



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**RENOVEERITUD KORTERMAJA SISEKLIIMA
PARAMEETRITE HINDAMINE TÄHE TN 2 ELAMU
NÄITEL**

**ASSESSMENT OF INDOOR CLIMATE PARAMETERS OF
RENOVATED APARTMENT BUILDING LOCATED IN TÄHE
STREET 2**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Lauri Paat

Üliõpilaskood 153815EAEI

Juhendaja: Aime Ruus, dotsent

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.

“” mai 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“” mai 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TalTech Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Lauri Paat, 153815EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI02/12Tartu - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine, ehitiste restaureerimine

Juhendaja(d): Aime Ruus, dotsent, 6204805

Konsultant: (nimi, amet)

(ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Renoveeritud kortermaja sisekliima parameetrite hindamine Tähe tn 2 elamu näitel

(inglise keeles) Assessment of indoor climate parameters of renovated apartment building located in Tähe street 2

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata elukeskkonda renoveeritud kortermajas sisekliima parameetrite baasil.
2. Valitud parameetrid on õhutemperatuur, õhuniiskus, CO₂, soojuskiirgus läbi akna, loomulik valgustus ja müratase ruumides.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade: 1) Sisekliimat ja energiatõhusust käsitlev seadusandlus, määrustik ja standardid. 2) Kortermajade renoveerimist käsitlevad uuringud. 3) Teaduskirjandus.	19.12
2.	Mõõtmiste teostamine ja andmetöötlus.	30.04
3.	Töö vormistamine	20.05

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "29" mai 2020. a

Üliõpilane: Lauri Paat "....." mai 2020. a.
/allkiri/

Juhendaja: Aime Ruus "....." mai 2020. a.
/allkiri/

Konsultant: "....." mai 2020. a.
/allkiri/

Programmijuht: "....." mai 2020. a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

Sisukord

SISSEJUHATUS	7
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
1.1 Hoonete energiatõhusus	8
1.2 Hoonete energiatõhusamaks rekonstrueerimise alased uuringud ..	8
1.3 Projektist „SmartEnCity“	12
1.4 Nõuded sisekliimale	13
1.4.1 Õhutemperatuur.....	14
1.4.2 Õhuniiskus ja niiskuslisa	15
1.4.3 Süsihappegaasi kontsentratsioon õhus.....	16
1.4.4 Loomulik valgustus.....	17
1.4.5 Päikesekiirgus.....	17
1.4.6 Müratase ruumis	18
2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED.....	19
3 MATERJAL JA METOODIKA	20
3.1 Hoone tutvustus	20
3.2 Rekonstrueerimistöde kirjeldus	21
3.2.1 Välispiirded	22
3.2.2 Rõdud	22
3.2.3 Aknad, välisüksed	22
3.2.4 Katuslagi.....	23
3.2.5 Ventilatsioon	23
3.2.6 Küte.....	24
3.2.7 Päikesepaneelid	24
3.3 Ülevaade hoone energiatõhususest.....	24
3.4 Sisekliima uuring.....	25
3.4.1 Kasutatud mõõteseadmed.....	25
3.4.2 Niiskuslisa arvutusmetoodika.....	27
3.4.3 Päevavalgusteguri arvutusmetoodika.....	28
3.4.4 Uuritavad korterid.....	28
4 TULEMUSED JA ANALÜÜS.....	31

4.1 Korterielanike küsitluse tulemused	31
4.2 Õhutemperatuur ja -niiskus, CO2	31
4.3 Soojuskiirgus ja loomulik valgus	40
4.4 Müratase ruumis.....	45
5 JÄRELDUSED	46
6 KOKKUVÕTE.....	48
SUMMARY	50
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	52
LISAD.....	55
Lisa 1 Hoone Energiaarvutuse tulemused.....	56
Lisa 2 Skemaatiline plaan koos seadmete paiknemisega.....	57

SISSEJUHATUS

Suure osa Eesti eluasemefondist moodustavad 1961-1990 rajatud raudbetoon suurpaneelilamud, mis on madala energiatõhususega ega vasta tänapäevastele sisekliima nõuetele. [1]

Hinnanguliselt 1/3 Eestis tarbitavast energiast kulub elamute teenindamiseks. Seetõttu on väga oluline muuta hooned energiasäästlikemaks. Perioodil 2014...2020 investeeritakse elamute rekonstrueerimise projektidesse kokku üle 100 miljoni euro struktuurfondide raha. Rekonstrueerimistööde eesmärkideks on lisaks hoonete energiasäästlikumaks muutmisele parendada ka hoonete sisekliimat, tagada konstruktsioonide säilimine ja värskendada hoonete välisilmet. [2]

Käesoleva magistritöö koostamisel koguti informatsiooni järgnevatest allikatest: määrused, standardid, energiatõhususe alased uurimustööd ja energiaarvutustel põhinevast energiamärgisest (lisa nr 1, joonis L1.1).

