

**VALGA MUUSIKAKOOLI SISEKLIIMA ANALÜÜS JA  
SOOVITUSLIK VENTILATSIOONISKEEM**

**INDOOR CLIMATE ANALYSIS AND SUGGESTIVE  
VENTILATION SCHEME FOR VALGA MUSIC SCHOOL**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Martin Ling

Üliõpilaskood EAEI 144524

Aime Ruus, dotsent  
Juhendajad: Alo Mikola, nooremteadur

Tartu 2020

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 202.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 202.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina \_\_\_\_\_ Martin Ling \_\_\_\_\_ (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 09.09.1995 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
Valga Muusikakooli sisekliima analüüs ja soovituslik ventilatsiooniskeem

\_\_\_\_\_  
*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendajad on \_\_\_\_\_ Aime Ruus; Alo Mikola \_\_\_\_\_,

*(juhendaja nimi)*

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

\_\_\_\_\_ (*allkirjastatud digitaalselt*)

\_\_\_\_\_ (*kuupäev*)

# TalTech Tartu kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Martin Ling, EAEI 144524(nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAEI02/12Tartu - Ehitiste projekteerimise ja ehitusjuhtimise eriala  
ehitiste projekteerimise ja arhitektuuri peeriala (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Aime Ruus, dotsent, 620 4805  
Alo Mikola, nooremteadur, 620 2510 (amet, nimi, telefon)  
**Konsultant:** .....(nimi, amet)  
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Valga Muusikakooli sisekliima analüüs ja soovituslik ventilatsiooniskeem  
(inglise keeles) Indoor climate analysis and suggestive ventilation scheme for Valga  
Music school

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teostada sisekliima uuring (õhutemperatuur, õhuniiskus, CO<sub>2</sub>) olulistest ruumides
2. Koostada hoone ruumiline mudel REVIT tarkvara abil
3. Projekteerida hoone ventilatsioonüsteem ning lisada vajalikud elemendid BIM-mudelile

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sisekliima uuring. Kirjanduse ülevaade (seadusandlus, määrustik, standardid)	19.04
2.	3D mudeli koostamine REVIT´iga	31.03
3.	Ventilatsioonüsteemi skeemi väljatöötamine	30.04
4.	Töö vormistamine	20.05

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "27" märts 2020. a

**Üliõpilane:** Martin Ling ..... ".....".....2020 a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Aime Ruus; Alo Mikola ..... ".....".....2020 a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Konsultant:** ..... ".....".....2020 a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Programmijuht:** Aime Ruus ..... ".....".....2020 a  
/allkirjastatud digitaalselt/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

SISUKORD.....	5
EESSÕNA .....	6
1. SISSEJUHATUS .....	7
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	9
2.1 Ventilatsioonist .....	9
2.2 Nõuded sisekliimale ja ventilatsioonile õppeasutustes .....	10
2.2.1 Riiklikud nõuded sisekliimale .....	11
2.3 Nõuded muusikariistade hoiustamisele .....	12
2.4 Ventilatsiooni projekteerimine.....	14
3. MATERJAL JA METOODIKA .....	16
3.1 Hoone tutvustus (konstruktsioonid ja olemasolev ventilatsioonisüsteem) .....	16
3.2 Valga Muusikakooli ventilatsiooni projekteerimise eritingimused .....	20
3.3 Kasutatud mõõteriistad ja meetodika.....	21
3.4 Tarkvara Revit Architecture ruumilise mudeli koostamiseks .....	25
4. TULEMUSED .....	27
4.1 Sisekliima uurimistulemused.....	27
4.1.1 Keldrikorruse mõõtetulemused .....	27
4.1.2 Esimese korruse mõõtetulemused .....	28
4.1.3 Teise korruse mõõtetulemused .....	30
4.1.4 Kolmanda korruse mõõtetulemused .....	31
4.2 Valga Muusikakooli ruumiline mudel .....	32
5. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED .....	34
5.1 Keldrikorruse sisekliima analüüs.....	34
5.1.1 Keldrikorruse sisekliima .....	35
5.2 Esimesel korrusel asuv solfedžoklass .....	36
5.2.1 Esimese korruse sisekliima.....	38
5.3 Teisel korrusel asuv aula .....	38
5.3.1 Teise korruse sisekliima .....	40
5.4 Kolmandal korrusel asuv rahvamuusika klass.....	40
5.4.1 Kolmanda korruse sisekliima .....	42
5.5 Valga Muusikakooli kumulatiivne graafik .....	42
5.6 Valga Muusikakooli sisekliima .....	45
5.7 Ventilatsiooni lahendus .....	45
5.8 Vajaduspõhise ventilatsiooni soovituslik skeem .....	51
5.9 Valga Muusikakooli ventilatsioon .....	53
KOKKUVÕTE .....	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	55
LISAD .....	56
GRAAFILINE OSA.....	56

# EESSÕNA

Käesolev magistritöö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Tartu kolledži õppejõu Aime Ruusi ning Ehituse ja arhitektuuriinstituudi nooremteaduri Alo Mikola juhendamisel.

Töö mõõdistused on läbi viidud Valga Muusikakooli õppehoones, mis asub Valga linna keskväljakul, aadressil Kesk 22. Saadud sisekliima mõõtetulemused on kogutud ajaperioodil 15. veebruar 2019 kuni 18. aprill 2019.

Magistritöö uurimiseesmärkideks on:

- 1) anda ülevaade Valga Muusikakooli hoone õpperuumide sisekliimast (süsihappegaas, õhuniiskus, temperatuur)
- 2) analüüsida olemasolevat olukorda ja leida lahendused sisekliima parandamiseks, arvestades samal ajal Eesti Vabariigis õppeasutustele kehtivaid ning muusikariistadele sobivaid tingimusi.

Lisaks sisekliima analüüsile on koostatud Valga Muusikakooli hoonest ruumiline mudel programmiga Revit Architecture, millesse on integreeritud soovituslik ventilatsioonilahendus. Tegemist on arhitektuurse ventilatsiooniprojektiga, kus on arvestatud kõiki Valga linna ja Muinsuskaitseameti poolt kehtestatud projekteerimise erinõudeid, et säilitada Heino Elleri nimelise Tartu Muusikakooli ja Tallinnas asuva Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia järel vanuselt Eesti kolmanda muusikakooli hoone maksimaalselt oma praegusel kujul.

Töö autor tänab Taltech Tartu kolledžit mõõtevahendite ja sisekliima analüüsiks vajalike programmide jagamise eest; dotsent Aime Ruusi ja nooremteadurit Alo Mikolat magistritöö juhendamisel ja vajaliku teaduskirjanduse ja dokumentatsiooni jagamisel; Valga Muusikakooli töötajaid ja õpilasi, kes jagasid detaile muusikakooli sisekliima nõudeist ning vajadustest hoone kasutajatena.

Märksõnad: Valga Muusikakool, ventilatsioon, ruumiline projekt, sisekliima, magistritöö

# 1. SISSEJUHATUS

Antud lõputöös vaadeldakse Valga Muusikakooli hoone sisekliima seisukorda kahe kuu jooksul (15.02.2019 kuni 18.04.2019). Vaatluste käigus koguti sisekliima andmeid Extech EXCO 210 andmelogerite abil, mis salvestasid töö autori ja juhendajate poolt määratud 10-minutiliste intervallide tagant süsihappegaasi, õhuniiskuse ja temperatuuri taset.

Terviklikuma ülevaate saamiseks etteantud hoone puhul valis töö koostaja, konsulteerides Valga muusikakooli töötajate ja juhendajatega, välja tihedamini kasutatavad klassiruumid, mis hoone kasutajate sõnul on kõige halvema sisekliimaga.

Olulisemad ruumid, mis vajasisid sisekliima analüüsi, olid:

- keldrikorrusel asuv trummiruum, kus kasutajad kaebasid halva sisekliima üle;
- esimesel korrusel asuv solfedžoklass, mis on üks kõige tihedamini kasutatav ruum hoones;
- teisel korrusel asuv suurürituste ajal kasutatav aula, kus asuvad muusikakooli kaks kõige kallimat tiibklaverit;
- kolmandal korrusel olev rahvamuusika klassiruum, kus hoiustatavad puidust muusikainstrumendid on suuresti mõjutatud ruumi vähesest niiskusest.

Vastavaid mõõtetulemusi kajastatakse analüütilises osas täpsemalt ning tehakse järeldused hoone sisekliima hetkeolukorrast. Järelduste põhjal pakub töö autor soovitusliku ventilatsioonilahenduse, mille põhjal saab edasi arendada ventilatsiooni põhiprojekti, ning jagab soovitusi kuidas muuta Valga Muusikakooli hoone sisekliima õpilaste, õpetajate, külaliste ja instrumentide jaoks kasutajasõbralikumaks.

Ventilatsioonisüsteemi paigutuse paremaks visualiseerimiseks hoones kujundas töö autor Revit Architecture programliga Valga Muusikakooli hoone ruumilise mudeli.

Käesoleva magistritöö kirjutamise ajaks on Valga muusikakooli hoonele juba tehtud Taltech Tartu kolledži üliõpilaste poolt kaks uurimust: Sulev Lange magistritöö „Muusikakooli hoone vundamendi niiskuskahjustuste põhjuste väljaselgitamine“(2016) ning Lauri Veiderpassi magistritöö „Valga muusikakooli Kesk 22 hoone katuse restaureerimisprojekt“ (2016). Mõlemad magistritööd on võetud aluseks praeguse analüüsi kirjutamisel ning vastavalt refereeritud.

Magistritöö tegevusetapid:

- 1) refereerida ventilatsioonitöödega seotud kirjandust;
- 2) välja tuua etteantud riiklikud nõuded koolide sisekliimale;
- 3) kujundada soovituslik tark ja energiasäästlik ventilatsioonisüsteemi lahendus;
- 4) kajastada teostatud sisekliima uuringute tulemusi ning esitada järeldused ja soovitused olukorra parandamiseks.
- 5) selgitada ruumilise keskkonna projekteerimisvõimalusi ning vajalikkust järgnevatele projekteerijatele, esitledes olemasolevat projekti 3D keskkonnas.



## 2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

### 2.1 Ventilatsioonist

Enne 20. sajandit keskenduti majade ehitusel põhiliselt hoonete konstruktsioonile ja arhitektuurile. Hoonete põhieesmärgiks oli majutada elanikke ning rikkad inimesed lasid endale maju ehitada rikkuse sümbolina [1]. Viimase väite tõestusena on näha eelmise sajandi alguse arhitektuurisuundades rohkem keerukat hoonedisaini ning vähem praktilisust.

Üha rohkem hakkas hoone praktilisusele rõhku panema 1920. aastatel funktsionalismi arhitektuurisuuna põhialgataja Le Corbusier. Kuigi tervislik sisekliima ei olnud sellel hetkel piisavalt prioriteetne, et sellele rõhku panna, tõi funktsionalism välja arhitektuuris hoonete otstarbe tähtsuse. [1]

20. sajandi teisel poolel muutus uute ja kvaliteetsemate ehitusmaterjalide kasutuselevõttuga tervisliku sisekliima tagamine aasta-aastalt tähtsamaks. Ehitusturule lisandusid mehaanilised väljatõmbesüsteemid. Põhjuseks, miks võeti kasutusele mehaanilised väljatõmbesüsteemid, oli kasvav hoone õhutihedus ning sellega kaasnev halvenev õhuliikumine. Progress kvaliteetsemate ehitusmaterjalide ja õhutihedamate hoonete suunas liikus stabiilselt edasi, kuni 1990. aastatel võeti kasutusele sisse- ja väljapuhkeventilatsioonid. [1]

Tänapäeval on hea sisekliima tagamine üks tähtsam aspekt hoone projekteerimise ja ehituse juures. Tervislikku sisekliimat iseloomustab kõige paremini õhukvaliteet, mida määratakse vaadeldava ruumi õhu puhtuse tasemest Tihti ei pöörata hoone projekteerimisel ja ümberehitamisel tervisliku sisekliima tagamisele piisavalt tähelepanu, kuna olemasoleva analüüsi protsess on aeganõudev ning kulukas.

Võib väita, et tervislik sisekliima on inimese hea enesetunde ja tervise jaoks üks tähtsamaid mõjureid [1]. Ilma tervisliku sisekliimata on hoone kasutaja oma tegevustes ebaefektiivsem kui kvaliteetse õhuga hoones. Õhu kvaliteet on mõõduks, kas õhk ruumis on sissehingamiseks piisavalt puhas [2]. Seega tervisliku õhukvaliteedi tõusuga paraneb ka hoone kasutajate keskendumisvõime töö ajal ning efektiivselt ventileeritud hoone puhul langeb vajalik energiakulu.

Ruumi ventilatsiooniks loetakse ruumi varustamist puhta õhuga ja ruumist õhu ning koos sellega ruumis tekkinud saasteainete eemaldamist. Ventilatsiooni abil võib eemaldada ruumist ka soojust, kui sissepuhkeõhk on jahedam kui ruumiõhk, või varustada ruumi soojusega, kui sissepuhkeõhk on soojem kui ruumiõhk. [2]

Projekteerijate üheks suurimaks ülesandeks on leida optimaalseim lahendus, kus oleksid samaaegselt tagatud siseõhu puhtus ja süsteemi madal energiatarve. Samas peab värske ja puhas välisõhk jõudma hoonesse viibijateni minimaalselt aerodünaamilise takistusega. [1]

Töö autor on kirjanduse läbi töötanud ja selle põhjal järeldeb, tervisliku õhu kvaliteedi tagamine on alati ruumi ventilatsiooni peaülesanne. Seega on alati esmatähtsaks saasteainete eemaldamine ruumist, et hoida õhuvooluhulga kvaliteeti soovitud tasemel. [1]

Kui puuduva ventilatsioonisüsteemiga ruumi saasteainete tulemused ei vasta etteantud standardinormidele, tuleb halva õhukvaliteedi lahendamiseks anda hoonesse nii palju puhast välisõhku, et maja kasutajad saaksid teha oma tööd kõige efektiivsemalt kogu hoonesse viibitud aja jooksul.

## **2.2 Nõuded sisekliimale ja ventilatsioonile õppeasutustes**

Alates Eesti Vabariigi taasiseseisvumisest on ühiskondlike hoonete sisekliimale pööratud üha suuremat tähelepanu, et tagada hoonete kasutajatele keskkonnasõbralik töökeskkond.[3]

Eesti Tervisekaitseameti poolt tellitud Eesti koolihoonete sisekliima uuringu (2006) mõõtmiste tulemused tõestavad, et koolide sisekliima seisund on ebasoodne: 68% uuritud õpperuumides ei vastanud süsihappegaasi kontsentratsioon siseõhus sotsiaalministri 29.08.2003.a määruse nr 109 "Tervisekaitsenõuded koolidele" nõuetele [4;5].

Aastal 2020 on Eesti riigis tõusnud sisekliima osatähtsus ühiskondlike hoonete projekteerimisel märgatavalt. Ruumidele on kehtestatud spetsiifilised ruumikaardid, milles on ära toodud täpsed sisekliima parameetrid. [6]

Muusikakoolide eripäraks on suhtelise niiskuse suurem tähtsus projekteerimisel, kuna lisaks õpilastele ja töötajatele tuleb sobiliku niiskustaseme juures tagada tervislik keskkond ka õppepillidele. Kooliruumides on tihti umbes 2 m<sup>2</sup> põrandapinda õpilase kohta. Õppetöö toimub tavaliselt vaheaegadega, mil õpilased lahkuvad ruumist ning ruumi õhutatakse pauside ajal.

Et hoida CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni 1000 ppm tasemel, peab õhu erivooluhulk olema 4-5 l/(s\*m<sup>2</sup>), mis vastab õhuvahetuse kordarvule 5-6 h<sup>-1</sup>. Kui ruumid on kõrged või on

ruutmeetri kohta vähem õpilasi, võib õhuvooluhulk olla väiksem. Auditooriumides on samuti umbes 2 m<sup>2</sup> põranda pinda inimese kohta. Seal on alati vaja õhuvooluhulka, mis on vähemalt 8 l/s inimese kohta. Kuna auditooriumid on tavaliselt kõrged, võib vastav õhuvahetuse kordarv olla 4-5 h<sup>-1</sup>. Seal on muutuva õhuvooluhulgaga süsteem loomulik lahendus. [2]

### **2.2.1 Riiklikud nõuded sisekliimale**

Igas riigis on kehtestatud sisekliimat puudutavad riiklikud nõuded ja soovitused, mis erinevad riigiti. Euroopa Liit on välja andnud sisekliimat puudutavad standardid, kuid iga liikmesriik otsustab ise, kas ja millisel määral neid järgida [7]. Riiklikud standardid ja määrused defineerivad üldiselt teatud taseme, mis peab olema hoones täidetud. Mõne hoone puhul võivad lubatud tasemed olla rangemad, kui tellija seda vajalikuks peab, ja vahel tekib tarvidus lisada nõudeid, mida standardites ja määrustes pole ära toodud. Pealegi pole määrustes ja standardites toodud nõuded alati päris adekvaatselt väljendatud. Seetõttu ei tohiks kunagi viidata projektis ainult määrustele ja standarditele, vaid alati tuleb koostada lähteülesanne, mis moodustab projekti lähtealuse ja on osa tellija ning projekteerija vahelisest lepingust. [1]

Kuna Valga Muusikakool on munitsipaalhuvikool, siis peab kooli ruumides järgima Eesti Vabariigis kehtestatud sisekliima standardeid [4]. Nende nõuete kehtestamise peamiseks eesmärgiks on hoida ruumide õhu ning temperatuuri seisukord optimaalne õppimiseks ning tagada õpilaste tervisele ohutu keskkond.

Riikliku määruse „Tervisekaitse nõuded koolidele“ peatükis 3 „Nõuded sisekliimale ja korrashoiule“ on välja toodud vajalikud parameetrid õpperuumidele [4]:

- Lubatud süsihappegaasi tase õpperuumi ühes liitris siseõhus võib olla keskmiselt kuni 1000 mikrolitrit (ppm) süsinikdioksiidi“.
- Õpperuumi siseõhu optimaalne suhteline niiskus peab olema vahemikus 40% kuni 60%. Talvel võib nädala keskmine suhteline niiskus langeda 25%-ni ja suvel tõusta 70%-ni.
- Õhutemperatuur peab olema õpperuumis vähemalt 19 °C, võimlemissaalis vähemalt 18 °C ja duširuumis vähemalt 24 °C. Õhutemperatuuri mõõtmiseks peab õpperuumis olema termomeeter.
- Õhu liikumiskiirus kooliruumis peab olema väiksem kui 0,21 meetrit sekundis (m/s). Ruumides ei tohi olla tuuletõmbust.
- Ruume, kus puudub ventilatsioon, tuleb regulaarselt tuulutada. [4]

Sisekliimat kujundavad parameetrid ei tohi ületada kehtestatud sisekliima klasside vahemike väärtusi 95% hõivatusega alal mitte üle 3% (või 5%) kasutamise ajast tundides päevast, nädalas või aastas. [8]

## 2.3 Nõuded muusikariistade hoiustamisele

Eestis ei ole riiklikult määratud, mis on täpsed pillide hoiustamise ruumi sisekliima tingimused. Magistritöö autor konsulteeris Orissaare ja Kuressaare Muusikakooli direktoritega ning arutas nendega läbi tähtsamad parameetrid, mis mõjutavad pillide olukorda.

Muusikariistu ja pille saab jaotada erineval viisil. Analüüsidest mitmeid instrumente, mida mõjutab sisekliima, jõudis töö autor koos konsultantidega järeldusele, et ainult instrumendid, mille ehitusstruktuuris on niiskust imavad materjalid, on mõjutatud niiskusest. Seega on sisekliima parameetrite järgimine eriti oluline puidust valmistatud instrumentide nagu kitarrid, kanded, klaverid ja paljud puupuhkpillid puhul. Refereerides Orissaare Muusikakooli direktorit Martti Nõud: „Pillide optimaalseks keskkonnaks on täpselt samasugune sisekliima, nagu seda on vaja inimestel.“

Lubatavaks optimaalseks suhteliseks niiskuseks õppehoonetes on riiklike määruste põhjal 40-60%. Siiski võib suhteline niiskus talvel langeda 25% peale ning tõusta suviti 70% tasemele[9].

Puidu struktuur on ülesse ehitatud kolmest põhilisest keemilisest aineist: ligniin, tselluloos ja hemitselluloos. Nendest kaks viimast on hügrokoopseid ained ning on äärmiselt vastuvõtlikud niiskusele. Kui puidust muusikariistad seisavad kuivas keskkonnas, siis puidu kuivamisest tingitud jõud ületavad tihti materjalide vastupidavuse ning tulemusena on puidus tekkivad praod. Seega pillide kauaaegseks hoidmiseks on sobilik hoida instrumente 40%-55% õhuniiskusega keskkonnas. [10]

Suurimaks "vaenlaseks" on puidust instrumentidele Eestis pidevalt muutuv talvine kütteperiood, mis kohati muudab ruumide sisekliima kiiresti kuivaks ning tihti langeb ruumis olev õhuniiskus alla 20%. Lühiajaline niiskuse järsk muutumine ei kahjusta koolides kasutatavaid õpilastele mõeldud odavamast materjalist valmistatud pille, kuna paljud tänapäeva pillitootjad on arvestanud, et eriti õpilaste jaoks loodud pillid peavad vastu pidama ka suurematele põrutustele ja raputustele kui ainult niiskuse muutumine. Sellegipoolest võivad pikaajaliste ebasoodsate sisekliima perioodide ajal saada ka õppeesmärgiks mõeldud instrumendid jäädavaid kahjustusi.

Vastupidine olukord käib ajalooliste ning professionaalidele mõeldud puidust instrumentide kohta, mille kõla võib muutuda palju järsemini, kuna pillimeistri poolt saavutatud helitamber on väga pika ja detailse töö tulemusena viidud balanssi. Suurimad kannatajad

halva sisekliima juures on ajaloolised pillid, mis oma vanuse tõttu on palju vastuvõtlikumad väikestele muutustele sisekliimas ning on palju hapramad.

Näitena saab tuua Kuressaare muusikakooli hoone renoveerimise järel liigse ruumi kuivuse tulemusena mängimiskõlbmatuks muutunud ajaloolist plokkflööti. Instrumendi taastamistööd olid pikaajalised ning kulukad, kuid detailse restaureerimise abil suudeti plokkflööti uuesti taastada. Põhiliseks ruumi kuivuse põhjustajaks osutus kõrvalekalle projektis, kus ei paigaldatud vajalikesse ruumidesse ventilatsiooni kohtniisuteid. [11]

Samasugune situatsioon toimus Türi muusikakoolis, kus äsja renoveeritud majas hakkasid klaverid üha tihedamini häälest ära minema. Pikema aja möödudes said kannatada kontsertklaver, kabinetklaver, uus kontrabass, kolm tšellot, kitarrid ja teised instrumendid. [12]

Nii suures koguses pillide parandus on ajamahukas ning läheb äärmiselt kalliks maksma muusikakooli haldajale.

Probleemi oleks saanud lahendada, kui projekteerimisel oleks arvestatud ruumidega, mis on tundlikuma niiskusevajadusega ning paigaldada nendesse klassidesse aurniisutid või adiabaatsed niisutid, kuid nende lisamine ventilatsioonisüsteemi on kulukas rahaliselt ja energiatarbimiselt.

