



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

**KORTERIPÕHISE JA TSENTRAALSE
VENTILATSIOONISÜSTEEMI VÕRDLUS
AKADEEMIA 5A ÜHISELAMU PÕHJAL**

**COMPARISON OF APARTMENT-BASED AND CENTRAL
VENTILATION SYSTEM BASED ON AKADEEMIA 5A
DORMITORY**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Vahur Samberk

Üliõpilaskood 163092EAXM

Juhendajad: Alo Mikola, nooremteadur
Kalle Kuusk, vanemteadur

Tallinn 2020

(Tiitellehe pöördel)

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.

“25” mai 2020

Autor:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“25” mai 2020

Juhendaja:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“25” mai 2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ allkirjastatud digitaalselt /

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Vahur Samberk, 163092
Õppekava, peeriala: EAXM, Küte ja ventilatsioon
Juhendajad: Nooremteadur, Alo Mikola
Vanemteadur, Kalle Kuusk

Lõputöö teema:

Korteripõhise ja tsentraalse ventilatsioonisüsteemi võrdlus Akadeemia tee 5a ühiselamu põhjal

Comparison of apartment-based and central ventilation system based on Akadeemia tee 5a dormitory

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Rekonstrueeritud ühiselamu sisekliima tingimuste analüüs.
2. Kahe erineva ventilatsioonisüsteemi toimivuse võrdlus.
3. Sisekliima ja energiatõhususe parendamisvõimalused olemasolevate süsteemide töö analüüsimise alusel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Varaemalt teostatud ventilatsioonisüsteemide toimivust puudutava kirjanduse ülevaade.	20.03.2019
2.	Analüüsimisi aluseks oleva ühiselamu ventilatsioonisüsteemide kirjeldus.	05.04.2019
3.	Sisekliima parameetrite ja ventilatsioonisüsteemide toimivust iseloomustavate mõõteandmete analüüs	12.04.2020
4.	Erinevate ventilatsioonisüsteemide toimivuse analüüs	10.05.2020
5.	Töö koondamine ja vormistamine	20.05.2020

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020a

Üliõpilane: Vahur Samberk "25" mai 2020a
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Alo Mikola "25" mai 2020a
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Kalle Kuusk "25" mai 2020a
/allkirjastatud digitaalselt/

Programmijuht: Ivar Annus "25" mai 2020a
/allkirjastatud digitaalselt/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu.....	8
SISSEJUHATUS	9
1. Teoreetilised alused	10
1.1 Sisekliima	10
1.2 Varasemad uuringud.....	14
2. Lõputöö meetodid.....	18
2.1 Objekti kirjeldus	18
2.1.1 Hoone ja selle tehnosüsteemide kirjeldus.....	19
2.1.2 Korteripõhine ventilatsioonisüsteem	20
2.1.3 Tsentraalne ventilatsioonisüsteem	22
2.2 Sisekliima mõõtmise meetodid.....	24
2.2.1 Hoone automaatika	24
2.2.2 Siseõhu temperatuuri mõõtmine	25
2.2.3 Siseõhu suhteline niiskus.....	27
2.2.4 Siseõhu CO2 sisaldus	27
2.2.5 Kasutatud mõõteseadmed	28
2.3 Energiaarvutuse meetodid	30
2.4 Simulatsioonimudel ja selle kirjeldus.....	30
2.4.1 Tsentraalse ventilatsiooni mudeli kalibreerimine.....	32
2.4.2 Korteripõhise ventilatsiooni mudeli kalibreerimine	35
3. Tulemused	37
3.1 Sisekliima mõõtmiste analüüs	37
3.1.1 Seadeväärtus	37
3.1.2 Siseõhu temperatuur	38
3.1.3 Siseõhu temperatuuri sõltuvus välisõhutemperatuurist	41
3.1.4 Ruumitemperatuuri ja sissepuhketemperatuuri sõltuvus	43
3.1.5 Suhteline niiskus.....	45
3.1.6 Siseõhu CO2 mõõtmistulemused	46
3.2 Ventilatsiooni energiakulu arvutustulemused	49
3.2.1 Korteripõhine süsteem.....	49
3.2.2 Tsentraalne süsteem.....	52

3.3 Korteripõhise ja tsentraalse süsteemi võrdlused.....	53
3.4 Simulatsioonimudelis kalibreeritud ventilatsiooniseadmete energiavajaduste analüüs	54
3.4.1 Korteripõhise ventilatsiooniseadmete õhuvooluhulkade muutmise analüüs.....	56
KOKKUVÕTE	59
SUMMARY	61
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	63
LISA 1 HOONE KORRUSEPLAANI TUTVUSTUS.....	66
LISA 2 CO ₂ SISALDUSE HÄIRE SÜSTEEMIS	67
LISA 3 TSENTAALSE VENTILATSIOONISÜSTEEMI PLAATSOOJUSTAGASTI TOIMIMISE ANALÜÜS	68

EESSÕNA

Lõputöö teema tuleb praktilisest vajadusest uurida olemasoleva eluasemefondi ventilatsioonisüsteemide kaasajastamist tänapäevastele energiatõhususe ja sisekliima nõuetele vastavaks. Lõputöö algandmeteks on liginullenergia hooneks renoveeritud ühiselamu tööprojekt, teostusjoonised ja objektil teostatud mõõtmiste andmed.

Uurimustöös kirjeldatakse sisekliima teoreetilisi aluseid ning on toodud välja varasemaid uuringuid. Peale seda kirjeldatakse objekti, tutvustatakse kahte uuritavat ventilatsioonisüsteemi, seletades samuti nende seadmete tööpõhimõtteid. Tuuakse välja erinevad sisekliima parameetrite nõuded, millele analüüsides toetutakse. Lisaks tutvustatakse ventilatsioonisüsteemidega koos töötavaid erinevaid mõõteseadmeid ning kirjeldatakse energiaarvutusi ja simulatsioonil kasutatavat mudelit. Lõpetuseks on välja toodud erinevate sisekliima analüüside tulemused ning simulatsiooni analüüsid koos nende tulemustega.

Uurimustöö analüüsil on kasutatud hoonesse ja ventilatsioonisüsteemidesse paigaldatud andureid, mille andmed on saadud automaatikasüsteemi serverist. Hoone mudeli simulatsioonis on kasutatud dünaamilist simulatsioonitarkvara IDA ICE.

Autor tahab tänada kõiki, kes on aidanud uurimustöö koostamisel ja toetanud töö valmimisel. Autor tänab uurimustöö juhendajat ja kaasjuhendajat, kes aitasid lõputöö koostamisel.

Lühendite ja tähiste loetelu

IDA ICE – dünaamiline energiasimulatsiooni tarkvara (IDA – Indoor Climate and Energy, Rootsi)

Clo – riiete soojustakistus

Met – kehaline aktiivsus

SFP – ventilaatorite elektriline erivõimsus

PPD – rahulolematute elanike hulk

PMV – ruumide soojuslik mugavustunne

SISSEJUHATUS

Hoonete sisekliima ja energiatõhususe valdkond on paarikümne viimase aasta vältel tundmatuseni arenenud. Erilist rolli selles arengus on mänginud just soojustagastusega ventilatsioonisüsteemide pidev arendamine ja täiustamine. Käesolevas magistriõppe lõputöös ongi pidevast arengust inspireerituna võrreldud sisekliima ja energiatõhususe vaatevinklist lähtuvalt erinevate ventilatsioonisüsteemi lahenduste toimuvust

Aastal 2017 renoveeriti Tallinna Tehnikaülikooli Akadeemia tee 5a pereühiselamu. Tegu on hoonega kuhu on paigaldatud palju erinevaid andureid ja tehnosüsteeme. Kahe trepikoja vahel erinevate omavahel võrreldavate süsteemide ning lahenduste jaotamine on andnud ja annab võimaluse teostada uuringuid ning mõista, kas üks seade või meetod võib olla teisest parem.

Antud lõputöö eesmärgiks on võrrelda kahte ventilatsioonisüsteemi – tsentraalset ja korteripõhist. Esimest trepikoda teenindavad korteripõhised ventilatsioonisüsteemid ja teist trepikoda tsentraalne ventilatsioonisüsteem. Tsentraalse süsteemi puhul teenindab katuse ventilatsioonikambris paiknev plaatsoojustagastiga ventilatsiooniseade terve trepikoja kortereid. Kortерipõhine seade teenindab igat korterit eraldi. Uurimuse eesmärgiks on uurida mõlema kirjeldatud süsteemi toimimist ja võrrelda seadmeid sisekliima parameetrite tagamise ja energiatõhususe võtmest. Kui süsteemide uurimisel avastatakse probleeme, siis analüüsitakse töös nende probleemide lahendusvõimalusi.

Analüüs põhineb 2018 aasta mõõtetulemustel ning kirjeldused on teostatud päeva keskmise ja maksimaalse näidu abil ning vajadusel tihedamalt. Hoone mudeli simuleerimisel on kasutatud dünaamilist simulatsioonitarkvara IDA ICE.

1. TEOREETILISED ALUSED

1.1 Sisekliima

Inimesed veedavad aega siseruumides kuni 90 % oma elust. Mistõttu on väga oluline tagada ruumis hea sisekliima. Uuringutes on selgunud, et halb sisekliima põhjustab hingamisteede haiguseid, allergiat, astma sümptomeid ja töövõime langust, mida nimetatakse samuti „haige hoone sündroomiks“. [1] Ruumi õhustik on seotud mikrobioloogiliste teguritega (hallitusseened ja nende laguproduktid), keemiliste teguritega (tolm, süsihappegaas, lenduvad orgaanilised ühendid ja teised tegurid), õhu füüsikaliste parameetritega (temperatuur, müra, õhuliikumise kiirus, niiskussisaldus) ning psühhosotsiaalsete faktoritega [2].

Elamu sisekliima koosneb mitmest osast, hõlmates õhku ja suuremaid õhukeskkonna näitajaid [1]. Hea sisekliima tagamisega ruumides, kaasneb töö tootlikkuse soodustamine, mugavustunde kindlustamine ja erinevatesse haigustesse haigestumise riski minimaliseerimine. Sisekliima koosneb paljudest erinevatest faktoritest nagu näiteks õhutemperatuur, suhteline niiskus, õhu puhtus, operatiivne temperatuur, ruumi valgustus ja teised. Soodsaimatest näitajatest kehvemad tulemused halvendavad inimese enesetunnet ning nad on omavahel võrdelised [1]. Kui halvemad tulemused on suurte hälvetega ja kauakestvad, siis see kahjustab inimese tervist.

Kontroll- ehk viibimistsooniks nimetatakse ruumiosa kus inimene kõige enam paikneb ning antud osas peavad olema täidetud normatiivsed sisekliima tingimused [1]. Järgnevas tabelis (vt tabel 1) on välja toodud tsooni piiride kaugused kiirgavatest pindadest ja välispiiretest [3].

Tabel 1.1 – kontrolltsooni piirimäärad [3]

Kaugus järgmistest sisepindadest	Tüüpiline piirkond (m)	Vaikeväärtus (m)
Põrandad (alumine piir)	0,00 kuni 0,20	0,05
Põrandad (ülemine piir)	1,30 kuni 2,00	1,80
Välisaknad ja -uksed	0,50 kuni 1,50	1,00
Kütte- ja/või kliimaseadmed	0,50 kuni 1,50	1,00
Välisseinad	0,15 kuni 0,75	0,50
Siseseinad	0,15 kuni 0,75	0,50
Uksed, läbikäigud jne	Erikokkuleppel	-

Olenevalt oodatavast soojuslikust mugavusest ja ruumi füsioloogiliselt sobiva soojusliku sisekeskkonna tagamise tingimustest, jagatakse sisekliima nelja klassi [4]. Sisekliima klassid aitavad määratleda, millist kvaliteeti soovitakse saavutada uue hoone ehitamisel või renoveerimisel. Renoveerimisel eeldatakse saavutada parem sisekliima kvaliteet

hetkelisega võrreldes. Järgnevas tabelis (vt tabel 2) on välja toodud sisekliima klassid ning selgitused.

Tabel 1.2 – sisekliima klasside kirjeldus [4]

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastas

Ruumi soojusliku mugavuse peamiseks määrajaks on temperatuur. Kütteperioodil, sisekliima teise klassi tagamiseks, standardi EVS-EN 16798-1:2019 järgi, on minimaalne operatiivne temperatuur + 20 kraadi. Vahemik on välja toodud eluhoonete kohta, kus inimeste kehaline aktiivsus on ligikaudu 1,2 met ja riietus talvisel perioodil 1,0 clo. [5] Eelmainitud näit on ruumitemperatuuri soovituslik teise klassi miinimumvahemik energiaarvutustes.

Ruumi soojusliku mugavuse tagamiseks on oluliseks parameetrikis operatiivne temperatuur. Näitaja illustreerib ruumi õhutemperatuuri ja kiirgavate pindade keskmise temperatuuri koosmõju. [6] Konkreetsemas tähenduses kujutletavat ühtlast temperatuuri hoidvat musta ruumi, kus paiknev isik jagab kiirguse ja konvektsiooni teel samas koguses soojust kui ta vahetaks ebaühtlase temperatuuriga ruumis nimetatakse operatiivseks temperatuuriks [7].

Suhteline õhuniiskus ehk relatiivne niiskus on veeauru ja samadel füüsikalistel tingimustel küllastunud veeauru rõhu suhe protsentides. Suhteline niiskus näitab kui palju on õhus veeauru küllastusolekus. Suhtelist õhuniiskust arvutatakse järgmise valemiga (vt valem 1.1) [8]:

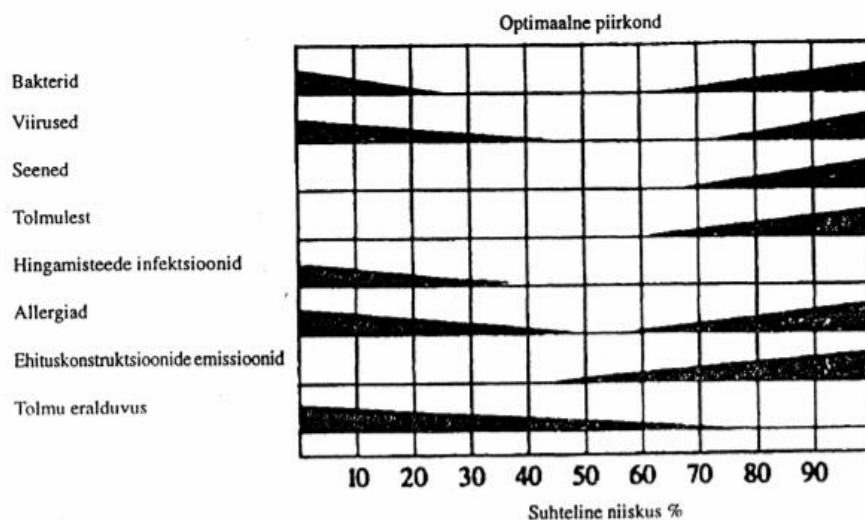
$$r = \frac{e}{E} * 100\% \quad (1.1)$$

Kus r – suhteline niiskus (%),

e – veeauru osarõhk (Pa),

E – küllastunud veeauru rõhk samal temperatuuril (Pa).

Õhuniiskus eluruumis, eluruumide nõuete kohaselt, peab olema piirides mis ei kahjustaks inimeste tervist, ei tekitaks niiskuskahjustusi ega põhjusta kondensaadi teket [9]. Renoveeritava hoone suhtelise niiskuse optimaalne madalaim piirväärtus niisutamisel on 25 % [5]. Erinevate saasteallikate sõltuvust õhu suhtelisest niiskusest kirjeldab järgnev joonis (vt joonis 1.1) [2].



Joonis 1.1 Saasteallikate sõltuvus õhu suhtelisest niiskusest [2]

Sisekliima ja piirete niiskusrežiimi mõjutavateks teguriteks on õhu suhteline niiskus ja õhu veeaurusisaldus. Õhu veeaurusisalduse liigne kogus võib olla põhjustatud ventilatsiooni ebakorrektses töötamises või ruumis toimuvast suurest niiskustootlikkusest [2]. Kõrge niiskuskogus võib tekitada niiskuskahjustusi, suurendades ehitusmaterjalidest õhku sattuvate saasteainete teket. Samuti võib suurendada mikroorganismide kasvu ja levikut. Suhtelist niiskust on võimalik vähendada ruumi õhuvahetuse suurendamisega niikaua kuni on tagatud hoone vastava sisekliima klass ja nõuded. [9]

Vastupidiselt kõrgele niiskussisaldusele ruumis on probleemiks samuti liiga madal suhteline niiskus, mis esineb enamjaolt külmal perioodil. Põhjus võib ilmneda eluhoonetes, kus pole projekteeritud ruumide niisutamise võimalust, sest mida kõrgemat temperatuuri hoida, siis seda madalam on niiskussisaldus. Mida soojem on õhk ruumis, seda rohkem õhuniiskust suudab ta mahutada. Suhtelist niiskust on võimalik suurendada ruumitemperatuuri alandamisega.

Olulisel määral õhus olevad tahked ja erinevad gaasilised osakesed mõjutavad siseõhukvaliteeti. Selleks on näiteks süsihappegaas, tolm, tubakasuits, formaldehüüd ja gaasi põlemisproduktid. Võib esineda teisigi gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid ning

mikroorganisme. Kui ruumides saasteallikateks on inimesed, siis õhu kvaliteeti iseloomustab süsihappegaasi sisaldus, sest inimtegevusega esinev kahjulike ainete kogutoodang on süsihappegaasiga võrdeline. [9]

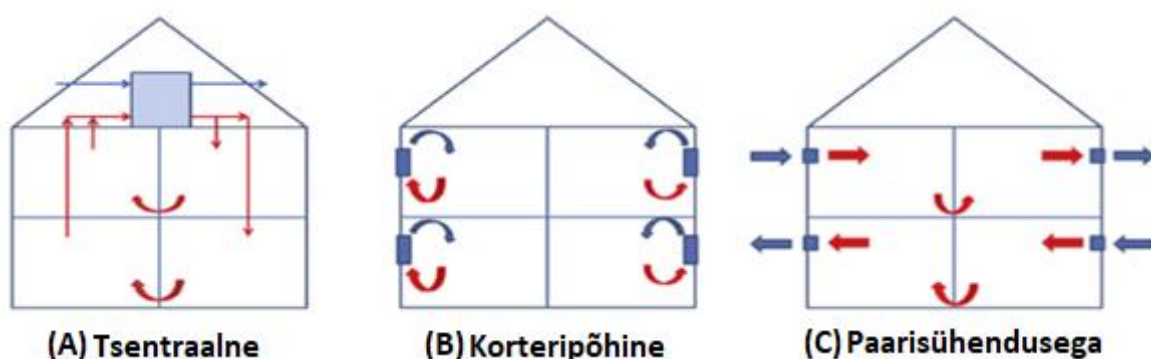
Järgnevas tabelis (vt tabel 1.3) on välja toodud arvutuslikud CO₂ sisaldused hõivatud elu- ja magamistubades [5]. Antud piirväärtused on autori poolt välja toodud uuemast standardist EVS-EN 16798-1:2019. Analüüsitava lõputöös peaks jääma süsihappegaasi kontsentratsioon ruumides teise sisekliima klassi, mis oleks 800 miljondikosa (ppm) üle välisõhu.

Tabel 1.3 Vastav CO₂ kontsentratsiooni hõivatud elu- ja magamistubades [5]

Sisekliima klass	Vastav CO₂ kontsentratsioon elutubade jaoks (PPM-des üle välise kontsentratsiooni)	Vastav CO₂ kontsentratsioon magamistubade jaoks (PPM-des üle välise kontsentratsiooni)
I	550	380
II	800	550
III	1350	950
IV	1350	950

1.2 Varasemad uuringud

Üks samalaadetest uuringutest on tehtud Luksemburgi ülikoolis, kus on uuritud kahes korterelamus olevaid ventilatsioonisüsteeme. Hoonetel on samasugused konstruktsioonitüübid ja asuvad Luksemburgis. Korterelamutes oli ehitatud kokku neli erinevat mehaanilist ventilatsioonisüsteemi. Tsentraalne ventilatsioonisüsteem paikneb pööningul ja teised seadmed hoone fassaadidel. [10]



Joonis 1.2 Ventilatsioonitüübid korterites [10]

Joonisel (vt joonis 1.2) on välja toodud neli erinevat süsteemi tüüpi. Tsentraalne soojustagastiga süsteem pildil A, korteripõhine soojustagastiga süsteem pildil B ja korteripõhine süsteem pildil C, mis on jaotatud erineva tootja puhul kaheks. Seadmel kasutatakse paarisühendusega lahendust, mille ventilaatorid ja soojusvahetid töötavad ühtse tervikuna. Seaded asuvad erinevates ruumides, tekitades õhu liikumise läbi siirdeavade ühest ruumist teise. [10]

Kokkuvõttes analüüsiti kahe uue renoveeritud korterelamu sisekliimat ja ventilatsioonisüsteemide efektiivsust. Analüüsimisel tehti küsitlus korteri elanikele ning lisaks CO₂, temperatuuri ja niiskussisalduse mõõtmised. Avastati, et kolmel korteril oli probleeme ventilatsioonisüsteemi töötamisel, mis avaldus ruumi liiga madalast temperatuurist ja CO₂ kõrgest sisaldusest, mida teenindas paarisühendusega süsteem. [10]

Antud korterite analüüsil aitas kaasa ja tegi analüüsi efektiivsuse paremaks inimestele esitatud küsitlus ning kohapealsed mõõdistused. Tulemusena töötasid ventilatsiooni seadmed üldiselt hästi. Küsitluses tuli välja, et osal elanikes esines „haige hoone sündroomi“ nähtusi, mille põhjuseks oli korteri halvem sisekliima teiste korteritega

võrreldes. Nähtus esines paarisühenduse süsteemiga teenindava hoone kolmes korteris ning korteripõhise ventilatsioonisüsteemiga hoone ühes korteris.

