktid väljatõmbe õhuvoogude mõõtmiseks

LISA 6



8 x 6,5 m²

Keemialabori ruumi plaan