Kuigi ruumipõhine niisutamine parandab õhuniiskuse olukorda hoones, tuleb arvestada sellega, et niiskus liigub kõrgema osarõhuga piirkonnast madalamasse ja see tähendab, et ühe ruumi niisutamisel levib niiskus tegelikult ukse ning vaheseinte ebatiheduse tõttu kogu hoonesse. Seega peavad ruumipõhised niisutid olema üsna võimsa niisutusvõimsusega ja ruumides, kuhu nad on paigaldatud, ukсед ja aknad suletud. Lisaks võivad ruumipõhised niisutamise lahendused teatud tingimustes soodustada hallitust ja bakterite vohamist.

## 2.4 Ventilatsiooni projekteerimine

Valga muusikakooli hoone on ehitatud 18. sajandil ning seal toimib nii õhu infiltratsioon kui ka loomulik ventilatsioon ahjude põlemisõhu tarbimise teel. Keldrikorrusel on hoonele ehitatud osaline väljatõmbesüsteem, mis hetkel ei rahulda hoone kasutajate vajadusi. [13]

Valdaval enamikul 20. sajandil ehitatud majadest on loomulik ventilatsioon. Nendes toimub õhuvahetus juhtimatult ning ainult tänu sise- ja välisõhu temperatuuride erinevusele. Saastunud õhu väljatõmme toimub läbi väljatõmbe šahtide. Tänu sellele intensiivistub hoonetes ventilatsioon talvel, kui välistemperatuur on sisetemperatuurist oluliselt madalam, ning suvel, kui välistemperatuuri tõustes hakkab ventilatsiooni intensiivsus langema, kuni hoopis lakkab.

Kuigi loomulikku ventilatsiooni on korrastada ja reguleerida odavam võrreldes mehaanilise süsteemiga, tagab selline lahendus umbkaudu 10% vajalikust õhuvooluhulgast. Loomulikus ventilatsioonis satub välisõhk ruumidesse ebatihedate välispiirete, põhiliselt akende kaudu. Sel juhul peab osa aknaid olema fikseeritavad nn ventilatsiooniasendisse, milles aken on ülemisest äärest 0,5-1,0 cm avatud. Teine võimalus on spetsiaalsed ventilatsiooniklapid seintes või akendes. [1] Sellised lahendused ei ole sobilikud õppehoonetes, kuna loomulik ventilatsioon ei suuda tagada vajalikku õhuhulka ning ventilatsiooniklappide lisamine halvendab ruumi soojuslikku mugavust talvisel perioodil ja selle tulemusena satuvad külma õhu joad viibimistsooni ja puhuvad inimestele peale.

Lisaks loomulikule ventilatsioonile on hoonetele võimalik projekteerida ka mehaaniline ventilatsioonisüsteem. Et tagada vajalik õhuliikumine, paigaldatakse suurematesse hoonetesse tihti mehaaniline sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioonisüsteem.

Ühiskondlikes hoonetes on sissepuhkeõhu temperatuur peaaegu alati märksa madalam kui ruumiõhu temperatuur. Kui ruumis on mingisugune tegevus, seguneb õhk hästi. Tavakõrgusega ja hõivatud ruumis on õhuvahetuse efektiivsus 0,5 lähedal ka siis, kui seda pole täpsustatud.[2]

Projekteerimise alustamisel tuleb sõltumata ventilatsioonisüsteemi tüübist arvutada välja eelkõige ruumide tasemel õhuvooluhulgad ja siis süsteemi summaarsed õhuvooluhulgad. Sealjuures tuleb vaadata ka sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade bilanssi.

Õhuvooluhulka mõõdetakse [1]:

Absoluutsete ühikutega,  $m^3/s$  või  $l/s$  (liiter/sekund)

$1m^3/s = 1000 l/s$

Varem kasutati  $\text{m}^3/\text{h}$

$1\text{m}^3/\text{s} = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$

Õhu erivooluhulk,  $l/(\text{sm}^2)$  on õhuvooluhulk ühe ruutmeetri põrandapinna kohta.

Suurtes või kõrgetes ruumides võib õhujaoitus olla puudulik, mis võib tähendada, et sissepuhkeõhk ei jõua täiel määral ruumi osadesse, kus on inimesed ja tegevus. Kui on sellised ruumid, on põhjust nõuda, et lokaalne õhuvahetuse efektiivsus oleks kontrollitsoonis aktsepteeritaval tasemel. Kõrgetes ja suure soojuseraldusega ruumides peaks õhuvahetuse efektiivsus kontrollitsoonis ületama 0,5. [2]

Soojustagastiga lokaalse sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsioonisüsteemi eelised on[1]:

- Sissepuhkeõhu soojendamiseks kasutatakse väljatõmbeõhu soojust. Nüüdisagregaadid on saavutanud kasuteguri kuni 85% ja enamgi ning see annab väga suurt soojusenergia säästu.
- Sisse puhutakse filtreeritud, vajadusel ka niisutatud õhku.
- Välispiirded võivad olla maksimaalselt tihedad.
- Süsteemi töö ei sõltu välistingimustest.
- Õhuvahetuse intensiivsus on kergesti ja täpselt reguleeritav.

Kuigi soojustagastiga seadmed on suhteliselt kallid, on nende tasuvusaeg üsna lühike – praeguste soojusenergia hindade juures umbkaudu 2-5 aastat.

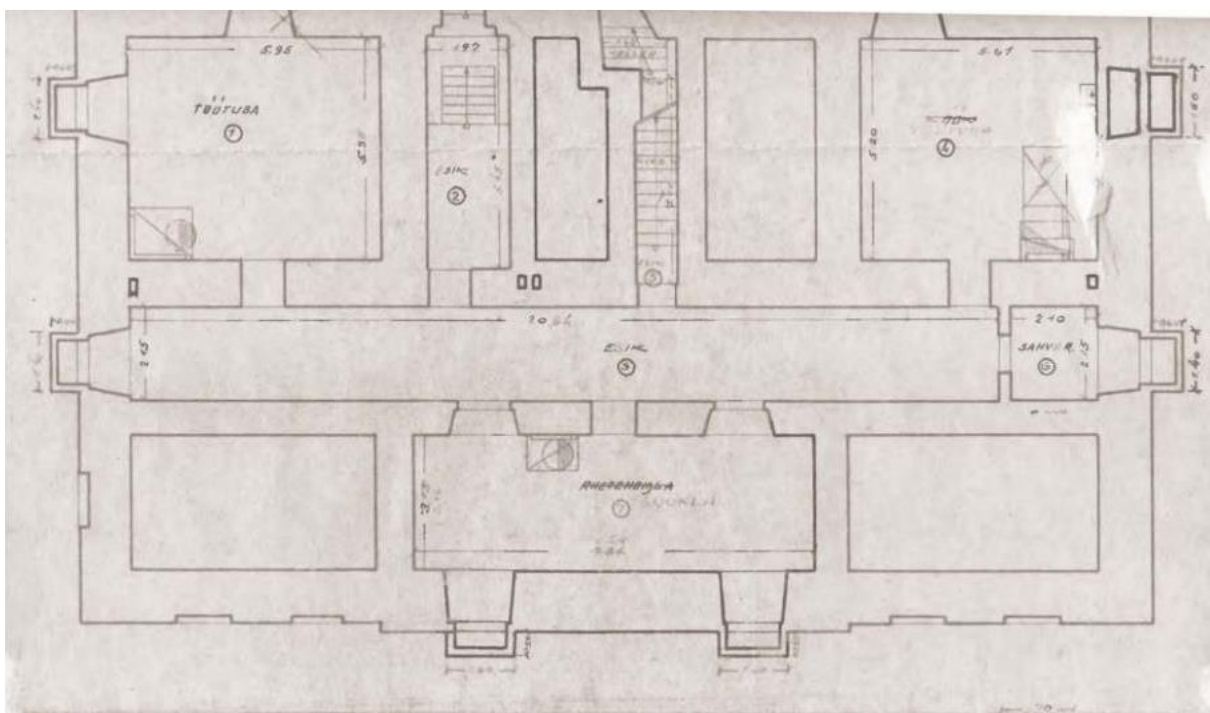
Tsentraalväljatõmbe puhul paigutatakse ventilaator katusele ja võimalusel kasutatakse olemasolevaid lõõre. Restid asendatakse mehaanilise õhuvahetuse plafoonidega. Müra tõkestamiseks tuleb süsteemi paigaldada mürasummutid ja ventilaatori pöörlemiskiirust peab saama reguleerida. Lokaalsed väljatõmbeventilaatorid paigaldatakse üldiselt hoone tehnoruumidesse või pööningutele. [1]

Võimalik on ehitada ka tsentraalne sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteem. Kuid selle ehitamine olemasolevasse Valga muusikakooli hoonesse tähendaks ulatuslikke ümberehitus- ja taastamistöid. Ventilatsioonitorustikud tuleb läbi viia hoone seintest ja vahelagedest. Selline süsteem kujuneb kalliks ja tuleb kõne alla vaid hoone täielikul renoveerimisel.

### 3. MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1 Hoone tutvustus (konstruktsioonid ja olemasolev ventilatsioonisüsteem)

Valga kesklinnas asuv linnakooli hoone pärineb 18. sajandi lõpukümnendist, olles oma algse funktsiooni koolihoonena säilitanud tänaseni. Esimese viite Valga koolielule on leidnud R. Kenkmaa 1638. aasta 4. septembri maade revisjoniaktist. 1788. aastani asus seal triviaalkool [13].

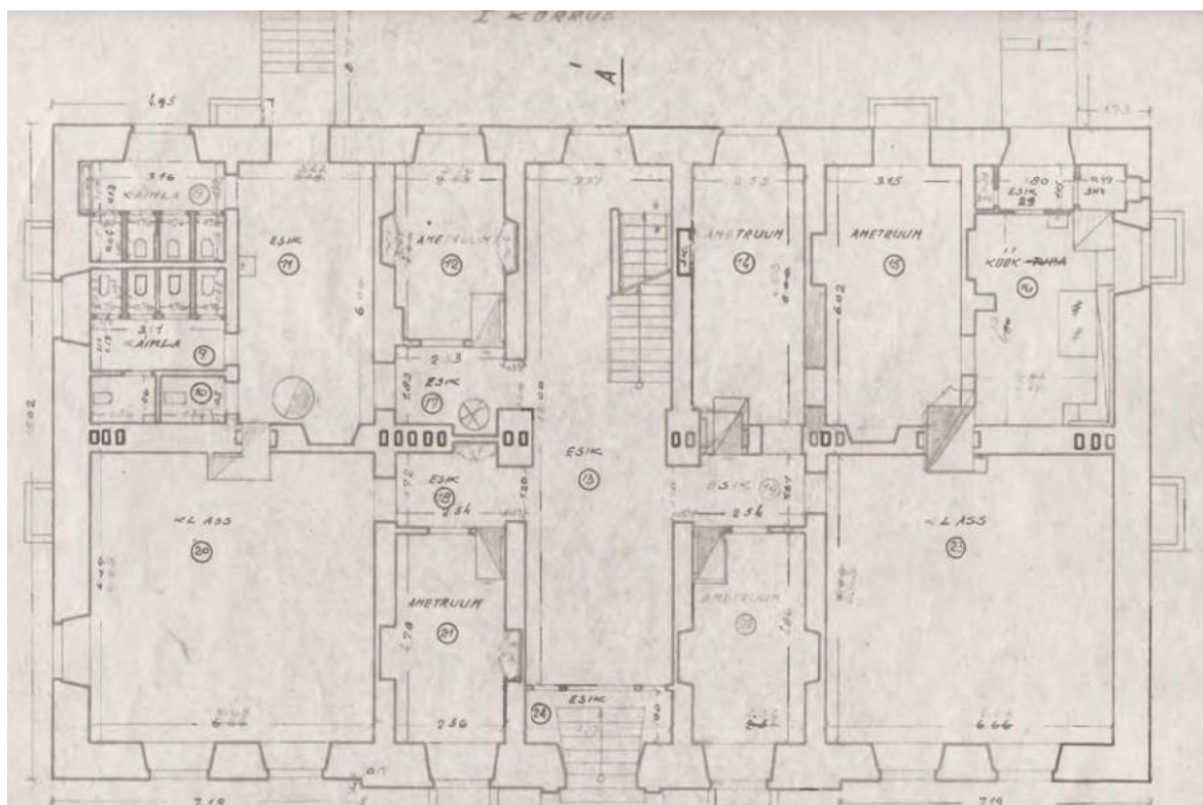


Joonis 1. Keldrikorruse plaan. Inventariseerimisjoonis 1965[14]

Käsitletav linnakooli hoone on erinevate allikate põhjal ehitatud 1788. aastal. Enne seda asus sama koha peal 1742. aastal ehitatud puidust koolimaja. Sellest ajast pärinevad ka hoone põhiplaani gabariidid (joonis 1). Küll on aga selgusetu algne korruselisus. On arvatud, et algselt võis olla tegemist ühekorruselise murdkelpkatusega rajatisega, millele



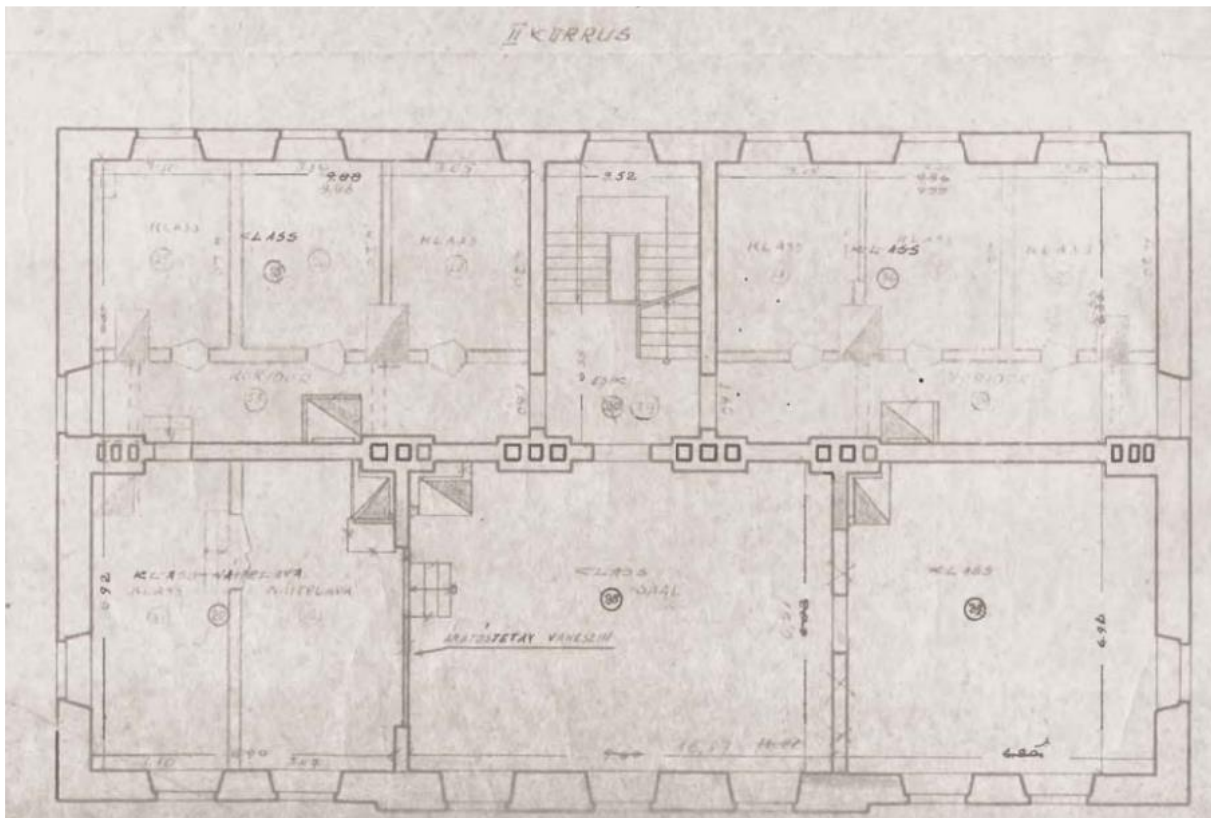
viitab karniis kahe korruse vahel. Samuti on erineva paksusega ka välisseinte konstruktsioonid (joonis 2). 1795. aastal ehitati hoonele teine korrus. [13]



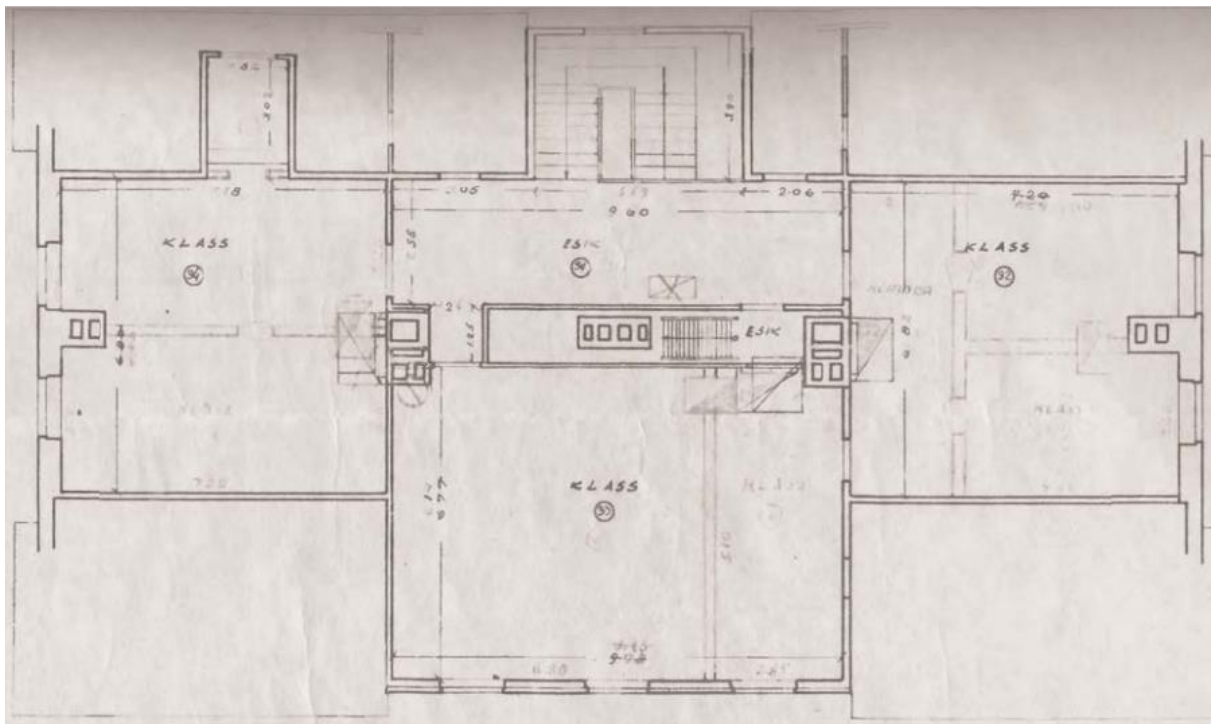
Joonis 2. Esimese korruse plaan. Inventariseerimisjoonis 1965 [14]

Endises linnakooli hoones on praeguseks juba aastakümneid tegutsenud muusikakool. Sellega seoses on hoones toimunud mitmeid ümberehitusi ja muid väiksemaid remonttöid (joonised 1-4). 1996. aastal vahetati järjekordselt välja hoone katusekate. Amortiseerunud eterniit eemaldati, selle alt välja tulnud plekk-katus säilitati. Vana katusekatte säilitamisega uue all tekkis olukord, kus katuse pealispind jäi projekteeritust kõrgemale ja seeläbi suurenes vahe olemasoleva räasta karniisi ja katuse vahel. [13]

Väiksemaid ja suuremaid ümberehitusi on toimunud ka hoone siseruumides. 2005. aastal remonditi klassiruumide tarbeks keldrikorrus (joonis 1). Seal esines probleeme niiskusega, mis pärast keskkütte paigaldamist 2007. aastal on vähenenud, ent mitte kadunud. Probleemi põhjuseks on hüdroisolatsiooni ja piisava õhuvahetuse puudumine ning ebasobivate ehitusmaterjalide kasutamine renoveerimisel. Pragusid esineb nii seintes kui laes. Hoones on olemas ka ventilatsioon, mis ei ole nii tõhus kui tarvis. Keldri kõrval on veel teine suur probleem aularuumiga (joonis 3), kus ebatõhusa ventilatsiooni tõttu on aktuste läbiviimine raskendatud.[13]



Joonis 3. Teise korruse plaan. Inventariseerimisjoonis 1965 [14]



Joonis 4. Katusekorruse plaan. Inventariseerimisjoonis 1965 [14]

Olemasolev mehaaniline ventilatsiooni puhul on keldris olemas väljapuue hoone lääneosa (joonis 5,6), mis ei ole lõplikult välja ehitatud, kuid asukoha poolest sobib tulevase ventilatsioonisüsteemi projekteerimisel väljapuhkeks.



Joonis 5. Keldris asuv väljatõmbeventilaator hoone lääneosas



Joonis 6. Olemasoleva ventilatsiooni väljatõmbesüsteemi läbiviik välisseinast lääneküljelt

## 3.2 Valga Muusikakooli ventilatsiooni projekteerimise eritingimused

Valgas asuva Kesk 22 õppehoone ventilatsiooni projekteerimisel tuleb lähtuda Valga Linnavalitsuse poolt kehtestatud muinsuskaitse eritingimustest [13].

- On oluline, et hoone väärtuslikud konstruktsioonid säiliks tööde käigus läbiviikude tekitamisel maksimaalselt oma algses mahus ning ventilatsioon tuleb projekteerida, austades maja olemasolevat ülesehitust.
- Lisaks tuleb läbiviikude kavandamisel olla eriti tähelepanelik hoone välisperimeetri juures, kuna kõik välisseinad on ilmselt ehitusaegsed ning vältimaks hoone üldmulje rikkumist, ei ole soovituslik kavandada ventilatsioonireste fassaadiküljele.
- Projekteeritavad välisagregaadid peavad paiknema tänavalt mitte vaadeldaval sisehoovipoolsel küljel.
- Ventilatsiooni läbiviigud võiks viia läbi kinnimüüritud keldriakende ja muude olemasolevate avauste.
- Agregaatidele, mis tuleb paigaldada seintele, tuleb ette näha eraldi alus ning vastavalt varjestamine. Otsene agregaatide paigaldus hoone fassaadile on keelatud.
- Siseruumides tuleb ventilatsioonisüsteemi kavandamisel samuti säilitada maksimaalselt vanu konstruktsioone. Eelistatud asukohaks ventilatsiooni läbiviikudel on nõukogudeaegsed või uuemad konstruktsioonid. Kuna antud hoone puhul on algeid konstruktsioone säilinud suuremal hulgal, tuleb ventilatsiooni projekteerimisel hoida erilist tähelepanu läbiviikude tegemisel ning võimalusel kavandada ventilatsioon minimaalsete ümbermuutustega hoone konstruktsioonis.
- Lisaks peavad ventilatsioonisüsteemi paigaldamisel säilima I korrusel paiknev kahhelahi ja mantelkorsten ning kohati aimatav algne anfilaadsüsteem.

Enne töödega alustamist tuleb hoones teostada värviuuringud, kuna osa kultuuriväärtustest võib olla peidus ka krohvikihide ja tapeetide all. Uuringud tuleb läbi viia seintel, kuhu on läbiviigud projekteeritud ning seintel, mis on märgitud vanemaks kui nõukogudeaegsed.