Magistritöö raames uuritakse SmartEnCity projekti ja SA KredExi toetusprogrammi raames renoveeritud kortermaja sisekliima parameetreid Tartus, aadressil Tähe tn 2 asuva elamu näitel. Mõõdistused viiakse läbi hoone kolmes korteris, mis on valitud selliselt, et oleks võimalik saada võimalikult põhjalik sisekliima ülevaade.

Püstitatud eesmärkideks on hinnata elukeskkonda renoveeritud kortermajas sisekliima baasil. Valitud parameetriteks on õhutemperatuur, õhuniiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon õhus, soojuskiirgus läbi akna ja loomulik valgustus.

Töö ülesehitus on järgnev:

1. Esimeses osas antakse ülevaade sisekliimat ja energiatõhusust käsitlevast seadusandlusest, määrustikest ja standarditest. Käsitletakse varasemalt hoonete energiatõhusamaks rekonstrueerimise alaseid uuringuid ja tutvustatakse SmartEnCity projekti.
2. Teises osas tutvustatakse uuritava hoone renoveerimislahendusi ja esitatakse andmed hoone energiatarbimise kohta. Antakse ülevaade teostatud mõõdistuste metoodikast ja kasutatavatest seadmetest.
3. Kolmandas osas analüüsitakse teostatud mõõdistuse tulemusi ja hinnatakse vastavust kehtivatele määrustele ja standarditele.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Hoonete energiatõhusus

Hoone energiatõhususe miinimumnõuded on kehtestatud Ettevõtlus- ja infotehnoloogiainistri 22.08.2019 a. määrusega nr 63 [3]. Määrusega kehtestatakse hoone kasutusotstarbest tulenevalt miinimumnõuded hoone energiatõhususele. Hoone vastavust energiatõhususele tõendatakse energiaarvutustega vastavalt Majandus- ja taristuministri 22.08.2019 a. määrusele nr 58 Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika [4]. Arvutuste teel määratakse elamu summaarse energiakasutuse alusel tarnitud ja eksporditud energiakasutused ja hoone energiatõhususarv. [3, 4]

Energiatõhususarv (ETA) on arvutuslik kogu tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel. Energiatõhususarv hõlmab hoone terviklikku energiatarvet – nii inimtegevuse tagajärjel tekkinud tarbimist kui ka sisekliima tagamiseks kasutatavat energiat. Energiatõhususarv avaldatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta, ühikuks on kilovatt-tund hoone köetava pinna ruutmeetri kohta (kWh/(m²/a)). [3]

Tabelis 1.1 on välja toodud madal- ja liginullenergiahoonete ja oluliselt rekonstrueeritud korterelamu energiatõhususarvude piirväärtused.

Tabel 1.1. Korteralamute energiatõhususarvude piirväärtused [3]

Kirjeldus	kWh/(m²/a)
Madalenergiahoone	125
Oluliselt rekonstrueeritud korterelamu	150
Liginullenergiahoone	105

Energiatõhususe arvu alusel määratakse hoone energiaklass. Energiaklassi skaala on A-st kuni H-ni. Kõige madalama energiakasutusega on A-klassi hooned, kõige rohkem vajavad energiat H-klassi hooned. Energiamärgis võimaldab võrrelda hoone energiatarvet teiste hoonetega. [2]

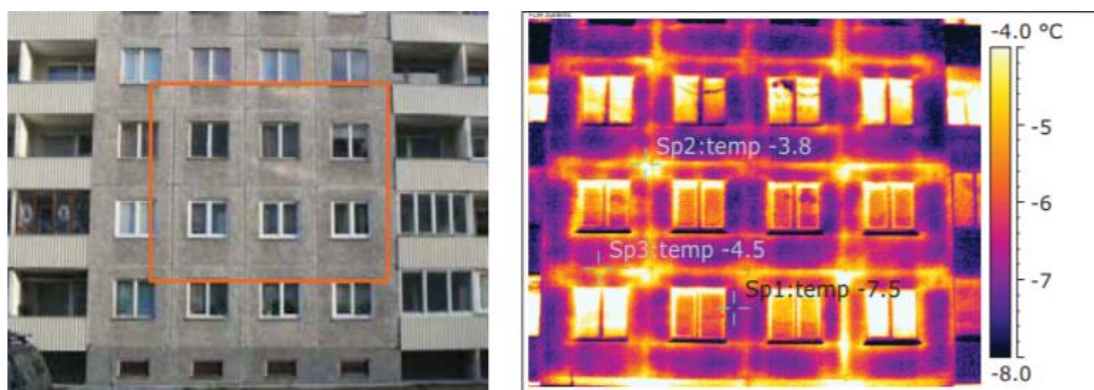
1.2 Hoonete energiatõhusamaks rekonstrueerimise alased uuringud