Samuti on analüüsitud kahte 2010 kuni 2014 aasta vahemikus enamlevinumat ruumipõhist seadet. Uuringu teostas Tallinna Tehnikaülikooli liginullenergiahoone uurimisrühm. Seadmeteks (vt joonis 1.3) olid rekuperatiivne HEX plaatsoojustagasti ja kahe ventilaatoriga seade (a) ning teine süsteem regeneratiivse kemaarilise HEX soojustagastiga ja teljelise ventilaatoriga (b). Esimese analüüsi meetodina tehti mõõdistused renoveeritud viiekorruselises hoones. Teiseks teostati mõõdistused laboratoorses tingimustes. Kolmandaks sisestati laboratoorsed andmed simulatsiooniprogrammi. Programmis kalibreeriti mudel ning lõpetuseks analüüsiti seda teostatud mõõdistuste tulemustega. [11]



Joonis 1.3 Rekuperatiivne (a) ja regeneratiivne (b) seade [11]

Tulemusena saadi teada, et õhurõhkude erinevused põhjustasid sissepuhke- ja väljatõmbeõhu voolukiiruses suuri erinevusi. Tsentrifugaalventilaatoritega seadmel oli suuremal rõhutõusul õhuvoolude tasakaalu erinevus väiksem kui aksiaalsel seadmel. Tulemuseks oli väiksem rekuperatiivse HEX soojustagastuse efektiivsuse muutus kui regeneratiivsel HEX soojustagastil. [11]

Simulatsiooni tulemus näitas, et külmal perioodil, esimese korruse tubades, võib õhurõhk olla suurel määral ajast negatiivse rõhu all kuni -20 Pa. Soovituslikud väärtused süsteemi projekteerimisel olid järgnevad: -10 Pa viiendal korrusel, -15 Pa kolmandal korrusel ja -20 Pa esimesel korrusel. [11]

Simulatsiooni tulemusel tuli välja, et kütmisperioodil regeneratiivne seade töötab kui õhu sisselaskevana, sest sissepuhke õhuvooluhulk oli palju suurem kui väljatõmbel ja sissepuhke temperatuur ligilähedane välisõhutemperatuurile. Laboratoorsed tulemused kinnitasid aksiaalse ventilaatori võimetust töötada tavalistes rõhutingimustes külmadel perioodidel, mis esineb mitmekorruselistes ruumides, et saavutada piisava õhuvahetuse

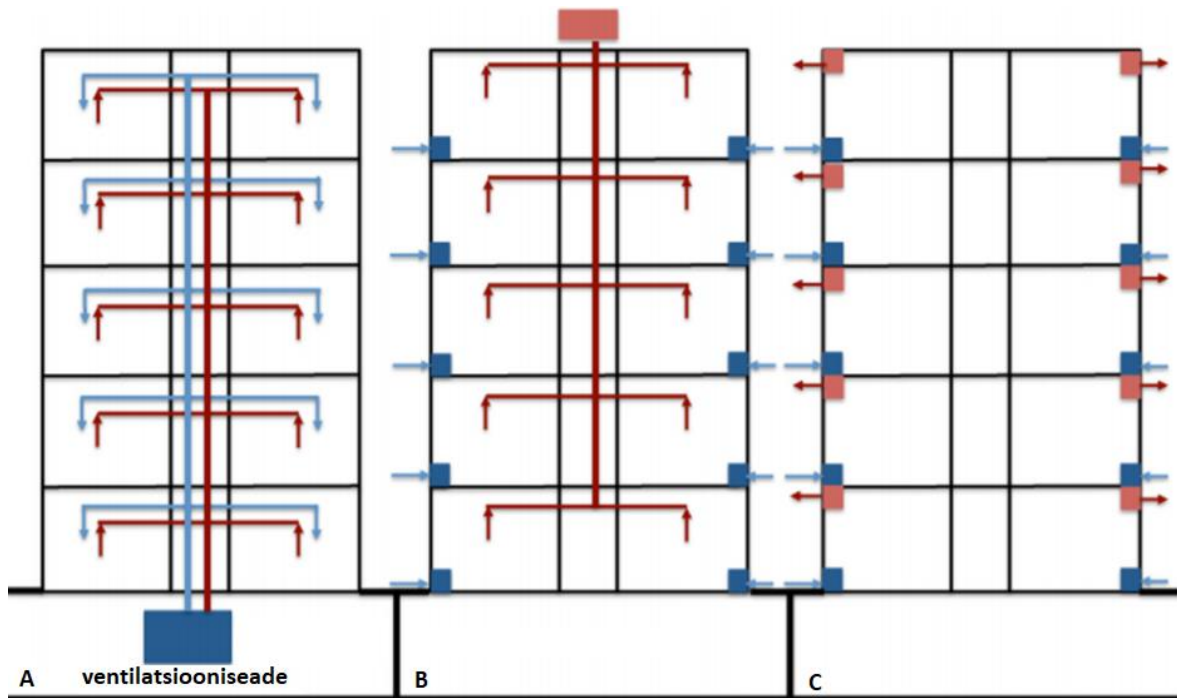
kiiruse, millega müratase oleks vastuvõetavates piirides. Rekuperatiivsel seadmel püsis seade temperatuuritõhusus samadel tingimustel kõrgem kui 0,5 samuti negatiivse rõhu all kuni -25 Pa. Võimaldades seadme kasutamist esimese korruse korterites. [11]

Uuritud on samuti kahte renoveeritud korterelamut Lätis. Hooned asuvad samas linnas ning tegu on ühise konstruktsioonitüübi ehitistega. Mõlemad on ehitatud 1974 aastal. Ainus erinevus hoonetel on see, et ühte korterelamut teenindab soojustagastiga ventilatsiooniseade ja teisel hoonel on loomulik ventilatsioon. Uuringu eesmärgiks seati seadmete energiatõhususe uurimine eelmainitud hoonetes. Samuti toodi välja võrdlusi naturaalseste ventilatsioonisüsteemidega. Mõõtmisperiodood toimus 7 kuni 13 aprill. [12]

Tulemusena oli mehaanilisel süsteemil soojusvaheti sissepuhkeõhu termiline efektiivsus 77 %, mis on hea tulemus, sest välja antud passiivmaja sertifikaadil on selleks kirjas 75 %. Regressioonianalüüs näitas, et soojusvaheti soojuslik efektiivsus sõltub ümbritsevatest tingimustest. Süsinikdioksiidi mõõtetulemustel jäid väärtused mõlemas hoones 600 ppm kuni 1600 ppm piiridesse. Mehaanilise seadme poolt piisaval hulgal värske õhu varustamiseks ruumidesse peaks süsteem töötama suurima kiirusega, mis tähendab, et projekteeritud oli väikse võimsusega seade. Mõõtmistulemuste analüüsil avastati, et toatemperatuuril ja suhtelisel niiskusel, esines suuri erinevusi. [12]

Mehaanilise süsteemi teenindavas hoone ühes korteris oli mõõteperiodoodil temperatuur 45 % ajast alla 20 °C ning kahes ruumis terve aja üle 22 °C. Keskmine näit oli 21,9 °C ja temperatuuri kõikumisvahemik 1,3 °C ning loomuliku ventilatsiooniga ruumis vastavalt 22,3 °C +/- 1,1 °C. Suhteline niiskus varieerus 30 % kuni 70 % vahel. Mehaanilise seadme teenindavas ruumis oli suhteline niiskus keskmiselt 50 % +/- 5,7 % ja loomuliku ventilatsiooniga hoones 48,4 +/- 8 %. [12]

Neljanda uurimusega on analüüsitud linnapiirkondades kasutatavaid korteripõhiseid väikseid õhuventilaatoreid ja võrreldud tsentraalse ventilatsioonisüsteemiga Euroopa kliimatingimustes. Analüüsimise teostas Xi'an Jiaotong-Liverpooli ülikool, baseerudes varem uuritud analüüsidele. Kõige enam kasutatavam seade on tsentraalne süsteem (vt. joonis 1.4), millel on pikad sissepuhke ja väljatõmbe kanalid. Järgmisel süsteemil toimub õhuvõtt fassaadilt või põranda alt ning väljatõmme tsentraalse seadme põhimõtte sarnaselt. Kolmas seade on korteripõhine, millel on õhufilter, soojusvaheti ja ventilaatorid, et kontrollida iga ruumi sisekliimat eraldi. Korteri põhine lahendus on tavaliselt koostöös radiatsioonipaneeli süsteemiga, et tagada kütte ja jahutuse ruumis. [13]



Joonis 1.4 Ventilatsiooni lahenduste tüübid. Kus A on tsentraalne, B on pooltsentraalne ja C on korteripõhine süsteem. [13]

Analüüside teostamiseks on kasutatud viie Euroopa linna (Pariis, Berliin, Rooma, Kopenhaagen, Zürich) aastase perioodiga tunnipõhiseid väliskliima näitajaid. Kokkuvõttes analüüsi kolme süsteemi energiatõhusust. Tulemusena toodi välja, et detsentraliseeritud ventilatsioonisüsteemil oli madalam energiavajadus ja suurim energiatõhusus. Põhjus tulenes sellest, et sissepuhke- ja väljatõmbeõhu rõhukadude minimaliseerimist ei toimu lühikesete õhujaojustorustike tõttu. Lisaks võimaldab süsteemil töötada operatiivselt naturaalse ventilatsioonisüsteemina, perioodil kui välisõhu kasutamisel sissepuhkel ei pea kasutama lisa soojusenergiat. [13]

Kokkuvõttes on teostatud palju erinevaid analüüse ventilatsioonisüsteemide töötamisel ja uuritud ning võrreldud erinevaid lahendusi. Võrdluste põhiliseks nõudeks oli asjaolu, et süsteemid paikneksid samades sisekliima tingimustes ja hea oleks olukord kui hooned on ühise konstruktsiooni tüübiga. Seadmete põhiliseks erinevuseks oli töö põhimõte. Antud lõputöös oli vaadeldud analüüse, kus üheks seadmeks oleks vähemalt tsentraalne või korteripõhine ventilatsiooniseade. Soojustagastiga seadmetel esines vähem probleeme. Lisaks toodi välja uuring, kus teistes analüüsides vähem probleeme tekitanud mehhaaniline süsteem ei pruugi olla alati parem valik kui esineb vigu projekteerimisel.

2. LÕPUTÖÖ MEETODID

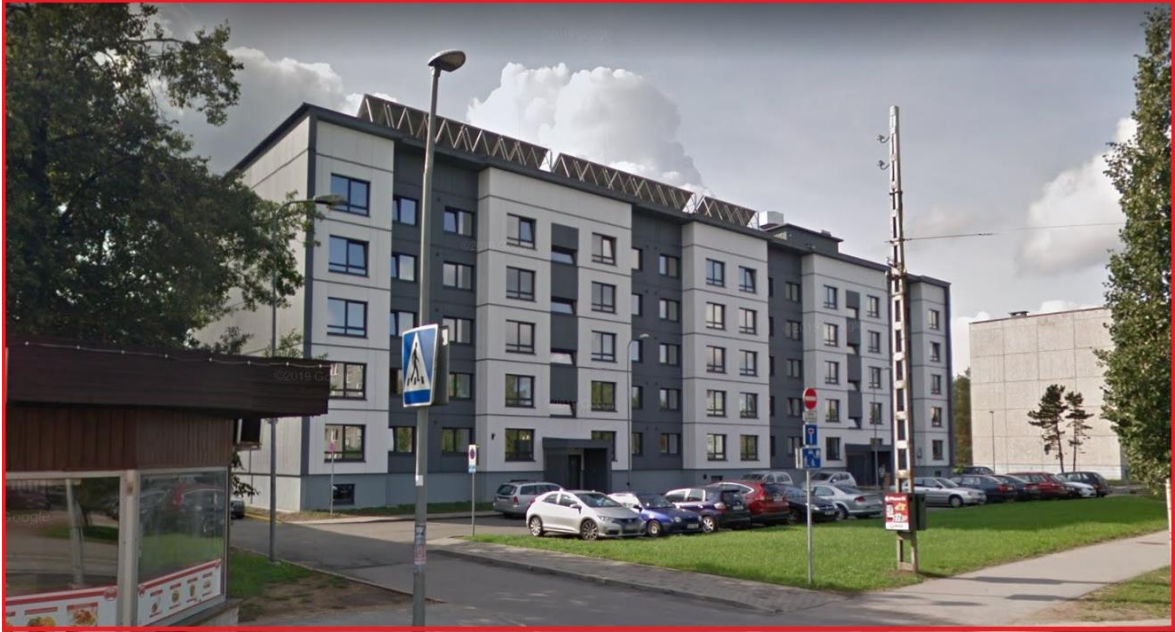
2.1 Objekti kirjeldus

Lõputöös uuritavaks objektiks oli Akadeemia tee 5a ühiselamu (vt joonis 2.1). Hoone ehitati 1986 aastal [14] ning renoveeriti 2017 aastal. Objekti renoveerimistööl oli kasutatud lahendust, kus hoone soojustati tehases valmistatud puitpaneelide abil. Paneelid on seest soojustatud mineraalvillaga ning nende sisse oli paigaldatud ventilatsioonitorustik. Hoone renoveerimisel teostati elanikele paremaid elutingimused, uuendades tehnosüsteeme ja siseviimistlust ning energiatarbimise vähendamisega parandatakse energiatõhusust. [15]

Akadeemia tee 5a ühiselamu on renoveeritud hoone, mida kasutatakse erinevate energiatõhusus uuringute teostamise jaoks. Tegu on kahte trepikoda omava elamuga, mis on jaotatud kaheks erineva lahendusega vaadeldavaks objektiks. Uuringuid saab teha erinevate andurite abil, mis on sinna paigaldatud. Erinevatelt anduritelt saadud tulemuste abil saab teha võrdlusi ja järeldusi ning võimalusel ettepanekuid analüüsitavaid lahenduste parendamiseks.

Antud ehitise renoveerimisel suurimaks väljakutseks oli tehases valmistatud välispaneelide kasutamine. Paneelide sisse tuli paigaldada ventilatsioonitorustik ning pidi arvestama paneelide tootmisel ja paigaldamisel võimalike kõverustega, mis võib tekkida. [15] Tehases ettevalmistatud paneelid võimaldavad ehituseprotsessi kiirendada märgatavalt, sest muidu peaks hoone ümber püstitama tellingud ja alles siis saaks hakata seinu soojustama. Antud hetkel puudusid teadmised lähiriikidest mis töötavad samal ehitusmeetodil. [16]

Renoveerimistöõde peatöövõtja oli OMA Ehitaja ja rekonstrueerimisprojekti koostajaks projekteerimisbüroo Sirkel & Mall OÜ [15]. Ühiselamu renoveerimine on saanud tunnustust „Aasta Energiateo“ auhinnaga 2017 aastal [17], mille annavad välja Energiamesi korraldajad, tehes koostööd energiavaldkonna partneritega. Tunnustuse saadi Tallinna Energiaagentuurilt [15].



Joonis 2.1 Akadeemia tee 5A ühiselamu [11]

2.1.1 Hoone ja selle tehnosüsteemide kirjeldus

Ühiselamu eluruumide pind on 3115,4 m², millest üldkasutatav pind 1006,5 m² ja tehniline pind 124,5 m² [18]. Hoones on 70 ühetoalist ja 10 kahetoalist korterit. Korterite pind on vastavalt 36,5 m² ja 52,6 m² [19]. Enne renoveerimist oli hoones loomulik ventilatsioon, mis likvideeriti. Korruseid on viis ning lisaks keldrikorrus ja 2 trepikoda.

Renoveerimise käigus parandati hoone energiatõhusust ja piirete soojuslähivust. Ehitati välja soojustagastiga ventilatsioonisüsteemid, millest ühte poolt ühiselamul teenindab tsentraalne ja teist poolt korteripõhine süsteem [20]. Lahendused on jaotatud trepikodade järgi. Tsentraalne seade teenindab teist trepikoda ja korteripõhine süsteem esimest trepikoda [21]. Antud süsteemide jaotus on autori poolt välja toodud lisa (vt lisa 1).

Ühiselamu rekonstrueeriti liginullenergiahooneks, mis on energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiliste lahendustega, energiatõhususarvuga $\leq 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ning sisekliima klassiga II [22]. Energiatõhususarvuks on saavutatud $96 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, mis jääb energiamärgise A klassi [23].

Akadeemia tee 5a hoone ventilatsiooniseadmete spetsifikatsioonid on saadud Systemair AS-lt.

2.1.2 Korteripõhine ventilatsioonisüsteem

Tegemist on korteripõhise seadmega koos pliidikubu ühendusega (vt joonis 2.2). Soojustagasti tüübiks on rootorsoojustagasti. Seadmel on viis erinevat õhuvooluhulga valikprogrammi: väljalülitatud, madal ventileerimine, keskmine ventileerimine, maksimaalne ventileerimine ja automaatne. Seadmel on kolm kiirusastet mida on võimalik eraldi programmeerida vastavalt oma soovile. [24]

Arvutades ventilaatorite elektrilise erivõimsuse (SFP) puhaste filtrite korral, siis esimesel kiirusel 22 l/s töötavad ventilaatorid võimsusel 13,0 W sissepuhkel ja 11,4 W väljatõmbel. SFP väärtuseks on 1,11 kW/(m³/s). Teisel kiirusel 30 l/s töötavad ventilaatorid 19,9 W sissepuhkel ja 17,7 W väljatõmbel. SFP väärtuseks on 1,25 kW/(m³/s). Kolmandal kiirusel 50 l/s töötavad ventilaatorid 43,5 W sissepuhkel ja 39,6 W väljatõmbel. SFP väärtuseks on 1,66 kW/(m³/s). Seadmes kasutatakse sissepuhkel F7 klassi filtrit ja väljatõmbel G3 klassi filtrit [25].

SFP näitab kui efektiivne on ventilatsioonisüsteem, lähtuvalt elektrienergia kulust. Lisaks toob välja ventilaatorite elektrivõimsuse suhte ventilaatorite poolt transporditavasse õhuvoolu. Mida väiksem on ventilaatori elektriline erivõimsus, seda väiksem on elektrienergia tarbimine. [35]

SFP avaldub valemiga 3.1 [35]: (3.1)

$$SFP = \frac{N}{L}$$

Kus N – ventilaatorite poolt tarbitav elektrivõimsus, kW

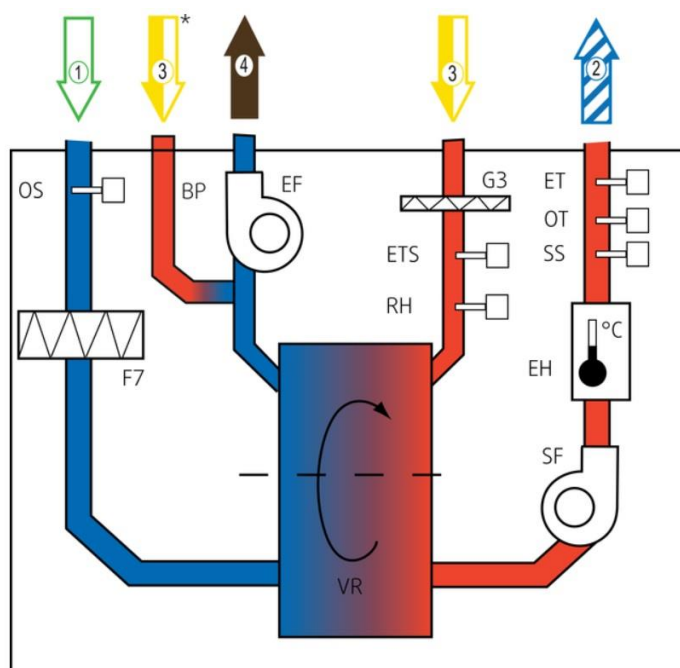
L – ventilaatorite õhuvool, m³/s



Joonis 2.2 Korteripõhine ventilatsioonisüsteem SAVE VTR 200/B L 1000W (Kuusk, K; 2018)

Korteripõhiseid ventilatsioonisüsteeme on kokku 40 tükki ning need on paigaldatud iga korteri panipaika. Kõikidel seadmetel on tagatud CO₂ andurite paigaldamise võimalus. Viiele korterile (04, 07, 18, 28, 37) on lisatud CO₂ andurid. Süsteemile on paigaldatud reguleeriviidid, et võimaldada seadistada sissepuhkeõhu ja väljatõmbeõhu õhuvooluhulkasid. Ventilatsiooniseadmetel on tagatud õhuvooluhulga reguleerimise võimalus, autonoomsete ventilatsiooniseadmetega, vastavalt ruumi kasutusprofiilile.

Järgneval joonisel (vt joonis 2.3) on välja toodud seadme vooludiagramm ning tabelis (vt tabel 2.1) tähistuste nimetused.



Joonis 2.3 Ventilatsiooniseadme vooludiagramm [26]

Tabel 2.1 Ventilatsiooniseadme vooludiagrammi tähistuste nimetused [26]

Tähis	Nimetus	Tähis	Nimetus
F7	Sissepuhke filter	ET	Hädaolukorra termostaat
VR	Rootorsoojustagasti	OS	Välisõhu sensor
EF	Väljatõmbe mootor	BP	Pliidikubu mõõdaviik
G3	Väljatõmbe filter	RH	Suhtelise niiskuse andur
ETS	Väljatõmbe temperatuuri andur	1	Välisõhk
SF	Sissepuhke mootor	2	Sissepuhe
EH	Küttekalorifeer	3	Väljatõmme
SS	Sissepuhke temperatuuri andur	4	Väljavise
OT	Ülekuumenemise termostaat		

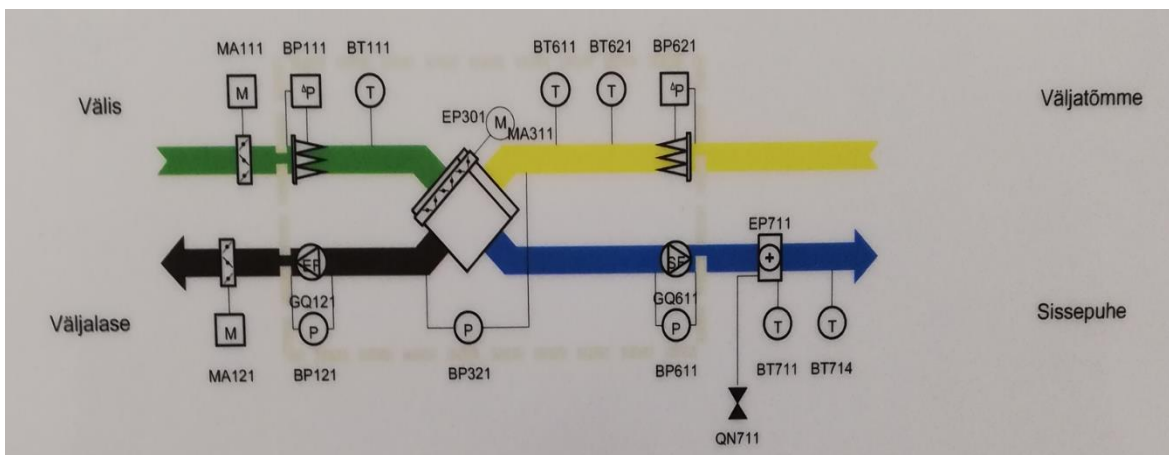
2.1.3 Tsentraalne ventilatsioonisüsteem

Antud seade (vt joonis 2.4) on tsentraalne ventilatsioonisüsteem, DVCompact 20 [27], mis teenindab Akadeemia tee 5a ühiselamu ühte poolt hoonet ehk teist trepikoda. Seade on paigaldatud katusele vastavasse ventilatsioonikambrisse. Süsteemis töötavaks soojustagasti seadmeks on vastuvalu plaatsoojustagasti, mille kasutegur on 80,5 %. Seadme sissepuhke ja väljatõmbe maksimaalne õhuvooluhulk on 1200 l/s ja väline rõhk 180 Pa. Mõlemad ventilaatori mootorid töötavad sissepuhkel ja väljatõmbel võimsusega 2400 W. Süsteemi mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbe ventilaatorite elektriline erivõimsus koos puhaste filtritega ja koos kiiruse reguleerimisega on 1,69 kW/(m³/s). Seadmes kasutatakse sissepuhkel F7 klassi filtrit ja väljatõmbel M5 klassi filtrit.