Kultuuriväärtuslike detailide avastamisel tuleb sellest teavitada koheselt Muinsuskaitseametit ning lisaks peab viimistlusuuringute teostaja koostama kajastava dokumendi.

Ajalooliste tarindite säilitamiseks tuleb kõik eriosade projektid kooskõlastada Muinsuskaitseametiga. Lisaks tuleb kavandada ventilatsioonitorud nii, et ajalooliste ruumide ilme ei muutuks. [13]

### 3.3 Kasutatud mõõteriistad ja meetodika

Läbiviidud sisekliima mõõdistus Valga Muusikakooli ruumides viidi läbi õhukvaliteedi andmelogeritega Extech EXCO 210 (joonis 7).

Õhukvaliteedi monitori mõõtepiirkond [15]:

- Temperatuuri puhul: -10...+60°C (täpsus: 0,1°C)
- Õhuniiskuse puhul: 0...99,9% RH (täpsus: 0,1% RH)
- Süsihappegaasi puhul: 0...9999ppm (täpsus: 1ppm)

Andmelogerite automaatne kalibreerimine toimus 7,5 päeva intervalliga minimaalse nivoo järgi [15].

Täpsemaks mõõdistamiseks valis töö autor koos juhendajate ja pärast kooli töötajatega konsulteerimist enim kasutatud klassiruumid igal hoone korrusel ning paigaldas õhumõõdistajad vähemalt ühe meetri kõrgusele, mis on õppetöö jaoks minimaalne tööpinna kõrgus, v.a teise korruse aulas (andur asetses toolil, 0,7 m kõrgusel).

Sisekliima parameetreid salvestasid andurid iga 10 minuti järel. 10-minutiline salvestamise intervall lepidi kokku töö juhendajatega kaalutlusel, et nii saab piisava täpsusega ülevaate uuritava ruumi sisekliimast.



Joonis 7. Extech EXCO 210 andmeloger[15]

Kokku paigaldati neli logerit: üks keldrikorrusele trummiõppeklassi (joonis 8), üks esimese korruse solfedžoklassi (joonis 9), üks teisele korrusele aulasse (joonis 10) ja üks kolmandale korrusele rahvapilli õppeklassi (joonis 13). Kuna kasutatud andmelogerite maksimaalne mõõdistuspunktide arv oli 5333 punkti, käis magistritöö koostaja andmeid

kogumas iga kahe-kolme nädala tagant kahe kuu vältel vahemikus 15. veebruar 2019 kuni 18. märts 2019.

Kooli töötajate aktiivse tegevuse tõttu ei õnnestunud kahel korral koguda järjepidevaid sisekliima andmeid teise korruse aularuumis (joonis 10). Turvalisema koha leidmiseks aetas töö autor anduri aula lavale (joonised 11;12), et koguda täpsemaid andmeid tiibklaverite ümbruse sisekliimast.

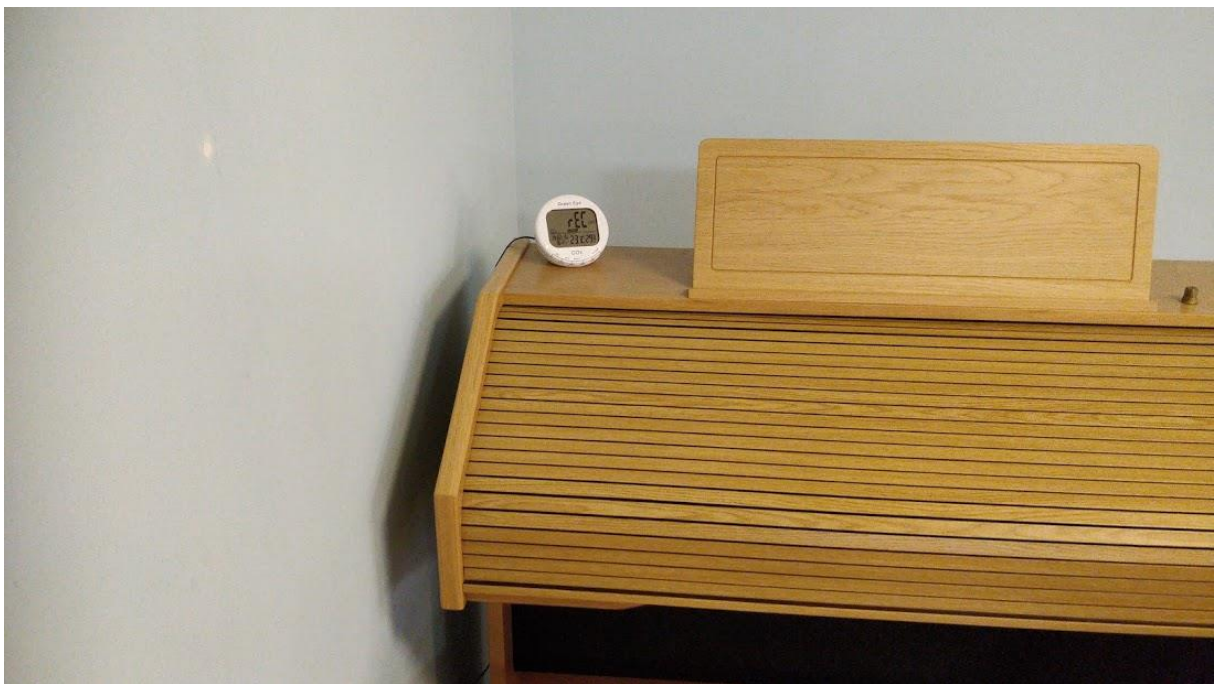


Joonis 8. Keldrikorruse trummiruumis asuv loger

Ajavahemik, millal sisekliima mõõdistused teostati, andis põhjaliku ülevaate hoone sisekliimast, kuna lõppemas oli kütteperiood ning ilmade soojenemisel tekkis muusikakoolis üha rohkem vajadus tuulutada klassiruumi. Arvestati ka Valga Muusikakooli töötajate kaebusi, et välistemperatuuri tõustes muutuvad kooli õpperuumid päeva jooksul umbseks ning paljude tundide läbiviimiseks on vaja üha tihedamini eelnevalt tuulutada klassiruumi.



Joonis 9. Esimese korruse solfedžoklassis asuv loger

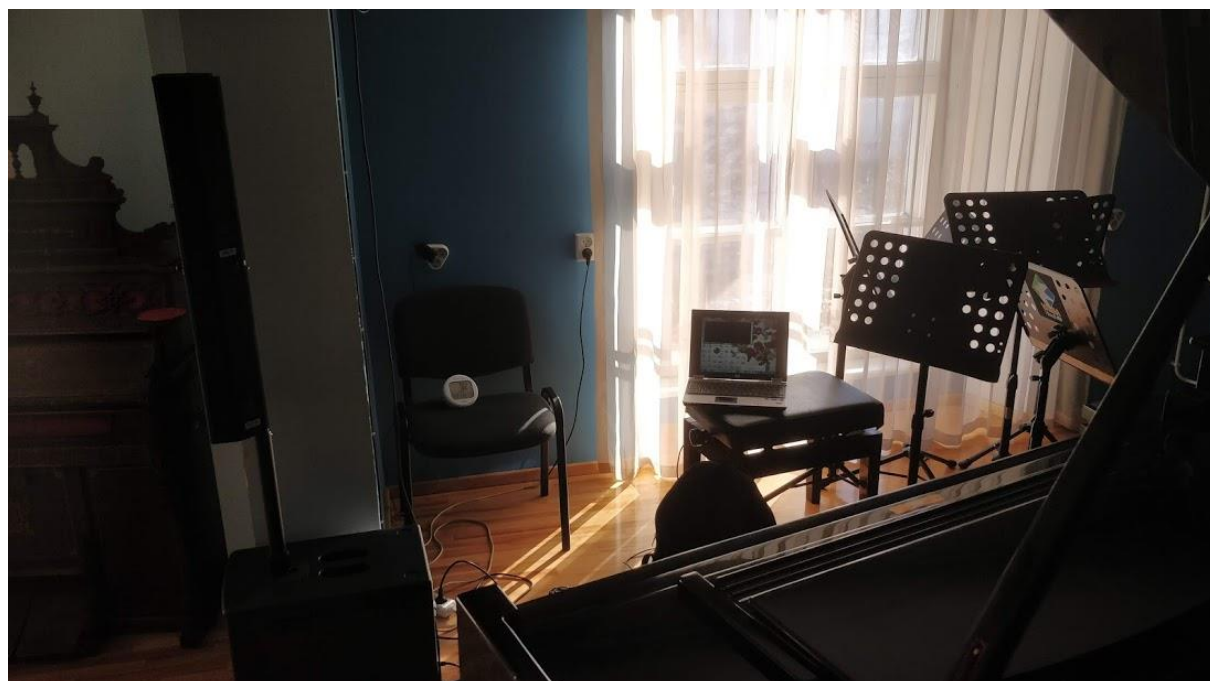


Joonis 10. Algne logeri asukoht 2. korruse aulas

Teisel korrusel paigutas töö autor esmalt anduri aula esiossa klavessiini peale, kuid kuna algne asukoht ei sobinud kooli töötajatele, sest sealne seinakontakt oli pidevalt kasutuses kooriproovides kasutatava süntesaatori jaoks, siis pidi anduri asukohta muutma ning valituks sai aula tagumine ruum, kus asuvad kooli kaks kõige tähtsamat tiibklaverit (joonis 11;12).



Joonis 11. Aula lava ja nähtav tagumine ruum tiibklaveritega hoone teisel korrusel.



Joonis 12. Aulas asuva logeri uus asukoht





Joonis 13. Rahvapillide õppeklassis asuva logeri asukoht kolmandal korrusel

Hiljem kajastatavates analüüsi tulemustes mängib rolli kolmanda korruse pildil olev valge agregaat (joonis 13): tegemist on õhuniisutajaga. Seega õhuniiskuse tulemused on kolmandal korrusel saadud niisutatud ruumist, mis kajastub ka analüüsis. Kuna õhuniisutaja paiknes andmelogeri vahetus läheduses, siis ei pruugi kajastatavad andmed kehtida kogu kolmanda korruse klassi kohta. Siiski andis õhuniisuti olemasolu hea võrdlusmomendi teiste õhuniisutita ruumidega.

### **3.4 Tarkvara Revit Architecture ruumilise mudeli koostamiseks**

Tänapäevases projekteerimises muutub ruumiline planeerimine üha tähtsamaks, selle üheks põhjuseks on hoonete tehnosüsteemide üha tehnilisemaks ja keerulisemaks muutumine, mida on ehitusinseneridel ainult kahemõõtmelistest joonistest ehitusplatsil raskem lugeda. Keerukate jooniste lugemine aeglustab ehitustööd, kuna kahemõõtmelised joonised ei anna nii head ülevaadet kui 3D mudel ning nõuavad mitme joonise samaaegset analüüsi. Ruumilise mudeli puhul saab ehitusinsener kiirema ülevaate nii sõlmedest kui korruseplaanist.

Ruumilise projekteerimisega parema ülevaate saamise kõrval muutub ehitusprojektide joonestamise kiirus. Kuna tüüpiliselt tuleb Autocad projekteerimisprogrammiga objekti plaanid, vaated ja lõiked joonestada iga kord uuesti, võtab projekteerimine kordades kauem tööaega ning sellele vastavalt on projekti valmimistähtajad palju pikemad.

Ei saa mainimata jätta, et ruumilise projekteerimise puhul on keerukamate objektide juures palju pisidetaile, mis võivad jääda projekteerijal märkamata ning projektis võib tekkida tihedamini ebakõlasid. Tänapäeval, kui BIM programmid muutuvad üha kasutajasõbralikumaks, ei pöörata ehitusfirmades piisavalt tähelepanu ruumilise mudeldamise programmide õppimisele.

BIM programmide vähese kasutamise põhjuseks on Autocadi joonestamisprogrammi lihtsam käsitsemine ning kasutamistraditsioonid. Pikaajalise kogemusega ehitusinseneridel ja projekteerijatel võib ette tulla 3D programmi tehnoloogiliste käskluste keerukusel tagasilööke. Hetkel ei ole BIM modelleerimine laialdaselt kasutusel aktiivsetel ehitusplatsidel, kuid juba keerulisematel objektidel, nagu Tartus 2016. aastal valminud Kvartali keskus, oli 3D mudeldamine hoone keerulise ülesehituse juures suureks abiks.

## 4. TULEMUSED

### 4.1 Sisekliima uurimistulemused

Sisekliima mõõdistused viidi kahe kuu vältel kolmes etapis:

1) 15.02.2019-6.03.2019

Esimese mõõteperioodi välistemperatuurid olid vahemikus  $-10^{\circ}\text{C}$ ... $+5^{\circ}\text{C}$ .

2) 6.03.2019-22.03.2019

Teise mõõteperioodi välistemperatuurid olid vahemikus  $-4^{\circ}\text{C}$ ... $+6^{\circ}\text{C}$

3) 22.03.2019-18.04.2019

Kolmanda mõõteperioodi välistemperatuurid olid vahemikus  $-1^{\circ}\text{C}$ ... $+16^{\circ}\text{C}$

Sisekliima graafikute kajastamisel töös kasutati programmi CO2LOGGER.

Detailsema ülevaate saamiseks graafikutest toob töö autor kõik kolm mõõdistusetapi eraldi välja. Graafikute põhjal koostatud mõõtetulemuste analüüs on toodud välja peatükis 5.

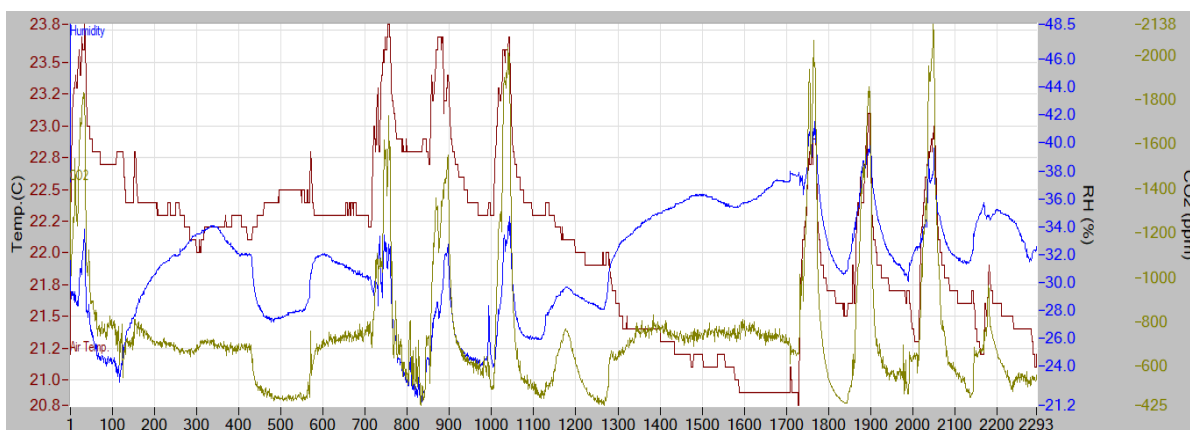
#### 4.1.1 Keldrikorruse mõõtetulemused

Keldrikorruse trummiruumi pädevate mõõdistustulemuste kogumiseks, paigutas töö autor andmelogeri ruumis asuva õpetaja laua peale kõrgusega 1,2 meetrit (joonis 8).

1) Mõõteperiood 15.02.2019-6.03.2019

Esimese vaatlusperioodi mõõtetulemused (joonis 14):

- Temperatuuri vahemik:  $20,8^{\circ}\text{C}$  kuni  $23,8^{\circ}\text{C}$
- Süsihappegaasi vahemik: 425ppm kuni 2138ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 21,2% kuni 48,5%

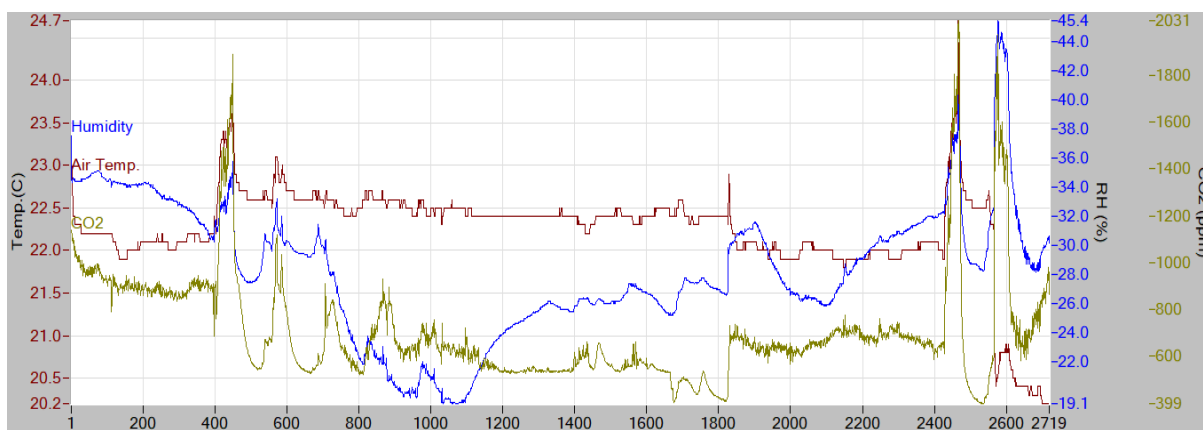


Joonis 14. Keldrikorruse mõõteperiood 15.02.19-6.03.19

2) Mõõteperiood 6.03.2019-22.03.2019

Teise vaatlusperioodi mõõtetulemused (joonis 15):

- Temperatuuri vahemik: 20,2°C kuni 24,7°C
- Süsihappegaasi vahemik: 399ppm kuni 2031ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 19,1% kuni 45,4%

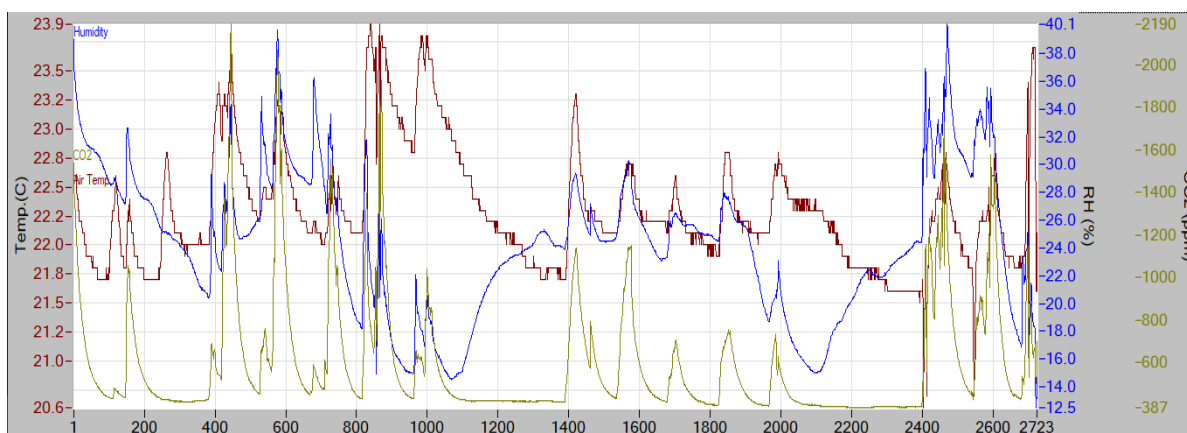


Joonis 15. Keldrikorruse mõõteperiood 6.03.19-22.03.19

### 3) Mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

Kolmanda vaatlusperioodi mõõtetulemused (joonis 16):

- Temperatuuri vahemik: 20,6°C kuni 23,9°C
- Süsihappegaasi vahemik: 387ppm kuni 2190ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 12,5% kuni 40,1%



Joonis 16. Keldrikorruse mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

## 4.1.2 Esimese korruse mõõtetulemused

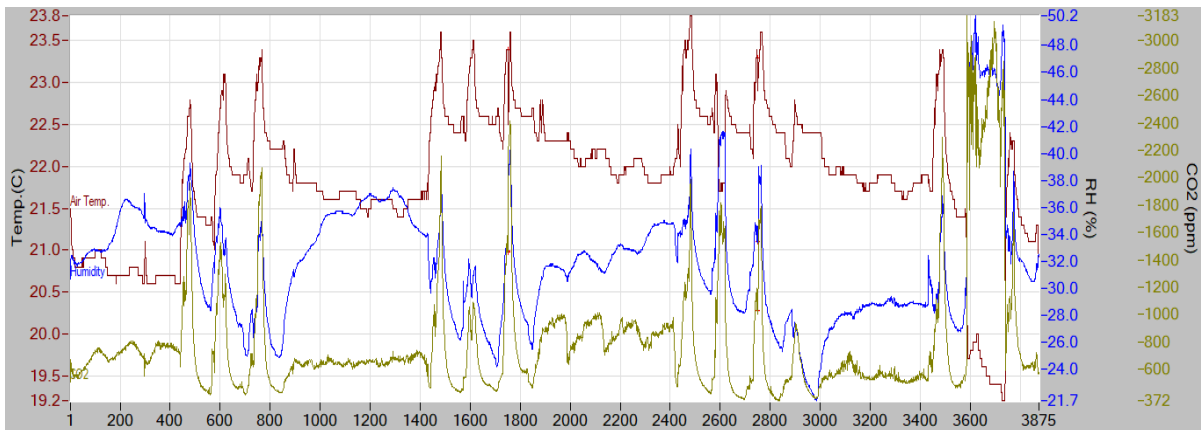
Esimese korruse solfedžo klassis paigaldas töö autor andmelogeri klassis asuvale riulile ruumi nurgas, kõrgusele 1,6 meetrit (joonis 9).