Eesti elamufondi seisukorda on koostöös Kredexiga analüüsinud Tallinna Tehnikaülikooli uurimisgrupp üle kümne aasta. Läbiviidud uuringute tulemusena on välja antud järgnevad lõppraportid: „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korteralamute ehitustehniline

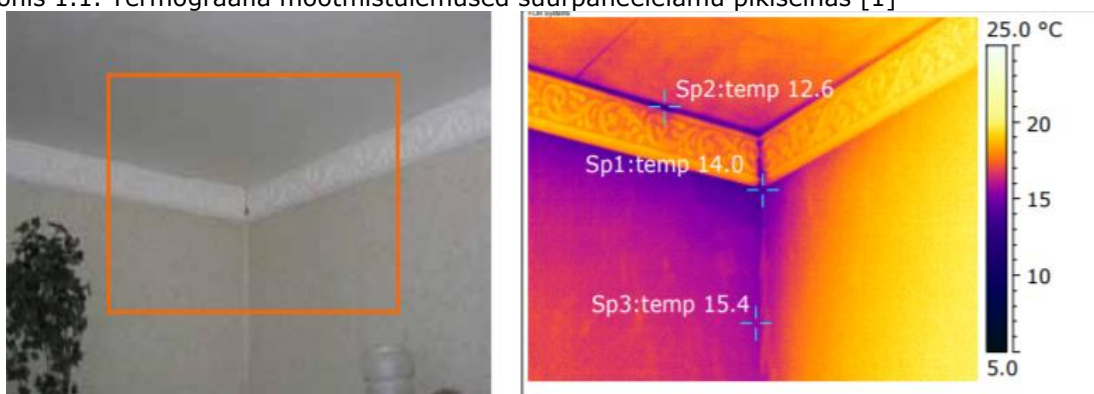
seisukord ning prognoositav eluiga" [1], „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" [5].

Kuigi parendusmeetmete osas on tänaseks toimunud pidev edasiarendus, annavad uuringud väga hea ülevaate hoonetarindite ja kandekonstruksioonide tehnilisest seisundist ja defektidest, katuslagede olukorrast, vundamentide tehnilisest seisukorrast, avatäidete seisundist, tehnosüsteemide toimivusest, külmasildadest ja hoonepiirete õhupidavusest. Uuringutest selgub, et suurpaneelilamute probleemid on suuresti tingitud projektlahendustest. [1, 5]

Välisseinapaneelides soojustuse paksus ja materjalide omadused varieeruvad suurtes ulatustes ning paneelidesse on sisse projekteeritud külmasillad. Katuste peamisteks probleemideks on ebapiisav tuulutus, mistõttu toimub veeauru kondenseerumine välimise betoonpaneeli või katusekatte sisepinnal ja märkimisväärsete külmasildade esinemine välisseina-katuslae liitekohtades. Joonistel 1.1 ja 1.2 on esitatud uurimisgrupi poolt läbi viidud termograafia uuringud välisseina ja katuslae liitekohas ning pikiseinas. Välispidisel termografeerimisel on külmasillad eristatavad heledamate või kollaste toonide kujul, hoone seespidisel tumedamate või sinakasmustade kohtade järgi [1, 5].



Joonis 1.1. Termograafia mõõtmistulemused suurpaneelilamude pikiseinas [1]



Välistemperatuur -5 °C
Sisetemperatuur +21 °C

$f_{Rsi\ Sp1}$ 0,72
 $f_{Rsi\ Sp2}$ 0,73
 $f_{Rsi\ Sp3}$ 0,78

Joonis 1.2. Termograafia mõõtmistulemused välisseina ja katuslae liitekohas [5]

Rõdude puhul ei ole tähelepanu pööratud veetõkkele, mistõttu on rõduplaatidel tõsiseid kahjustusi. Avatäited on suures osas asendatud tänapäevaste PVC plastakendega, kuid seejuures ei ole tähelepanu pööratud ventilatsioonüsteemi renoveerimisele ning varasemalt läbi akende ebatiheduste toimunud õhuvahetus on takistatud ja esineb reaalne niiskuse kondenseerumisoht. [1, 5]