Joonis 2.4 Tsentraalne ventilatsioonisüsteem DVCompact 20. (Autor, 2019)

Seade sisaldab erinevaid andureid, klappe, lüliteid ja teisi tarvikuid, mis autori poolt on välja toodud järgneval joonisel (vt joonis 2.5). Vooludiagrammi tähiste nimetused on välja toodud tabelis (vt tabel 2.2).



Joonis 2.5 Ventilatsiooniseadme vooludiagramm (Autor, 2019)

Tabel 2.2 Ventilatsiooniseadme vooludiagrammi tähiste nimetused (Autor, 2019)

Tähis	Nimetus	Tähis	Nimetus	Tähis	Nimetus
GQ121	Väljatõmbe mootor	BP111	Rõhulüliti, sissepuhkefilter	MA311	Klapp, mõõdaviik
GQ611	Sissepuhe mootor	BP621	Rõhulüliti, väljatõmbefilter	BT611	Soojusvaheti efektiivsus
BT714	Temperatuuriandur, sissepuhe	MA111	Klapp, välisõhule		
BT621	Temperatuuriandur, väljapuhe	MA121	Klapp, väljapuhkeõhule		
BT111	Temperatuuriandur, välisõhk	EP301	Soojusvaheti		
BT711	Temperatuuriandur, külmumiskaitse	EP711	Küttekalorifeer		
BP611	Rõhuandur, sissepuhkeventilaator	QN711	Mootoriga ventiil		
BP121	Rõhuandur, väljatõmbeventilaator				

2.2 Sisekliima mõõtmise meetodid

2.2.1 Hoone automaatika

Sisekliima mõõtmised käivad hooneautomaatikasüsteem abil. See annab võimaluse palju lihtsamalt saada infot erinevate analüüside tegemiste jaoks. Seadme salvestatavat informatsiooni on võimalik jälgida reaajas ning on võimaldatud statistiliste andmete kogumine energiakasutuse osas. Ajaprogrammi ning sündmusprogrammi abil on võimalik juhtida kogu automaatikasüsteemi [22]. Ajaprogrammis on mõeldud käske, mis on seotud ajaga nagu päevakäsud, nädalakäsud või kalendri vahemikega seonduvad käsud. Sündmusprogrammis aga mõõtevärtuste (temperatuur, rõhk), olukorra (näiteks seadme töötamine) või arvutatud väärtustele põhinevad käsud, mis teeb teatud olukorras ettemääratud lülituse.

Temperatuuri juhtimine toimub korteritesse paigaldatavate ruumitermostaatide abil [22]. Antud termostaadid on ühendatud hooneautomaatikaga ning automaatika abil on välistatud ruumi samaaegne kütmine ja jahutamine. Ruumide sisekliima on jälgitav ja võimalik seadistada hooneautomaatika süsteemi kaudu. Võimalus on koostada erinevaid režiime olenevalt nädalapäevast, kalendripäevast, kellaajast.

Komplekteeritud ventilatsiooniseadmed on ühendatud automaatikasüsteemiga programmiliselt. Samuti ventilatsiooni agregaadil ja soojussõlmel on paigaldatud eraldi energiaarvestid [22]. Teostatud olukord tagab võimaluse arvutada soojustagastite temperatuuri suhtarvu.

Juhtarvuti kaudu saab näha hoone elektrivarustuse kohta käivat informatsiooni [22]. Kõik elektrienergia, soojusenergia, veekulu arvestid on Mbus ja Modbuss väljundiga, mis on ühendatud automaatikasüsteemiga [22]. Automaatikasüsteem võimaldab elektrienergia, soojusenergia, veekulu pidevat arvestust ning annab ebaloomulikult kõrge näidu puhul häiret. Ajaline vahemik, mida saab analüüsida, on tänane päev, 24 tunni info, eilne päev, hetkelisest nädala algusest tänase päevani, eelmine nädal, viimase 7 päeva info, sama kuu algusest tänase päevani, eelmine kuu, hetkelise aasta baasil, eelmine aasta või ise valitud soovitud vahemik. Infot on võimalik salvestada 1, 10, 15, 30 minutilise, 1 tunnise, päeva, kuu või aasta intervalliga. Lisaks tuleb valida selekteeritud vahemikule, et kas soovitakse miinimum, keskmist või maksimaalset näitu.

Hoone piirdetarinditele on paigaldatud temperatuuriandurid ja niiskusandurid, mille näidud jõuavad automaatikasüsteemi. Samuti on ühenduses hooneautomaatikaga korterites olev valgustus, mis on käsitsi lülitatav ja seotud valvesüsteemiga [22].

Häiretest on toodud näide süsihappegaasi sisalduse väljavõttest lisana (vt lisa 2).

2.2.2 Siseõhu temperatuuri mõõtmine

Siseõhutemperatuuril tuleb jälgida, et ruumi operatiivne temperatuuri vahemik oleks optimaalne. Optimaalseks temperatuuriks oleks antud suurusjärg, mis tagab enamus ruumis viibivatele inimestele rahulolu, olenevalt nende riietusest ja aktiivsusest.

Autor on toonud välja Akadeemia tee 5a ühiselamu tööprojekti seletuskirjas järgitud ruumide saavutuslikke temperatuurivahemikke saavutamaks vähemalt teine klass. Antud vahemikud on välja toodud tabelis (vt tabel 2.3). Siiski on mainitud tööprojekti, et jahutust pole arvestatud, kuid suurim näit on ikkagi välja toodud [28]. Tabelis tähistavad temperatuurid vahemikke, mis piiridesse peaks jääma talvisel perioodil minimaalne ja suvisel ajal maksimaalne temperatuuri näit, kuid on lubatud samuti vähesel määral ületusi.

Tabel 2.3 Kindla kasutusotstarbega ruumide lubatud maksimaalse ja minimaalse temperatuuri projekteerimisväärtused rekonstrueeritavas hoones [28]

Ruumi tüüp	Minimaalne lubatud temperatuur kütteperioodil	Maksimaalne lubatud temperatuur jahutusperioodil
Elu-, magamis-, söögituba	21 °C	27 °C
Köök	21 °C	27 °C
Vannituba, pesuruum	22 °C	27 °C
Esik	21 °C	27 °C

Standardis EVS-EN 16798-1:2019 on välja toodud eluhoonete elamisruumidele, näiteks elutuba, magamistuba, et vähemalt teise klassi saavutamiseks võib jääda temperatuur vahemikku minimaalselt 20 kraadi kütteks ja jahutuseks maksimaalselt 26 kraadi. Kolmas klass on vastavalt 18 ja 27 kraadi. Antud parameetritel on arvestatud, et kütteperioodil inimese riietuse soojustakistus (clo) on ligikaudu 1,0 ja jahutusperioodil 0,5. Autor on toonud järgneva tabeliga (vt tabel 2.4) sisekliima klassi temperatuurimäärad kütteks ja jahutuseks eluhoonete elamisruumidele [5].

Tabel 2.4 Temperatuuri vahemikud jahutus- ja kütteenergia arvutuses [5]

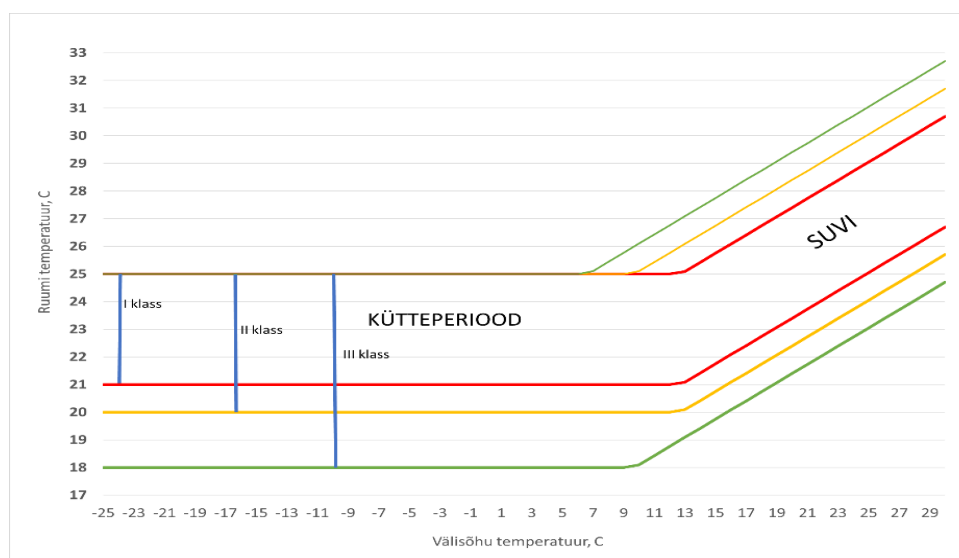
Hoone või ruumi tüüp	Sisekliima klass	Temperatuur, vahemik kütteks, °C	Temperatuur, vahemik jahutuseks, °C
Eluhooned, elamisruumid. Kehaline aktiivsus on istuv ~1,2 met	I	21,0 - 25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 - 25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0 - 25,0	22,0 - 27,0

Antud olukorras, peale ruumitemperatuuri eesmärkide saavutamise, on tulnud arvestada sisekliimaga rahulolematute elanike hulga (PPD, %) ning ruumide soojusliku mugavustundega (PMV). Autor on välja toonud teise sisekliima klassi tagamiseks vajalikud väärtused (vt tabel 2.5). [5]

Tabel 2.5 Keha soojusliku seisundi sisekliima II klassi väärtused [5]

Sisekliima klass	Keha soojuslik seisund tervikuna	
	PPD (prognoositud soojusliku rahulolematuse %)	PMV (soojusliku mugavustunde indeks)
II	<10	-0,5 < PMV < + 0,5

Siseõhu operatiivsete temperatuuride väärtused jahutussüsteemita hoonele on välja toodud järgmises joonises (vt joonis 2.6).



Joonis 2.6 Siseõhu projektiväärtused sõltuvalt välisõhu keskmisest temperatuurist [5].

Antud joonisel (vt joonis 2.6) on autor arvestanud tabelis (vt tabel 2.4) kütteperioodile ettenähtud vahemikke kütteenergiaarvutustes. Suvisel perioodil aga ruumi temperatuuri lineaarset kasvamist välisõhu temperatuuri suurenemisel mehhaanilise jahutuseeta hoonetel. Vastavate klasside piirväärtused tulenevad määrusest, EVS-EN 16798-1:2019, tulenevatest võrranditest, mis on järgnevad [5]:

Klass I	Ülemine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 + 2$
	Alumine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 - 2$
Klass II	Ülemine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 + 3$
	Alumine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 - 3$
Klass III	Ülemine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 + 4$
	Alumine piir	$\theta_{i\ max} = 0,33 * \theta_m + 18,8 - 4$

Kus $\theta_{i\ max}$ – Siseõhu operatiivse temperatuuri piirväärtus C⁰
 θ_m – välisõhu jooksev keskmine temperatuur

2.2.3 Siseõhu suhteline niiskus

Ruumide kuivatust ja niisutust pole tööprojekti ette nähtud [28]. Siiski ruumi suhteline niiskus on oluline sisekliima näitaja, millega saaks vaadelda aastaringse protsessi näol, kas toad on liiga kuivad või niisked. Lõputöös autori poolt välja toodud joonisest (vt joonis 1.1) on välja toodud olukord erinevatest ilmnevatest probleemidest kui õhu suhteline niiskus ruumides muutub kõrgemaks või madalamaks. Optimaalsemaks piiriks talveperioodil oli suhtelise niiskuse vahemik 25 % kuni 45 % ja suvel 30 % kuni 70 %. Antud piirmäärad sai välja toodud hetkel mittekehtivast Eesti sisekliima standardist EVS 839:2003.

2.2.4 Siseõhu CO₂ sisaldus

Süsinikdioksiidi andureid on kokku paigaldatud mõlemale ventilatsioonisüsteemile kümme tükki. Millest viis on ühe süsteemi jaoks ja ülejäänud teisele süsteemile. Andurid on paigaldatud korterite magamistubadesse. Korteripõhises süsteemis on andurid korterites 04, 07, 18, 28 ja 37 ning tsentraalse süsteemi teenindavates korterites 41, 45, 73, 76 ja 77. Andmetöötlesuses sai eemaldatud mõõtmistulemuste nullväärtused ning anduri näitude suured lühiajalised hüpped või mõõdetud ebaloogiliselt kõrged näidud, näiteks 10 000 ppm, mida saab seostada anduri veaga.

Kütte ja ventilatsiooni tööprojekti seletuskirja sisekliima parameetrites on välja toodud õhusaastatuse kindlad vahemikud ainult elu-, magamis-, söögitoas ning showruumis, milleks on 400 kuni 600 ppm [21]. Eelmainitud tööprojekti oleval CO₂ väärtuses on tegemist vahemikuga, millele tuleb liita välisõhu kontsentratsioon. Siiski on autor CO₂ analüüsimisel aluseks võtnud teise klassi andmed EVS-EN 16798-1:2019 määrusest (vt tabel 1.3), kus on välja toodud väärtused arvutusliku süsihappegaasi kontsentratsioonist hõivatud ruumide jaoks.

Tallinna Tehnikaülikooli Üliõpilaskülalt on saadud infot ühiselamu elanike hulga kohta. Tegemist on 2018 aasta septembri olukorraga. Antud teadmine võimaldab saada arusaama, miks mõnes uuritavas korteris on süsihappegaasi hulk mõõdetud ajast väga kõrge või madal.

2.2.5 Kasutatud mõõteseadmed

Saamaks juhtarvutist infot erinevate sisekliima, ventilatsiooniseadmete väärtuste kohta soovitud ajavahemikes on vaja andureid, mis antud mõõtmisi teostaks. Erinevad andurid on süsteemi paigaldatud kas tootja poolt või eraldi tellitud ning viidud ühendusse automaatikasüsteemiga. Järgnevalt on autori poolt välja toodud erinevad andurid, muundurid, mida on kasutatud.



Joonis 2.7 Temperatuuriandur TEKY4 NI 1000-LG [29]

Tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil on sisendis temperatuuriandurid sissepuhkele, väljatõmbele, välisõhule ja külmumiskaitsele. Lisaks Rõhuandurid sissepuhke- ja väljatõmbeventilaatorile. Lisatud temperatuuriandur TEKY4 NI 1000-LG (vt joonis 2.7), mille mõõtevahemik on - 30 °C kuni + 80 °C. [29]



Joonis 2.8 DSG 1000 röhuandur [30]

Lisaks on paigaldatud röhuandur DSG 100 (vt joonis 2.8), mille mõõtevahemik on 0 Pa kuni 1000 Pa. Seadme ümbritseva keskkonnatemperatuuriks sobib -10°C kuni $+70^{\circ}\text{C}$ ja maksimaalseks suhteliseks õhuniiskuseks 85 %. [30]



Joonis 2.9 Süsinikdioksiidi detektor-mõõtemuundur E2608-CO2-10K [31]

Süsihappegaasi mõõtemuundur (vt joonis 2.9) on seadeldis, mis paigaldatud uuritava hoone kümnesse korterisse. Tuvastusvahemik on 0 kuni 10 000 ppm CO_2 . Seadme mõõtetäpsus on $\pm (50 \text{ ppm} + 3\% \text{ mõõdetavast väärtusest})$ 300 kuni 500 ppm piirkonnas. Seade saab töötada tingimusel kui õhutemperatuur on vahemikus 0 kuni 50 plusskraadi ja suhtelise niiskuse vahemik 0 kui 85 %. [31]

2.3 Energiaarvutuse meetodid

Energiaarvutuste jaoks andmete saamiseks, kasutati dünaamilist simulatsioonitarkvara IDA – Indoor Climate and Energy 4.6 (EQUA, Rootsi). Programm, millega on erinevad energiaarvutused teostatud, vastab Euroopa Liidu standardi EVS-EN ISO 13790:2008 nõuetele [32].

Antud lõputöös käsitletakse simulatsiooni tegemisel ventilatsioonisüsteemi seonduvaid parameetreid. Erinevate andmete muutmised on analüüsiks, et kas oleks võimalik muuta seadet energiatõhusamaks. Parameetritena on näiteks sissepuhketemperatuur, õhuvooluhulgad, kalorifeeri temperatuur ja nii edasi (jne).

Antud lõputöös sai kasutatud 2018 aasta anduritelt saadud parameetreid ja 2018 aasta väliskliima kliimafaili. Väliskliima kliimafail oli teostatud Harku ilmajaama mõõtmisandmete baasil.

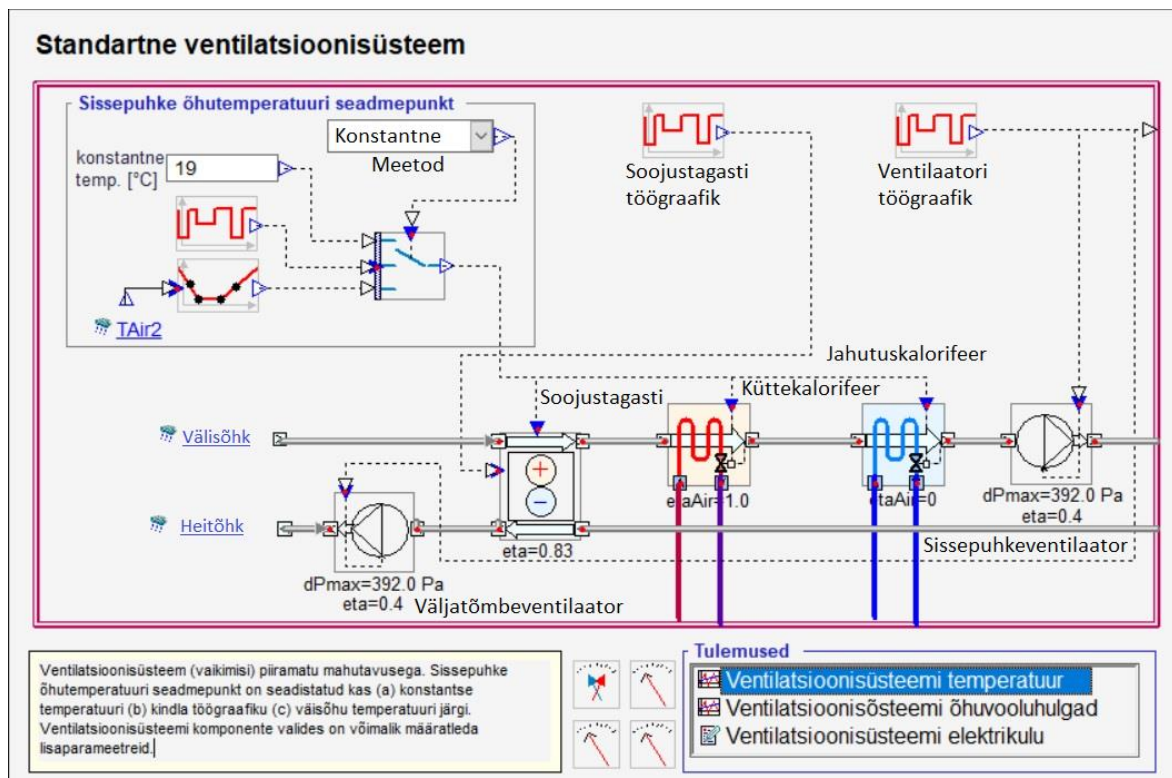
2.4 Simulatsioonimudel ja selle kirjeldus

Joonisel (vt joonis 2.10) on terve ühiselamu hoone mudel. Simulatsiooniprogrammis on välja toodud kogu hoone korruselisus koos korterite iseloomustavate andmetega nagu näiteks korteri number, asukoht, pindala, kõrgus, inimeste, seadete arv ja palju muud. Mudeli pildil on näha ühiselamut ümbritsevate korterelamute kujutisi. Põhjus on selles, et simuleeritava hoone lähedal asuvad ehitised mõjutavad simulatsiooni tulemusi, olenevalt kõrval paiknevate hoonete kaugusest ja kõrgusest simuleeritavast hoonest.



Joonis 2.10 Simulatsiooni Akadeemia tee 5a ühiselamu mudel (Autor, 2019)

Mudeli analüüsil on lõputöö autor täiendanud ja muutnud programmis ventilatsioonisüsteemi seadme parameetreid, mis oli saadud anduritelt, mida on analüüsitud järgnevas peatükis. Järgneval joonisel (vt joonis 2.11) on välja toodud standardne ventilatsiooniseade oma vaikeväärtustega. Antud süsteemis on võimalik valida mis meetodil seadepunkt süsteemis töötab. Lisaks saab muuta ventilaatori ja soojustagasti töögraafikuid, määrata soojustagasti kasutegur ja palju muud.



Joonis 2.11 Standardne ventilatsiooniseade simulatsiooniprogrammis IDA ICE (Autor, 2019)

Hoone mudel on saadud Liginullenergiahooneks rekonstrueeritud Akadeemia tee 5a ühiselamu energiatõhususe analüüsi magistritöö autorilt, Andres Nuialt [33]. Antud mudelis oli eelmainitud lõputöö autoril saadud järgmised seadesuurused tsentraalsele ja korteripõhisele ventilatsiooniseadmele. Väärtused saadi ventilatsiooniseadmete salvestatud andmete pistelise uurimise tulemusel, sest see polnud tema töö eesmärk:

Tsentraalne ventilatsiooniseade [33]:

- Seadeväärtus 20,45 °C
- Soojustagasti kasutegur 0,83
- Ventilaatorite SFP 1,60
- Heitõhu minimaalne temperatuur 0 °C

Korteripõhine ventilatsiooniseade [33]:

- Seadeväärtus 20,38 °C
- Soojustagasti kasutegur 0,83
- Ventilaatorite SFP 1,18
- Heitõhu minimaalne temperatuur 0 °C

Mudeli kalibreerimisel tulemuse saavutamiseks lisati akendele lahtioleku graafiku.