### 1) Mõõteperiood 15.02.19.-6.03.19

Esimese mõõteperioodi mõõtetulemused (joonis 17):

- Temperatuuri vahemik: 19,2°C kuni 23,8°C
- Süsihappegaasi vahemik: 372ppm kuni 3183ppm

- Õhuniiskuse vahemik: 21,7% kuni 50,2%

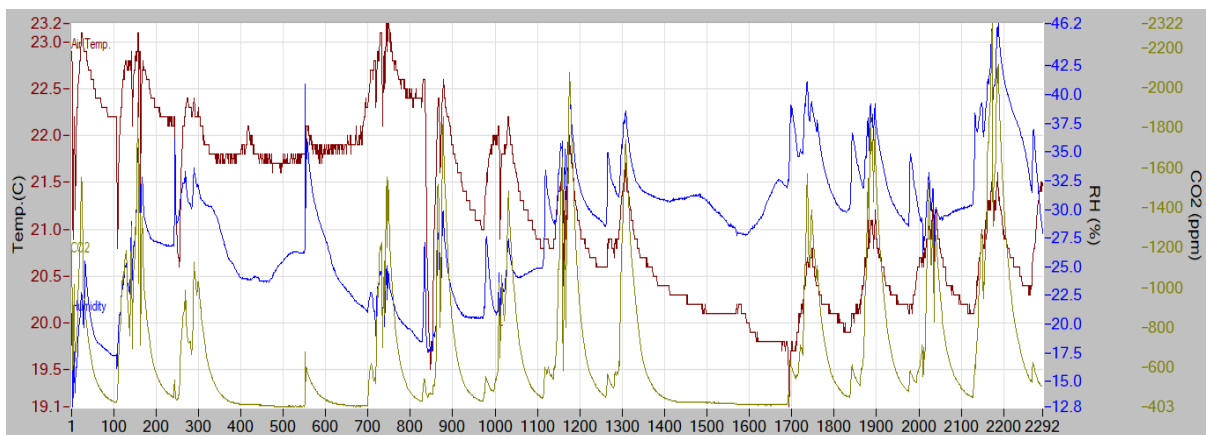


Joonis 17. Esimese korruse mõõteperiood 15.02.19-6.03.19

## 2) Mõõteperiood 6.03.19-22.03.19

Teise mõõteperioodi tulemused (joonis 18):

- Temperatuuri vahemik: 19,1°C kuni 23,2°C
- Süsihappegaasi vahemik: 403ppm kuni 2322ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 12,8% kuni

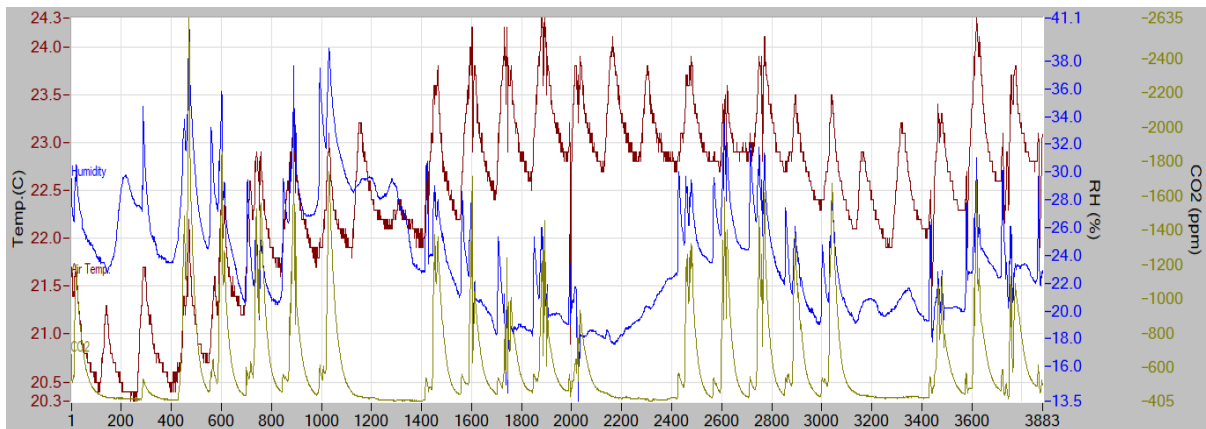


Joonis 18. Esimese korruse mõõteperiood 6.03.19-22.03.19

### 3) Mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

Kolmanda perioodi mõõtetulemused (joonis 19):

- Temperatuuri vahemik: 20,3°C kuni 24,3°C
- Süsihappegaasi vahemik: 405ppm kuni 2635ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 13,5% kuni 41,1%



Joonis 19. Esimese korruse mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

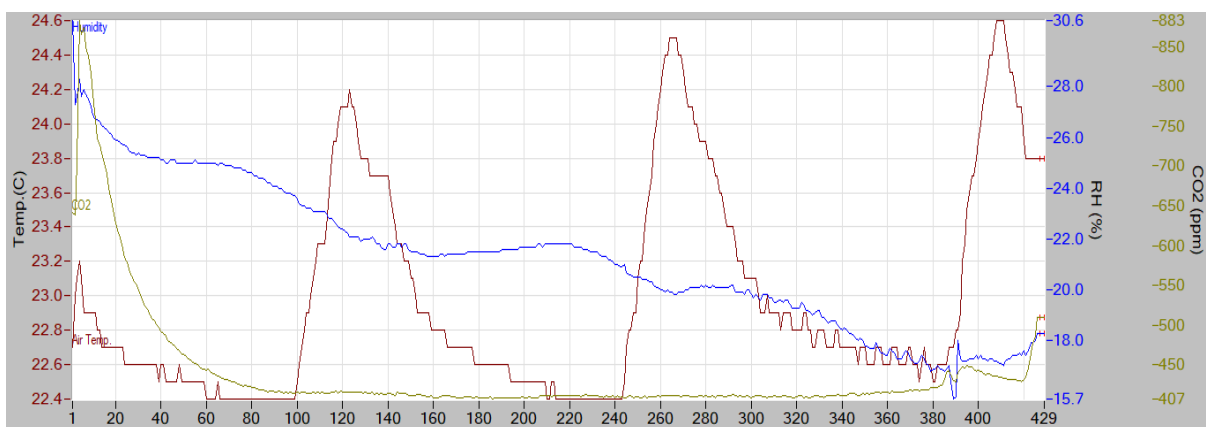
### 4.1.3 Teise korruse mõõtetulemused

Töö autor paigaldas algselt andmelogi aulas asuva klavessiini peale 1,5 meetri kõrgusele (joonis 10). Andmete kogumise ajal peatasid kooli töötajad aulas kahel korral anduri töö ning selle tulemusena ei ole võimalik kajastada 18.02.19-22.03.19 perioodi mõõdistusi. Uus andmelogi asukoht oli lava nurgas tooli peal kõrgusega 0,8 meetrit (joonis 12). Salvestatud tulemuste põhjal on võimalik rahuldavalt iseloomustada aula sisekliima olukorda.

#### 1) Mõõteperiood 15.02.19-18.02.19

Esimese perioodi mõõtetulemused (joonis 20):

- Temperatuuri vahemik: 22,4°C kuni 24,6°C
- Süsihappegaasi vahemik: 407ppm kuni 883ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 15,7% kuni 30,6%

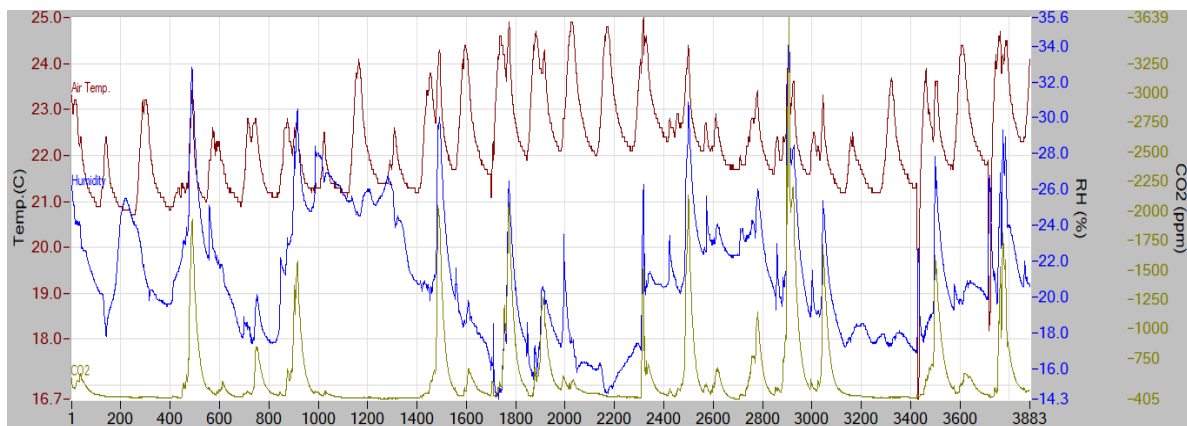


Joonis 20 Teise korruse mõõteperiood 15.02.19-18.02.19

## 2) Mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

Kolmanda perioodi mõõtetulemused (joonis 21):

- Temperatuuri vahemik: 16,7°C kuni 25,0°C
- Süsihappegaasi vahemik: 405ppm kuni 3639ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 14,3% kuni 35,6%



Joonis 21. Teise korruse mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

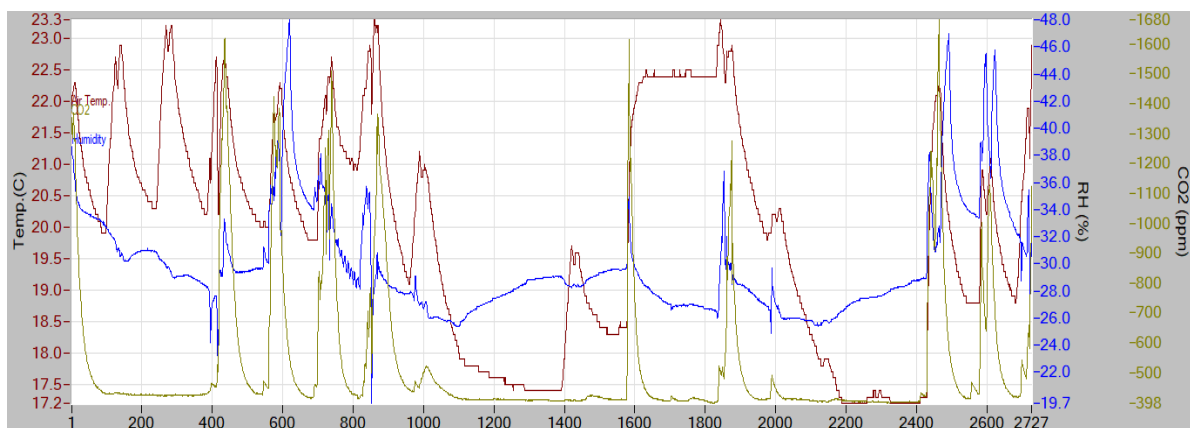
### 4.1.4 Kolmanda korruse mõõtetulemused

Kolmandal korruse rahvapilliklassi paigaldas töö autor andmelogeri harjutusruumis asuva kapi riulile kõrgusega 1,2 meetrit (joonis 13).

## 1) Mõõteperiood 15.02.19-6.03.19

Esimese perioodi mõõtetulemused (joonis 22):

- Temperatuuri vahemik: 17,2°C kuni 23,3°C
- Süsihappegaasi vahemik: 398ppm kuni 1680ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 19,7% kuni 48,0%

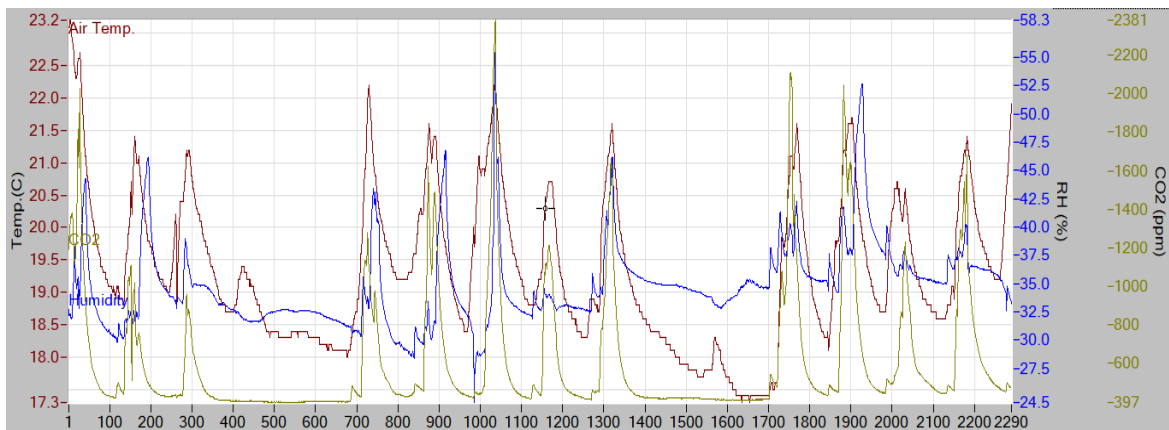


Joonis 22. Kolmanda korruse mõõteperiood 15.02.19-6.03.19

## 2) Mõõteperiood 6.03.19-22.03.19

Teise perioodi mõõtetulemused (joonis 23):

- Temperatuuri vahemik: 17,3°C kuni 23,2°C
- Süsihappegaasi vahemik: 397ppm kuni 2381ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 24,5% kuni 58,3%

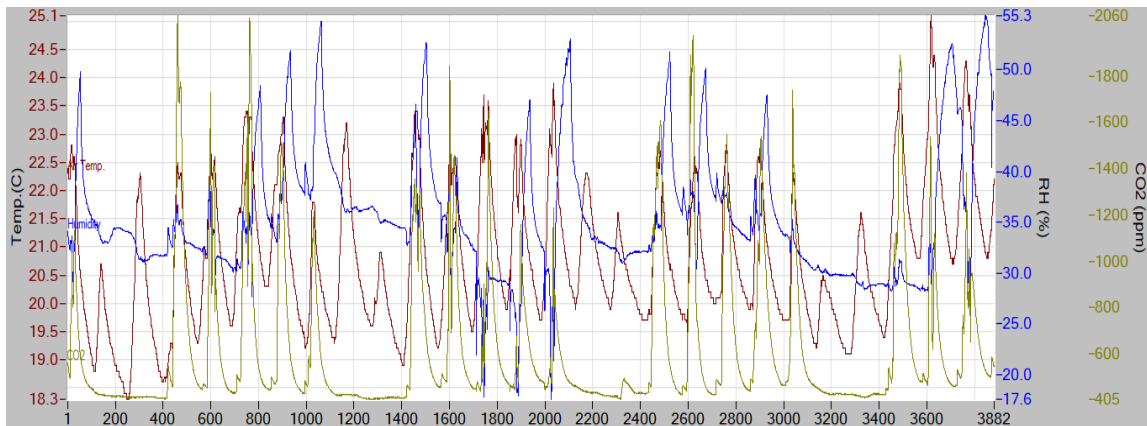


Joonis 23. Kolmanda korruse mõõteperiood 6.03.19-22.03.1

### 3) Mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

Kolmanda perioodi mõõtetulemused (joonis 24):

- Temperatuuri vahemik: 18,3°C kuni 25,1°C
- Süsihappegaasi vahemik: 405ppm kuni 2060ppm
- Õhuniiskuse vahemik: 17,6% kuni 55,3%



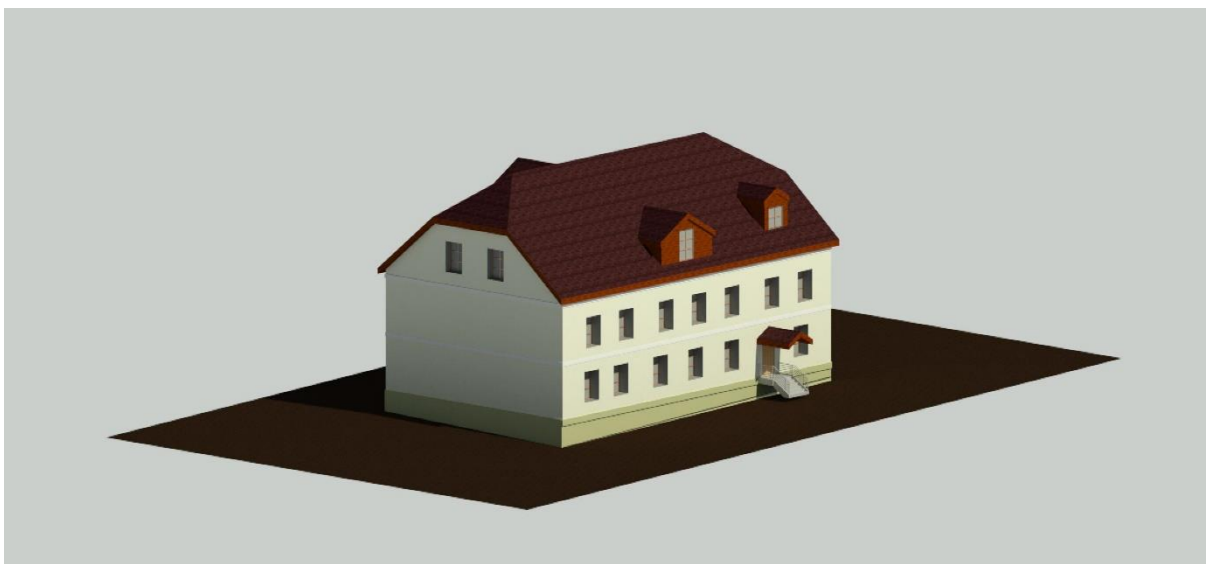
Joonis 24. Kolmanda korruse mõõteperiood 22.03.19-18.04.19

## 4.2 Valga Muusikakooli ruumiline mudel

Saamiseks paremat ülevaadet hoone ventilatsioonisüsteemi paigutusest, kujundas töö autor programmiga Revit Architecture Valga Muusikakooli ruumilise mudeli (joonised 25-26).

Mudeli koostamise aluseks on kasutatud Sulev Lange magistritöös[16] „Muusikakooli hoone vundamendi niiskuskahjustuste põhjuste väljaselgitamine“(2016) ning Lauri Veiderpassi magistritöös [17] „ Valga muusikakooli Kesk 22 hoone katuse restaureerimisprojekt“ (2016) olevaid põhiplane.





Joonis. 25 Valga muusikakooli mudeli vaade edelast



Joonis 26. Valga muusikakooli mudeli vaade kirdest

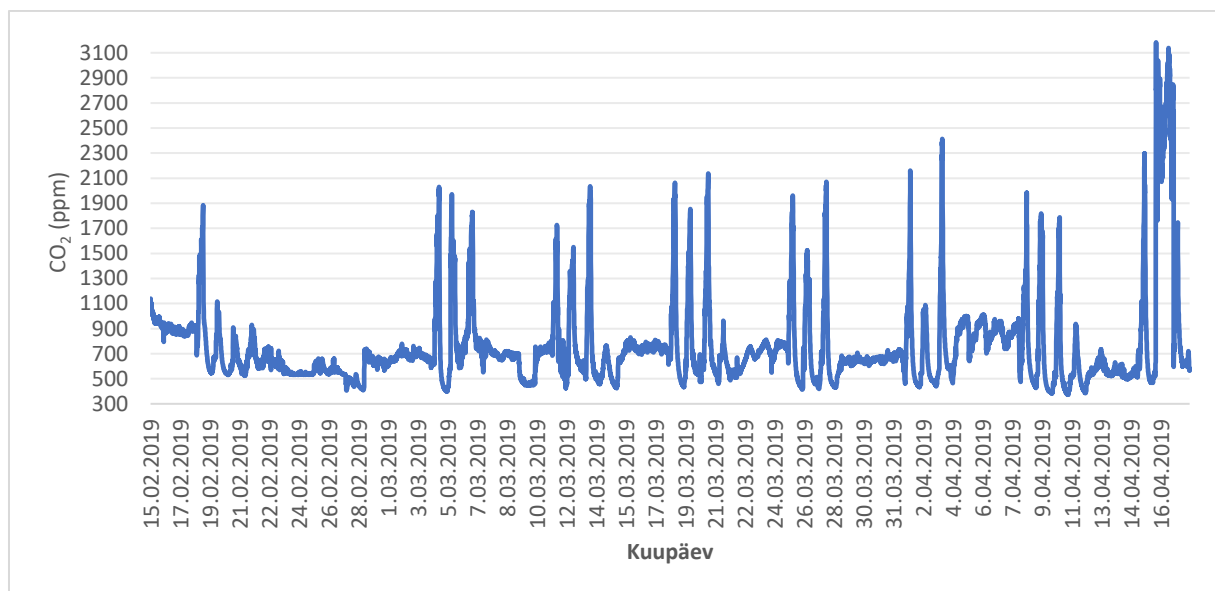
## 5. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED

Süsihappegaasi logerite abil kolmes etapis kogutud mõõtetulemused paigutati parema ülevaate saamiseks ühisesse andmetabelisse programmis Excel ning analüüsiti tervet mõõteperioodi, kus leiti saadud temperatuuri, süsihappegaasi ja niiskuse keskmine, maksimaalne ja minimaalne väärtus. Saadud analüüsi tulemused andsid parema ülevaate ruumi sisekliimast.

Detailsema ülevaate saamiseks terve etteantud hoone õhukvaliteedist on allpool toodud välja sisekliima analüüsid iga korruse kaupa eraldi.

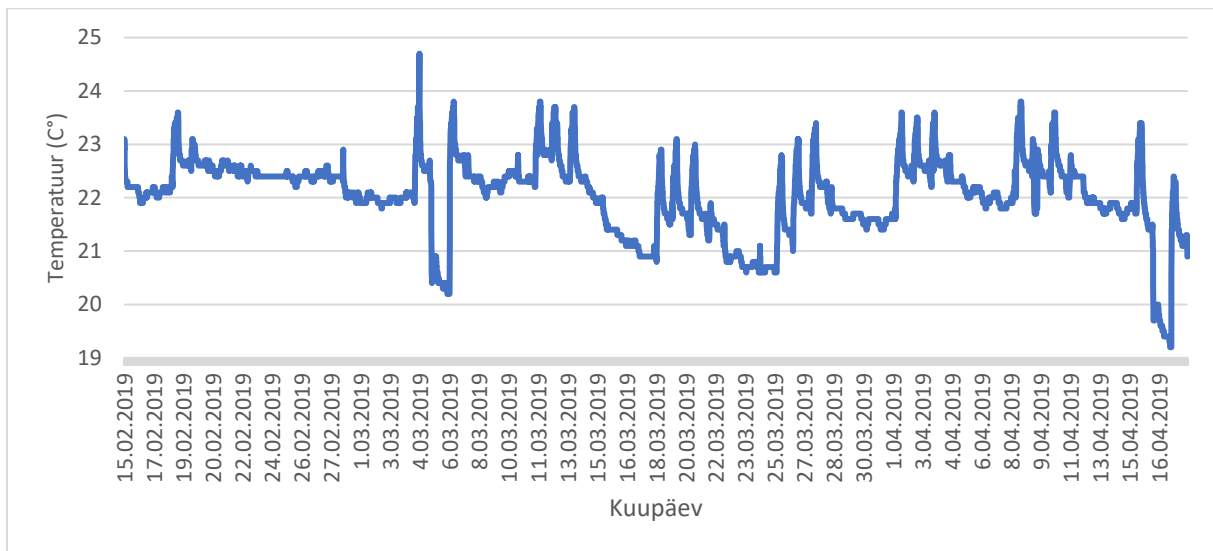
### 5.1 Keldrikorruse sisekliima analüüs

Süsihappegaasi tase ületab lubatud 1000ppm kõikidel päevadel, millal ruum on kasutuses, ja ületab sageli lubatud piiri kahekordselt (joonis 27).