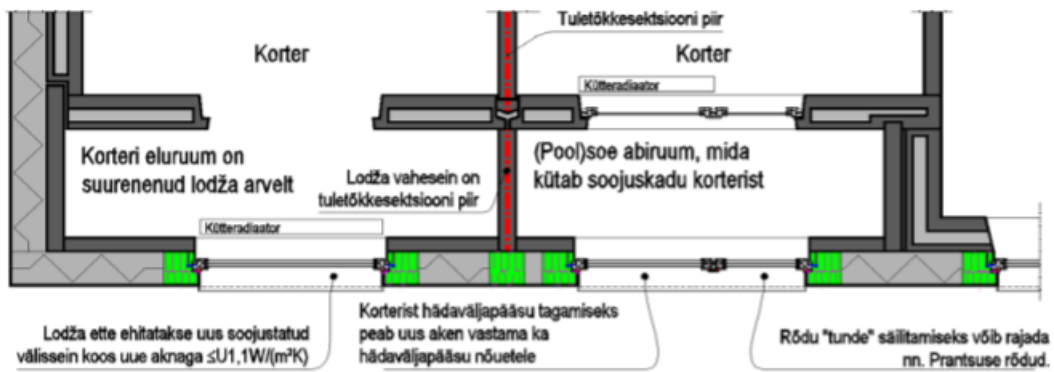
Aktuaalsemad renoveerimislahendused on esitatud SA KredExi tellimusel ja finantseerimisel Tallinna Tehnikaülikooli Ehitiste projekteerimise instituudi ja inseneribüroo EstKonsult OÜ poolt välja antud juhendmaterjalis „Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmjoonised ja tüüpkerterite ventilatsioonilahendused”. [6]

Nii raportites kui ka juhendmaterjalis on esmajärjekorras soovitatud hoonete tervikrenoveerimist. Neist viimases on esitatud juhendmaterjal hoone energiasäästlikumaks muutmiseks välispiirete sõlmjooniste ja ventilatsiooni renoveerimislahenduste näitel. Käsitletud on neid teemasid, sest üksikute komponentide võrdluses annavad need kõige enam energiasäästu. [5, 6]

Juhendmaterjalis on lisaks välispiirete lisasoojustamisele esitatud olulisi aspekte, millele tuleb täiendavalt keskenduda [6]:

- 1) Akende liigutamine soojustuse tasapinda.
- 2) Lodžade kinniehitamine.
- 3) Rõdude asendamine eraldiseisvate ja vundamendile toetatud postidel rõdudega.

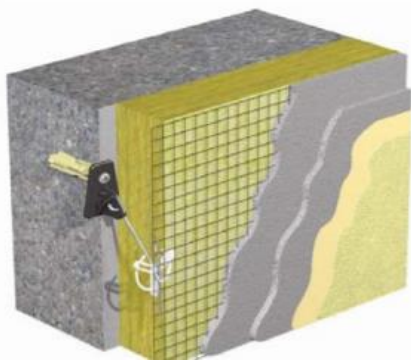
Põgusamalt käsitletakse avatäidete ja lodžade lisasoojustamise sõlmilahendusi. Suurel hulgal kortermajadel, mis on läbinud rekonstrueerimistöde esimese laine, ei ole tänapäevases mõistes toimitud parimal viisil. Aknad ei ole paigaldatud soojustuse tasapinda ega lodžad võimalusel kinni ehitatud, mille tulemusena eksisteerivad külmasillad, mis suurendavad soojus- ja energiakadusid. Täna sel päeval on üks SA KredExi toetuse saamise tingimusi akende tõstmise soojustuse tasapinda. Sellisel juhul on likvideeritud suured soojuskaod külmasildade kaudu ja sellest tingitud hallituse tekke riskid. Samuti ei jää aknad liiga sügavale auku ega mõjuta hoone välisilmet. Lodžade puhul on parimaks lahenduseks ehitada need kinni soojustatud ja köetavaks ruumiks. Joonisel 1.3 on esitatud üks võimalikest lahendustest. [6]



Joonis 1.3. Korrektnel sõlmalahendus lodža soojustamisel [6]

Piirdetarindite lissoojustamiseks on juhendmaterjalil esitatud kaks lissoojustamise võimalikku lahendust [6]:

- 1) krohvisüsteemiga kaetud soojustusplaadid (mineraalvill või vahtplast) (joonis 1.4).
- 2) soojustatud vahedega sõrestik, tuuletõkke ja tuulutusvahega fassaadikattega (joonis 1.5).



Joonis 1.4. Krohvitud soojustusplaat [6]



Joonis 1.5. Tuulutusvahega fassaad [6]

Ventilatsioonisüsteemi renoveerimise seisukohalt on juhendmaterjalil esitatud üldised juhised ventilatsioonisüsteemi projekteerimisele, soovitusel süsteemi komponentide valikule ja erinevad ventilatsioonisüsteemide näited [6]. Õhuvooluhulkade arvutamisel

on lähtunud koostamise ajal kehtinud standardist EVS-EN 15251:2007, mis on tänaseks asendunud uusversiooniga, EVS-EN 16798-1:2019 [14].