2.4.1 Tsentraalse ventilatsiooni mudeli kalibreerimine

Antud lõputöö hoone ventilatsiooniseadmete mudeli kalibreerimisel tuli välja arvutada tsentraalse süsteemi temperatuuri suhtarv. Tulemuseni jõudmiseks oli vaja teostada erinevaid arvutusi, millest osaline väljavõtte on välja toodud lisas (vt lisa 3). Tabelisse lisati andmed, mis oli süsteemi andmebaasist anduritelt saadud. Saadud andmeteks olid sissepuhke õhutemperatuur, välisõhutemperatuur, välisõhutemperatuur pärast kalorifeere, välisõhu vooluhulk, väljatõmbe õhutemperatuur, heitõhutemperatuur ja väljatõmbe õhuvooluhulk. Mõõteperioodiks 2018 aasta ja keskväärtused sai võetud tunnise sammu vahemikuga. Tulemuseks saadi temperatuuri suhtarvuks sissepuhke alusel 0,837. Välja sai arvutatud ventilatsiooniseadme soojustagasti temperatuuri suhtarvud sissepuhkel, väljaviske temperatuuri suhtarvud ja võrdse õhuvooluhulga korral sissepuhke ning väljaviske temperatuuri suhtarvud [34].

Ventilatsiooniseadme soojustagasti temperatuuri suhtarv sai avaldatud valemist 2.1 [34]:

$$\eta_{t,1} = (t_{sT} - t_{v\bar{o}})/(t_{vT} - t_{v\bar{o}}) \quad (2.1)$$

Kus

- $\eta_{t,1}$ – ventilatsioonisüsteemi temperatuuri suhtarv,
- t_{sT} – sissepuhketemperatuur peale soojustagastit (C°),
- $t_{v\bar{o}}$ – välisõhu õhutemperatuur (C°),
- t_{vT} – väljatõmbe õhutemperatuur (C°).

Võrdse õhuvooluhulgal avaldati temperatuuri suhtarv valemist 2.2 [34]:

$$\eta_{t,2} = L_{m,SP}(t_{sT} - t_{v\bar{o}})/L_{m,VT}(t_{vT} - t_{v\bar{o}}) \quad (2.2)$$

Kus

- $\eta_{t,2}$ – soojustagasti temperatuuri suhtarv taandatud võrdsel õhuvooluhulgal,
- $L_{m,SP}$ – sissepuhkeõhu massivooluhulk (kg/s),
- t_{sT} – sissepuhketemperatuur peale soojustagastit (C°),

- $t_{v\delta}$ – välisõhu õhutemperatuur (C^0),
- $L_{m,VT}$ – väljatõmbeõhu massivooluhulk (kg/s),
- t_{VT} – väljatõmbe õhutemperatuur (C^0).

Väljaviske temperatuuri suhtarvu valem 2.3 [34]:

$$\eta_{t,3} = (t_{VT} - t_{VV}) / (t_{VT} - t_{v\delta}) \quad (2.1)$$

Kus

- $\eta_{t,1}$ – ventilatsioonisüsteemi temperatuuri suhtarv,
- t_{VT} – väljatõmbe õhutemperatuur (C^0),
- t_{VV} – väljaviske õhutemperatuur peale soojustagastit (C^0),
- $t_{v\delta}$ – välisõhu õhutemperatuur (C^0).

Võrdse õhuvooluhulgal, väljaviske temperatuurist, avaldati temperatuuri suhtarv valemist 2.2 [34]:

$$\eta_{t,2} = L_{m,SP}(t_{VT} - t_{VV}) / L_{m,VT}(t_{VT} - t_{v\delta}) \quad (2.2)$$

Kus

- $\eta_{t,2}$ – soojustagasti temperatuuri suhtarv taandatud võrdsele õhuvooluhulgal,
- $L_{m,SP}$ – sissepuhkeõhu massivooluhulk (kg/s),
- t_{VT} – väljatõmbe õhutemperatuur (C^0),
- t_{VV} – väljaviske õhutemperatuur peale soojustagastit (C^0),
- $L_{m,VT}$ – väljatõmbeõhu massivooluhulk (kg/s),
- $t_{v\delta}$ – välisõhu õhutemperatuur (C^0).

Mudelisi muudetud põhjalikuma analüüsi järel korterite õhuvooluhulgad, milleks said olema 20,9 l/s sissepuhkel ja 19,8 l/s väljatõmbel. Õhuvooluhulgad saadi seadme aasta keskmise väärtuse põhjal sissepuhkel 839,0 l/s ja väljatõmbel 791,0 l/s ning jagati võrdsele korterite vahel ära. Lisaks muudeti ruumide keskmist temperatuuri. Ventilatorite SFP oli 1,86 kW/(m³/s), mille arvutuskäik on väljatoodud peatükis 3.2.2. Saavutamaks soovitud ventilatorite elektrikulu, sai teostatud ventilatorite töögraafik arvutatud tulemustega vastavaks. Järgnevas sai välja toodud järgmised seadesuurused tsentraalsele ventilatsioonisüsteemile:

Seadeväärtus 21 °C

Ventilatorite erivõimsus SFP 1,86 kW/(m³/s)

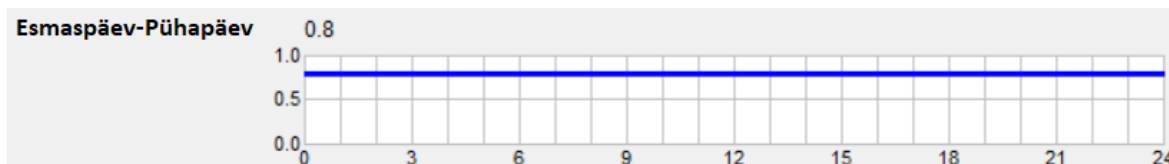
Soojustagasti kasutegur 0,837

Heitõhu minimaalne temperatuur -2,8 °C

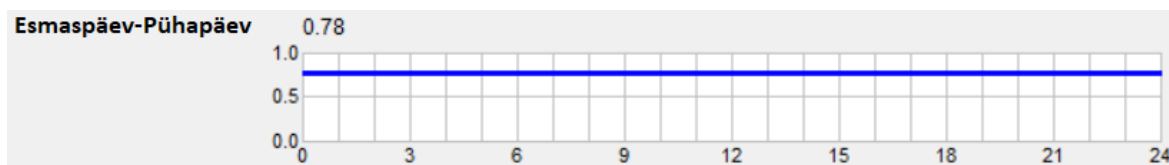
Küttekalorifeeri sisenev temperatuur on 70 °C

Küttekalorifeeri läbiva vee temperatuuri lang 20 °C

Sissepuhke ventilaatori töögraafik (Autor, 2020):



Väljatõmbe ventilaatori töögraafik (Autor, 2020):



Simulatsioonimudel kalibreeriti kahel variandil, et mis juhtub kui aknad on suletud ja teisel variandil olid aknad avatud, vastavalt Andres Nuia lõputööl sätestatud avatuse graafikule [33].

Akende avatuse töögraafik, kui aknad on päeva jooksul pool tundi avatud [33]. Kui iga päev on aknad suletud, siis väärtus on muutumatu ehk 0.0:



Tabel 2.6 Tsentraalse ventilatsiooni kalorifeeri küttekulu ja ventilaatorite elektrikulu tulemused (Autor, 2020)

Kuu	Andmebaasist		Simuleeritud energiakulu 30 min akende avatusega		Simuleeritud energiakulu, aknad suletud	
	Kalorifeeri soojusenergia, kWh	Ventilaatorite elekter, kWh	Kalorifeeri soojusenergia, kWh	Ventilaatorite elekter, kWh	Kalorifeeri soojusenergia, kWh	Ventilaatorite elekter, kWh
1	1779,5	509,0	1311,0	542,8	1269,0	542,9
2	2630,0	432,0	2619,0	487,5	2572,0	487,5
3	1729,0	696,0	1759,0	542,0	1739,0	542,0
4	173,0	714,0	285,6	531,9	275,6	531,9
5	3,0	692,0	8,2	556,3	5,2	556,3
6	0,0	649,0	0,1	538,6	0,0	538,6
7	0,0	445,0	0,0	559,7	0,0	559,7

8	0,0	457,0	0,0	558,9	0,0	558,9
9	0,0	477,0	14,8	537,5	10,5	537,5
10	195,0	494,0	273,4	549,9	260,7	549,9
11	360,0	474,0	664,0	528,6	641,1	528,6
12	1433,0	506,0	1255,0	542,6	1212,0	542,6
Summa	8302,5	6545,0	8190,1	6476,3	7985,1	6476,4
	Kokku	14847,5	Kokku	14666,4	Kokku	14461,5

Tsentraalse ventilatsioonisüsteemi analüüsimisel simulatsiooniprogrammis, sai võetud aluseks olukord kui korterites olid päevas aknad avatud pool tundi. Põhjus tulenes sellest, et antud tulemused sarnanevad kõige paremini andmebaasist logitud andmetega.

2.4.2 Korteri põhise ventilatsiooni mudeli kalibreerimine

Korteri põhise ventilatsiooniseadme kalibreerimisel sai teostatud seadme elektrikulu arvutused viie seadme baasil, millel olid olemas elektriarvestid. Täpsemalt teostatud tegevus sai välja toodud peatükis 3.2.1, kus on kirjas ventilaatorite elektrilise erivõimsuse leidmisest, ventilaatori ja küttekalorifeeri elektrikulu arvutamisest. Samuti sai arvatud soojustagasti temperatuuri suhtarv. Korteri põhise kalibreeritud mudeliga jäeti olukord kui aknad olid päevas pool tundi avatud. Järgnevalt on välja toodud väärtused, mis said valituks korteri põhise ventilatsiooniseadme kalibreerimisel.

Seadeväärtus 21,3 °C

Ventilaatorite erivõimsus SFP 1,27 kW/(m³/s)

Soojustagasti temperatuuri suhtarv 0,940

Heitõhu minimaalne temperatuur + 2,5 °C

Tabel 2.7 Korteri põhise ventilatsiooniseadme kalorifeeri küttekulu ja ventilaatorite elektrikulu tulemused (Autor, 2020)

Kuu	Mõõdetud energiakulu	Arvutatud energiakulu		Simuleeritud energiakulu 30 min akende avatusega	
	Kalorifeeri soojusenergia ja ventilaatorite elekter, kWh	Kalorifeeri soojusenergia, kWh	Ventilaatorite elekter, kWh	Kalorifeeri soojusenergia, kWh	Ventilaatorite elekter, kWh
1	2590,0	1638,0	952,0	2052,0	918,3
2	2960,0	2100,0	860,0	5725,0	827,8
3	3600,0	2648,0	952,0	2992,0	917,5

4	2320,0	1400,0	920,0	14,3	898,9
5	2280,0	1328,0	952,0	0,0	940,9
6	980,0	60,0	920,0	0,0	911,1
7	1000,0	48,0	952,0	0,0	946,8
8	960,0	8,0	952,0	0,0	945,2
9	920,0	0,0	920,0	0,0	909,0
10	980,0	28,0	952,0	14,1	929,3
11	1040,0	120,0	920,0	553,4	893,2
12	1180,0	228,0	952,0	1836,0	917,7
Summa		9586,0	11204,0	13186,7	10955,7
Kokku	20790,0	Kokku	20790,0	Kokku	24142,4

40 seadme kulu* - kahe seadme elektriarvesti elektrikulu iga kuu keskmine korrutatult neljakümne seadmega. Seame kuluks on arvestatud küttekalorifeeri energiakulu ja ventilaatorite elektrikulu kokku.

3. TULEMUSED

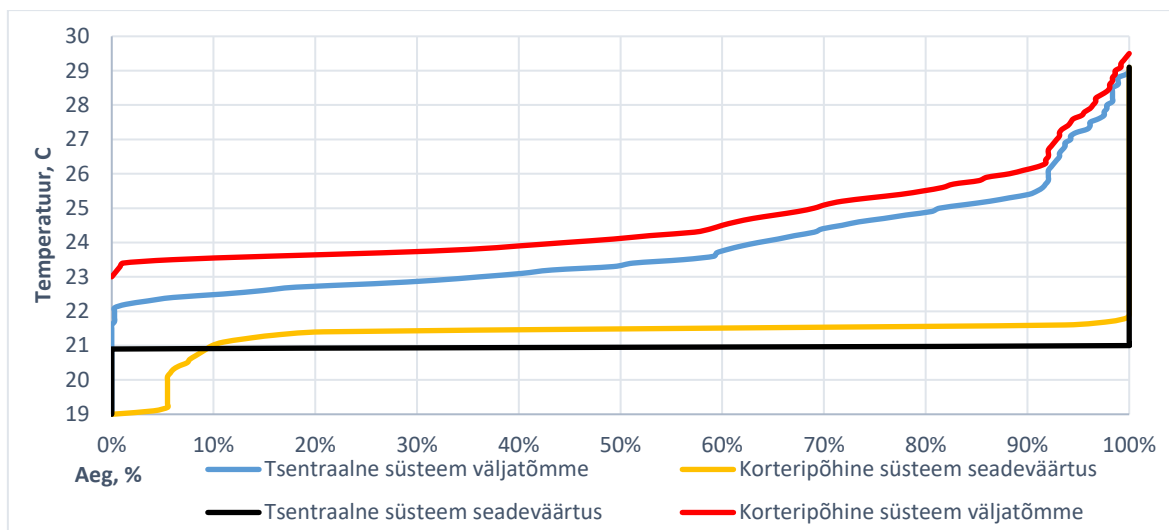
3.1 Sisekliima mõõtmiste analüüs

3.1.1 Seadeväärtus

Enne mõlemale seadmele määratud seadepunkti ja väljatõmbe parameetrite kumulatiivse joonise (vt joonis 3.1) teostamist, tuli teha saadud andmetele analüüs. Analüüsil eemaldati süsteemi häiretest tulenevad parameetrid. Eemaldavateks andmeteks olid näiteks äkilise muutusega näidud ehk lühiajalised hüpped ning puuduvad väärtused, mis oli tekkinud kas süsteemi häiretest või seadme mittetöötamisest. Tegemist on seadmetele määratud igapäevaste temperatuuri keskväärtus näitudega.

Tsentraalsel süsteemil on näha jooniselt (vt joonis 3.1), et temperatuuri seadeväärtus oli stabiilselt terve mõõtmisperioodi 21 °C. Antud näitu ei saa korterite elanikud muuta, vaid seda saab teha seadme haldaja. Korteripõhisel süsteemil toimus ebastabiilsem varieerumine, mis on põhjustatud situatsiooniga, et elanikel on võimalik temperatuuri reguleerida ja elektrikalorifeer ei suuda nii täpset temperatuuri stabiilselt tagada kui vesiküttekalorifeer. Korteripõhise ventilatsiooniseadme seadeväärtuse 2018 aasta mõõtmisperioodi keskmine oli 21,3 °C. Korteripõhise süsteemi teenindavates ruumides oli aasta algusest veebruari kuu lõpuni temperatuur enamuses ruumides alla 20 °C, mille põhjuseks võisid olla tühjad ruumid, kuhu inimesed polnud elama veel asunud. Maksimaalne korteripõhiste ventilatsioonisüsteemide seadepunktile valitud päevane keskväärtus oli 21,8 °C ja minimaalne 19,0 °C.

Väljatõmbel tsentraalse süsteemi miinimum näit oli 21,7 °C ning maksimaalne 29,0 °C. Korteripõhisel süsteemil, kõikide seadmete keskmiseks miinimumiks oli 23,0 °C ja maksimumiks 29,4 °C. Korteripõhise seadme väljatõmbe temperatuur oli aasta jooksul tsentraalse süsteemiga võrreldes keskmiselt 0,7 °C ja seadeväärtus pidevalt 0,5 °C kõrgem.



Joonis 3.1 Kahe süsteemi seadepunkti ja väljatõmbe keskvaartuste kumulatiivne jaotus (Autor 2019)

3.1.2 Siseõhu temperatuur

Ruumi temperatuuri näidud on saadud tubadesse paigaldatud termostaatidelt. Tegemist on 2018 aasta väljavõttega. Kus sai analüüsimiseks kasutatud korterite igapäevaseid keskvaartuseid. Enne jooniste moodustamist tuli eemaldada väärinfo, nagu oli vaja teha eelmisel analüüsil. Lisaks eemaldati 5 % minimaalsetest ja maksimaalsetest väärtustest, et analüüsitava tulemus oleks reaalsem.

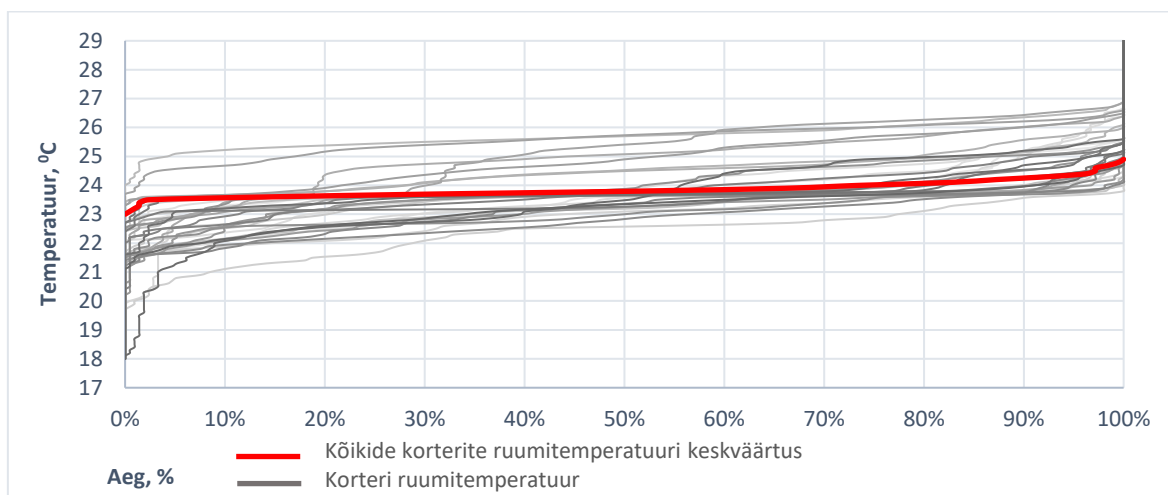
Arvestades, et sisetemperatuur ei tohiks langeda alla 18 kraadi ruumides, kus inimesed paiknevad, on mõlemas süsteemis eesmärgid enamjaolt täidetud. Tööprojektist tulenevalt, peaks temperatuur jääma tubades ja köögis aastaringselt vahemikku 21 kuni 27 °C. Antud eesmärgil, arvestades korterite igapäevast kogukeskmist ja tööprojekti andmetega, on näha mõlemal joonisel (vt joonis 3.2 ja 3.3), et miinimumnõue oli täidetud. Järgmise tabeliga (vt tabel 3.1) väljatoodud piirnormidega võrreldes jahutusperioodil esines korterites maksimaalsest nõudest kaks kraadi kõrgem õhutemperatuur.

Temperatuuri vahemikud on jaotatud kolme klassi, mis on välja toodud tabelis (vt tabel 3.1). Antud tabelis, teise klassi piirmääradeks kütteperioodil oleks 20 kuni 25 kraadi [4]. Autori poolt on järgnevatel joonistel (vt joonis 3.2 ja 3.3) analüüsitavaks kütteperioodi kestvusvahemikuks ajaperiood kui korterites olid radiaatorid töös.

Tabel 3.1 Temperatuuri vahemikud küttesüsteemide arvutuses [5]

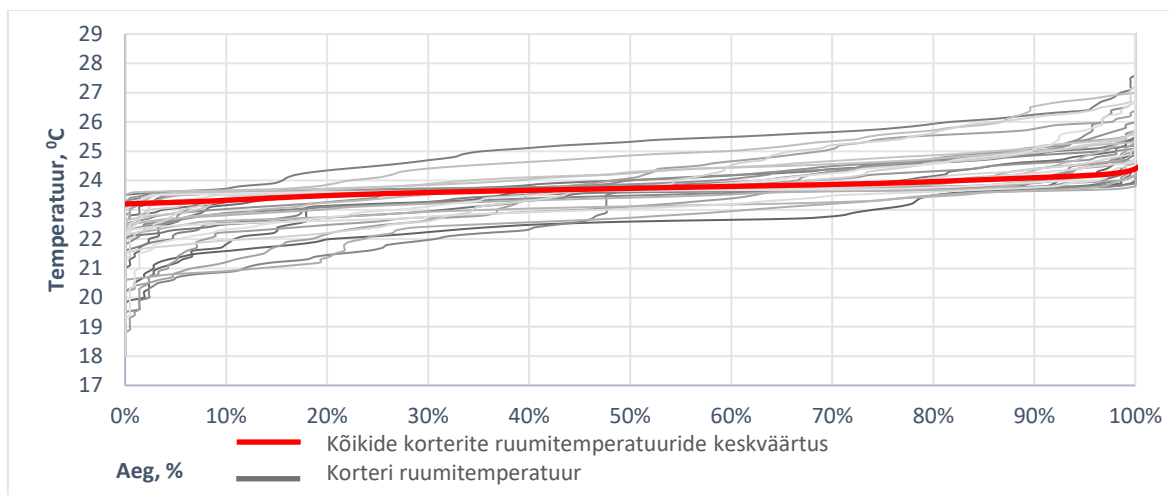
Hoone või ruumi tüüp	Sisekliima klass	Temperatuur, vahemik kütteks, °C
Eluhooned, elamisruumid. Kehaline aktiivsus on istuv ~ 1,2 met	I	21,0 – 25,0
	II	20,0 – 25,0
	III	18,0 – 25,0

Korteripõhise süsteemi kütteperioodi suurim näit oli 26,9 °C, vähim 18,2 °C ja keskmiselt 24,9 °C. Joonisel (vt joonis 3.2) on madalam näit, teise sisekliima klassi väärtusest, lühiajaliselt. Moodustades umbes 5 % ajast neljal korteril ja antud näit oli tingitud ajast kui elanikud polnud veel vastavatesse korteritesse elama asunud. Enamus ajast oli ruumides temperatuur vahemikus 22 °C kuni 24 °C. Üle 25 °C oli 80 % kütteperioodist kahel korteril. Korterite igapäevane kogukeskmise näit jäi kütteperioodil teise klassi piiridesse.