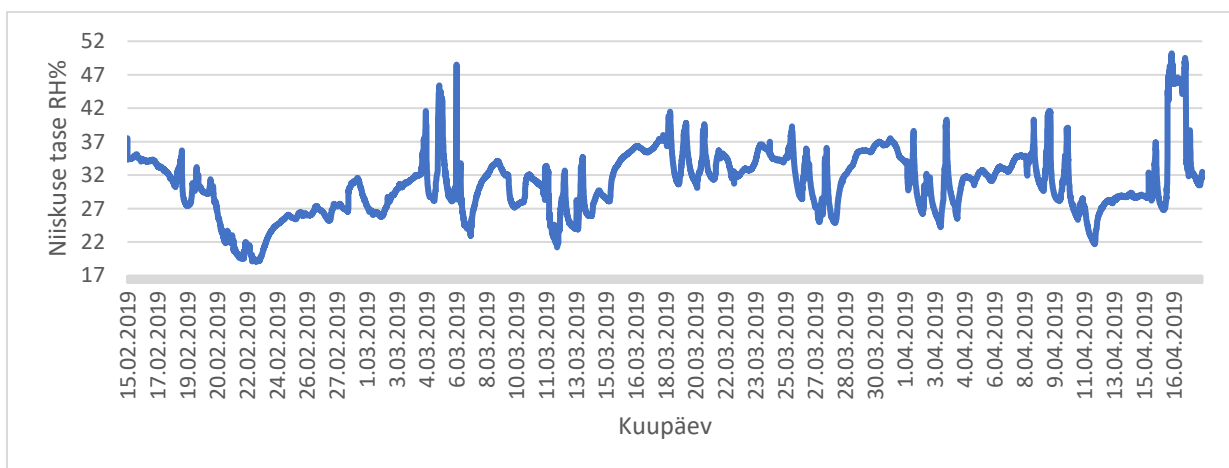
Joonis 27 Trummiruumi õhu süsihappegaasi sisaldus (ppm)

Temperatuur jääb nõuete piiresse[4]. Ruumi kasutamise ajal on temperatuur tõusnud lubatava ülempiiri lähedale. Tundide ajal on suured temperatuurihüpped (joonis 28), seega õhuliikumine on ruumis piiratud. Graafikult on näha, et ruumi tuulutamise ajal on temperatuur langenud, kuid tõuseb järgmise õppetunni jooksul kiiresti üles eelnevale ülemise piirnormi lähedasele tasemele.



Joonis 28. Keldrikorruse temperatuur (Celsius)

Keldrikorruse õhuniiskuse hüpped on vaatluse all olevatest ruumidest kõige suuremad (joonis 29). Märkimisväärsemad niiskustaseme langused on nädalavahetustel, kui ruum ei ole kasutuses. Pillide kõlakvaliteet hakkab juba lühema aja jooksul (paar kuud) kannatama ja vajab uuesti häälestamist. Kuna tegemist on õpperuumiga, kus peamisteks instrumentideks on trummid, siis niiskuse kõikumine ei mõjuta pillide kõla nii märkimisväärselt. Siiski on sobivaks pillide hoiustamiseks vajalik minimaalne õhuniiskus 40%.



Joonis 29 Keldrikorruse suhteline õhuniiskus (RH %)

### 5.1.1 Keldrikorruse sisekliima

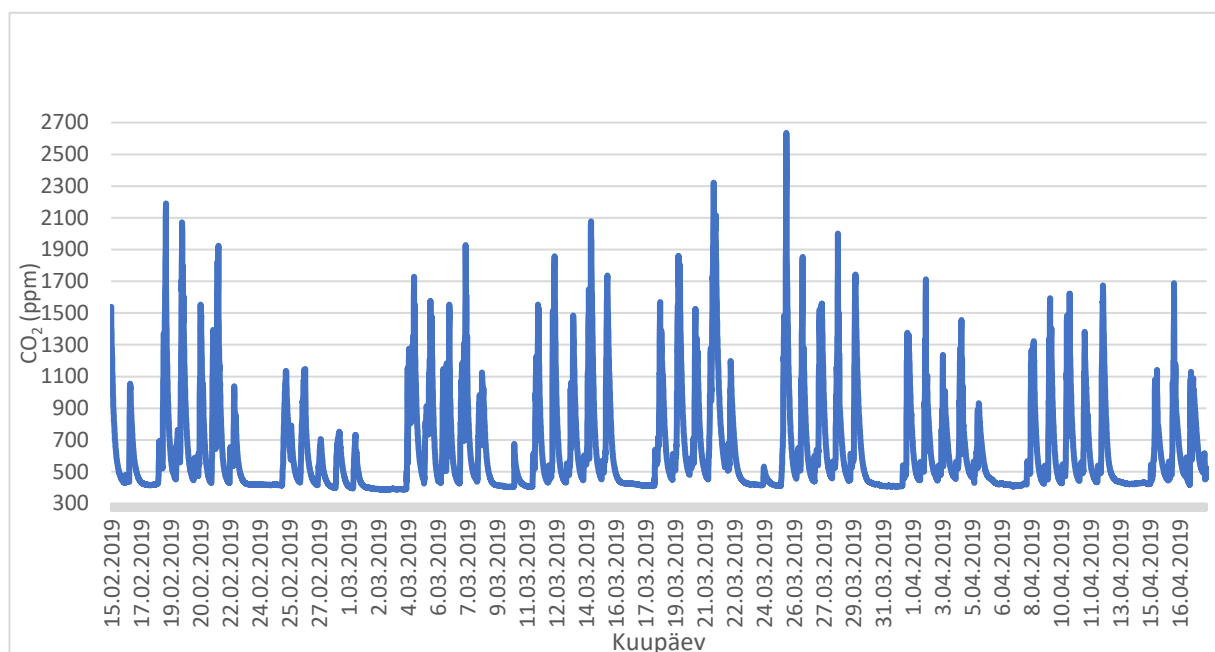
Tabelist 1, on näha, kuidas keskmine ruumi temperatuur jääb lubatud piiridesse. Õhuniiskus on keldri trummiruumis alla lubatava 40% ning õhuniiskuse normidele mittevastavate tulemuste osakaal on sellest 97%. Süsihappegaasi tulemuste põhjal keskmine CO<sub>2</sub> tase ei ületa lubatavat piiri, kuid üle 1000ppmi olevate mõõdistuste osakaal on üle lubatava 5% ning saab järeldada, et ruumi sisekliima ei ole sobiv õppetöök.

Tabel 1. Sisekliima parameetrite väärtused keldrikorrusel

	Temperatuur	CO <sub>2</sub> ppm	CO <sub>2</sub> üle 1000ppm	Niiskus RH %	RH% alla 40%
Keskmine	22,04	756,75	957	30,72	8651
Maksimum	24,70	3183,00	<b>osakaal</b>	50,20	<b>osakaal</b>
Miinumum	19,20	372,00	11%	19,10	97%

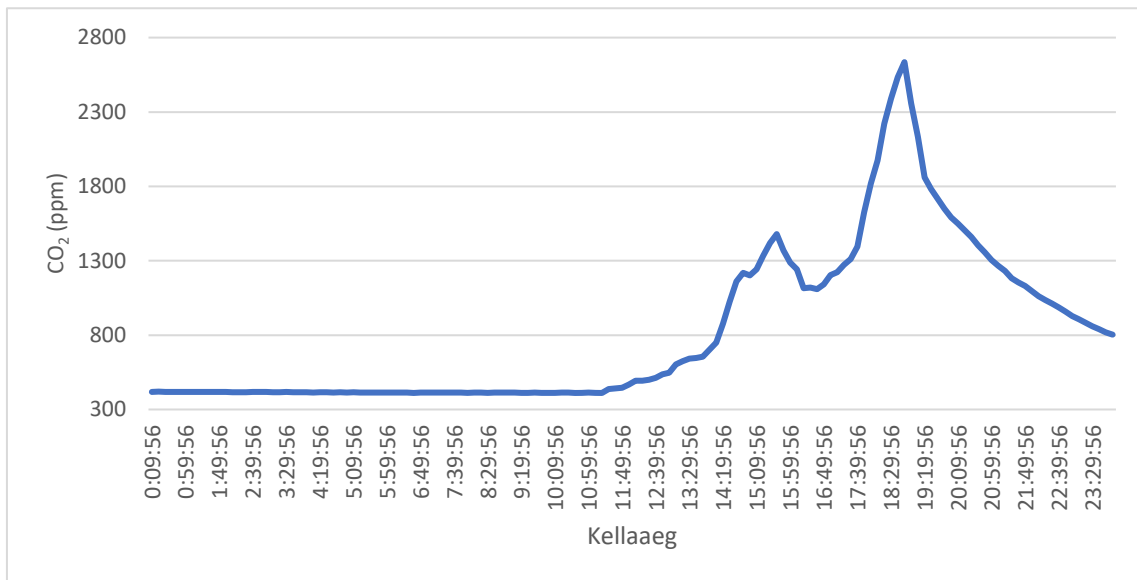
## 5.2 Esimesel korrusel asuv solfedžoklass

Süsihappegaasi sisaldus hüppab stabiilselt üle 1000ppmi peaaegu kõikidel koolipäevadel. Kuna tegemist on ühe sagedamini kasutatava klassiruumiga, siis on näha, et paljudel kordadel ei jõua ruumi tuulutada küllalt kaua, et süsihappegaasi tase langeks alla lubatava normi (joonis 30).



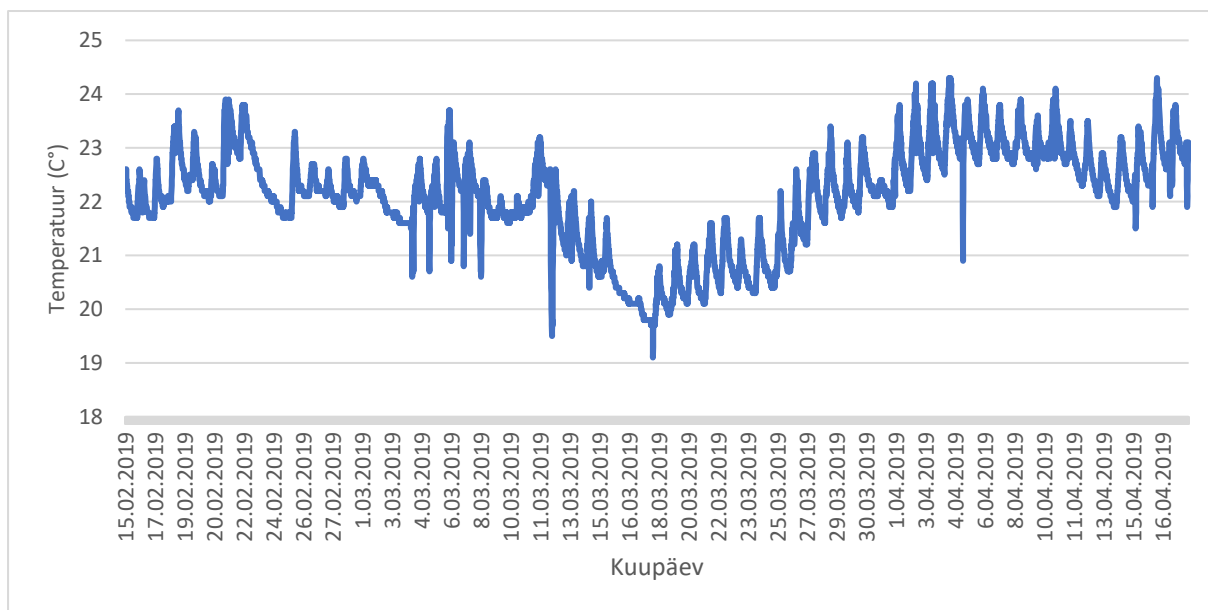
Joonis 30. Esimese korruse solfedžoklassi õhu süsihappegaasi sisaldus (ppm)

Süsihappegaasi tase tüüpilisel koolipäeval ületab lubatava normipiiri 1000ppmi tihti esimese koolitunni lõpuks, kus pideva ruumikasutuse tulemusena tõuseb CO<sub>2</sub> tase stabiilselt ning ruumi tuulutamine ei ole küllalt tõhus meetod, et saavutada tervislik sisekliima.(joonis 31).



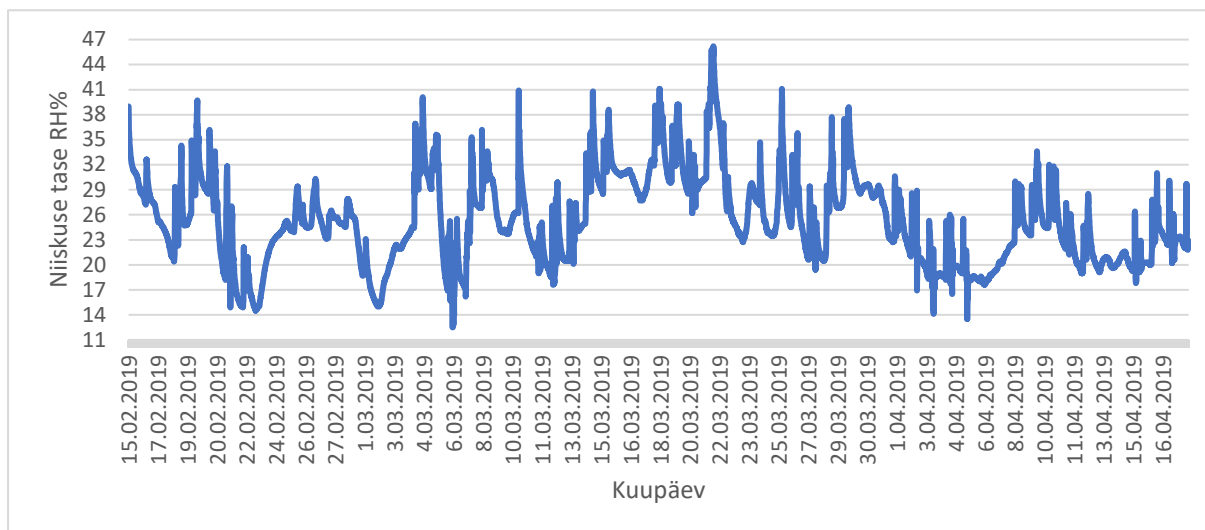
Joonis 31. Süsihappegaasi tase (ppm) solfedžo klassis kuupäeval 25.03

Temperatuuri kõikumised jäävad kõik normide piiridesse (joonis 32).



Joonis 32. Esimese korruse solfedžoklassi temperatuur (Celsius)

Suhteline õhuniiskus kõigub esimesel korrusel konstantselt alla lubatava normväärtuse (40%). Vajalik on ruumi paigaldada kohtniisuti, et tagada õpitingimusteks tervislik niiskustase (joonis 33).



Joonis 33. Esimese korruse suhteline õhuniiskus (RH %)

### 5.2.1 Esimese korruse sisekliima

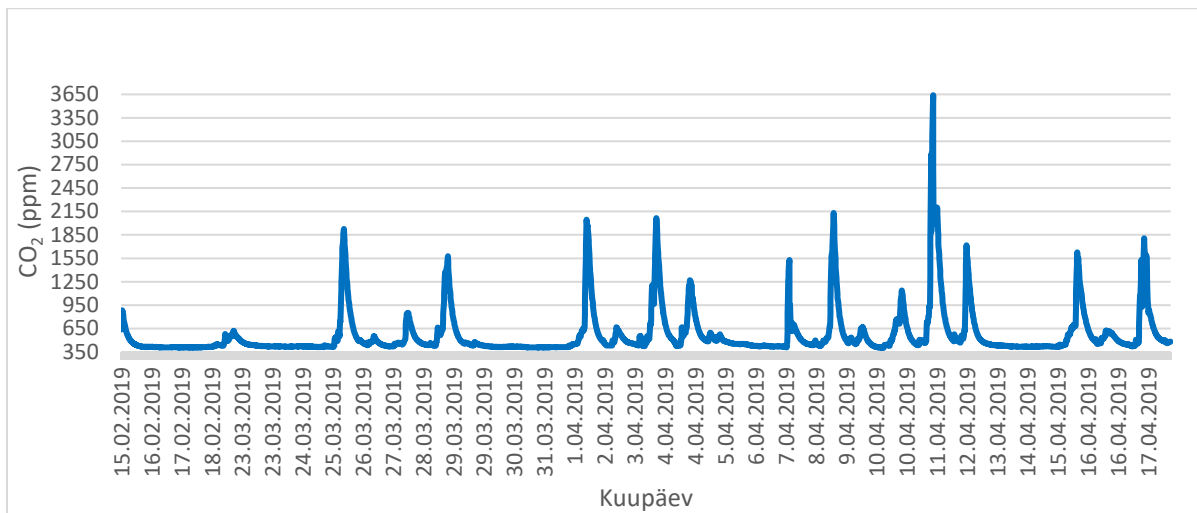
Vaadates parameetrite kokkuvõtet (tabel 2), näeme, et esimese korruse klassiruumi sisekliima täpselt keldrikorruse mõõdistustega ning saab järeldada, et sarnaste tulemuste põhjal ei ole ruum õppetöök sobilik ilma ventilatsioonisüsteemi lisamiseta.

Tabel 2. Sisekliima parameetrite väärtused esimesel korrusel

	Temperatuur	CO2 ppm	CO2 üle 1000ppm	Niiskus RH %	Niiskus alla 40%
Keskmine	22,09	624,45	1102	25,27	8840
Maksimum	24,30	2635	<b>osakaal</b>	46,20	<b>osakaal</b>
Miinumum	19,10	387	12%	12,50	99%

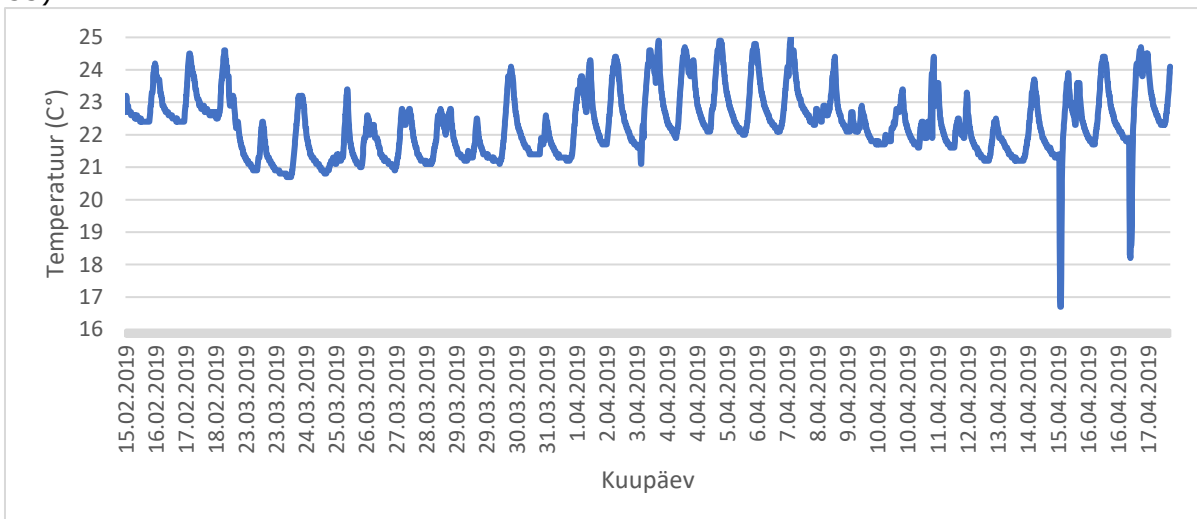
### 5.3 Teisel korrusel asuv aula

Süsihappegaasi mõõdistustulemused näitavad, et suuremate ürituste ja ruumi pikemaajase kasutuse ajal hüppab kõikidel kordadel CO<sub>2</sub> tase üle lubatava normväärtuse (joonis 34). Äärmusliku näitena saab tuua 11.04.2019 kuupäeval toimunud kevadkontserdi, kus süsihappegaasi tase ületas lubatava piiri 3,6 kordselt.



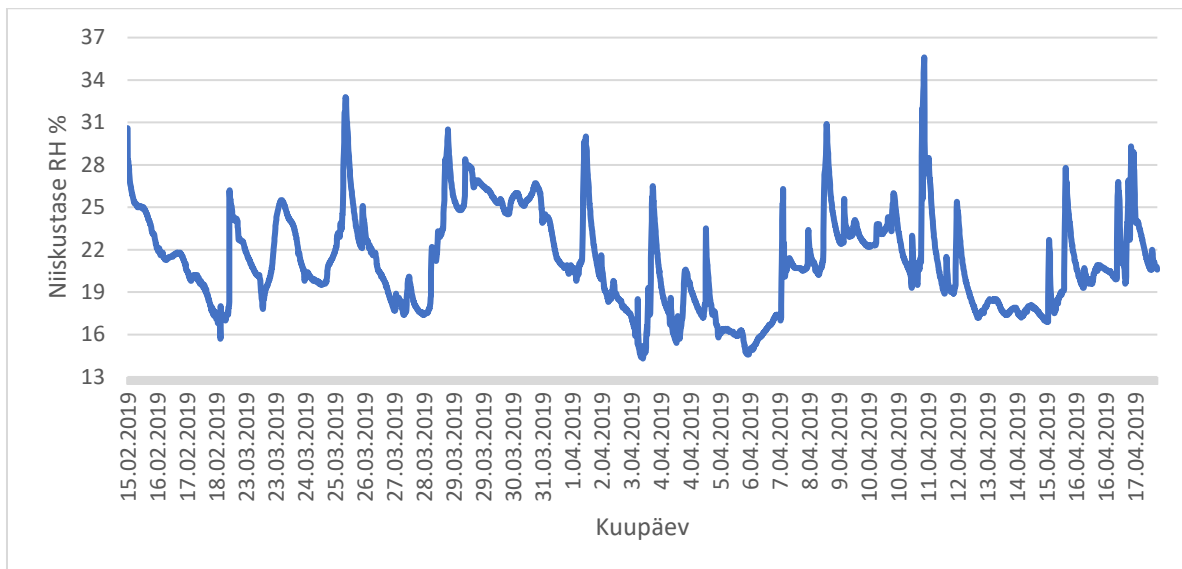
Joonis 34. Teise korruse aula süsihappegaasi tase (ppm)

Temperatuuri muutused teise korruse aulas jäävad lubatavatesse normpiiridesse (joonis 35).



Joonis 35. Teise korruse temperatuur (Celsius)

Kuna tegemist on hoone suurima ruumiga, siis on näha, kuidas niiskuse taseme muutus on kõige äärmuslikum ning ruumis olevad tiibklaverid saavad kütteperioodi jooksul kahjustusi (joonis 36).



Joonis 36. Teise korruse aula suhteline õhuniiskus (RH %)

### 5.3.1 Teise korruse sisekliima

Analüüsidest teise korruse tulemusi, on näha, kuidas aula niiskustase ei vasta normidele (tabel 3). Aula vajab tiibklaverite töökorras hoidmiseks kohtniisutusüsteemi. Kui toimuvad suurüritused, vajab ruum suuremat õhuliikumist, kuna isegi akendega tuulutamisel ei suudeta süsihappegaasi taset hoida lubatud piirides. Temperatuur jääb normpiiridesse. Eelnevast järeldades on aulas vajalik reguleeritav niisutus- ja ventilatsioonisüsteem.