1.3 Projektist „SmartEnCity“

SmartEnCity on Euroopa Liidu teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammist rahastatav rahvusvaheline koostööprojekt. Projekti põhiline eesmärk on integreerida tänapäevased säästva tehnoloogia lahendused linnkeskkonda, vähendades seeläbi energianõudlust ja suurendades taastuvenergia kasutamist. Projektis osalevad linnad Eestist (Tartu), Taanist (Sondborg) ja Hispaaniast (Viktorija-Gasteiz), kus rakendatakse ühe linnaosa piires tõhusaid ja nutikaid energiasäästu lahendusi. Nende linnade baasil saadud kogemustele tuginedes, jätkatakse projektiga Itaalias ja Bulgaarias. [7]

Projekti raames kavandatud tegevused on järgnevad [8]:

- 1) olemasolevate kortermajade energiatõhusamaks rekonstrueerimine.
- 2) Tartu linna ühistranspordi kavandamine ja uuendamine.
- 3) olemasoleva taristu energiatarbimise vähendamine.
- 4) info- ja kommunikatsioonitehnoloogia lahenduste väljatöötamine ja integreerimine.
- 5) elanikekeskne lähenemine ja saadud tulemuste levitamine.

Tartu linnas on pilootalaks kesklinna piirkond. Pilootalas paikneb 42 kortermaja, millest renoveeritakse 17 (joonis 1.6). Renoveeritavates korterelamutes on kokku 620 korterit ja 32 000 m² köetavat pinda. Projekti raames läbi viidavate tegevuste eesmärgiks on energiatarbe vähendamine seniselt keskmiselt tasemelt 270 kWh/(m²/a) tasemele kuni 90 kWh/(m²/a). Kavandatud tegevustena paigaldatakse hoonetele ka päikesepaneelid, viiakse sisse nutikodu lahendused ja rekonstrueeritakse hoone tervikuna. [8]

Vastavalt Tartu Linnavolikogu määrusele nr 119 Targa linna korterelamu rekonstrueerimise toetus [9], oli nimistusse kuuluvate korterelamute korteriühistutel võimalik taotleda „Nutikas linnaosa – SmartEnCity“ projekti elluviimiseks toetust. Toetuse määr oli 102 eurot korterelamu suletud netopinna ühe ruutmeetri kohta. Täiendavalt on võimalik taotleda Kredexi rekonstrueerimistoetust, kui on täidetud toetuse saamise eelduseks olevad tingimused. Toetust saab taotleda 15%, 25% ja 40% (Ida-Virumaal 25%, 35% ja 50%) ulatuses teostatavate tööde kogumaksumusest. Toetuse saamise määr sõltub korterelamu rekonstrueerimise terviklikkuse tasemest. Rekonstrueerimistöde toetuse taotlemise eelduseks on nõuetekohase põhiprojekti olemasolu. [9, 10]



Joonis 1.6. SmartEnCity projekti pilootala kaart: kollasega on tähistatud renoveeritud elamud ja punasega renoveerimisel olevad elamud (27.05.2020 seisuga). Punase ringiga on tähistatud uuringualune korterelamu aadressil Tähe tn 2, Tartu [11]

1.4 Nõuded sisekliimale

Eluruumile esitatavad nõuded on kehtestatud Majandus- ja taristuministri 24.08.2018 a. määrusega nr 85 Eluruumile esitatavad nõuded [12]. Määruses on sätestatud nõuded eluruumi mõõtmetele, avatäidetele ja nende ligipääsetavusele ning põgusalt käsitletud nõudeid sisekliima parameetritele. [12]

Hoone süsteemide projekteerimisele ja energiaarvutustele esitab lähteandmed EVS-EN 16798-1:2019 [14]. Standard määratleb sisekeskkonna parameetrite nõuded soojuslikule keskkonnale, õhukvaliteedile, valgustusele ja akustikale. Eelnimetatud standardis on sisekliima kategoriseeritud nelja klassi sõltuvalt hoone tüübist ja kasutusotstarbest. Tabelis 1.2 on toodud sisekliima klassid koos selgitustega. Tähe 2 hoone näitel on tegu rekonstrueeritud hoonega, mis kuulub II sisekliima klassi. [14, 23]

Tabel 1.2. Sisekliima klasside kirjeldused [14]

Sisekliima klass	Selgitus
I	Hooned, kus on sisekliima kvaliteedile kõrged nõudmised. Näiteks haiglad, hoolde- või lastekodud, lasteaiad.
II	Uued ja renoveeritavad hooned, tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile.
III	Hooned, kus nõudmised sisekliima kvaliteedile on mõõdukad. Näiteks olemasolevad hooned.
IV	Hooned, mille sisekliima kvaliteet ei vasta eelpool toodud klassidele.