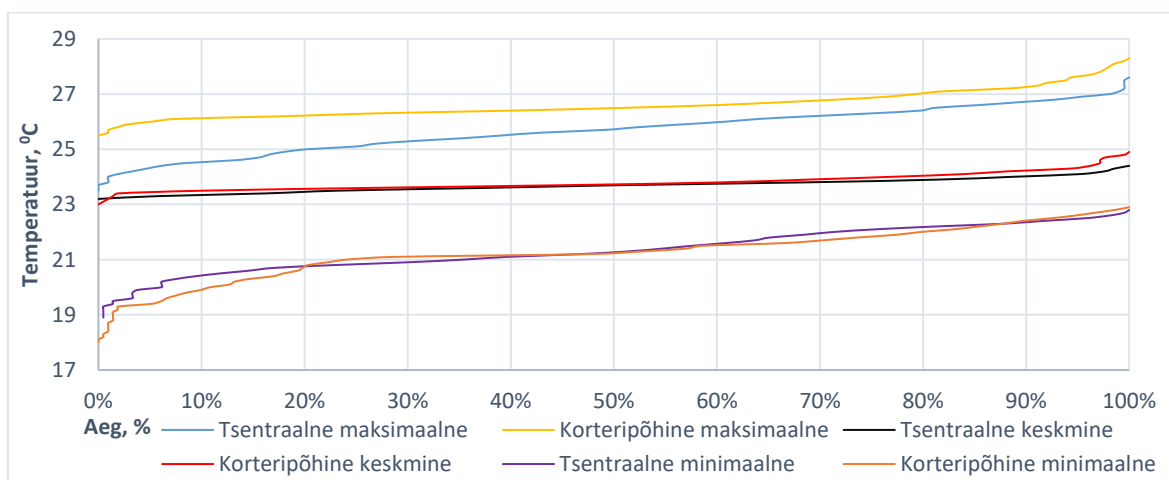
Joonis 3.2 Korteripõhise süsteemi teenindavate korterite tubade temperatuuri kumulatiivne jaotus kütteperioodil (Autor, 2020)

Tsentraalse ventilatsioonisüsteemi kütteperioodi suurim näit oli 27,6 °C, minimaalne 18,9 °C ja keskmine 23,9 °C. Joonisel (vt joonis 3.3) on märgata, et madalam näit alla 20 °C oli kolmel toal, mis on lühiajaline. Põhjus on sama mis korteripõhise ventilatsioonisüsteemi teenindavates ruumides. Pea poole mõõteperioodist jäi enamus ruumides temperatuurivahemik 22 °C kuni 24 °C ümbrusesse. Ühel toal oli 56 % kütteperioodi mõõtevahemikus üle 25 °C sooja. Vaadeldes korterite igapäevast kogukeskmist näitu, siis kütmissüsteemil on teise klassi nõue täidetud.



Joonis 3.3 Tsentraalse süsteemi teenindavate tubade temperatuuri kumulatiivne jaotus kütteperioodil (Autor, 2020)

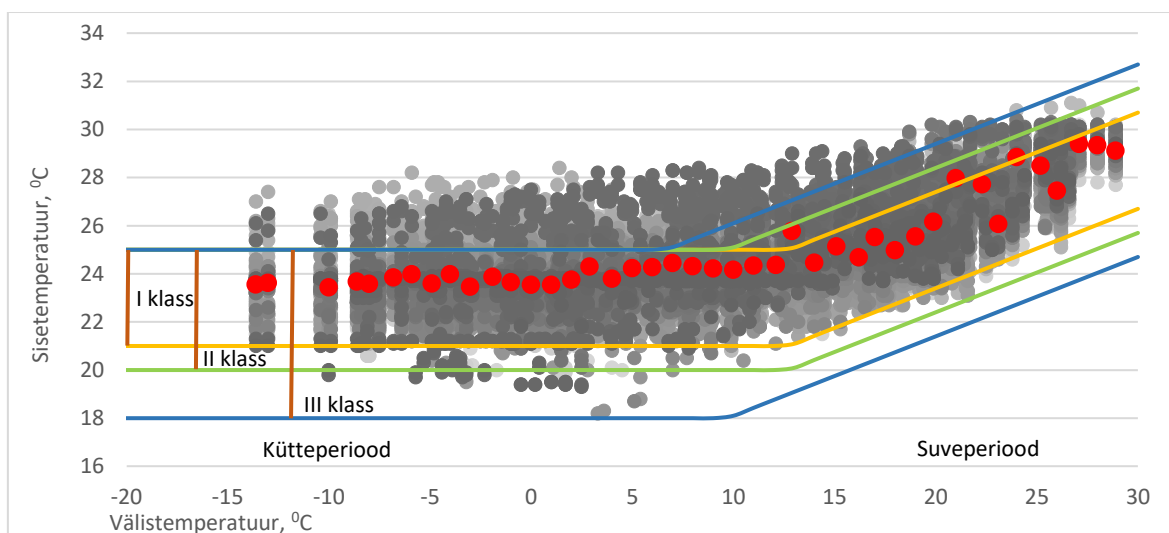
Joonisel (vt joonis 3.4) on välja toodud süsteemide teenindavate ruumide maksimaalsed, keskmised ja minimaalsed aastaringsed näidud kogu kütteperioodi aja. Korteripõhise ventilatsiooniseadme teenindavates ruumides oli temperatuuri suurimad näidud 80 % mõõteperioodist kõrgem tsentraalse süsteemi teenindavatest tubadest. Minimaalsed ja keskmised parameetrid oli aastaringselt väikese erinevusega, kuid korteripõhise süsteemi teenindavates ruumides oli saadud tulemused tsentraalse seadme omadest kõrgemad. Kütteperioodi jooksul oli korteripõhise seadme teenindavates ruumides keskmine temperatuur valdavalt 0,1 kraadi kõrgem tsentraalsest süsteemist ja vastavalt minimaalne näit kõrgem 0,3 °C. Maksimaalne vahemik oli natuke suurem ehk 0,5 °C. Tulemuslik erinevus võib olla põhjustatud korteripõhise süsteemil asjaoluga, et antud tüüpi ventilatsiooniseadmel saavad elanikud ise sättida soovitud sissepuhketemperatuuri.



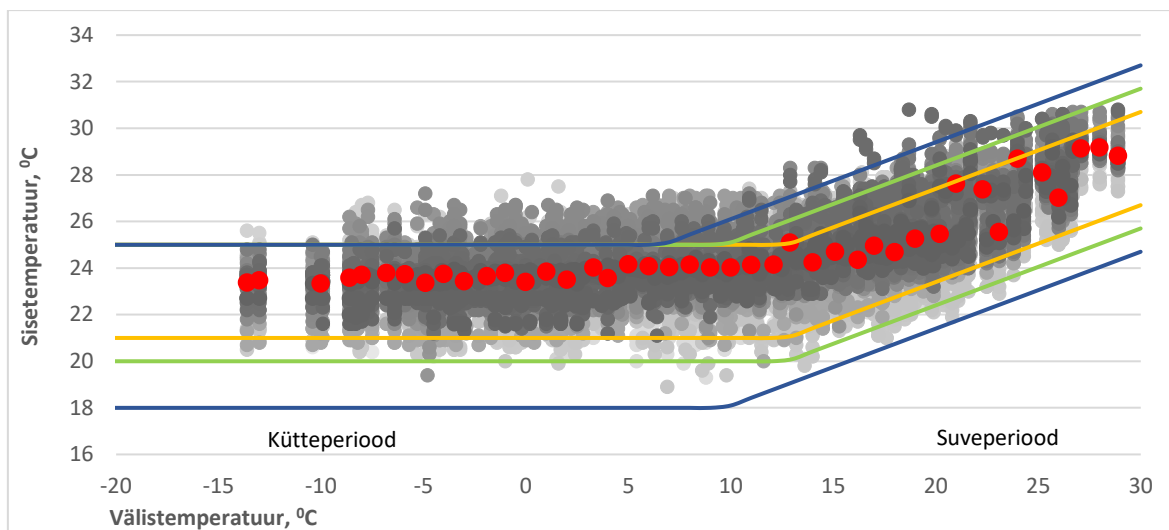
Joonis 3.4 Tsentraalse ja korteripõhise süsteemi teenindavate tubade temperatuuri kumulatiivsete jaotuste vahemikud kütteperioodil (Autor, 2020)

3.1.3 Siseõhu temperatuuri sõltuvus välisõhutemperatuurist

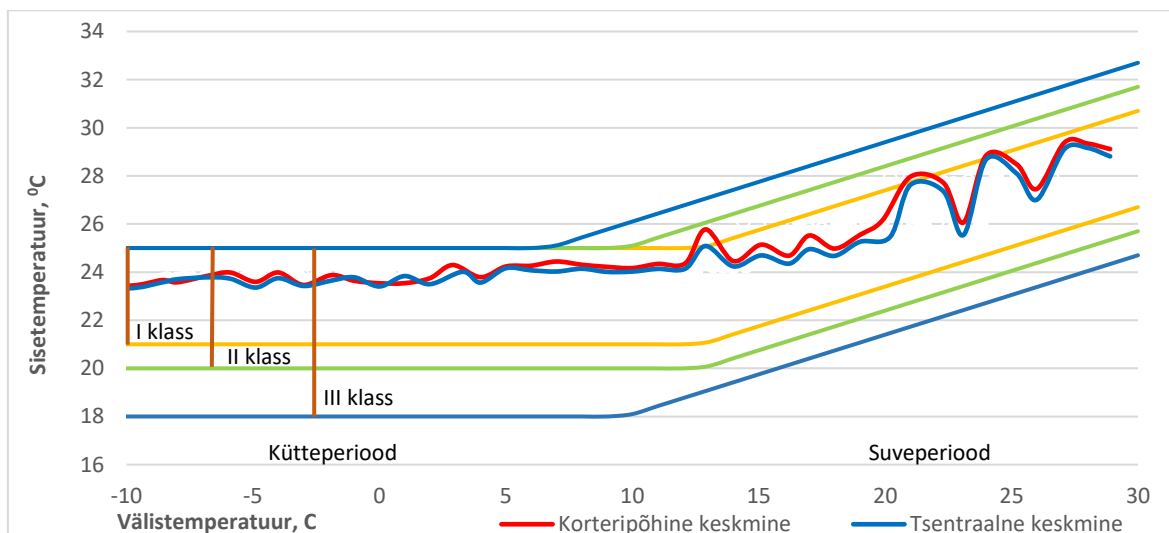
Ruumide siseõhutemperatuuri sõltuvuse analüüsil välisõhutemperatuurist sai kasutatud andurilt saadud igapäevaseid keskmisi mõõtetulemusi. Saadud andmed jaotati vastavalt välisõhutemperatuurile. Kõigepealt eemaldati andurite nullväärtused ja ebaloogilised tulemused. Kui see sai tehtud, siis tõenäolisema tulemuse saamiseks selekteeriti andmetest välja 5 % maksimaal- ja minimaalnäidud. Edaspidiselt ühildati andmetöötlusprogrammis päeva õuetemperatuuri keskmine väärtus ruumitemperatuuri päeva keskmisega ühisele reale ning tulemused reastati välisõhu külmemast soojema temperatuurini. Antud tegevusele toetudes teostati edaspidiselt järgnevad joonised (vt joonis 3.5, 3.6 ja 3.7). Vastavalt ventilatsioonisüsteemi teeninduspiirkonnale, korteripõhine süsteem (vt joonis 3.5) ja tsentraalne süsteem (vt joonis 3.6), arvutati õuetemperatuurile vastavalt ruumitemperatuuride keskmised näidud. Kahe ventilatsiooniseadme omavahelises võrdluses (vt joonis 3.7) sai välja toodud teenindavate korterite keskmised välisõhutemperatuurid ühe kraadi kohta.



Joonis 3.5 Ruumi sisetemperatuuri sõltuvus välisõhutemperatuurist korteripõhise ventilatsioonisüsteemi teenindatavates ruumides (Autor, 2019)



Joonis 3.6 Ruumi sisetemperatuuri sõltuvus välisõhutemperatuurist tsentraalse ventilatsioonisüsteemi teenindavates ruumides (Autor, 2019)



Joonis 3.7 Kahe ventilatsioonisüsteemi teenindavates ruumides sisetemperatuuri sõltuvus välisõhutemperatuurist (Autor, 2019)

Võrreldes kahe süsteemi eraldi jooniseid (vt joonis 3.5 ja 3.6) on märgata, et kütteperioodil oli ruume kus esines soovitud sisekliima klassi piiri ületusi, kuid enamus tubades jäi toatemperatuur siiski teise klassi. Arvestades mõlema seadme seadepunkti igapäevased keskväärtuseid, mis oli poole kraadise temperatuuri erinevusega, võib oletada, et ruumides võib olla radiaatorite ventiil sätitud kõrgele temperatuurile. Antud lõputöös pole teostatud uuritavas hoones elavate elanikele sisekliima rahuloluküsitlust.

Korteripõhise ventilatsioonisüsteemide hallatavates korterites oli temperatuuri kõikumisvahemik 5,3 kraadi ning tsentraalse süsteemi teenindavates ruumides 4,8 kraadi. Temperatuuride kõikumise varieerumine korterites oli suur. Siiski

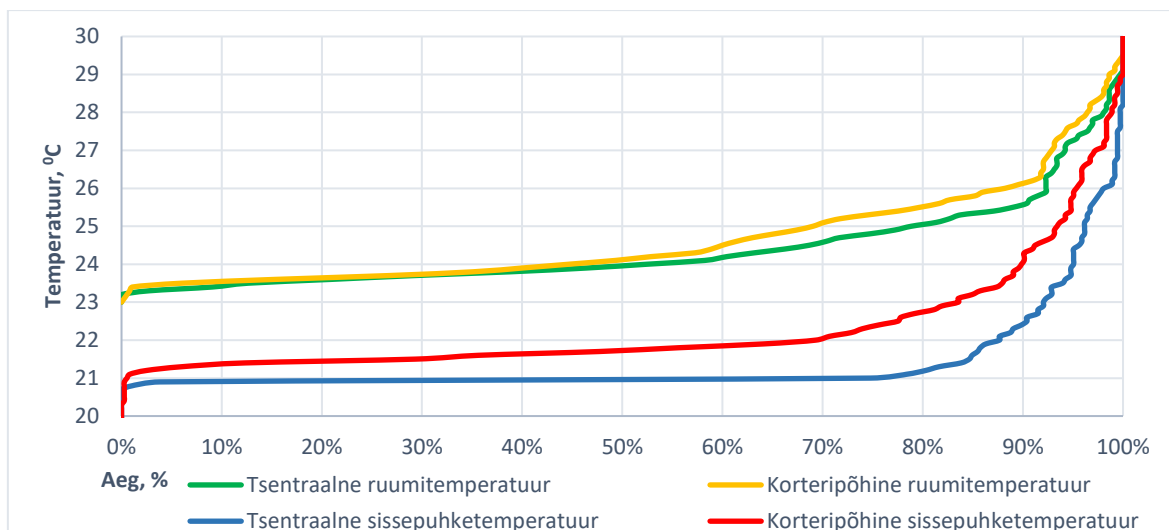
temperatuuride jaotus, vastavalt päeva keskmisele välisõhutemperatuurile, korteripõhise teenindusega ruumides oli palju kõikumam, mis võib olla tingitud tudengi poolt soovitud sissepuhketemperatuuri muutmisvõimalusest ning samuti elektriküttekalorifeeri suutmatuses tagada stabiilset temperatuuri.

Võrreldes kahe erineva süsteemi teenindatavaid ruume joonisel (vt joonis 3.7) on märgata, et ruumide keskmine temperatuur, jäi mõlemal süsteemil teise sisekliimaklassi. Korteri põhisel seadmel oli keskmine temperatuur tsentraalsest süsteemist natuke kõrgem, kuid erinevus oli minimaalne. Suveperioodil oli õhutemperatuuri kõikumine ebastabiilsem kui kütteperioodil. Seetõttu oli näha vähest kõikumist sisekliima teise klassi maksimaalse piiri tsoonis. Siiski tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et antud renoveerimise tööprojekti ei olnud ette nähtud ventilatsiooniõhu jahutamist.

3.1.4 Ruumitemperatuuri ja sissepuhketemperatuuri sõltuvus

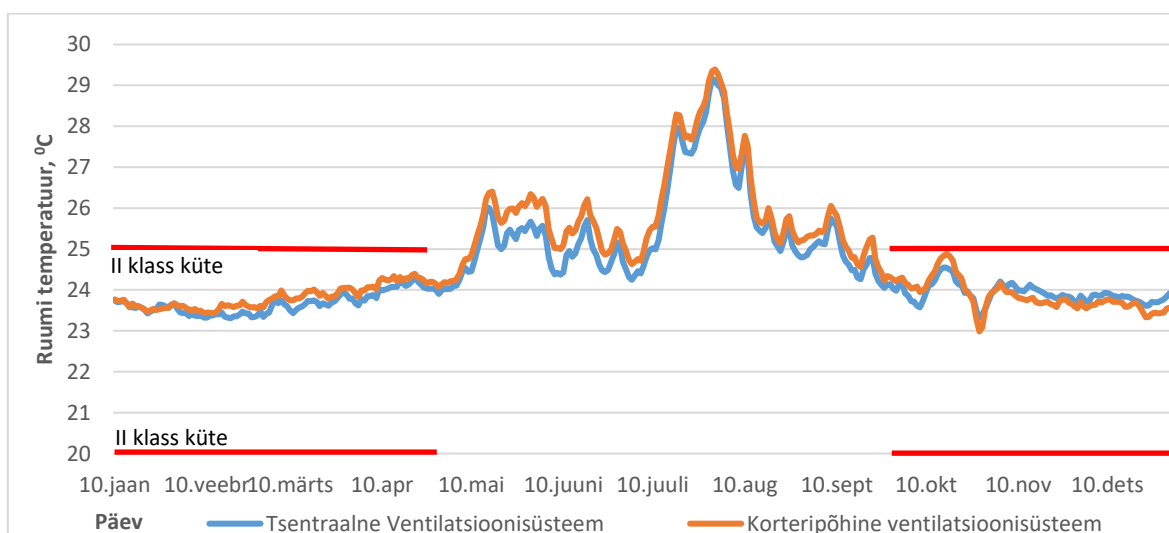
Ruumitemperatuur sõltub sissepuhketemperatuurist, inimestest ruumis, seadmete arvust, kütteperioodil radiaatori ventiili avatusest, akende avatusest (avatud, suletud). Ruumi puhutava õhutemperatuuri suurus koos ruumis oleva õhutemperatuuriga iseloomustab järgmine joonis (vt joonis 3.8). Joonisel on näha, et tsentraalse ja korteripõhise seadme teenindavates ruumides oli mõõteperioodil 50 % ajast sama temperatuuri vahemik, kuid sissepuhketemperatuur oli pea poole kraadises erinevuses. Ruumitemperatuuri omavaheline erinevus oli ülejäänud 50 % mõõteperioodist minimaalse erinevusega, kuid korteripõhise seadme teenindavates ruumides on näit kõrgem. Põhjus tulenes mõlema seadme omavahelise sissepuhketemperatuuri suurenemise erinevusest.

Tsentraalse ventilatsioonisüsteemi teenindavates ruumides oli sissepuhke- ja ruumitemperatuuri erinevus maksimaalselt 5,6 °C, minimaalselt 0,5 °C ja keskmiselt 3,0 °C. Korteri põhise ventilatsioonisüsteemil aga maksimaalselt 5,8 °C, minimaalselt 0,1 °C ja keskmiselt 2,4 °C. Tsentraalse seadme teenindavates ruumides oli sissepuhke- ja ruumitemperatuuri vahemik suurem kui korteripõhise seadme teenindavates ruumides. Siiski ruumitemperatuuril oli erinevus väiksem. Suurem temperatuuride erinevus võis olla põhjustatud õhu soojenemisest ventilatsioonitorustikus enne ruumidesse jõudmist.



Joonis 3.8 Sisepuhketemperatuuri keskvaartuste ja ruumitemperatuuri kumulatiivne jaotus graafik (Autor, 2019)

Vaadeldes seadmete teenindavate ruumide keskmisi õhutemperatuure joonisel (vt joonis 3.9), siis saab järeldada, et temperatuur jääb enamuses ajast nõutud vahemikku. Siiski temperatuuride keskvaartused olid autori arvates teise sisekliimaklassi ülemise piirile liiga lähedal. Juulis ja augustis esines mõni päev kus temperatuur ületas 27 kraadi piiri, kuid see oli lühiajaline probleem ja seotud välisõhu temperatuurist. Lisaks pole ühiselamus palju tudengeid, sest koolitööd ei toimu. Korteripõhise seadmete poolt teenindavates tubades oli enamuses ajast kõrgem temperatuur kui tsentraalse süsteemiga seotud korterites, kuid temperatuuriline erinevus oli väike.

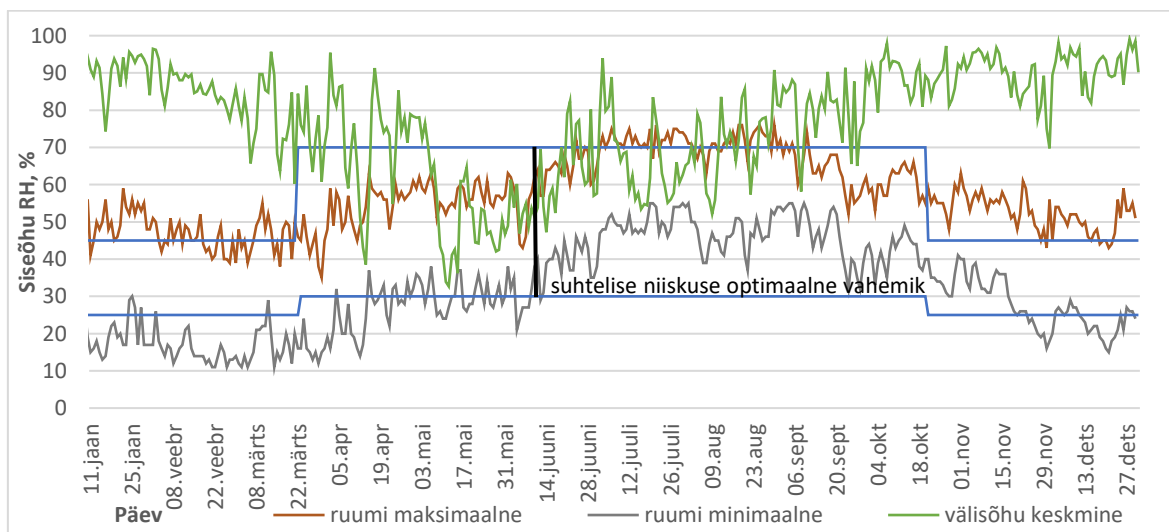


Joonis 3.9 Kahe süsteemi hallatavate ruumitemperatuuride keskmine (Autor, 2020)

3.1.5 Suhteline niiskus

Andurid on paigaldatud korteripõhisel süsteemil väljatõmbe poolele. Tsentraalsel süsteemil puudub niiskusandur ning seetõttu ei saa mõlemat süsteemi eraldi võrrelda. Hetkel saab vaid oletada, et tsentraalse seadme teenindatavates ruumides on samasugune niiskussisaldus nagu korteripõhise süsteemi korral, vaadeldes ruumide sissepuhketemperatuuride sarnasusi. Seetõttu saab kirjeldada terve hoone suhtelise niiskuse taset üldiselt. Analüüs sai teostatud alates 11 jaanuarist kuni 2018 aasta lõpuni.