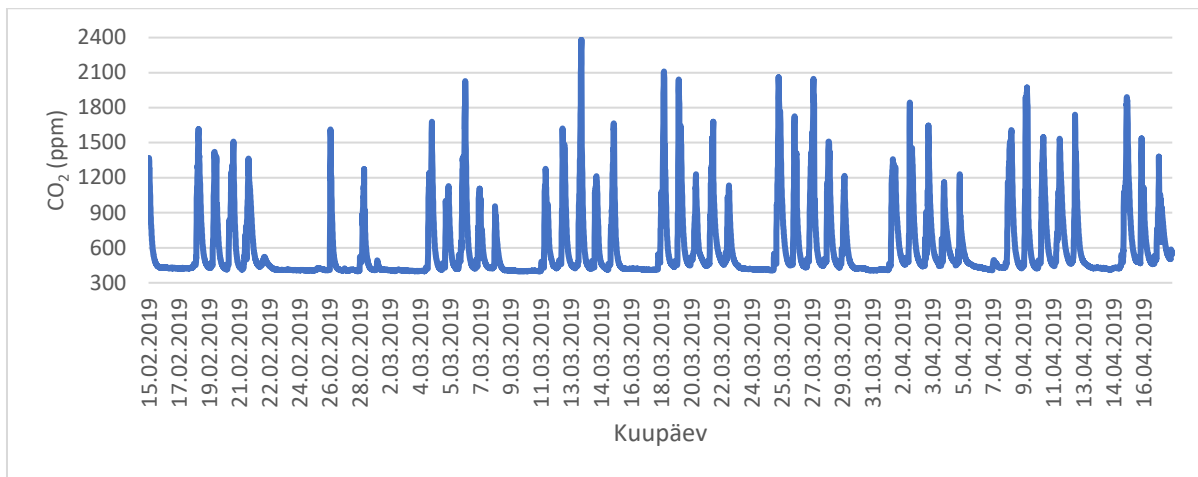
Tabel 3. Sisekliima parameetrite väärtused teisel korrusel

	Temperatuur	CO2 ppm	CO2 üle 1000ppm	Niiskus RH %	Niiskus alla 40%
Keskmine	22,32	570,70	332	21,16	4309
Maksimum	25,00	3639,00	<b>osakaal</b>	35,60	<b>osakaal</b>
Miinum	16,70	405,00	8%	14,30	99,98%

### 5.4 Kolmandal korrusel asuv rahvamuusika klass

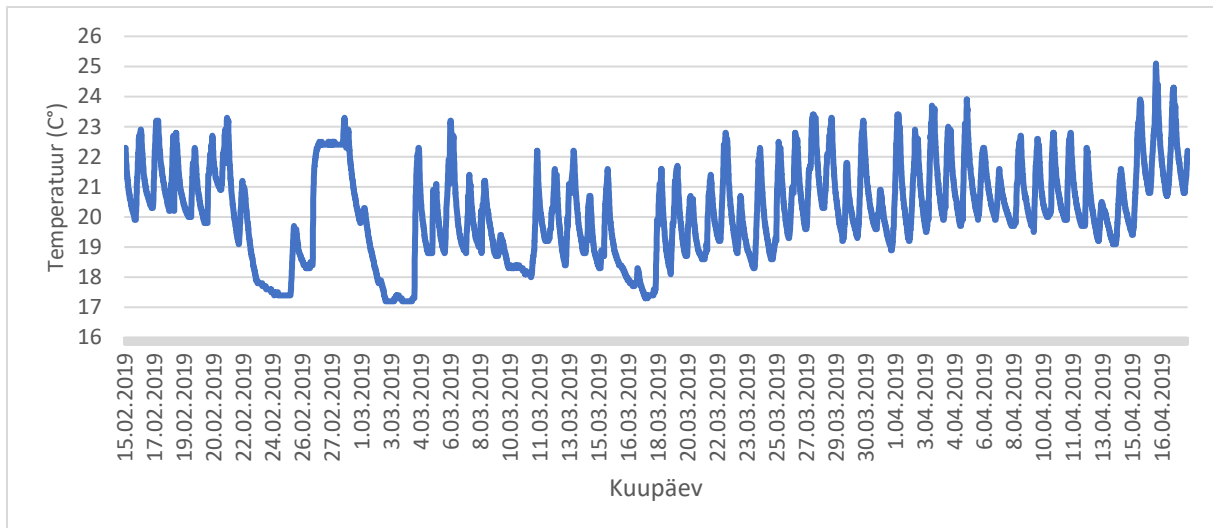
Kõikidel koolipäevadel ületab ruumi õhu süsihappegaasi tase lubatavat normpiiri (joonis 37). Suuremate õppegruppide korral ületab süsihappegaasi tase lubatavat piiri mitmekordselt.





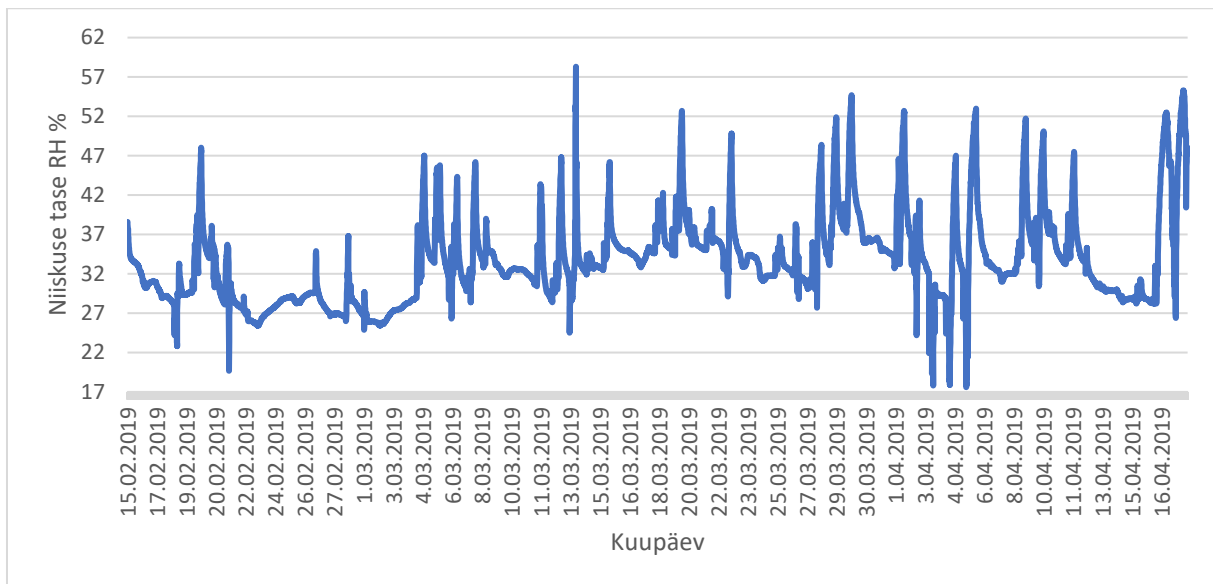
Joonis 37. Kolmanda korruse pilliruumi õhu süsihappegaasi tase (ppm)

Temperatuurimuutused jäävad kolmanda korruse rahvapilliruumis lubatud normidesse (joonis 38).



Joonis 38. Kolmanda korruse rahvapilliruumi temperatuur (Celsius)

Kuna ruumis oli mõõdistuste ajal õhuniisuti, siis on näha, kuidas ruumis püsib õhuniiskus paremini, võrreldes eelnevate ruumidega (joonis 39). Seega on hea võrdlusmomendina tuua välja kohtniisutuse tähtsus puupillidele tervisliku keskkonna hoidmisel. Siiski ei piisa ainult eraldiseisvast niisutusagregaadist, kuna stabiilsema õhuvoolu hoidmiseks on vajalik ehitada mehaaniline õhusüsteem, mille tulemusena läheb ruumide õhuniiskus veel madalamaks. Seega tuleb eristada kriitilisema niiskusvajadusega ruumid, lisades neile kohtniisutid.



Joonis 39. Kolmanda korruse rahvapilliruumi niiskuse tase (RH %)

### 5.4.1 Kolmanda korruse sisekliima

Tabeli tulemuste välja toomisel on näha, kuidas temperatuur jääb normpiiridesse (tabel 4). CO<sub>2</sub> osakaal ületab lubatava 5% piiri ning ruumis on vajalik automaatne ventilatsioonisüsteem. Analüüsidest niiskuse mõõtetulemusi, saab järeldada, et puupillidele tervisliku keskkonna tagamiseks on vaja kohtniisutit, mis on seotud ventilatsioonisüsteemiga.

Tabel 4. Sisekliima parameetrid kolmandal korrusel

	Temperatuur	CO <sub>2</sub> ppm	üle 1000ppm	Niiskus RH %	Niiskus alla 40%
Keskmine	20,19	588,09	967,00	33,63	7930
Maksimum	25,10	2381,00	osakaal	58,30	üle 1000ppm
Miinumum	17,20	397,00	11%	17,60	89%

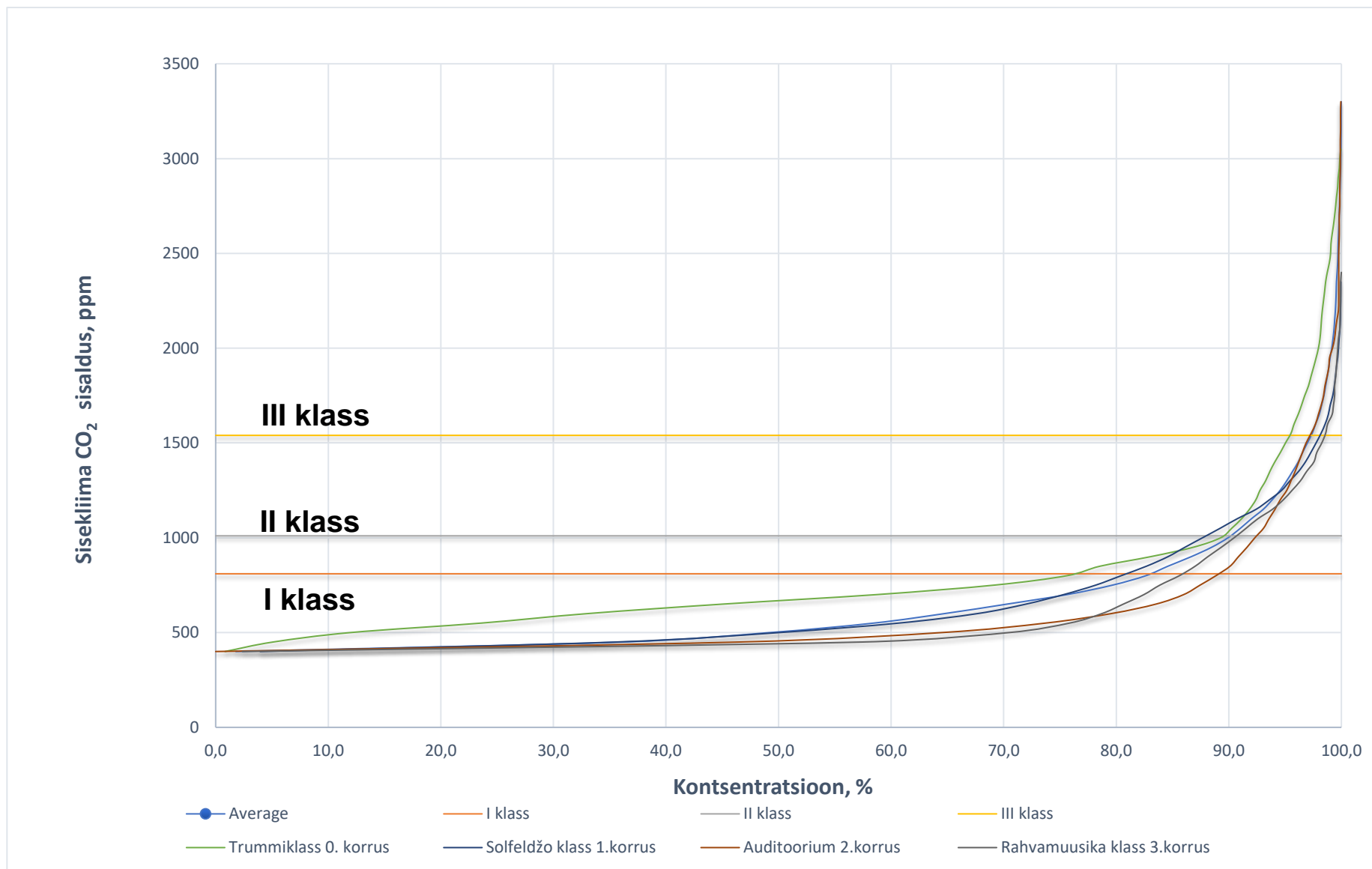
## 5.5 Valga Muusikakooli kumulatiivne graafik

Võrreldes hoone klassiruumide omavahel hoone kumulatiivsel graafikul (joonis 40), tuleb välja, et kõige kriitilisem vaadeldavatest ruumidest asub esimesel korrusel Esimese korruse solfedžo klassis kogu vaatlusperioodi vältel jäid ainult 87,7% mõõdistustest alla lubatava 1000 ppm taseme. Selle peamiseks põhjuseks on klassiruumi sage kasutus ning suuremate õppegruppide osalus tundides. Keldrikorrusel asuva trummiruumi lubatavad süsihappegaasi mõõdistusosad jäid 89,3% tasemele. Sellest saab järeldada, et kuigi võrreldes teiste klassidega on selles ruumis vähem rahvast, tõuseb süsihappegaasi tase klassis peaaegu sama kiiresti keskmisest füüsilisema pillimängu tõttu. Rahvamuusika

klassis kolmandal korrusel olid lubatavad süsihappegaasi tulemused 90,5% tasemel. Aula lubatavad mõõtetulemused jäid 92,3% juurde, kuid tuleb arvestada, et väiksema mõõtevalimi tõttu on teise korruse analüüs ebatäpsem. Siiski saab lühema aja vältel seiratud andmete põhjal näha, et ruumi süsihappegaasi tase ei jää lubatava 5% kõrvalkalde sisse ja vajab ventileerimist.

Iseloomustamiseks tervet hoonet, tuleb analüüsida kõikide mõõdistatud ruumide süsihappegaasi andmeid koos ning selle põhjal on näha, et 82,6% ulatuses jäävad CO<sub>2</sub> parameetrid alla 800 ppmi ning 90,1% ulatuses alla 1000 ppmi.

Kumulatiivsest graafikust saab järeldada, et Valga Muusikakooli hoone vajab mehaanilist ventilatsioonisüsteemi, et tagada vajalikud õhuvooluhulgad ja hoida süsihappegaasi tasemeid lubatud normide piirides.



Joonis 40. Valga Muusikakooli valitud ruumide kumulatiivne CO<sub>2</sub> sisalduse graafik

## 5.6 Valga Muusikakooli sisekliima

Analüüside tulemusena on näha, et kõikides seiratud ruumides ületas CO<sub>2</sub> ppmi tase regulaarselt tundide ajal lubatavat 1000 ppmi normväärtust, ületades mitmel korral lubatud taset kordades.

Hetkel ei ole hoones küllaldane õhuvool, et välja viia saasteaineid. Selleks, et saavutada Eesti Vabariigi määrustele vastav sisekliima õppehoonele, tuleb Valga Muusikakoolile paigaldada mehaaniline ventilatsioonisüsteem.

Käesoleva uuringu põhjal saab järeldada, et arvestades praegust olukorda siseõhu kvaliteedi osas, ei ole põhjust rääkida energiasäästmisest kui esmaprioriteedist. Valga Muusikakooli ventilatsioonisüsteemi projekteerimisel tuleb esmalt tagada tervislik sisekliima kooli õpilastele ja töötajatele.

Arvestades eelnevaid näiteid Kuressaare ja Türi Muusikakoolide näitel, kus ventilatsioonisüsteemi lisamisel muutus klassiruumide niiskus veel kuivemaks ning tulemusena oli näha kiiresti tekkivad kahjustused õppepillidele. Seega tuleb panna palju suurem rõhk sisekliima projekteerimisel ka niiskusele, et hoida õppeklassides ja harjutusruumides niiskustundlikele instrumentidele tervislikku sisekliimat. Selleks on soovitatav paigaldada kohtniisutid ruumidesse, kus asuvad nõudlikumad pillid (näitena aulas asuvad tiibklaverid).

## 5.7 Ventilatsiooni lahendus

Selleks, välja selgitada Valga Muusikakooli soovitusliku ventilatsioonisüsteemi parameetrid ja agregaatide võimsused, tuleb teha esmakorras hoone ruumide ja maksimaalselt lubatud inimeste arvu põhjal õhuvoolu arvutuskäigud.

Töö autor lähtus arvutuskäigu tegemisel standardist EVS 906:2018 „Mitteeluhoonete ventilatsioon“[7]. Standardis määratud õhuvooluhulgad olid vajalikud ruumidepõhise õhuvooluhulga arvutamiseks (tabel 5).Kuna Valga Muusikakool on huvihariduskool, tuleb normatiivarvude valimisel järgida õppeasutustele ette nähtud normatiive. Lisaks oli vajalik arvestada ette antud hoone kasutamisevajadustega ja Muinsuskaitse nõuetega.

Hoone õhuvahetuse vajalik hulk määratakse sõltuvalt ruumi otstarbest lähtuvalt kas inimeste arvust, ehituslikest nõuetest või ruumis toimuvast tehnoloogilisest protsessist. [2].

Tabel 5 Ventilatsiooni õhuvahetuse normatiivarvud EVS 906:2018 [7]

Ventilatsiooni normatiivarvud EVS 906:2018							
Ruum/kasutus	Õhuvahetus				Maks.lubat. kiirus viib.-tsoonis m/s	Müra tase dB (A)	Viide märkusele
	Välisõhk		Väljatõmme				
<b>Koolid</b>	l/s in.	l/ m <sup>2</sup>	l/s in.	l/m <sup>2</sup>			
Klassiruum, ainekabinet, tööõpetuse ruum, kuntsikabinet, muusikaklass	8	4	8	4	0,20	35	
Arvutiklass	8		8		0,25	35	Vt märkus D
Auditoorium	8	6	8	6	0,20	35	
Saal, aula	8	5	8	5	0,20	30	
Võimlasaal	15	2	15	2	0,25	35	Vt märkus C
Võimla riietusruum	5			(s)	0,20	40	
Õpetajate tuba, arstikabinet		1,5		1,5	0,20	35	
Raamatukogu		1,5		1,5	0,20	35	Vt märkus E
Magamistoad internaadis		1,5		1,5	0,20	35	
Riidehoid		(s)		1,5		40	
Jalutuskoridor		1			0,25	40	Vt märkus F

Hoone õhuvahetuste mahu leidmiseks tuleb arvutused teha hoone mahu põhjal ning ka maksimaalse lubatava inimeste arvu järgi ning valida suurim arv. Lisaks tuleb liigitada hoone ruumid ventilatsiooniagregaatide vajaduse põhjal kolme gruppi[18]:

Kriitiline ruum
Iseloomulik ruum
Ei vaja süsteemi

Tabel 6. Keldrikorruse vajaduspõhise õhuhulga arvutused

Korrus	Ruumi number	Ruumi nimetus	Pindala m <sup>2</sup>	Korruse kõrgus m	max in. arv	Normatiivid				Sissepuhke õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke õhuhulk(l/s)in.	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) in.	Ruumi maht m <sup>3</sup>	Õhuvool sisse m <sup>3</sup> /h	Õhuvool välja m <sup>3</sup> /h
						Sissepuhke (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmme (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke (l/s) in.	Väljatõmme (l/s) in.							
0	001	Klassiruum	32,3	2,53	5	4	4,25	8	8	129,2	40	137,275	40	81,719	465,12	494,19
	002	Laoruum	14,2	2,53	1 (s)	-	1	-	-	-	-	14,2	-	35,926	-	51,12
	004	Klassiruum	30,7	2,53	5	4	4,25	8	8	122,8	40	130,475	40	77,671	442,08	469,71
	005	Tehniline ruum	3,8	2,53	1 (s)	-	1	-	-	-	-	3,8	-	9,614	-	13,68
	006	Koridor	39,3	2,53	5	1	-	-	-	39,3	-	-	-	99,429	141,48	-
	007	Abiruum	5,0	2,53	1 (s)	-	1	-	-	-	-	5	-	12,65	-	18
	009	Klassiruum	14,7	2,53	5	4	4	8	8	58,8	40	58,8	40	37,191	211,68	211,68
	010	Klassiruum	21,3	2,53	5	4	4	8	8	85,2	40	85,2	40	53,889	306,72	306,72
	Korrus kokku m <sup>2</sup>			161,3	Vajalik õhuhulk kokku (l/s)						435,3	434,8	408,089	1567,08	1565,1	

(s)-siirdeõhk

Selleks, et ventilatsioonisüsteemis minimaliseerida rõhukadusid ning vältida ala- ja ülerõhuga kaasnevaid probleeme, tuleb tasakaalustada hoone sissepuhke ja väljatõmbe õhuhulgad. Arvutuste põhjal on keldrikorruse ruumides vajaduspõhine ventilatsiooniõhuhulk sissepuhke puhul 435,3 l/s ja väljatõmbe puhul 434,8 l/s (tabel 6).

Tabel 7. Esimese korruse vajaduspõhise õhuhulga arvutused

Korrus	Ruumi number	Ruumi nimetus	Pindala m <sup>2</sup>	Korruse kõrgus m	max in. arv	Normatiivid				Sissepuhke õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke õhuhulk(l/s)in.	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) in.	Ruumi maht m <sup>3</sup>	Õhuvool sisse m <sup>3</sup> /h	Õhuvool välja m <sup>3</sup> /h	
						Sissepuhke (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmme (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke (l/s) in.	Väljatõmme (l/s) in.								
1	101	WC	6,2	3,48	1	(s)	-	-	20	-	-	-	20	21,576	-	72	
	102	Abiruum	3,0	3,48	1	(s)	-	1	-	-	-	3	-	10,44	-	10,8	
	103	WC	4,9	3,48	1	(s)	-	-	20	-	-	-	20	17,052	-	72	
	104	WC	4,9	3,48	1	(s)	-	-	20	-	-	-	20	17,052	-	72	
	105	Riidehoid	19,7	3,48	20		1	1	1	-	19,7	20	19,7	-	68,556	72	70,92
	106	Klassiruum	10,4	3,48	5		4	4	8	8	41,6	40	41,6	40	36,192	149,76	149,76
	107	Klassiruum	44,2	3,48	20		4	4	8	8	176,8	160	176,8	160	153,816	636,48	636,48
	108	Klassiruum	13,1	3,48	5		4	4	8	8	52,4	40	52,4	40	45,588	188,64	188,64
	109	Kantselei	16,1	3,48	5		1	1	-	-	16,1	-	16,1	-	56,028	57,96	57,96
	110	Õpetajate tuba	19,0	3,48	10		1	1	-	-	19	-	19	-	66,12	68,4	68,4
	111	Kaminaruum	16,0	3,48	5		1	1	-	-	16	-	16	-	55,68	57,6	57,6
	112	Klassiruum	45,1	3,48	20		4	4	8	8	180,4	160	180,4	160	156,948	649,44	649,44
	113	Direktori kabinet	13,3	3,48	5		1	1	-	-	13,3	-	13,3	-	46,284	47,88	47,88
	114	Koridor	56,3	3,48	10		1	-	-	-	56,3	-	-	-	195,924	202,68	-
	115	Esik	5,7	3,48	1		1	-	-	-	5,7	-	-	-	19,836	20,52	-
Korrus kokku m <sup>2</sup>			277,9	Vajalik õhuhulk kokku (l/s)						597,6		598,3		967,092	2151,36	2153,88	

Esimese korruse vajalikuks õhuhulgaks on sissepuhke puhul 597,6 l/s ja vastavalt väljatõmbele 598,4 l/s (tabel 7).