Tänase seisuga on koostatud Majandus- ja taristuministri määruse alusel hoone sisekliimale esitatavate nõuete koostamise eelnõu. Määruse eesmärk on kohaldada

sisekliima nõuded nii projekteeritavatele kui ka olemasolevatele hoonetele ja ühtlustada ning koondada mitmetes erinevates määrustes ja standardites hoonetele kehtestatud nõudeid. Kuna määrus on alles koostamisel ja eelnõu staadiumis, siis käesoleva töö raames seda ei käsitleta ja keskendutakse kehtivatele standarditele ja määrustele. [13]

1.4.1 Õhutemperatuur

Tähtsaimaks sisekliima parameetrikts võib pidada õhutemperatuuri, mis on olulisim soojuslikku mugavust mõjutav füüsikaline tegur. Ruumi optimaalne siseõhu temperatuur peaks rahuldama enamikke ruumis viibivatest inimestest. Soojuslikku mugavust mõjutab suuresti inimese kehaline aktiivsus. Mida raskem kehaline tegevus, seda madalam on optimaalne siseõhu temperatuur ja vastupidi. Rahulolekus ja kerges rõivas inimest ümbritseva õhu optimaalseks õhutemperatuuriks loetakse vahemikku 22-25 °C. [15]

Majandus- ja taristuministri määruse nr 85 Eluruumile esitatavat nõuded [12] kohaselt on seatud piirväärtus kaugküttevõrgust köetavale eluruumile. Määruse kohaselt ei tohi inimese pikemaajalisel ruumis viibimisel õhutemperatuur langeda alla 18°C [12]. 18°C on aga selgelt liiga vähe ja tekitab inimese ruumis viibimisel ebamugavus- ja külmatunnet.

Hoonete energiatõhusust käsitlevas standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] on esitatud soovituslikud ruumitemperatuuride vahemikud sisekliima neljale klassile, sõltuvalt riietuse ja kehalise aktiivsuse tasemetest. Tabelis 1.3 on soovituslikud sisetemperatuurid istuva aktiivsuse puhul. Väärtusele Clo=1,0 vastab riietus: pikad püksid, pikkade käistega särk või kampsun, Clo=0,5 tähendab kergest suvist riietust. [14]

Tabel 1.3. Hoone soovituslikud temperatuurivahemikud [14]

Hoone või ruumi tüüp	Kategooria	Temperatuuri- vahemik kütte- perioodiks, °C Riietus umbes 1,0 clo	Temperatuuri- vahemik jahutus- perioodiks, °C Riietus umbes 0,5 clo
Eluhooned, eluruumid (magamistoad, köögid, elutoad jm)	I	21,0 kuni 25,0	23,5 kuni 25,5
	II	20,0 kuni 25,0	23,0 kuni 26,0
	III	18,0 kuni 25,0	22,0 kuni 27,0
	IV	17,0 kuni 25,0	21,0 kuni 28,0

1.4.2 Õhuniiskus ja niiskuslisa

Majandus- ja taristuministri eluruumidele esitatavaid nõudeid käsitleva määruse nr 85 [12] kohaselt peab suhteline õhuniiskus jääma piiridesse, mis väldivad veeauru kondenseerumist ja niiskuskahjustuste teket ega kujuta ohtu inimese tervisele. Antud määruses on soovitatud suhtelise õhuniiskuse (RH) vahemikku 40%..60% [12]. Talvisel kütteperioodil võib selline suhtelise õhuniiskuse vahemik 40%...60% eluruumides endaga kaasa tuua niiskuskahjustusi. Seda tingituna asjaolust, et madalast õhutemperatuurist talvel on piirdetarindite temperatuur õhutemperatuurist madalam ja seega suhteline niiskus materjali pinnal õhuniiskusest kõrgem [1].

Standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] on arvutuslikud õhuniiskuse vahemikud klassifitseeritud vastavalt sisekliima klassile. Tabelis 1.4 on esitatud õhuniiskuse soovituslikud vahemikud õhu kuivatamise ja niisutamise korral [14].

Tabel 1.4. Soovituslikud hõivatud ruumi suhtelise õhuniiskuse väärtused [14]

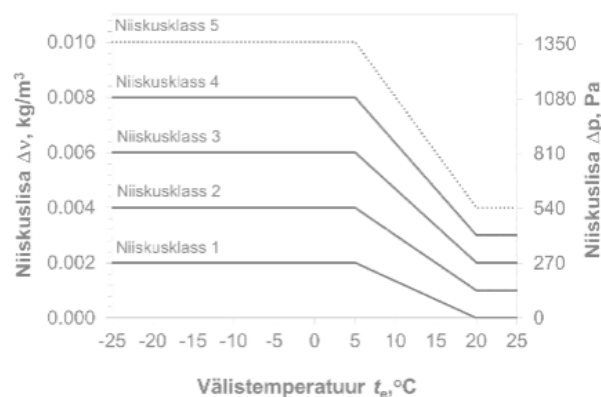
Sisekliima klass	Arvutuslik suhteline õhuniiskus kuivatamiseks, %	Arvutuslik suhteline õhuniiskus niisutamiseks, %
I	50	30
II	60	25
III	70	20

Suhtelise õhuniiskuse alusel ei saa hinnata ruumi niiskuskoormust. Oluliseks niiskuskoormuse näitajaks on niiskuslisa. Niiskuslisa näitab sise- ja välisõhu veeaurusalduste või veeaururõhkude erinevust. Siseõhu niiskuslisa sõltub niiskustootlusest ruumis, ruumi õhuvahetuskordusest ja mahust ning väliskliimast. Tabelis 1.5 on esitatud niiskuslisa piirväärtused Eestis. [16]