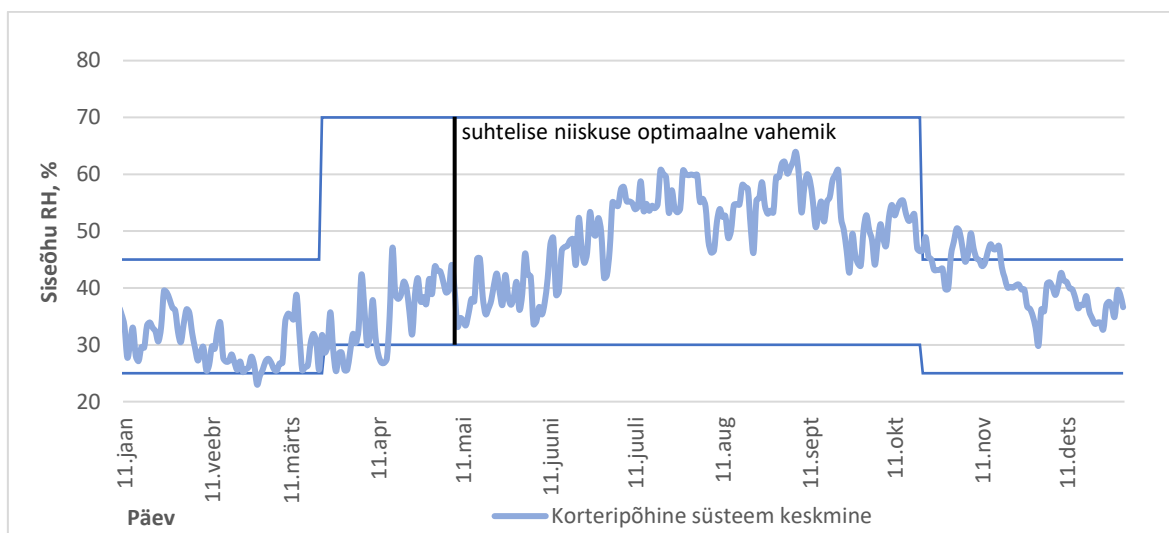
Suhtelise niiskuse joonisel (vt joonis 3.10) on näha, et suhtelise niiskuse miinimum ja maksimum piir ruumides jäävad enam ajast 20 % kuni 60 % vahemikku. Joonisel on välja toodud maksimaalne ja minimaalne optimaalne vahemik, mille alasse suhtelise niiskuse parameetrid võiksid jääda, ning välisõhu igapäevane keskmine suhteline niiskus. Maksimaalne ruumi suhteline niiskus oli 76 % ning minimaalne 11 %. Välisõhu keskmise suhtelise niiskustaseme tulemused oli keskmiselt 77 %, maksimaalselt 99 % ja minimaalselt 33 %. Anduritelt saadud väärtuste tulemustest on näha, et hoones oli kortereid, mis ületasid optimaalset suhtelise niiskuse vahemikku nii talvel kui ka suvekuudel. Piirinormide ületused võivad olla põhjustatud ruumides esineva kõrgete temperatuurinäitude korral, mis põhjustab madalamat suhtelist niiskust. Suvel kui ruumides kütmist ei toimu radiaatorite toimel, siis suhtelise niiskuse tase oli enamjaolt võrdne välisõhu parameetritega.



Joonis 3.10 Hoone korterite aastase suhtelise niiskuse optimaalne vahemik ja välisõhu suhteline niiskus (Autor, 2019)

Võrreldes hoone keskmist aasta igapäevast suhtelise niiskuse joonist (vt joonis 3.10), siis suhtelise niiskuse tase jäi optimaalsetesse piiridesse. Suvel oli ruumid suurema

suhtelise niiskusega kui talvel ning üle poole aastast jääb tulemus optimaalsesse vahemikku. Hinnates jooniselt (vt joonis 3.11) korteripõhise ventilatsioonisüsteemi teenindavate korterite keskmisi suhtelise niiskuse andmeid, siis autori arvates oli ruumides niiskust piisavalt. Suhtelise niiskuse tase jäi valdavalt optimaalsesse vahemikku.

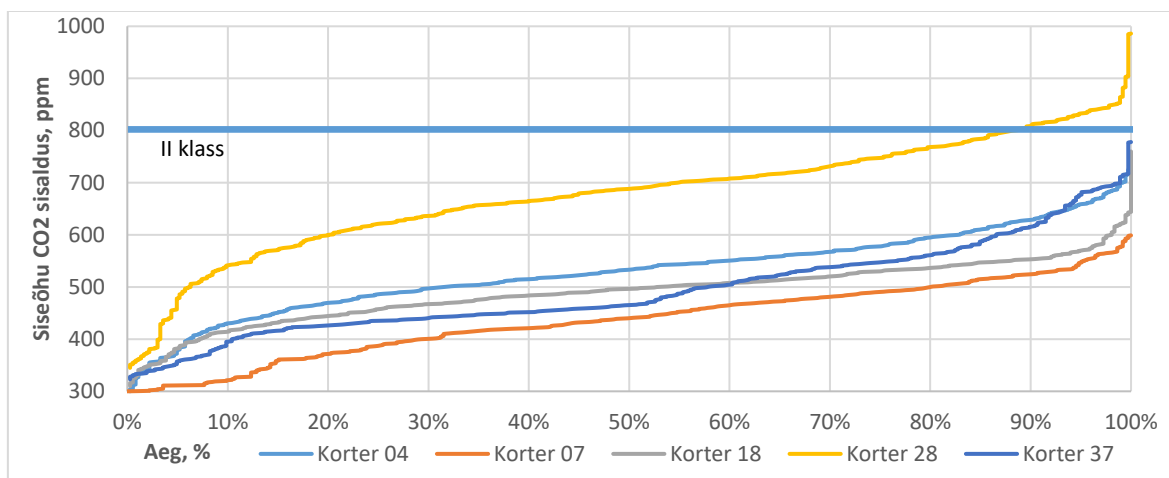


Joonis 3.11 Korteripõhise ruumi siseõhu keskmine suhteline õhuniiskus (Autor, 2019)

3.1.6 Siseõhu CO₂ mõõtmistulemused

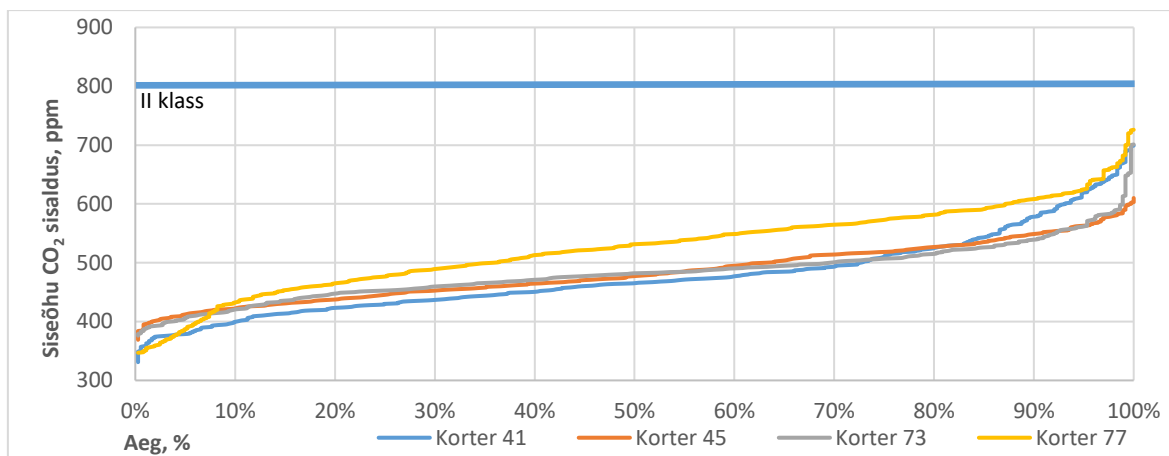
Tegemist on 2018 aasta andmetega ning mõõdistused oli salvestatud alates kümnendast jaanuarist. Korteripõhise ventilatsioonisüsteemi kumulatiivse jaotusega jooniselt (vt joonis 3.12) oli maksimaalseks väärtuseks 986 ppm ja minimaalseks 300 ppm. Kõige väiksem näitaja mõõteperioodi vältel oli korteril number 7, kus septembri seisuga ei elanud ühtegi inimest. Suurim näitaja oli korteril number 28, kus elas 3 inimest. Jooniselt vaadatuna on märgata, et neli korterit jäävad oma näitajate poolest aasta jooksul teise sisekliima klassi. Korter 28 tulemused ületavad 10 % mõõdeperioodi ajast sisekliima teise klassi piirnormi. Autori arvates võis põhjus olla selles, et korteris number 28 elas 3 inimest, kuid väite lükkab ümber asjaolu, et korteris 37 oli septembri seisuga 4 inimest, kus näidud olid palju paremad. Olukord võib oleneda asjaolus kui pikka aega päevas elanikud kodus paiknesid. Korterites 15 ja 18 elas 2 elanikku. Põhjalikumal uurimisel tuli välja, et kõik neli seadet väljaarvatud korteris number 18 töötavad CO₂ anduri juhtimisel. Andur töötab õhuvooluhulga regulaatorite ehk VAV klappide koostööl. Korter 18 oli minimaalseks näitajaks 310 ppm-i ja maksimaalseks tulemuseks 761 ppm-i. Jäädes väärtustega teise sisekliima klassi. Tõdedes, et sisekeskkonna algandmete hoonete energiatõhususe projekteerimise ja hindamise, lähtudes siseõhu kvaliteedi, soojusliku mugavuse, valgustuse ja akustika standardist (EVS-EN 16798-1:2019) on lubatud 5 % piirsuuruse ületamist soojusliku mugavuse

tagamiseks [5], siis korteril number 28 jäi CO₂ sisalduse vastavus teise klassi 95 % mõõdetud ajast.



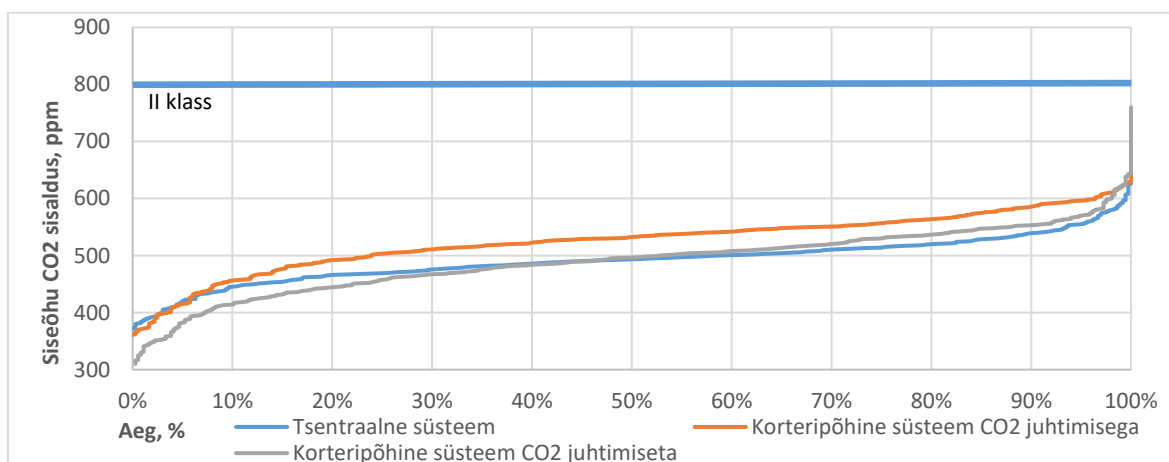
Joonis 3.12 CO₂ mõõtetulemuse korterite kumulatiivne jaotus korteripõhisel ventilatsioonisüsteemil (Autor, 2019)

Tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil, joonisel (vt joonis 3.13) on maksimaalseks süsinikdioksiidi sisalduse näitajaks 726 ppm ja minimaalseks 331 ppm. Viiele korterile on andur paigaldatud kuid korter number 76 andmeid ei saa analüüsimiseks võtta. Põhjus tuleneb sellest, et seadme aastaringsed väärtused jäävad alla 100 ppm-i, millest sai järeldada, et andur oli vigane. Eelmainitud korteris elas 2018 aasta septembri seisuga kolm inimest. Ülejäänud nelja korteri andmeid saab analüüsida kumulatiivse joonisega. Kõige madalamad näidud, 70 % mõõteperioodist, olid korteris number 73, kus elas kaks inimest. Korteri number 45 elas kolm inimest ja korterites number 41 ja 77 oli kaks inimest. Korteri number 77 oli kõige kõrgem näitaja, mis ületas teiste analüüsitavate tubade mõõtetulemusi 93 % ajast. Siiski tsentraalse ventilatsioonisüsteemi poolt teenindavates ruumides, kuhu oli andurid paigaldatud, jäävad igapäevased väärtused teise sisekliima klassi.



Joonis 3.13 CO₂ mõõtetulemuse korterite kumulatiivne jaotus tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil (Autor, 2019)

Kahe ventilatsioonisüsteemi võrdlevas kumulatiivses joonises (vt joonis 3.14) sai välja toodud korterite mõõtmistulemuste keskmine jaotus. Joonisel on välja toodud eraldi üksiku korteripõhise seadme tulemus, mis ei töötanud CO₂ anduri juhtimisel, kuid tulemus on autori arvates ainult ühe seadme kohta liiga üldistav. Süsihappegaasi kumulatiivsed muutused on omavahel väga sarnased. Keskmiselt oli süsinikdioksiidi osakeste näitaja 534 ppm-i korteripõhisel ventilatsioonisüsteemil CO₂ andurite juhtimisel ja 505 ppm-i anduri juhtimiseta ning tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil näitajaks 492 ppm-i. Mõlemad süsteemid jäid teise sisekliima klassi ning joonises kulgevate osakeste suurusjärkude muutused on omavahel sarnased. Aasta jooksul jäi korteripõhise seadme poolt mõõdistatud CO₂ hulk anduri juhtimisel 361 ppm kuni 670 ppm vahemikku, anduri juhtimiseta oli vahemik 310 kuni 761 ppm-i ning tsentraalsel süsteemil 372 kuni 625 ppm-i. Korteripõhise ventilatsiooniseadme CO₂ anduri juhtimisega näidud ületasid mõõteperioodil 94 % ajast tsentraalse süsteemi näite teenindavates korterites. Tulemust põhjustas korteri number 28 tunduvalt kõrgemad mõõtetulemused teiste süsinikdioksiidi andurite olemasolu omavate korteritega.



Joonis 3.14 CO₂ keskmise mõõtetulemuse kumulatiivne jaotus (Autor, 2019)

3.2 Ventilatsiooni energiakulu arvutustulemused

3.2.1 Korteripõhine süsteem

Õhuvooluhulki on võimalik seadmel valida viiel erineval valikul: automaatne, väljalülitatud, madal, keskmine ja kõrge. Viimastel kolmel mainitud režiimidel (madal, keskmine ja kõrge) on kindlad kiirused. Järgnevalt sai analüüsitud ventilaatorite kiiruseid koos õhuvooluhulkadega (vt tabel 3.2). Vahemikuks sai võetud 1 kuni 5 oktoober ning ajaliseks sammuks oli iga viie minuti tagant ning keskmine tulem. Vahemik sai valitud selline, kui sai olla kindel, et enamus osa hoonest on hõivatud tudengite poolt, sest koolis toimub õppeperiood. Uurimise eesmärk oli teada saada, et kas korteripõhistel seadmetel realselt kajastuvad kindlad kiirused. Peale andmetöötlust tuli välja, et korterites esinesid järgmised õhuvooluhulgad. Kõrge režiim ehk kiirus kolm on 50 l/s. Antud situatsioonis pliidikubu töötab. Madal režiim ehk kiirus üks on mõlema ventilaatori puhul õhuvooluhulgaks 24 l/s. Keskmine režiim ehk õhuvooluhulk sissepuhkel 30 l/s ja väljatõmbel 26 l/s. Madalal ja keskmisel kiirusel süsteemis pliidikubu ei tööta.

Tabel 3.2 Korteripõhise ventilatsioonisüsteemi kolme kiirusrežiimi näidud (Autor, 2019)

	Sissepuhe	Ühik	Mootori kiirus	Ühik	Väljatõmme	Ühik	Mootori kiirus	Ühik
Maksimaalne	50	l/s	2700	rrpm	50	l/s	2550	rrpm
Keskmine	30	l/s	1800	rrpm	26	l/s	1440	rrpm
Minimaalne	24	l/s	1560	rrpm	24	l/s	1350	rrpm

Analüüsidest ventilatsioonisüsteemide energiatarbimist, siis võib järeldada, et korteripõhise seadme elektrienergiat on kulutused suuremad tsentraalse seadme omadest. Analüüsi tehes sai kasutatud SFP arvutust, mida nimetatakse ventilaatori elektriliseks erivõimsuseks. Tulemus näitab kui palju ventilaator kasutab elektrivõrgu võimsust, tagamaks plaanitud ventilatsiooni õhuvoolu [35].

Enne ventilaatorite SFP arvutamist oli vaja leida ventilaatoritele minevat energiakulu. Seadmete tegelik elektrikulu sai võetud andmebaasist, kus oli kokku olemas viie seadme elektriarvestid. Viiest seadme elektriarvestist kolm oli CO₂ anduri juhtimise andmetel ja kaks anduri juhtimiseta. Info väljavõttel valiti ajaliseks astmeks kuu kaupa ning maksimaalne väärtus. Iga seadme väljavõtte on kajastatud järgmiste tabelitega (vt tabel 3.3 ja tabel 3.4). Andmebaasist võetud kolme korteri elektrikulu andmete abil sai arvutatud välja ühe seadme keskmine kulu, mille tulemusel saaks oletada, et saadud väärtused näitavad ühe CO₂ anduri juhtimisega seadme keskmist elektritarbimist. Edasi sai arvutatud neljakümnele seadmele minev hinnanguline elektrikulu, korrutades keskmise kuluga seadme iga kuu väärtused hoonest paiknevate korteripõhiste

ventilatsiooniseadmete arvuga. Kahe elektriarvesti puhul, kus anduri juhtimine puudus, teostati sama olukord. Peale kahe variandi, üksiku seadme keskmise elektrikulu leidmist ning hinnangulise arvutuskäiguga neljakümne seadme kulu võrreldes, tuli erinevus kahekordne. Suurem usaldusväärsus jääb autoril anduri juhtimiseta andmetele (vt tabel 3.4), sest liginullenergiahooneks rekonstrueeritud Akadeemia tee 5a ühiselamu energiatõhususe analüüsi magistritöös saadi korteripõhiste ventilatsiooniseadmete ligikaudseks elektrikuluks 24 MWh [33]. Ligikaudne väärtus sarnaneb kõige paremini autori CO₂ anduri juhtimiseta hinnangulise elektrikuluga. Seetõttu sai tehtud korteripõhiste seadmete simulatsioonimudeli kalibreerimine ning järgmised arvutused CO₂ anduri juhtimiseta ventilatsiooniseadmete andmetele tuginedes. Järgnevates tabelites (vt tabel 3.3 ja tabel 3.4) on tegemist kalorifeeride ja ventilaatorite summaarse elektrikuluga.

Tabel 3.3 Korteri põhise ventilatsioonisüsteemi ventilaatorite ja kalorifeeri summaarne elektrikulu CO₂ anduri juhtimisel (Autor, 2020)

Kuu	Päevade arv	Korter 4, kWh	Korter 7, kWh	Korter 28, kWh	3 seadme keskmine, kWh	40 seadme hinnanguline, kWh
Jaanuar	31	150,0	212,0	210,0	190,7	7626,7
Veebruar	28	261,0	216,0	200,0	225,7	9026,7
Märts	31	267,0	231,0	205,0	234,3	9373,3
Aprill	30	168,0	140,0	104,0	137,3	5493,3
Mai	31	48,0	54,0	48,0	50,0	2000,0
Juuni	30	50,0	22,0	31,0	34,3	1373,3
Juuli	31	48,0	22,0	29,0	33,0	1320,0
August	31	23,0	21,0	25,0	23,0	920,0
September	30	16,0	21,0	26,0	21,0	840,0
Oktoober	31	99,0	22,0	32,0	51,0	2040,0
November	30	137,0	20,0	30,0	62,3	2493,3
Detsember	31	180,0	21,0	37,0	79,3	3173,3
KOKKU	365	1447,0	1002,0	977,0	1142,0	45680,0

Tabel 3.4 Korteri põhise ventilatsioonisüsteemi ventilaatorite ja kalorifeeri summaarne elektrikulu CO₂ anduri juhtimiseta (Autor, 2020)

Kuu	Päevade arv	Korter 18, kWh	Korter 38, kWh	2 seadme keskmine, kWh	40 seadme hinnanguline, kWh
Jaanuar	31,0	76,0	53,5	64,8	2590,0
Veebruar	28,0	97,0	51,0	74,0	2960,0
Märts	31,0	104,0	76,0	90,0	3600,0
Aprill	30,0	68,0	48,0	58,0	2320,0
Mai	31,0	85,0	29,0	57,0	2280,0
Juuni	30,0	23,0	26,0	24,5	980,0
Juuli	31,0	24,0	26,0	25,0	1000,0
August	31,0	24,0	24,0	24,0	960,0
September	30,0	23,0	22,0	22,5	900,0

Oktoober	31,0	24,0	25,0	24,5	980,0
November	30,0	22,0	30,0	26,0	1040,0
Detsember	31,0	23,0	36,0	29,5	1180,0
KOKKU	365,0	593,0	446,5	519,8	20790,0

Andmebaasist saadud andmetele tuginedes oli teisel kiirusel ventilaatorite töötamisel keskmiseks elektrikuluks 0,036 kWh, mis teeb ventilaatorite kogu elektrivõismuseks 36 W. Lisaks sai maksimaalsel kiirusel ventilaatorite elektrikuluks 0,093 kWh ja minimaalsel kiirusel 0,028 kWh. Antud üldistused said tehtud juulikuu andmete baasil, sest sellel ajaperioodil saab olla kindel, et elektrikalorifeer ei tööta. Korteripõhiste CO₂ andurita juhtimise seadmete keskmiseks õhuvooluhulgaks saadi 24,73 l/s sissepuhkel ja 25,64 l/s väljatõmbel. Ventilaatorite keskmiseks energiakulaks oli 32 W. Päevaseks keskmiseks elektrikuluks sai 24 tunniga korrutatult 0,768 kWh. Keskmise elektrikulu päevas sai korrutatud vastavalt päevade arvudega kuus ning seejärel saadud ventilaatorite elektrikulu aastas. Küttekalorifeeri elektrikulu leidmiseks lahutati kahe seadme iga kuu keskmisest elektrikulust ventilaatori kulu. Peale ventilaatori ja küttekalorifeeri elektrikulu arvutusi, sai arvutatud kõikide neljakümne seadme kogukulu, oletavalt et kahe seadme keskmine kulu on võrdeline iga üksiku seadme elektrikuluga. Arvutuste tulemused sai välja toodud järgmisel tabelil (vt tabel 3.5).