Tabel 8. Teise korruse vajaduspõhise õhuhulga arvutused

Korrus	Ruumi number	Ruumi nimetus	Pindala m <sup>2</sup>	Korruse kõrgus m	max in. arv	Normatiivid				Sissepuhke õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke õhuhulk(l/s)in.	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) in.	Ruumi maht m <sup>3</sup>	Õhuvool sisse m <sup>3</sup> /h	Õhuvool välja m <sup>3</sup> /h
						Sissepuhke (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmme (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke (l/s) in.	Väljatõmme (l/s) in.							
2	201	Klassiruum	13,5	3,40	5	4	4,5	8	8	54	40	60,75	40	45,9	194,4	218,7
	202	Klassiruum	13,3	3,40	5	4	4,5	8	8	53,2	40	59,85	40	45,22	191,52	215,46
	203	Klassiruum	12,8	3,40	5	4	4,5	8	8	51,2	40	57,6	40	43,52	184,32	207,36
	204	Klassiruum	13,6	3,40	5	4	4,5	8	8	54,4	40	61,2	40	46,24	195,84	220,32
	205	Klassiruum	12,4	3,40	5	4	4,5	8	8	49,6	40	55,8	40	42,16	178,56	200,88
	206	Klassiruum	13,0	3,40	5	4	4,5	8	8	52	40	58,5	40	44,2	187,2	210,6
	207	Koridor	16,8	3,40	5	1	-	-	-	16,8	-	-	-	57,12	60,48	-
	208	Trepikoda	22,3	3,40	10	1	-	-	-	22,3	-	-	-	75,82	80,28	-
	209	Koridor	17,7	3,40	5	1	-	-	-	17,7	-	-	-	60,18	63,72	-
	210	Klassiruum	21,2	3,40	5	4	4,4	8	8	84,8	40	93,28	40	72,08	305,28	335,808
	211	Lava	36,6	3,40	15	5	5,25	8	8	183	120	192,15	120	124,44	658,8	691,74
	212	Saal	105,8	3,40	100	5	5,35	8	8	529	800	566,03	800	359,72	2880	2880
Korrus kokku m <sup>2</sup>			299,0	Vajalik õhuhulk korrusel (l/s)						1439,0		1439,1		1016,6	5180,4	5180,868

Teise korruse vajaduspõhiseks õhuhulgaks ruumide vajaduspõhiseks tuulutamiseks oli sissepuhke puhul 1439,0 l/s ja väljatõmbe puhul 1439,1 l/s (tabel 8).

Tabel 9 Kolmanda korruse vajaduspõhise õhuhulga arvutused

Korrus	Ruumi number	Ruumi nimetus	Pindala m <sup>2</sup>	Korruse kõrgus m	max in. arv	Normatiivid				Sissepuhke õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke õhuhulk(l/s)in.	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmbe õhuhulk (l/s) in.	Ruumi maht m <sup>3</sup>	Õhuvool sisse m <sup>3</sup> /h	Õhuvool välja m <sup>3</sup> /h	
						Sissepuhke (l/s) m <sup>2</sup>	Väljatõmme (l/s) m <sup>2</sup>	Sissepuhke (l/s) in.	Väljatõmme (l/s) in.								
3	301	Hoiuruum	5,0	2,95	1	(s)	1	-	-	-	-	5	-	14,75	-	18	
	302	Klassiruum	21,5	2,95	5		4	4,25	8	8	86	40	91,375	40	63,425	309,6	328,95
	303	Klassiruum	25,1	2,95	5		4	4,25	8	8	100,4	40	106,675	40	74,045	361,44	384,03
	304	Koridor	27,1	2,95	5		1	-	-	-	27,1	-	-	-	79,945	97,56	-
	305	-	3,7	2,95	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,915	-	-
	306	Klassiruum	20,9	2,95	5		4	4,25	8	8	83,6	40	88,825	40	61,655	300,96	319,77
	307	Klassiruum	23,3	2,95	5		4	4,25	8	8	93,2	40	99,025	40	68,735	335,52	356,49
	308	Klassiruum	19,6	2,95	5		4	4,25	8	8	78,4	40	83,3	40	57,82	282,24	299,88
	309	Koridor	13,7	2,95	5		1	-	-	-	13,7	-	-	-	40,415	49,32	-
	310	Klassiruum	14,9	2,95	5		4	4,25	8	8	59,6	40	63,325	40	43,955	214,56	227,97
	311	Klassiruum	15,2	2,95	5		4	4,25	8	8	60,8	40	64,6	40	44,84	218,88	232,56
Korrus kokku m <sup>2</sup>			190,0			Vajalik õhuhulk korrusel (l/s)				<b>602,8</b>		<b>602,1</b>		560,5	<b>2170,08</b>	<b>2167,65</b>	

Kolmanda korruse õhuhulga arvutuste põhjal on vajalik sissepuhke maht 602,8 l/s ja väljatõmbe maht 602,1 l/s (tabel 9).

Arvutuste põhjal tuleb Valga Muusikakooli hoonesse paigaldada ventilatsioonisüsteem, mille võimekuseks on hoonet varustada sissepuhke puhul 3074,7 l/s ja väljatõmbe puhul 3075,3 l/s. Vastavalt tuleb valida koolile agregaat, mille võimekuse põhjal on võimalik õhuvoolu sisse tuua 11068,92 m<sup>3</sup>/h tasemel ja välja viia 11067,5 m<sup>3</sup>/h tasemel.

## 5.8 Vajaduspõhise ventilatsiooni soovituslik skeem

Vajaliku ventilatsioonisüsteemi soovitusliku skeemi projekteerimisel tuleb arvestada välja arvatud vajaduspõhiseid õhuvoolu suurusi (ptk 5.6), kuna antud mahud annavad teada, kui suur peab olema vajalik ventilatsiooniagregaat ning teades agregaadi suurust, saab välja valida sobiva ruumi, mille saab ümber ehitada ventilatsioonikambriks [4]. Lisaks arvestades hoone arhitektuurilist väärtust, tuleb suuremas osas torustike ja läbiviikude tegemisel hoida kinni Muinsuskaitse poolt loodud erinõuetest [13].

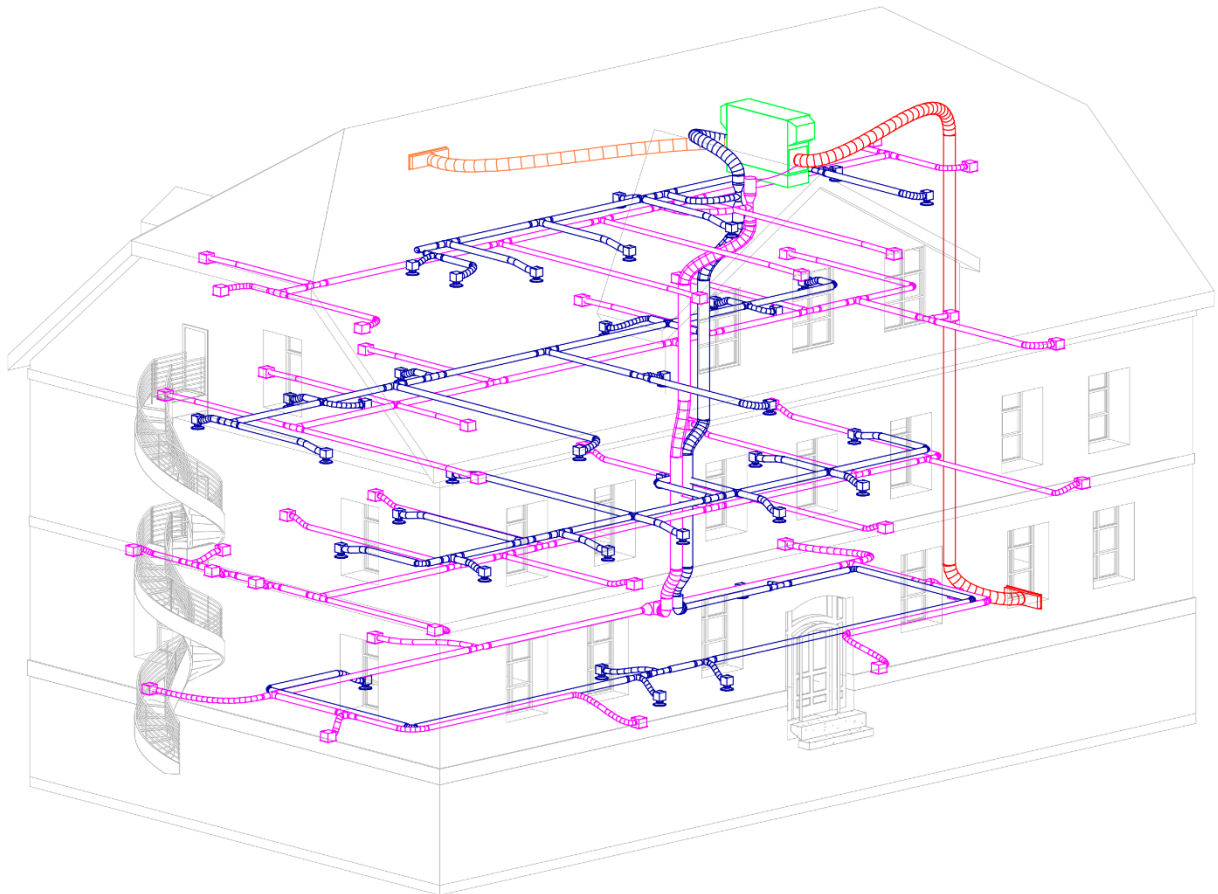
Kuna Valga Muusikakooli hoone kuulub kultuurimälestiste hulka, siis üheks määravaks aspektiks on välimuse algne säilitamine. Olulisemad nõuded on [13]:

- Fassaadile ei tohi paigaldada väliseid õhuagregate ning kui paigaldatakse, tuleb nad katta eraldi elemendiga, mis neid peidab.
- Kõik hoone põhiseinad, mis on vanemad kui nõukogude ajal ehitatud seinad, vajavad enne läbiviikude tegemist värvianalüüsi.
- Torustiku paiknemine ei tohi rikkuda olemasolevate ruumide ilmet, seega peab olema projekteeritav süsteem minimaalselt märgatav.

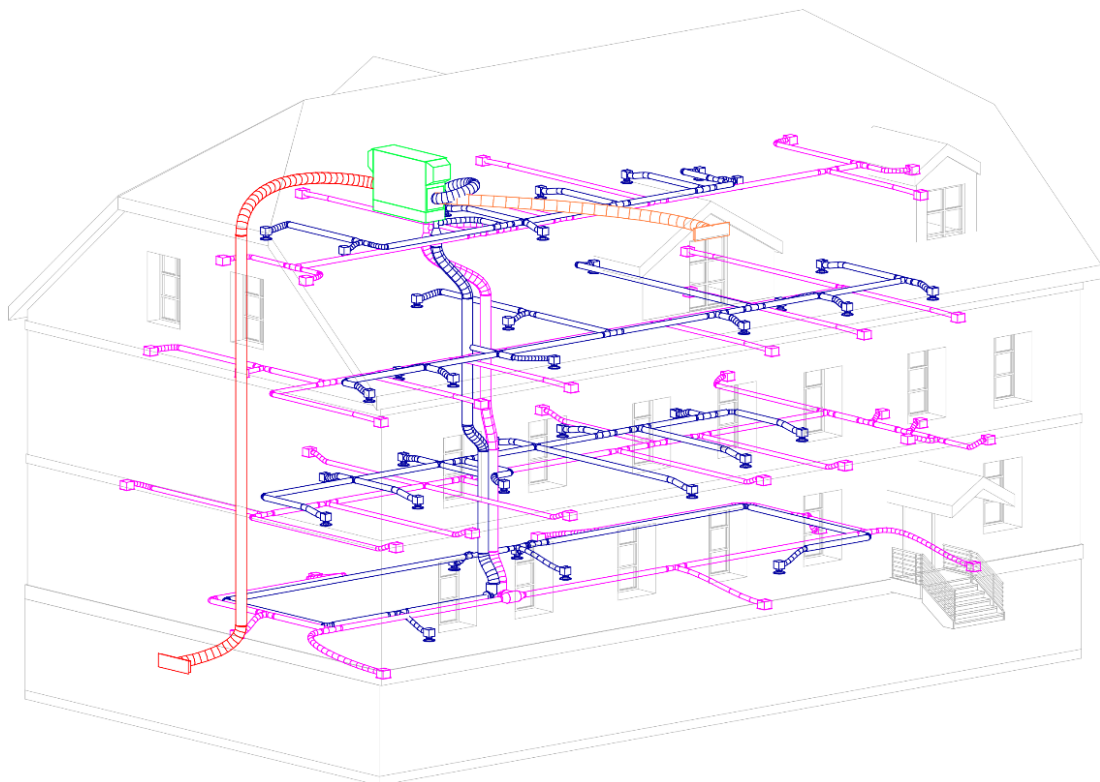
Töö autor, konsulteerides nooremteadur Alo Mikolaga, valis hoone ventilatsioonikambriks hoone pööningu, kus ei ole töö kirjutamise ajaks välja ehitatud funktsionaalseid ruume. Arvestades keldrikorrusel asuvaid peegelõlvlagesid, tuleb ventilatsioonisüsteemi torustik läbi viia klassiruumidest ja peita karniisiga.

Töö koostaja poolt projekteeritud soovituslik ventilatsiooniskeem on koostatud programmiga Revit Architecture ning vastavad plaanid on toodud välja töö lõpus graafilises osas.

Saamaks parem ülevaade hoone soovituslikust ventilatsioonisüsteemist, muutis töö autor mudeli arhitektuurse osa läbipaistvamaks ja defineeris süsteemi erinevad osad värvidega (joonised 41-42).



Joonis 41. Ventilatsiooni paigutus ruumilises mudelis kirdest



Joonis 42. Ventilatsiooni paigutus mudelis edelast

## 5.9 Valga Muusikakooli ventilatsioon

Magistritöös tehtud vajaduspõhiste õhuvooluhulkade arvutused on heaks aluseks sobiva ventilatsioonisüsteemi agregaatide väljavalimiseks tööprojektiis.

Järgides kõiki Muinsuskaitse piiranguid, annab käesolev magistritöö põhjaliku ülevaate soovituslikust ventilatsioonilahendusest. Välja pakutud skeem aitab järgneval ventilatsiooni põhiprojektil arvestada ventilatsioonikambri asukoha valimisel. Lisaks on autori poolt projekteeritud ventilatsioonilahendus heaks aluseks planeeritavate läbiviikude ja plafoonide asukoha valimisel põhiprojektiis.

Keerulise konstruktsiooni ja rangete Muinsuskaitse nõuete tõttu tuleb Valga Muusikakooli ehitatav ventilatsioonisüsteem projekteerida ventilatsioonispetsialistidel. Samuti tuleb arvestada, et muusikakoolide puhul on oluline madala müratasemega ventilatsioonisüsteemi projekteerimine. See eeldab põhjalikult teostatud akustiliste arvutuste tegemist ning ventilatsioonikanalite vahele mürasummutite paigaldamist.

Autori hinnangul sobib kõige paremini Valga Muusikakooli hoone puhul mehaaniline ventilatsioonilahendus, kus on süsteemi projekteerimisel arvestatud sisse hügroskoopsed niiskust tagastavad soojustagastid. Hügrokoopse rootori puhul võib niiskuse tagastamise kasutegur olla üle 80%. Sellega on tagatud niiskuse stabiilsem olek sisekliimas.

Lisaks on soovituslik grupeerida hoones ühte piirkonda niisutust vajavad ruumid, mis muudab ruumide niisutamise tehniliselt lihtsamaks ning efektiivsemaks. Siiski tuleb arvestada, et selline meetod ei pruugi olla parim lahendus, kuna akustilistel põhjustel ei saa õppeklasse tihti lähestikku panna.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö käigus uuriti Valga Muusikakooli klassiruumide sisekliimat kahe kuu vältel (14.02.2019 kuni 18.04.2019). Selleks, et saada hoone sisekliimast hea ülevaade, kasutati tulemuste mõõdistamiseks süsihappegaasi, õhuniiskuse ja temperatuuri taset salvestavaid logereid.

Hoone igal korrusel valiti välja üks ruum, mis hoone kasutajate sõnul olid korruse põhjal kõige halvema sisekliimaga. Süsihappegaasi logerid paigaldati tööpinna kõrgusele ning andmete kogumise intervalliks jäi 10 minutit. Töö autor käis iga paari nädala tagant mõõtetulemusi kogumas ning saadud andmed toodi välja etapi kaupa, et kättesaadud tulemused oleksid detailselt välja näidatud.

Mõõdistuperioodi lõpus vormistati kõik saadud tulemused iga korruse kaupa kokku ühte tabelisse ning teostati sisekliima analüüs lähtudes ette nähtud Eesti Vabariigi standardeid õppehoonetele.

Lisaks pakkus välja töö autor soovitusliku ventilatsiooniskeemi ruumilises mudelis, et anda parem ülevaade võimalikust lahendusest tulevases tööprojektis. Selleks, et paigaldada realistlikud agregaadid ja ventilatsioonitorustik mudelisse, tuli teha hoone õhuvahetuse arvutused.

Vajalikud arvutused toodi välja ruumimahtude ja maksimaalse ruumis viibivate inimeste arvu järgi ning valiti suurem väärtus, et tagada küllaldane õhuvahetus

Analüüsi tulemusena selgus, et tervisliku õppetöö tagamiseks tuleb Valga Muusikakoolile paigaldada tsentraalne automatiseeritud ventilatsioonisüsteem. Kuna tegemist on kooliga, kus õppetöö võib erineda drastiliselt päevast, peab paigaldatav ventilatsioonisüsteem olema reguleeritav, et kokku hoida hoone energiakulusid.

Kuna Valga Muusikakooli üheks eripäraks on muusikainstrumentide kasutus ja hoiustamine, tuleb tööprojekti projekteerimisel arvestada ka klassiruumidega, mille niiskustase peab olema kõrgendatud tähtsusega, et tagada instrumentide pikaajaliseks hoiustamiseks tervislik suhteline õhuniiskus.

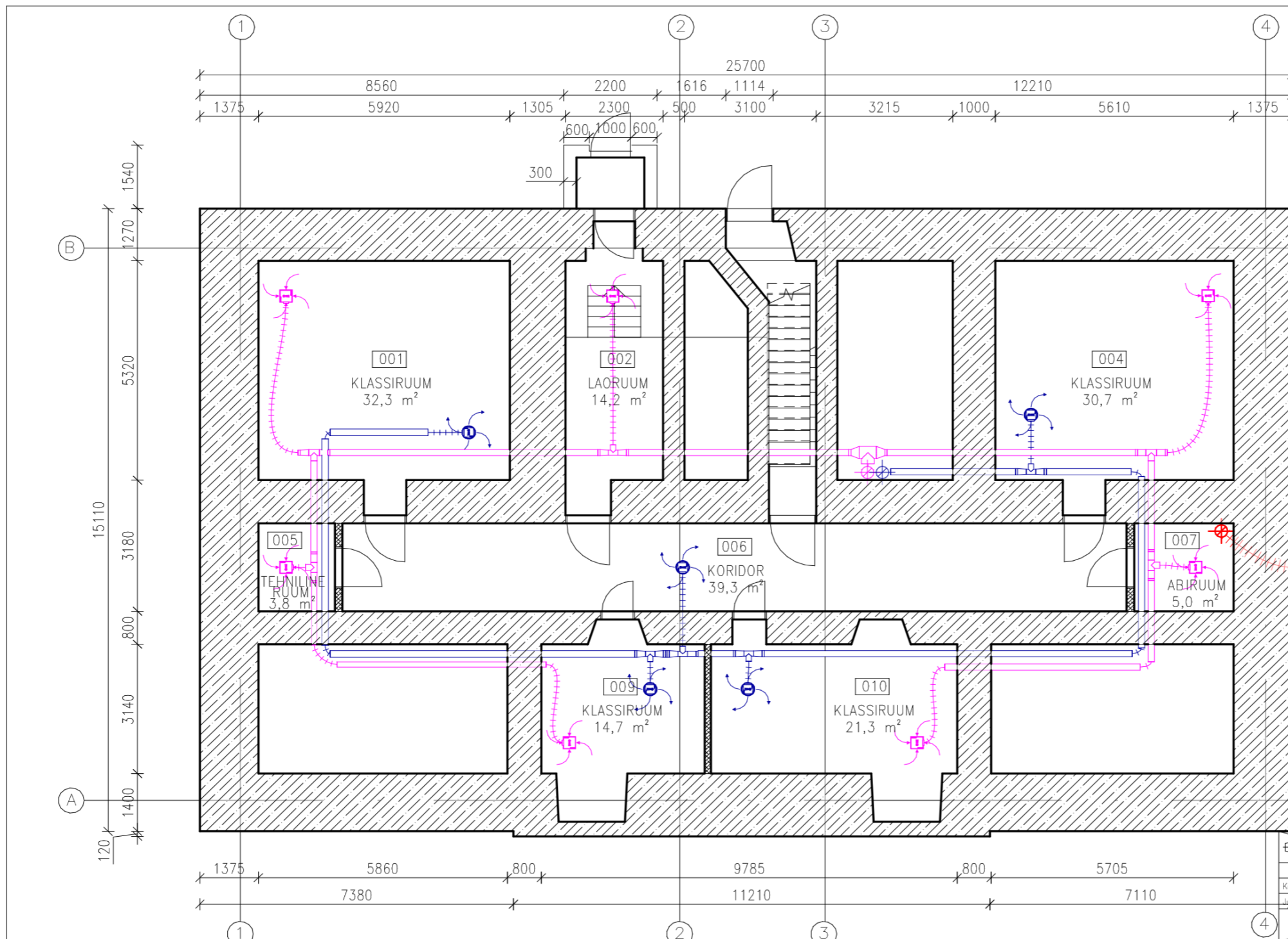
## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Eesti majandusministeerium (2000) „Elamu tehnosüsteemid- Vesi ja kanalisatsioon. Soojus ja ventilatsioon. Elekter“ Ehitame kirjastus. Tallinn
2. E.Abel (2014) „Hoonete energiatarve ja sisekliima“ OÜ Presshouse kirjastus. Tallinn
3. Tartu Regiooni Energiaagentuur (2011) „Tartu linna hoonete energia tarbimise ja sisekliima uuringu esimese etapi aruanne“
4. Vabariigi valituse määrus (2013) „Tervisekaitse nõuded koolidele, RT I, 31.05.2013, 12“
5. Tervisekaitseamet (2006) „Sisekliima uuring koolides“
6. Riigi Kinnisvara (2020) „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020“ <https://nouded.rkas.ee/>“
7. Standard EVS 906:2018 (2018) „Mitteeluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017“ „
8. Tervisekaitseamet (2006) „Sisekliima uuring koolides“
9. Eesti vabariigi määrus (2011) „Tervisekaitse nõuded koolieelse lasteasutuse maaalale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule“ <https://www.riigiteataja.ee/akt/111102011003>
10. R.L. Barclay „The Care of Historic Music Instruments“ (1997)
11. Artikkel-<https://maaleht.delfi.ee/elu/kuiva-ohuga-muusikakoolis-laks-pill-lohki?id=34274807>
12. Artikkel-<https://jarvateataja.postimees.ee/724676/liiga-kuiv-ohk-rikub-muusikakoolis-pille>
13. M.Mihkelson(2018) „Valga linn, Kesk 22 (Valga linnakooli hoone, reg. nr. 4503) muinsuskaitse eritingimused fassaadide rekonstrueerimiseks, katusekonstruktsiooni soojustamiseks ja ventilatsiooni paigaldamiseks“
14. Valga muuseumi fotokogu (2016)
15. Lehekülg [http://www.ronex.ee/Tootekataloog/Gaasi\\_analusaatorid/exco210](http://www.ronex.ee/Tootekataloog/Gaasi_analusaatorid/exco210)
16. S. Lange(2016) „Muusikakooli hoone vundamendi niiskuskahjustuste põhjuste väljaselgitamine“(2016)
17. L. Veiderpass (2016) „Valga muusikakooli Kesk 22 hoone katuse restaureerimisprojekt“
18. Tallinna Tehnikaülikool(2016) „ Olemasolevate hoonete sisekliima hindamise juhend“