Tabel 1.5. Niiskuskoormuste normväärtused [16]

Niiskuskoormus	Periood	Väärtus, g/m³
Niiskuslisa, madala asustuse ja hea ventilatsiooni korral	talvel	+4
	suvel	+1,5
Niiskuslisa, suure asustuse ja halva ventilatsiooni korral	talvel	+6
	suvel	+2,5

Standardis EVS-EN ISO 13788:2012 [17] on niiskuslisa väärtuste alusel klassifitseeritud niiskusklassidesse. Eluruumid asustustihedusega enam kui 30 m² inimese kohta, liigitatakse teise niiskusklassi. Joonisel 1.7 on esitatud niiskusklassid ja niiskuslisa sõltuvus välisõhu temperatuurist. [17]



Joonis 1.7. Niiskuslisa klassid ja sõltuvus välisõhu temperatuurist [17]

1.4.3 Süsihappegaasi kontsentratsioon õhus

Süsinikdioksiid ehk CO₂ sisaldus õhus on põhiliseks eluruumide õhukvaliteedi määramise indikaatoriks. Inimeste väljahingatavas õhus on süsihappegaasi hinnanguliselt 4%, välisõhus aga 0,03%...0,04%. Mida väiksema ruumiga on tegemist (ruumi pindala ja kõrgus), seda väiksem on ruumi kubatuur ja seda vähem õhku on ruumis. CO₂ taset hinnatakse mikrolitrit liitri õhu kohta (ppm – parts per million). Normaalseks CO₂ kontsentratsiooniks peetakse näite, mis jäävad alla 1000 ppm. [18]

Majandus- ja taristuministri määruses nr 85 Eluruumidele esitatavad nõuded [12] on välja toodud eluruumis loomuliku või mehaanilise ventilatsiooni vajalikkus, tagamaks inimese elutegevuseks vajaliku õhuhulga ja selle ringluse. Samuti on sätestatud, et keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisaldus õhus peab vastama kehtestatud nõuetele. Kehtestatud nõudeid määruses ei ole käsitletud ega esitatud. Standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] on esitatud arvutuslikud CO₂ kontsentratsioonid hõivatud elu- ja magamistubades. [12, 14]

Tabelis 1.6 on standardis sätestatud arvutuslikud CO₂ väärtused vastavalt sisekliima kolmele klassile.

Tabel 1.6. CO₂ kontsentratsioonid hõivatud elu- ja magamistubades [14]

Sisekliima klass	Elutubade arvutuslik CO ₂ kontsentratsioon, ppm	Magamistubade arvutuslik CO ₂ kontsentratsioon, ppm
I	550	380
II	800	550
III	1350	950

Standardis on esitatud ka WHO sätestatud siseõhu saasteainete soovituslikud juhendväärtused [14], kuid kuna käesoleva töö raames mõõdetakse üksnes CO₂ kontsentratsiooni siseõhus, nendel pikemalt ei peatuta.

1.4.4 Loomulik valgustus

Piisava päevavalguse tagamine siseruumides tagab elektrivalgustite tööks vajaliku energiatarbimise vähenemise. Päevavalgus on inimeste seas eelistatud moodus ruumide valgustamiseks, tagades kõrge värviesituse. Samuti mõjub loomulik päevavalgus ruumis viibivate inimeste vaimsele tervisele positiivselt. [19]

Majandus- ja taristuministri määruses nr 85 Eluruumidele esitatavad nõuded [12] on sätestatud nõue, mille kohaselt peab eluruumi igal toal ning köögil eksisteerima vähemalt üks lahtikäiv aken, mille kaudu on võimalik ruumi tuulutada ja tagada loomuliku valguse olemasolu [12]. Soovituslikud valgustiheduse sihtväärtused horisontaalasendis päevavalgusava korral on antud standardis EVS-EN 17037:2019 Päevavalgus hoonetes [19] ja esitatud tabelis 1.7.

Tabel 1.7. Päevavalguse tagatuse soovitusel [19]

Soovitav tase horisontaal-asendis päevavalgusavale	Valgustiheduse sihtväärtus, lx	Päevavalgustundide osakaal, %
Minimaalne	300	50
Keskmine	500	50
Kõrge	750	50

Loomulikku valgustust iseloomustavaks oluliseks teguriks on päevavalgustegur. Päevavalgustegur on tasandi mingis punktis eeldusliku või teadaoleva heledusjaotusega taevavõlvi poolt kas otse või kaudselt tekitatava valgustiheduse ja sama, kuid varjamata terviktaevavõlvi all oleva rõhttasandi valgustiheduste suhe. Elamute keskmise päevavalgusteguri minimaalsed väärtused on esitatud tabelis 1.8. [20]

Tabel 1.8. Keskmise päevavalgusteguri minimaalsed väärtused [20]