Tabel 3.5 Ventilatsiooniseadme arvutuslik hinnanguline kalorifeeri küttekulu ja ventilaatorite elektrikulu (Autor, 2020)

Kuu	Päevade arv	Ventilaatorite elekter (1 seade), kWh	Küttekalorifeeri soojusenergia (1 seade), kWh	Ventilaatorite elekter (40 seadet), kWh	Küttekalorifeeri soojusenergia (40 seadet), kWh	Küttekalorifeeri soojusenergia ja ventilaatorite elekter (40 seadet), kWh
Jaanuar	31	23,8	41,0	952,0	1638,0	2590,0
Veebruar	28	21,5	52,5	860,0	2100,0	2960,0
Märts	31	23,8	66,2	952,0	2648,0	3600,0
Aprill	30	23,0	35,0	920,0	1400,0	2320,0
Mai	31	23,8	33,2	952,0	1328,0	2280,0
Juuni	30	23,0	1,5	920,0	60,0	980,0
Juuli	31	23,8	1,2	952,0	48,0	1000,0
August	31	23,8	0,2	952,0	8,0	960,0
September	30	23,0	0,0	900,0	0,0	900,0
Oktoober	31	23,8	0,7	952,0	28,0	980,0
November	30	23,0	3,0	920,0	120,0	1040,0
Detsember	31	23,8	5,7	952,0	228,0	1180,0
KOKKU	365	280,1	239,7	11204,0	9586,0	20790,0

Seadme ventilaatorite keskmine elektrivõimsus on 32 W. Keskmine sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulk on 25.19 l/s. Jagades ventilaatorite keskmise energiakulu õhuvooluhulgaga, saab SFP järgneva:

$$SFP = \frac{32 * 1000}{25,19 * 1000} = 1,27 \text{ kW} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

3.2.2 Tsentraalne süsteem

Tsentraalsel süsteemi aasta keskmine sissepuhke õhuvooluhulk saadud andmete baasil oli 3200 m³/h ja väljatõmbel 3000 m³/h. Seadme aastane elektrikulu süsteemi elektriinvestilt saaduna oli 6545 kWh/a. Kalorifeeri soojusenergiakulu oli 8302,5 kWh/a. Tulemused on vaadeldavad kuu kaupa järgmises tabelis (vt tabel 3.6).

Tabel 3.6 Tsentraalse süsteemi energiakulu (Autor, 2020)

1	2	3
Kuu	Seadme elektrikulu, kWh	Küttekalorifeeri soojusenergiakulu, kWh
Jaanuar	509,0	1779,0
Veebruar	432,0	2630,0
Märts	696,0	1729,0
Aprill	714,0	173,0
Mai	692,0	3,0
Juuni	649,0	0,0
Juuli	445,0	0,0
August	457,0	0,0
September	477,0	0,0
Oktoober	494,0	195,0
November	474,0	360,0
Detsember	506,0	1433,0
Aasta	6545,0	8302,5

Seadme SFP arvutamisel oli vaja süsteemi aasta keskmist elektrivõimsust ning uuritava mõõteperioodi keskmist õhuvooluhulka sissepuhkel ja väljatõmbel. Ventilatsiooni sissepuhke- ja väljatõmbeventilaatori elektrienergia kulu oli 2018 aastal 6545 kWh/a. Jagades aastase elektrienergia kulu mõõteperioodi päevade arvuga ning siis omakorda 24 tunniga, sai tulemuseks ventilaatorite aasta keskmise elektrivõimsuse. Aastal 2018 oli 365 päeva. Aasta keskmise elektrivõimsuse arvutus on järgnev:

$$N = \frac{6545}{(365 * 24)} = 0,75 \text{ kW}$$

Keskmine õhuvooluhulk sissepuhkel ja väljatõmbel oli 2917 m³/h. Teisendamaks m³/h ühikuks m³/s, siis tuli jagada keskväärtus 3600 sekundiga. Arvutustehte tulemusel sai ventilaatorite keskmiseks õhuvooluks 0,81 m³/s. Edasiseks sai arvatud ventilaatori SFP, mille tehe on järgnev:

$$SFP = \frac{0,75}{0,81} = 0,93 \text{ kW}/\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

Tegemist on ühe ventilaatori väärtusega, et saada seadme SFP-d siis korrutan tulemuse kahega, milleks on 1.86 kW/(m³/s).

3.3 Korteripõhise ja tsentraalse süsteemi võrdlused

Ruumide sissepuhketemperatuuri seadeväärtus on autori arvates liiga kõrge. Tsentraalsel süsteemil on näit 21,0 °C ja korteripõhisel süsteemil 21,3 °C. Tsentraalsel süsteemil oli seade arv muutumatu, sest näitu ei ole võimalik elanikel muuta. Korteripõhisel süsteemil saavad inimesed ise temperatuuri näitu sättida. Autori arvates on korteripõhise seadme teenindavate korterite elanikel see heaks plussiks, sest nad saavad oma vajaduste järgi valida millist temperatuuri soovitakse. Samuti on seda võimalik teha läbi automaatikasüsteemi, süsteemi haldaja poolt.

Ruumide sissepuhketemperatuuri keskmised igapäevased näidud on korteripõhisel ventilatsioonisüsteemil valdavalt pool kraadi kõrgem kui tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil. Mainitud temperatuuri erinevus ei mõjuta ruumitemperatuuri näitu, mõlema süsteemiga võrreldes, märgatavalt. Võrrelduna mõlema seadme teenindavate ruumide vähimaid, keskmisi ja suurimaid ruumide temperatuuri tulemusi, siis erinevused on minimaalsed. Tubade temperatuur, mõlema seadme hallatavates korterites, on kütteperioodil peaaegu kolm kraadi kõrgem kui sissepuhketemperatuur.

Kütteperioodi ajal oli suhtelise niiskuse tase korterites madalam, võrrelduna välisõhu aasta igapäevaste keskmiste näitutega. Suhtelise niiskuse igapäevased keskmised näidud oli kütteperioodil ruumides ja välisõhus vastupidise kõikumisega. Mida rohkem kütteperioodi algusest mõõteperioodi lõpuni, seda madalam on suhteline niiskus ruumides ja välisõhus kõrgem. Aasta algusest, kuni poole kütteperioodi aja möödumiseni, muutub suhtelise niiskuse tase ruumides tõusvas tempos ja välisõhus langevas tempos. Peale kütteperioodi lõppu saavutab suhteline niiskus nii ruumides kui samuti õues sarnasemad näidud. Terve aasta jooksul jääb suhteline niiskus ruumides optimaalsetesse piiridesse.

Süsinikdioksiidi väärtused jäävad mõlema seadme teenindavates korterites keskmiselt teise sisekliima klassi. Siiski korteripõhise ventilatsioonisüsteemi teenindavas ühes korteris neljast, kus seadmed töötavad CO₂ anduri järgi, esines kümnes protsendil mõõdetud ajast nõutud sisekliima klassi piiri ületust. Autori arvates võiks optimaalsemaks võrdlemiseks olla rohkem kortereid varustatud CO₂ anduritega.

Tsentraalsel seadmel oli ventilaatorite elektrikulu pea kaks korda väiksem kui korteripõhistel seadmetel. Olukord oleneb sellest kui kõik 40 korteripõhist seadet on pidevalt töös või kulutavad päevas viielt elektriarvestilt analüüsitud keskmist ventilaatorite elektrikulu võrdsel hulgal. Aastane ventilaatorite elektrikulu võib olla korteripõhistel seadmetel väiksem kui sai arvatud, kuid kulu jääb suuremaks kui tsentraalse ventilatsiooniseadme poolt avaldub tulemus.

3.4 Simulatsioonimudelis kalibreeritud ventilatsiooniseadmete energivajaduste analüüs

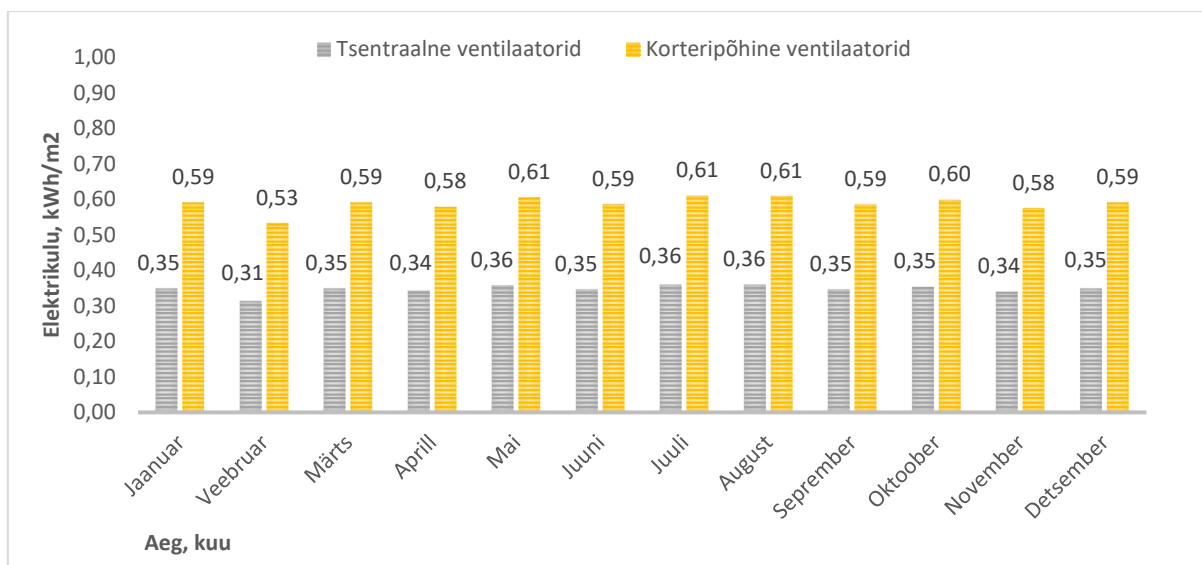
Järgnevalt sai välja toodud, peale ventilatsiooniseadmete kalibreerimist, elektrikulu omavahelised erinevused, mis on vaadeldavad tabelist (vt tabel 3.7). Korteri põhistel ventilatsiooniseadmetel oli aastane ventilaatorite elektrikulu pea kaks korda suurem kui tsentraalsel süsteemil. Põhjus tulenes olukorrast kui kõik korteripõhised ventilatsiooniseadmed töötaksid keskmisel õhuvooluhulgal, mis sai arvatud 36 seadme andmete abil. Korteri põhiste seadmete keskmine õhuvooluhulk oli 5 l/s suurem kui tsentraalse ventilatsiooniseadme teenindavates korterites.

Ventilatsioonisüsteemide esimese korruse plaanil oli välja toodud tubade netopindalad [36]. Arvestades olukorraga, et ühiselamul on tegemist tüüpkorrustega. Liites esimesel korrusel mõlemale seadme teenindavad netopinnad ja korrutades tulemused viiega (5 tüüpkorrust), siis saame mõlema süsteemi teenindava ala kogupinna ruutmeetrites (m²). Lahendusena sai korteripõhiste seadmete teenindavaks netopinnaks 1552 m² ja tsentraalsele süsteemile 1555 m². Jagades aastase elektrikulu arvatud pindalaga, siis saab tulemuseks teada kui palju kWh kulub ühe ruutmeeter pinna kohta aastas.

Tabel 3.7 Ventilatsiooniseadmete ventilaatorite elektrikulu omavahelised erinevused (Autor, 2020)

Ventilatsiooniseadmed		Erinevus (korteripõhine - tsentraalne)
Korteripõhine (40 tükki)	Tsentraalne	
kWh/(m ² *a)	kWh/(m ² *a)	kWh/(m ² *a)
7,05	4,16	2,89

Järgneval joonisel (vt joonis 3.15) on välja toodud ventilaatorite elektrikulu tulemused kalibreeritud simulatsioonimudeli väljavõttest. Tulemusena kulutasid korteripõhise seadme ventilaatorid peaaegu kaks korda rohkem elektrit kui tsentraalsel seadmel. Teades, et korteripõhistel seadmetel on olemas erinevad kiirusrežiimid ja ei tööta alati ühel kiirusel, siis võib tulemus olla erinev. Siiski arvestades, et hoones on 40 korteripõhist ventilatsiooniseadet, siis elektrikulu jääb tsentraalse süsteemiga võrreldes ikkagi suuremaks.



Joonis 3.15 Mõlema seadme ventilaatorite elektrikulu aasta lõikes kuu kaupa (Autor, 2020)

Analüüsisides ventilaatorite elektrikulu mõju mõlema süsteemi suhtes võrdsete õhuvooluhulkade abil, siis tulemus sai välja toodud järgmisel tabelil (vt tabel 3.8). Võrdseteks väärtusteks sai valitud projektijärgsed õhuvooluhulgad, milleks olid 30 l/s nii sissepuhkel kui samuti väljatõmbel. Tulemusena oli tsentraalne seade ventilaatorite elektritarbimises 33 % ökonomsem kui korteripõhised seadmed.

Tabel 3.8 Seadmete ventilaatorite elektrikulu võrdsete õhuvooluhulkade korral (Autor, 2020)

Ventilatsiooniseadmed		Erinevus (korteripõhine - tsentraalne), kWh/(m²*a)
Korteripõhine (40 tk), kWh/(m²*a)	Tsentraalne, kWh/(m²*a)	
9.27	6.14	3.13

Võrreldes kahe seadme kalorifeeride soojusenergiakulu (vt tabel 3.9), siis korteripõhiste seadmete summaarne energiakulu on 3,23 kWh/(m²*a) suurem tsentraalse seadme kalorifeeri kulust. Kalorifeerid töötavad erineva energiaallika baasil. Korteripõhistel

seadmetel on elektrikalorifeer ja tsentraalsel seadmel vesiküttekalorifeer. Tulemusena saab järeldada, et tsentraalne seadme küttekalorifeer on palju väiksema energiakuluga.

Tabel 3.9 Kalibreeritud mudeli ventilatsiooniseadmete kalorifeeride soojusenergiakulu võrdlus. (Autor, 2020)

Ventilatsiooniseadmed		Erinevus (korteripõhine - tsentraalne), kWh/(m ² *a)
Korteripõhine (40 tk), kWh/(m ² *a)	Tsentraalne, kWh/(m ² *a)	
8,50	5,27	3,23

Analüüsi tulemusel saab järeldada, et antud situatsioonis kui võrrelda ühte suurt tsentraalset seadet ja 40 korteripõhist seadet elektri ja soojusenergia põhjal, siis saab järeldada, et plaatsoojustagastiga tsentraalne seade on soodsam. Tsentraalne süsteem on väiksema ventilaatorite elektrikuluga ja samuti kulub vähem soojusenergiat kui arvestada 40 korteripõhise seadme summaarseid tulemusi.

3.4.1 Korteripõhise ventilatsiooniseadmete õhuvooluhulkade muutmise analüüs

Korteripõhiseid ventilatsiooniseadmeid on kokku 40 tükki ning süsinikdioksiidi andureid oli paigaldatud viite korterisse. Neist neljal korteril töötavad ventilatsioonisüsteemid CO₂ anduri abil. Analüüsimiseks sai aluseks võetud kahe seadme elektriarvesti andmed kus puudus CO₂ anduriga juhtimine, sest sellisel baasil töötavaid seadmeid oli kõige rohkem ehk 36 tükki. Korteripõhistel seadmetel oli peaaegu kaks korda suurem elektrikulu kui tsentraalsel ventilatsiooniseadmel ning seetõttu sai tehtud analüüs korteripõhistele seadmetele õhuvooluhulkade muutmise võimalusteks ja analüüsitud korterite sisekliimat CO₂ andmete tulemusel.

Järgnevalt peale seadmete kalibreerimist, sai tehtud elektrikulu analüüs kolmel erijuhul. Erijuhtudeks oli situatsioon kui seadmed töötavad CO₂ anduri juhtimisega, seaded ei tööta CO₂ anduri juhtimisega, mis jaotati omakorda kaheks – projektijärgse õhuvahetusega olukord ja kalibreeritud tulemus. Analüüsitav seadmete elektrikulu jagunes kaheks, milleks oli ventilaatorite kulu ja elektrienergiakulu õhu soojendamiseks.

Süsinikdioksiidi anduri juhtimisel sai valitud simulatsiooniprogrammis muutuva õhuvooluhulga regulaatorid ehk VAV klapid. VAV klapp on õhuvooluhulka reguleeriv seade, mida juhib mootorajam ja paigaldatakse ventilatsioonitorule sissepuhke ja väljatõmbe poolele. Heitõhu piirnormiks sai valitud vahemikuks 300 kuni 900 ppm-i. Maksimaalseks õhuvooluhulgaks sai valitud 50 l/s sissepuhkel ja 50 l/s väljatõmbel.

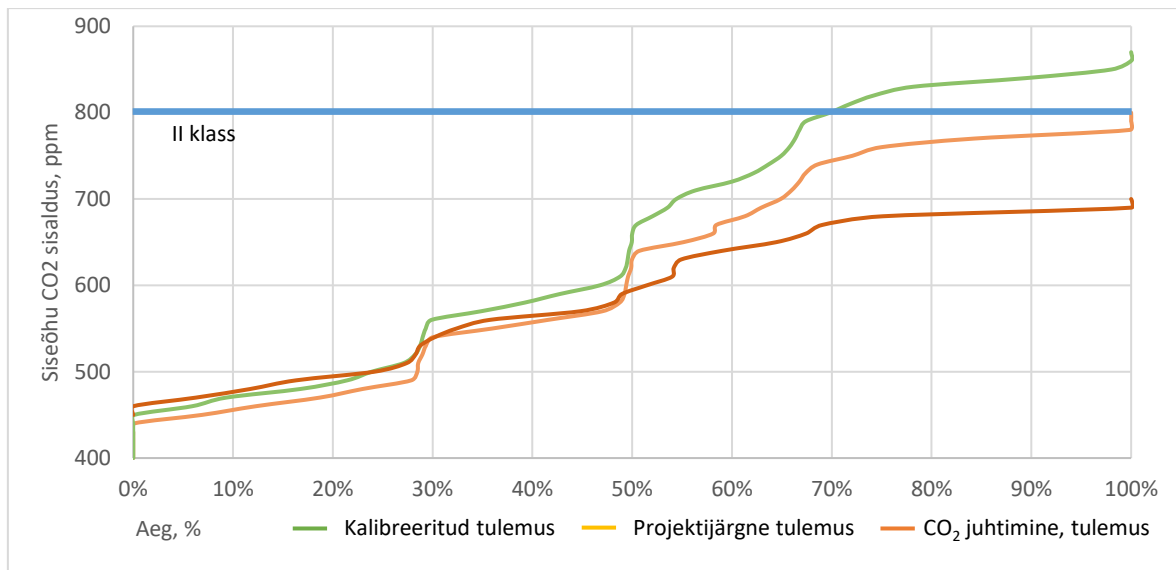
Projektijärgse õhuvahetusega olukorras sai valitud õhuvooluhulgad tööprojekti ventilatsioonisüsteemide korruste plaanidel olevatelt näitudelt. Näitudeks olid 30 l/s sissepuhkel ja 30 l/s väljatõmbel. Kalibreeritud tulemustes on kasutatud reaalseid keskmisi tulemusi, milleks olid 24,73 l/s sissepuhkel ja 25,64 l/s väljatõmbel.

Tabel 3.10 Korteripõhiste seadmete elektrikulu kolmel erijuhul (Autor, 2020)

	Õhu soojendamiseks minev energiakulu		Ventilaatorite elektrikulu		Kokku	
	kWh/a	kWh/(m ² *a)	kWh/a	kWh/(m ² *a)	kWh/a	kWh/(m ² *a)
Kalibreeritud mudel	13186,7	8,50	10955,7	7,05	24133,6	15,55
CO ₂ juhitavus VAV klappidega	19164,8	12,35	13014,9	8,39	32179,7	20,74
Projektne õhuvooluhulk	18837,4	12,14	14389,0	9,27	33226,4	21,41

Peale kolme silmulatsiooni (vt tabel 3.10) sai tulemuseks, et kalibreeritud õhuvooluhulkade puhul oli elektrikulu kõige väiksem ja kõige suurem projektse õhuvoolu korral. Elektri ja soojusenergia summaarne kulu suurenes aasta jooksul 9,1 MWh, mis teeb 5,86 kWh/(m²*a). Mõlemal juhul suurenes summaarne näit, võrreldes kalibreeritud olukorraga. Projektse ja CO₂ juhtimise olukorral on omavaheline erinevus minimaalne ehk 0,67 kWh/(m²*a). Analüüsidest kolme olukorra puhul süsihappegaasi keskmist hulka korterites, siis CO₂ andurite juhtimisel on korterite üldine keskmine näit mõõtmisperioodi ajal madalam (vt joonis 3.16).

Korteripõhiste seadmete juhtimisel CO₂ anduriga oli maksimaalne näit 687,5 ppm-i ja minimaalne 460,9 ppm-i. Keskmiseks väärtuseks oli 574,2 ppm-i. Mudeli kalibreeritud tulemusel olid tulemused järgnevad: maksimaalselt 858,2 ppm-i, minimaalselt 449,0 ppm-i ja keskmiselt 653,6 ppm-i. Projekteeritud õhuvooluhulkade korral oli maksimaalseks näiduks 781,3 ppm-i, minimaalseks 439,4 ppm-i ja keskmiselt 610,3 ppm-i. Kõik kolm juhtu sai analüüsitud samasugustel tingimustel, lähtuvalt kalibreeritud mudelist.



Joonis 3.16 Süsihappegaasi sisaldus ruumides kolmel eri olukorral (Autor, 2020)

Kokkuvõttes tuli analüüsimisel välja, et õhuvooluhulkade projektijärgsel olukorral ja CO₂ andurite juhtimisel suurenes elektri ja soojusenergia kulu sarnasel määral. Sisekliima poolelt vaadatuna projektijärgsete õhuvooluhulkadega ja seadmete CO₂ anduri juhtimise väärtuste puhul vähenes heitõhu osakeste hulk kalibreeritud andmetega võrreldes. Teostatud tulemuste põhjal, kui tahetakse tagada head sisekliimat korterites, siis soovitaks lõputöö autor viia sisse CO₂ anduri juhtimise võimaluse. Siiski tuleks arvestada, et tagatud oleks liigniiskuse eemaldus. Sellepärast et kui CO₂ andurite juhtimisel on viidud õhuvool minimaalsele tasemele, siis ei pruugi vannitoa väljatõmme tagada peale pesus käimist tekkinud niiskuse välja viimist. Kui teha valik elektri ja soojusenergia kulu poolelt, siis võiks autori arvates jääda alles hetkeline olukord.

KOKKUVÕTE

Lõputöös uuriti kahe ventilatsioonisüsteemi toimivust ning tulemusi võrreldi omavahel. Analüüsid teostati igapäevaste keskmiste andurite tulemuste baasil, vajadusel tihedamalt (näiteks soojustagasti analüüsimisel), ning simulatsioonitarkvaraga, IDA ICE, püüti leida võimalusi korteripõhise ventilatsioonisüsteemi töö parendamiseks. Lisaks simulatsioonide baasil vaadeldi kuidas mõne parameetri muutmine mõjutab süsteemi tööd.