**LISAD**

**GRAAFILINE OSA**





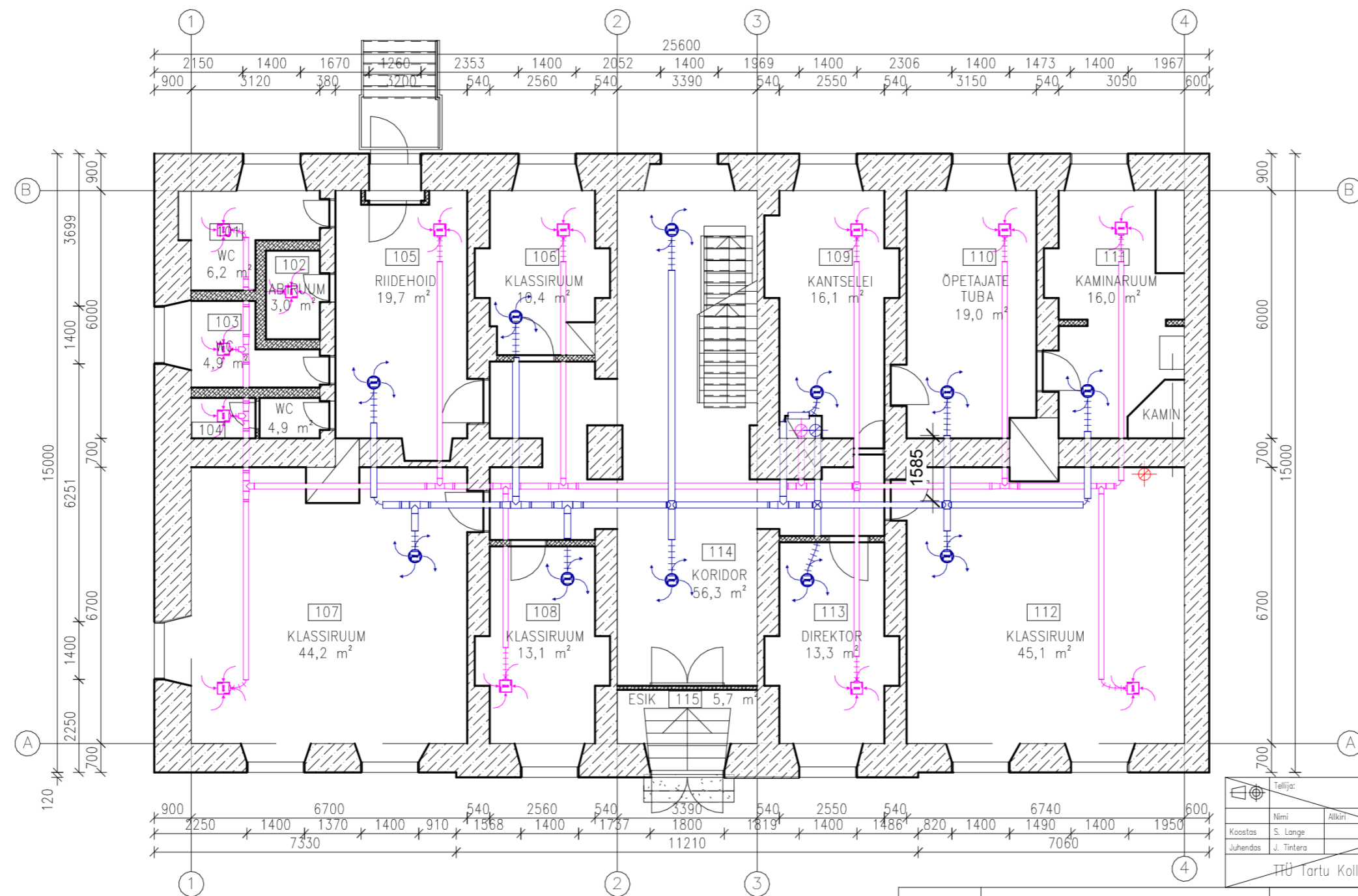
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

Nr	Nimetus	Pindala
001	Klassiruum	32,3 m <sup>2</sup>
002	Laoruum	14,2 m <sup>2</sup>
004	Klassiruum	30,7 m <sup>2</sup>
005	Tehniline ruum	3,8 m <sup>2</sup>
006	Koridor	39,3 m <sup>2</sup>
007	Abiruum	5,0 m <sup>2</sup>
009	Klassiruum	14,7 m <sup>2</sup>
010	Klassiruum	21,3 m <sup>2</sup>
KELDER KOKKU		161,3 m <sup>2</sup>

- Väljaviske plafoon
- Sissepuhke ventilatsioonikanalid
- Väljatõmbe ventilatsioonikanalid
- Väljatõmbe plafoonid
- Sissepuhke plafoonid
- puitsõrestik vahesein
- tellissein
- Väljaviske ventilatsioonikanalid

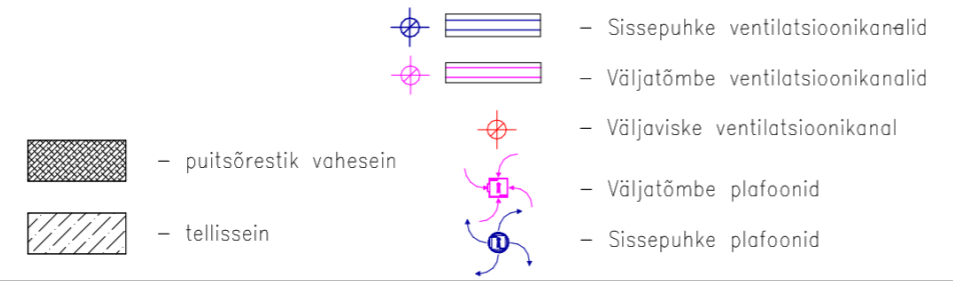
Tellijä:	Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:
S. Lange		30.06.16	KELDRIKORRUSE PIAAN
Juhendas:	J. Tintera		Olemasolev olukord
TÜ Tartu Kolledž			Leht: 1, Lehti: 31, Mõõtkava: 1:100

Tellijä:			Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus: KELDRIKORRUSE VENTILATSIOON		
M. Ling		1.06.20	Soovituslik skeem		
Juhendas:	A. Mikola		Leht: 1	Lehti: 5	Mõõtkava: 1:100
TalTech Tartu kolledž					



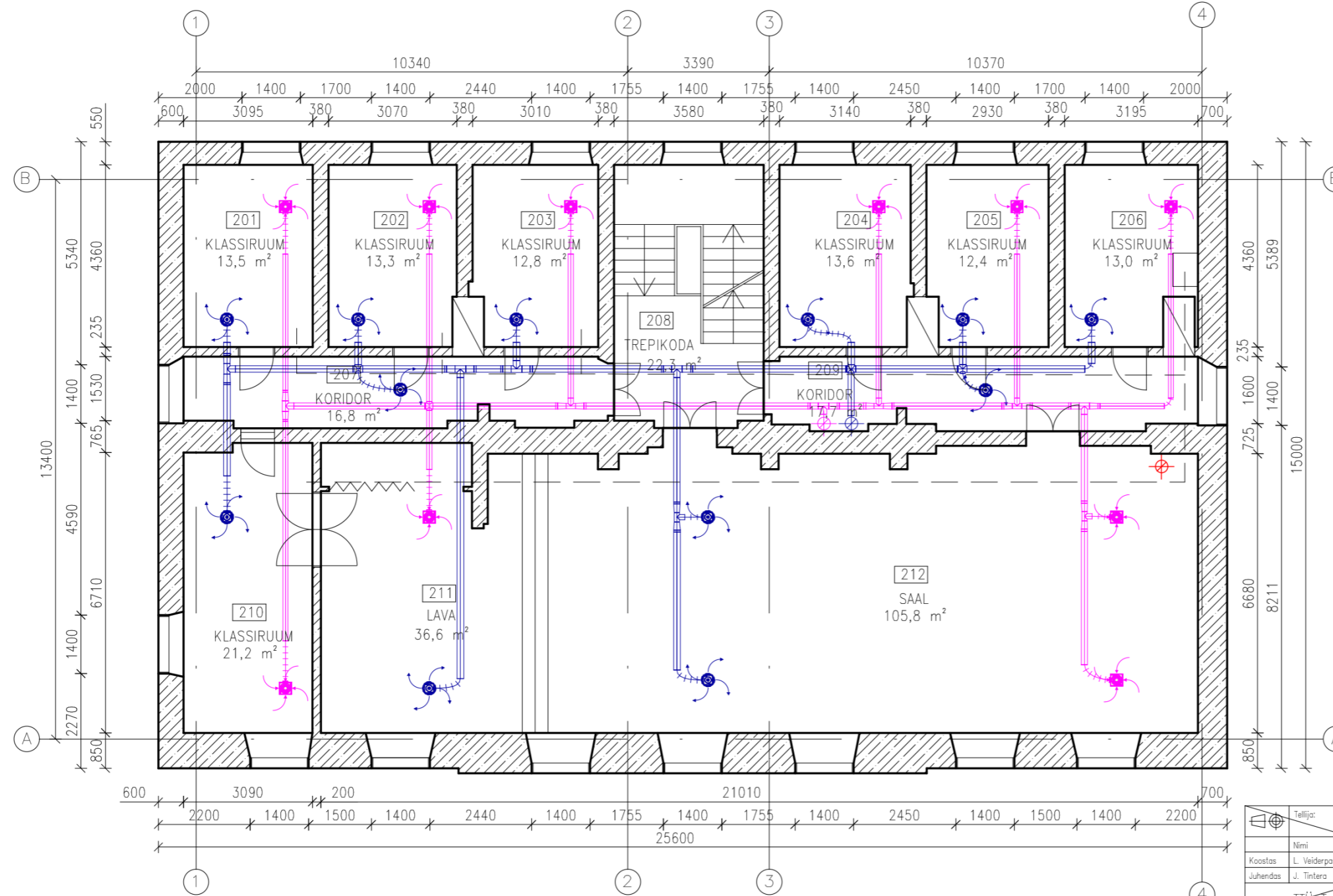
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

Nr	Nimetus	Pindala
101	WC	6,2 m <sup>2</sup>
102	Abiruum	3,0 m <sup>2</sup>
103	WC	4,9 m <sup>2</sup>
104	WC	4,9 m <sup>2</sup>
105	Riidehoid	19,7 m <sup>2</sup>
106	Klassiruum	10,4 m <sup>2</sup>
107	Klassiruum	44,2 m <sup>2</sup>
108	Klassiruum	13,1 m <sup>2</sup>
109	Kantselei	16,1 m <sup>2</sup>
110	Õpetajate tuba	19,0 m <sup>2</sup>
111	Kaminaruum	16,0 m <sup>2</sup>
112	Klassiruum	45,1 m <sup>2</sup>
113	Direktori kabinet	13,3 m <sup>2</sup>
114	Koridor	56,3 m <sup>2</sup>
115	Esik	5,7 m <sup>2</sup>
I KORRUS KOKKU		277,9 m <sup>2</sup>



Tellija:	Objekt:	Valga muusikakooli hoone
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:
Koostas:	S. Lange	30.09.16
Juhendas:	J. Tintera	
TÜ Tartu Kolledž		Leht: 2   Lehti: 31   Mõõtkava: 1:100

Tellija:			Objekt:		
			Valga muusikakooli hoone		
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:		
Koostas:	M. Ling	1.06.20	ESIMESE KORRUSE VENT.		
Juhendas:	A. Mikola		Soovituslik skeem		
TalTech Tartu kolledž			Leht:	Lehti:	Mõõtkava:
			2	5	1:100



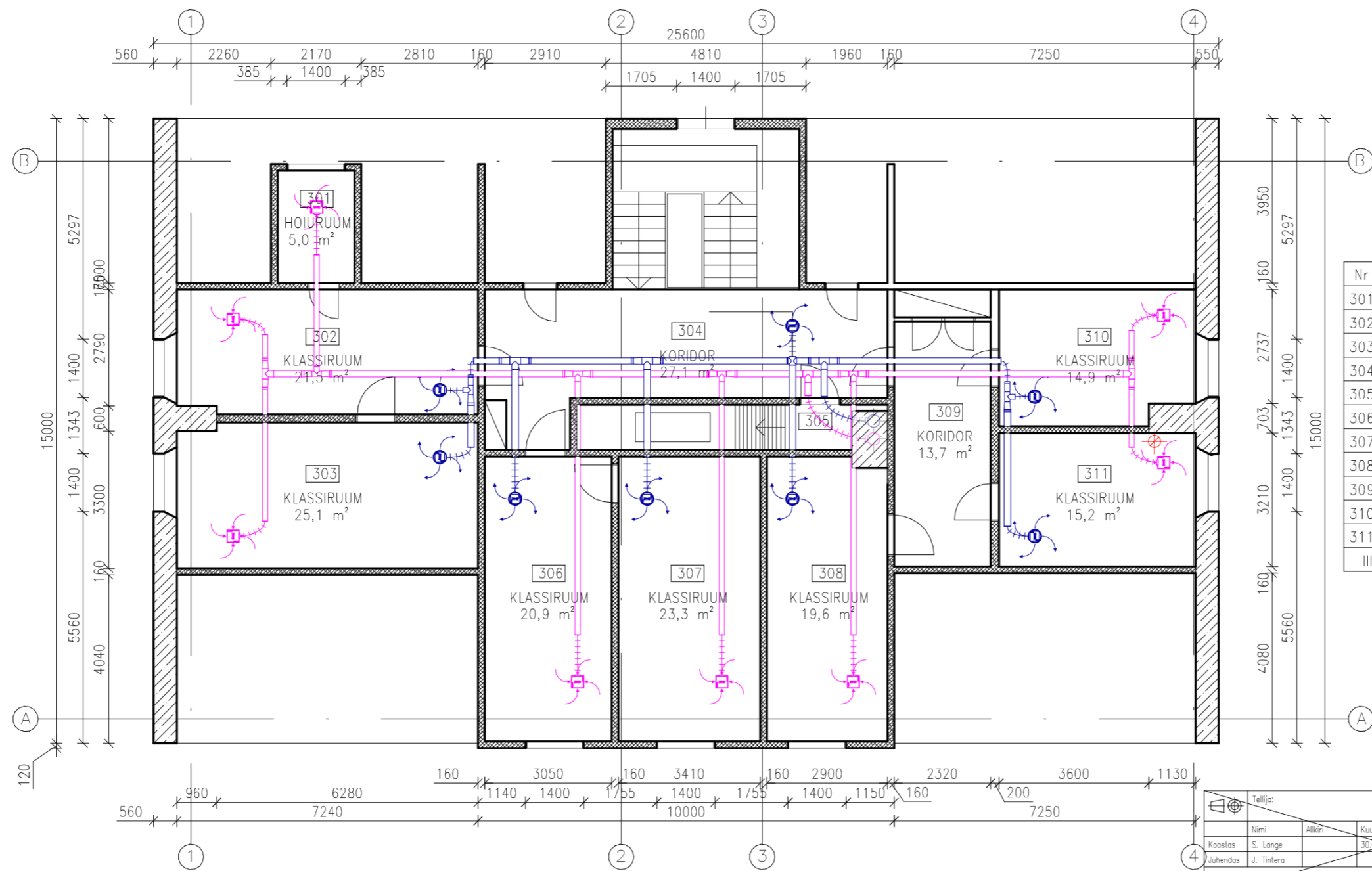
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

Nr	Nimetus	Pindala
201	Klassiruum	13,5 m <sup>2</sup>
202	Klassiruum	13,3 m <sup>2</sup>
203	Klassiruum	12,8 m <sup>2</sup>
204	Klassiruum	13,6 m <sup>2</sup>
205	Klassiruum	12,4 m <sup>2</sup>
206	Klassiruum	13,0 m <sup>2</sup>
207	Koridor	16,8 m <sup>2</sup>
208	Trepikoda	22,3 m <sup>2</sup>
209	Koridor	17,7 m <sup>2</sup>
210	Klassiruum	21,2 m <sup>2</sup>
211	Lava	36,6 m <sup>2</sup>
212	Saal	105,8 m <sup>2</sup>
II KORRUS KOKKU		299,0 m <sup>2</sup>

- Sissepuhke ventilatsioonikanalid
- Väljatõmbe ventilatsioonikanalid
- Väljaviske ventilatsioonikanal
- Väljatõmbe plafoonid
- Sissepuhke plafoonid
- puitsõrestik vahesein
- tellissein

Tellijaja:			Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi	Alkiri	Kuupäev	Nimetus:		
L. Veiderpass		30.06.16	TEISE KORRUSE PLAAK		
Koostas			Olemasolev olukord		
Juhendas			Mõõtkava:		
TTÜ Tartu Kolledž			Leht: 3	Lehti: 31	Mõõtkava: 1:100

Tellijaja:			Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi	Alkiri	Kuupäev	Nimetus:		
M. Ling		1.06.20	TEISE KORRUSE VENTILATSIOON		
Koostas			Soovituslik skeem		
Juhendas			Mõõtkava:		
TalTech Tartu kolledž			Leht: 3	Lehti: 5	Mõõtkava: 1:100



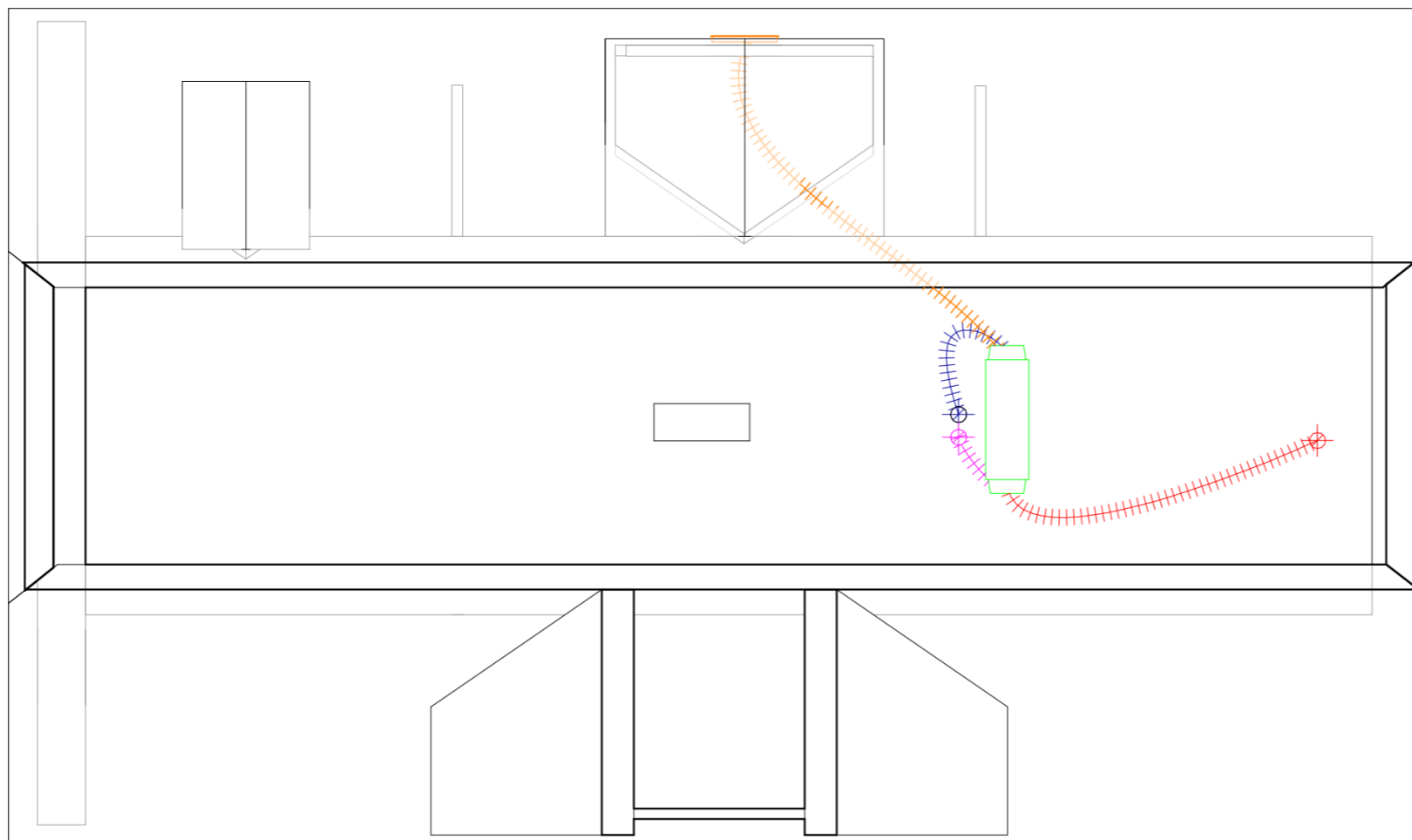
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON










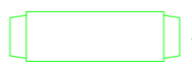


Nr	Nimetus	Pindala
301	Hoiuruum	5,0 m <sup>2</sup>
302	Klassiruum	21,5 m <sup>2</sup>
303	Klassiruum	25,1 m <sup>2</sup>
304	Koridor	27,1 m <sup>2</sup>
305	-	3,7 m <sup>2</sup>
306	Klassiruum	20,9 m <sup>2</sup>
307	Klassiruum	23,3 m <sup>2</sup>
308	Klassiruum	19,6 m <sup>2</sup>
309	Koridor	13,7 m <sup>2</sup>
310	Klassiruum	14,9 m <sup>2</sup>
311	Klassiruum	15,2 m <sup>2</sup>
III KORRUS KOKKU		190,0 m <sup>2</sup>


- Sissepuhke ventilatsioonikanalid
- Väljatõmbe ventilatsioonikanalid
- Väljaviske ventilatsioonikanal
- Väljatõmbe plafoonid
- Sissepuhke plafoonid
- puitsõrestik vahesein
- tellissein

Tellija:	Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:
S. Lange		30.06.20	KÄTUSEKORRUSE PLAAK
Juhendas:	J. Tintera		Olemasolev olukord
TTÜ Tartu Kolledž		Leht: 4	Lehti: 31
		Mõõtkava: 1:100	

Tellija:			Objekt: Valga muusikakooli hoone		
Nimi:	Allkiri:	Kuupäev:	Nimetus:		
M. Ling		1.06.20	KOLMANDA KORRUSE VENT.		
Juhendas:	A. Mikola		Soovituslik skeem		
TalTech Tartu kolledž			Leht: 4	Lehti: 5	Mõõtkava: 1:100



-   - Väljaviske ventilatsioonikanalid
-   - Õhuvõtu ventilatsioonikanalid
-   - Sissepuhke ventilatsioonikanalid
-   - Väljatõmbe ventilatsioonikanalid
-  - Õhuvõtu plafoon
-  - Ventilatsiooni agregaat
-  - puitsõrestik vahesein
-  - tellissein

	Tellija:			Objekt: Valga muusikakooli hoone		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus:		
Koostas	M. Ling		1.06.20	PÕÕNINGU KORRUSE VENT.		
Juhendas	A. Mikola			Soovituslik skeem		
TalTech Tartu kolledž				Leht:	Lehti:	Mõõtkava:
				5	5	1:100