Kaks ventilatsiooniseadet, korteripõhine ja tsentraalne, oli teeninduspiirkondadena ära jagatud kahe trepikoja vahel. Esimesel trepikojal teenindab korteripõhine süsteem, mis oli paigaldatud korterite panipaika ja teisel trepikojal teenindab tsentraalne süsteem, mis asub korteri katusel ventilatsioonikambris, teenindades kõiki kortereid korraga.

Esimesed analüüsid sai tehtud hoonesse paigaldatud anduritelt saadud info baasil. Andmeteks sai võetud automaatikasüsteemist igapäevased keskmised tulemused kogu 2018 aasta lõikes. Analüüsi sissepuhketemperatuuri seadeväärtust, väljatõmbetemperatuuri näite, ruumide temperatuure ja sõltuvust väliskliimaga, suhtelist niiskust, süsihappegaasisaldust ruumis ja seadmete energiakulu.

Korterite väljatõmbetemperatuuril ja seadmele sätestatud seadeväärtustel kahel süsteemil suuri erinevusi ei esinenud. Tsentraalse ventilatsiooniseadme seadeväärtus oli stabiilselt 21,0 °C ja korteripõhistel süsteemil oli keskmine näit 0,3 °C kõrgem. Tsentraalse süsteemi stabiilne näit oli tingitud põhusest, et parameetreid saab muuta vaid seadme haldaja, kuid korteripõhiste seadmetel oli võimalus seda teha elanikel endil.

Süsihappegaasi keskmised sisaldused jäid mõõteperioodil tsentraalse ventilatsiooniseadme teenindavates korterites lubatud tasemele. Kortерipõhiste seadmete teenindavates korterites oli vähesel määral ületust ühel korteril. Tulemust analüüsi korterite igapäevase keskmise tulemuse baasil. Analüüsimiseks oli saadud kasutada vaid üheksa anduri andmeid kümnest, sest rohkem neid polnud paigaldatud. Tsentraalse seadme teenindavates korterites oli ühe anduri näidud ebakorrektsed ning seetõttu ei saanud seda analüüsimisel kasutada. Väheste andurite hulk ei pruugi kajastada tegelikku olukorda, vaid annab võimaluse teha üldistusi.

Suhtelise niiskuse analüüsil, igapäevased kõikide korterite keskmised tulemused jäid optimaalsetesse piiridesse. Analüüsi teostamisel sai andmed korteripõhise

ventilatsioonisüsteemi väljatõmbe poolele kinnitatud anduritelt, sest tsentraalsel ventilatsioonisüsteemil niiskusandur puudus. Üldistatult esines üksikutes korterites kütteperioodil, aasta alguses, liiga madal suhteline niiskus. Olukord võib olla põhjustatud ruumides olevast kõrgest sisetemperatuurist, kuid üldiselt jäid näitajad optimaalsetesse piiridesse.

Kõige suurem erinevus esines kahe võrreldava ventilatsioonisüsteemi elektrikulul. Korteri põhiste seadmete ventilaatorite aastane elektrikulu ületas kuni kaks korda tsentraalse ventilatsioonisüsteemi aastast kulu. Saadud tulemustele tuginedes, sai teostatud IDA ICE energiasimulatsiooni programmis seadmete kalibreerimine erinevate analüüside teostamiseks. Tsentraalse ventilatsiooniseadme aastane ventilaatorite elektrikulu oli 4,16 kWh/(m²*a) ja korteri põhiste seadmetel 9,92 kWh/(m²*a).

Simulatsiooni analüüsil sai uuritud korteri põhiste seadmete elektrikulu muutusi kolmel viisil, milleks olid tegeliku õhuvooluhulgaga, projektijärgse õhuvooluhulgaga ja CO₂ andurite juhtimisel töötamine. Tulemusena suurenes kahel analüüsil, projektijärgse õhuvooluhulgaga ja CO₂ anduri juhtimisel, elektri ja soojusenergia summaarne kulu aastas 8,8 MWh, mis teeb 5,69 kWh/(m²*a), võrreldes kalibreeritud andmetega. Sisekliimat analüüsidis tuli välja, et CO₂ anduri juhtimisel oli mõõteperioodil üldiselt väiksem õhu saastatuse hulk ruumides. Antud tulemustele tuginedes oleks autori arvates sisekliima perspektiivis mõttekas viia korteri põhised seadmed CO₂ anduri põhisele juhtimisele. Kuid arvestada tuleks olukorraga, et korterites ei tekiks liigniiskust.

Analüüside baasil oli mõlema seadme näitajad, sisekliima vaates, sarnased. Ainus erinevus oli energiakulul, mistõttu soovitaks autor kasutada korteri põhiste ventilatsioonisüsteemi pigem isikliku otstarbena kodus või korteris ning pigem eelistada tsentraalset ventilatsioonisüsteemi ühiselamute või teiste suurte hoonete üldise õhu ventileerimise puhul.

SUMMARY

The graduation thesis examined the functionality of two ventilation systems and compared their performance results. The analysis were performed on the basis of average daily sensor results, if necessary more frequently (e.g. heat recovery analysis), as well as with simulation software, IDA ICE, attempts were made to improve the work of an apartment based ventilation system. The impact of changing certain parameters on the system's performance was additionally observed, based on simulations.

Two ventilation devices, apartment based and central, were divided into service areas between two stairwells. The first stairwell was serviced by an apartment based system, which was installed in the storage area of the apartments and the second stairwell was serviced by a central system, located in the ventilation chamber on the roof of the building, servicing all apartments at once.

The first analysis were made on the basis of information obtained, from the sensors installed in the building. The average daily results, throughout the year 2018 were taken as data, from the automation system. The set value of the inlet temperature, extraction temperature readings, room temperatures and their dependency on exterior climate, relative humidity, carbon dioxide content in the rooms and the energy consumption of the appliances were analysed.

There were no major differences between the set values of the two systems and for the extraction temperature of the apartments. The set value of the central ventilation equipment was stable at 21.0⁰ C and the apartment based system had an average indicator that was 0.3⁰ C higher. The stable indicator of the central system was caused by the parameters being changeable only by the manager of the equipment, but with the apartment based equipment, the people living there could make changes themselves.

The average carbon dioxide concentrations, during the measurement period, remained at the permissible levels in the apartments serviced by the central ventilation equipment. The apartments serviced by apartment based equipment, in the case of one apartment had exceedances to a minimal extent. The results were analysed based on the average daily results of the apartments. It was possible to use for analysis only the data from 9 out of 10 sensors, as more had not been installed. The readings of one sensor were incorrect, in the apartments serviced by central equipment, and therefore

could not be used for analysis. The small amount of sensors might not reflect the actual situation, but provides an opportunity to make generalisations.

The daily average results of the relative humidity analysis, remained within the optimal limits, for all of the apartments. The data for conducting the analysis was obtained from the sensors attached to the exhaust side of the apartment based ventilation system, as there was no humidity sensor on the central ventilation system. In general, at the beginning of the year, during the heating period, the relative humidity was too low in isolated apartments. The situation may be caused by the high interior temperature of the rooms, but in general the indicators remained in the optimal range.

The biggest difference between the two comparable ventilation systems was in the electricity consumption. The annual electricity consumption of the fans of the apartment based equipment, exceeded the annual consumption of the central ventilation system by up to two times. The conducting of different analysis, based on the achieved results, was performed in the IDA ICE energy simulation programme, through the calibration of equipment. The annual electricity consumption of the central ventilation equipment was 4.16 kWh/(m²*y) and for the apartment based equipment 9.92 kWh/(m²*y).

The simulation analysis was used to examine the changes in electricity consumption of the apartment based equipment in three ways, which were the actual volume of air flow, the designed volume of air flow and functioning according to the CO₂ sensors. The analysis showed that in the case of two analysis, a reduction in electricity consumption took place. The consumption of electricity was increased by 5,69 kWh/(m²*y) or up to 8,8 MWh/year, in the case of designed volume of air flow and functioning according to CO₂ sensors, when compared to calibrated data. It turned out, throughout the measuring period that when analysing the interior climate, the air pollution level was lower in the rooms, when functioning according to the CO₂ sensors. The author, thinks on the basis of these results that from the perspective of interior climate, it would be sensible to place the apartment based equipment to function, according to the CO₂ sensors. It must however be taken into consideration that excessive humidity does not develop in the apartments.

The indicators of both equipment, on the basis of analysis, concerning the interior climate were similar. The only difference was in the energy consumption, for which reason the author would recommend using an apartment based ventilation system rather at home or in an apartment and rather prefer, for the general ventilation of air, a central ventilation system in dormitories or other large buildings.

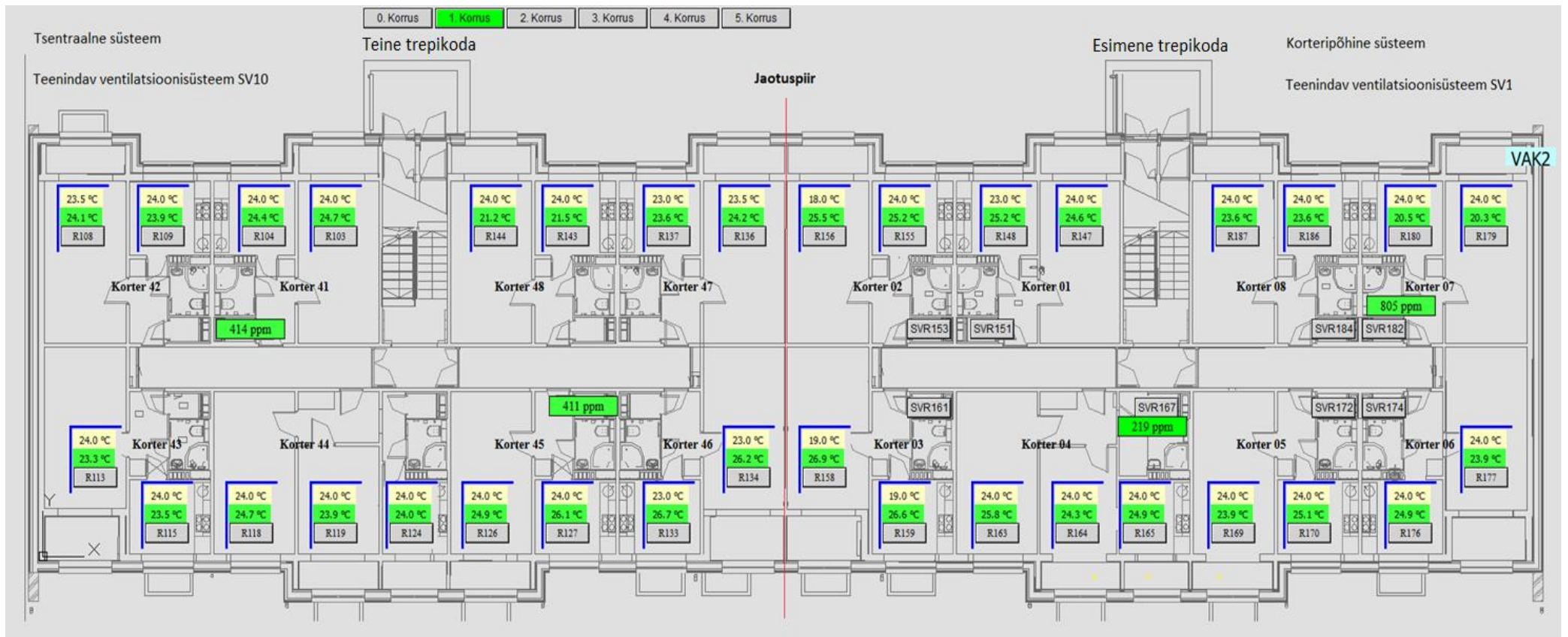
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Kõiv, T. A., Hamburg, A., Mikola, A., Kiil, M., Tükia, A., Rohula, T., Silm, G., Palmiste, Ü. Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele. Lõpuaruanne. 2014. [WWW] <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Rekonstrueeritud%20korterelamute%20sisekliima%20ja%20energiatarbe%20seire%20anal%3%bc%3%bcs%20ning%20nende%20vastavus%20standa rditele%20ja%20energiaaudititele.pdf>
2. Loigu, E., Kõiv, T. A. Elamufondi jätkusuutlikkuse säilitamine läbi ventilatsiooni probleemide tüüplahenduste väljatöötamise. 2007. [WWW] https://www.mkm.ee/sites/default/files/elamufondi_j2tkusuutlikkuse_s2ilitami ne.pdf
3. EVS 906:2018. Mittelehoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017. 2018. [WWW] <https://www.evs.ee/tooted/evs-906-2018>
4. EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Eesti standardikeskus. 2007. [WWW] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15251-2007>
5. EVS-EN 16798-1:2019. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast. Moodul M1-6. 2019. [WWW] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-16798-1-2019>
6. Hao, X., Xing, Q., Long, P., Lin, Y., Hu, J., Tan, H. Influence of vertical greenery systems and green roofs on the indoor operative temperature of air-conditioned rooms. 2020. [WWW] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352710219324362?token=B38DFBE738EDE45DCF396520C297B572B24E57FAADDA027ADEA5A32B355B73AFF7FAA2BF10B789A345113ACBB3554077>
7. Kazkaz, M., Pavelek, M. Operative Temperature and globe temperature (lk 320). 2013. [WWW] http://www.engineeringmechanics.cz/pdf/20_3_319.pdf
8. Karolin, A., Tomann, V. Õhuniiskuse karakteristikud. 2011. [WWW] <https://agromet3.weebly.com/relatiivne-niiskus.html>
9. Kalamees, T., Kõiv, T., Ilomets, S., Mikola, A., Link, S. Sõpruse pst 244, Tallinn, korterelamu renoveerimisjärgne uuring. 2014. [WWW]

- https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Sopruse_pst_244_korterelamu_renoverimisjargne_uuring.pdf
10. Silva, F. M., Maas, S., Artur de Souza, H., Gomes, P. A. Post-occupancy evaluation of residential buildings in Luxembourg with centralized and decentralized ventilation systems, focusing on indoor air quality (IAQ). Assessment by questionnaires and physical measurements. *Energy and Buildings* 148 (lk 119-127). 2017. [WWW] https://www.researchgate.net/publication/316535328_Post-occupancy_evaluation_of_residential_buildings_in_Luxembourg_with_centralized_and_decentralized_ventilation_systems_focusing_on_indoor_air_quality_IAQ_Assessment_by_questionnaires_and_physical_me
 11. Mikola, A., Simson, R., Kurnitski, J. The Impact of Air Pressure Conditions on the Performance of Single Room Ventilation Units in Multi-Story Buildings. 2019. [WWW] <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/13/2633/htm>
 12. Kamendere, E., Zogla, G., Kamenders, A., Ikaunieks, J., Rochas, C. Analysis of mechanical ventilation system with heat recovery in renovated apartment buildings. 2015. [WWW] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215006955>
 13. Kim, K. M., Baldini, L. Energy analysis of a decentralized ventilation system compared with centralized ventilation systems in European climates: Based on review of analyses. 2016. [WWW] https://www.researchgate.net/publication/285573504_Energy_analysis_of_a_decentralized_ventilation_system_compared_with_centralized_ventilation_systems_in_European_climates_Based_on_review_of_analyses
 14. Pihelo, P. Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaselamu Akadeemia tee 5A rekonstrueerimine liginullenergiahooneks. 2018. [WWW] http://trea.ee/wp-content/uploads/2018/03/TT%C3%9C-Akadeemia-tee-5a-renoveerimine_27.03.2018.pdf
 15. Eesti Puitmajaliit. TTÜ üliõpilaskodu läbis põhjaliku ravikuuri. 2017. [WWW] <http://www.puitmajaliit.ee/uudised/ttu-uliopilaskodu-labis-pohjaliku-ravikuuri>
 16. Himma, M. TTÜ teadlaste väljakutse: teha vanast paneelmajast liginullenergia maja. 2017. [WWW] <https://novaator.err.ee/618521/ttu-teadlaste-valjakutse-teha-vanast-paneelmajast-liginullenergia-maja>
 17. Kartnau, Mai. Aasta Energiategu. 2017. [WWW] <https://www.energiames.ee/energiategu>
 18. Ehitisregister. Hoone 101026660 / Ehitise osad. [WWW] <https://www.ehr.ee/app/w/page?7>

19. Tallinna Tehnikaülikool. Akadeemia tee 5a, pereühiselamu. [WWW]
<https://www.ttu.ee/organisatsioonid/campus/uliopilaselamud/akadeemia-tee-5a/>
20. Eesti Ekspress. Fööniksina tuhast: TTÜ renoveeris oma vana pereühiselamu liginullenergiahooneks. 2018. [WWW]
<https://ekspress.delfi.ee/sisuturundus/fooniksina-tuhast-ttu-renoveeris-oma-vana-pereuhiselamu-liginullenergiahooneks?id=80958903>
21. Vaarmets, M., Saksakulm, U. Akadeemia tee 5a, Tallinn. Kütte ja ventilatsiooni osa tööprojekt. KV_Seletuskiri_TP_06.12.2016. Kliimakonsult OÜ. 2016.
22. Leino, L., Karin, D. Hooneautomaatika tööprojekt. Töö nr. PP-ET-14. 2016.
23. Ehisregister. Hoone 101026660 / Tehnilised andmed. [WWW]
<https://www.ehr.ee/app/w/page?6>
24. Kütte Ventilatsiooni dokumentatsioon. Spetsifikatsioonid. Kütte spetsifikatsioon. [PDF] 4115_TP_KV-9-03_v01_Lisa3_Spetsifikatsioon_kute_2017-08-28
25. Systemair AS. SAVE VTR 200/B R 1000W seade. 2017 [PDF]
26. Systemair AS. X-SAVE VTR 200/B R 500W [WWW]
<https://catalogue2.systemair.com/item/item.aspx?id=168793&tab=description>
27. Systemair AS. DVCompact 20. 2017. [PDF]
28. Kliimakonsult OÜ. 2016. Kütte ja ventilatsiooni tööprojekt. Seletuskiri. [PDF] 4115_TP_KV-3-01_v01_SELETUSKIRI_2017-08-28.pdf
29. Pro dual OÜ. Temperatuurisensor TekY4 NI 1000-LG. [WWW]
http://www.pro dual.com/shop/web_ni_1000_lg_sensors/sku-1178330#dataSheet
30. Systemair AS. Rõhuandur DSG 1000 Sensor 0-1000Pa. [WWW]
<https://shop.systemair.com/et-EE/dsg--1000--sensor--0--1000pa/p102493>
31. Evikontroll Systems OÜ. Süsinikdioksiidi detektor-mõõtemuundur E2608-CO2-10K. <https://www.evikon.ee/et/evikon-mci-m-1/susinioksiidi-detektor-mootemuundur-e2608-co2-10k-p-296> CO2 seade
32. Nordic Energy Solutions OÜ. Akadeemia tee 5A, Tallinn ühiselamu. Hoone energiatõhususarvu arvutus ja energiamärgise väljastamine. 2016. Töö nr. 081015. [PDF] Akadeemia tee 5a_ETA_30-08-16_NES
33. Nuia, A. Liginullenergiahooneks rekonstrueeritud Akadeemia tee 5A ühiselamu energiatõhususe analüüs. Magistritöö. Tallinn. 2019.
34. Laboritöö „Soojustagasti töö uurimine“
35. Tark, T. SFP - ventilatsioonisüsteemi elektritarbimise näitaja. [WWW]
<http://www.hevac.ee/wp-content/uploads/2016/04/SFP.pdf>
36. S. Järvik, V. Tein, G. Hein, M. Meinart ja H. Tuttelberg, Akadeemia tee 5a 1. korruse plaan, Tallinn: Sirkel & Mall OÜ, 2016

LISA 1 HOONE KORRUSEPLAANI TUTVUSTUS



LISA 2 CO₂ SISALDUSE HÄIRE SÜSTEEMIS



LISA 3 TSENTAALSE VENTILATSIOONISÜSTEEMI PLAATSOOJUSTAGASTI TOIMIMISE ANALÜÜS

Aeg, h	Sissepunke õhuteemperatuur, tsp	Välisõhu temperatuur, tv	Välisõhuteemperatuur pärast kaloreifeere, tv	Välisõhu vooluhulk, L - l/s	Õhu tihedus konkreetse temperatuuri korral	Välisõhu massivooluhulk, Lm - kg/s	Väljatõmbe õhuteemperatuur, tvt	Heitõhuteemperatuur, theit	Väljatõmbe õhuvooluhulk, L - l/s	Õhu tihedus konkreetse temperatuuri korral	Väljatõmbe õhu massivooluhulk, Lm - kg/s	Temperatuuri suhtarv, nt;1 (sissepunke alusel)	Temperatuuri suhtarv võrdsete õhuvooluhulkade korral, nt;2 (sissepunke alusel)	Temperatuuri suhtarv, nt;3 (väljaviske alusel)	Temperatuuri suhtarv võrdsete õhuvooluhulkade korral, nt;4 (väljaviske alusel)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	19.3	0.6	21	833.3	1.199	998.8	22.9	6	792.8	1.263	1001.2	0.8386	0.8366	0.7578	0.7560
2	19.3	0.7	21	830.3	1.199	995.2	22.9	6.1	791.1	1.262	998.8	0.8378	0.8348	0.7568	0.7540
3	19.3	0.8	21	829.4	1.199	994.2	22.8	6.1	793.3	1.262	1001.6	0.8409	0.8347	0.7591	0.7535
4	19.3	1.3	21	837.2	1.199	1003.5	22.8	6.4	793.1	1.261	1000.1	0.8372	0.8400	0.7628	0.7654
5	19.4	1.7	21	832.8	1.199	998.2	22.8	6.7	796.4	1.260	1003.3	0.8389	0.8346	0.7630	0.7592
6	19.5	2.1	21	832.5	1.199	997.8	22.8	6.9	795.0	1.259	1000.8	0.8406	0.8381	0.7681	0.7658
7	19.5	2.3	21	829.7	1.199	994.5	22.8	7.2	789.4	1.258	992.7	0.8390	0.8405	0.7610	0.7623
8	19.5	2.5	21	834.2	1.199	999.8	22.7	7.3	792.2	1.257	995.9	0.8416	0.8449	0.7624	0.7654
...
22	19.7	3.1	21	835.3	1.199	1001.2	22.8	7.7	792.2	1.255	994.5	0.8426	0.8483	0.7665	0.7717
23	19.7	3.5	21	835.6	1.199	1001.5	22.8	8	792.8	1.254	994.1	0.8394	0.8456	0.7668	0.7725
24	19.8	4.3	21	833.3	1.199	998.8	22.9	8.7	794.2	1.251	993.4	0.8333	0.8379	0.7634	0.7676
Keskmine	19.7	2.3	21	827.9	1.199	992.4	23.0		790.9	1.253	991.4	0.8374	0.8387	0.7184	0.7198
Minimaalne								-2.8							