Ruumi tüüp	Minimaalne keskmine päevavalgustegur, %
Magamistuba	1,0
Elutuba	1,5
Köök	2,0

Keskmise päevavalgusteguri arvutamisel eeldatakse standardse pilvkattega ja taevale iseloomuliku heledusjaotusega. [20]

1.4.5 Päikesekiirgus

Päikesekiirgus võib hoone sisekliimale kujutada nii positiivset kui ka negatiivset mõju, mõjutades võimalikku soojuslikku ja/või visuaalset mugavust. Mõõdukas päikesekiirgus hoonetes toob endaga kaasa tervisliku mõju inimestele, aidates säilitada ööpäeva rütmitunnetust, omades positiivset mõju keskendumisvõimele, soodustades D-vitamiini sünteesimist ja suurendades antibakteriaalseid omadusi. Liiga intensiivne otsene

päikesekiirgus hoones võib endaga kaasa tuua liigpalava sisekliima, mõjutades seal viibivate inimeste soojuslikku mugavust. [21]

Määrused ega standardid ruumi jõudvale soojuskiirguse väärtusele piirmäärasid ei esita, küll aga arvestatakse hoonesse sisenevat päikesekiirgust hoone energiatõhususe arvutamisel vabasoojuse allikana (lisaks valgustuse, seadmete ja tehnosüsteemide soojuskadude kõrval). Hinnata tuleb ruumide ülekuumenemise ohtu suvel etteantud ajavahemikus (1. juuni kuni 31. august) suvise ruumitemperatuuri nõuetega. Ruumitemperatuuri ja netoenergiavajaduse arvutamisel arvestatakse klaaspinna kaudu hoonesse pääseva päikesekiirguse osakaalu. Esitatud on piirmäärad insolatsiooni kestustele planeeringute koostamisel. Insolatsiooni kestust loetakse piisavaks, kui 2-tunnine päikesevalguse kestus on tagatud kahe või kolme toaliste korterite korral vähemalt kahes toas. Nelja ja enama toaga korterite puhul vähemalt kolmes toas. [4, 19]

1.4.6 Müratase ruumis

Müra moodustavad mitme sagedusega helid. Heli allikas põhjustab õhu pikivõnkumise. Heli sagedust mõõdetakse hertsides (Hz), seejuures 1 Hz väljendab ühte tehtud võnget sekundis. Inimese kõrv suudab eristada helisid vahemikus 16...20000 Hz. Helitugevust väljendatakse detsibellides (dB). Detsibell on väikseim helitugevuse vahemik, mida inimese kõrv suudab eristada. [15]

Väljaspool eluruumi tekitatud allika poolt siseruumidesse leviva müra taseme piirmäärad päevasel ja öisel ajal on sätestatud Majandus- ja taristuministri määruses nr 85 Eluruumile esitatavad nõuded [12]. Esitatud piirmäärad on päevasel ajal kuni 40 dB, öisel kuni 30dB [12]. Väliskeskonnast levivale mürale lisaks tekitavad hoones sees helisid tehnosüsteemide töötamised. Standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] on esitatud pideva helitaseme väärtused sõltuvalt ruumi tüübist ja kategooriast (tabel 1.9).

Tabel 1.9. Hoone tehnosüsteemide põhjustatud heli helitaseme väärtused [14]

Hoone	Ruumi tüüp	Jätkuva helitaseme väärtus, dB		
		I	II	III
Eluhoone	Elutuba	≤ 30	≤ 35	≤ 40
	Magamistoad	≤ 25	≤ 30	≤ 35

2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED

Töö põhieesmärgiks on hinnata elukeskkonda renoveeritud kortermaja sisekliima parameetrite baasil. Hinnatavateks parameetriteks on õhutemperatuur, õhuniiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon õhus, soojuskiirgus läbi akna, loomulik valgustus ja müratase ruumides.

Töö raames tehtavad uuringud ja toimingud:

- 1) teostada vähemalt ühe kuu vältel sisekliima parameetrite dünaamilised mõõtmised kolmes kortermaja korteris.
- 2) teostada saadud mõõtetulemuste analüüs ja anda hinnang hoone sisekliima olukorrale.
- 3) teostada saadud uuringutest kokkuvõtte ja teha järeldused.

Hinnatavad parameetrid on järgnevad:

- 1) siseõhu temperatuur.
- 2) õhuniiskus ja niiskuslisa.
- 3) süsihappegaasi kontsentratsioon õhus.
- 4) loomulik valgustus ja päevavalgustegur.
- 5) soojuskiirgus läbi akna.
- 6) ruumide müratase.

Mõõtetulemuste analüüsimise eesmärgiks on hinnata järgnevaid aspekte:

- 1) esitada mõõteperioodide keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed tulemused.
- 2) esitada sisekliima parameetrite ööpäevane dünaamika.
- 3) hinnata korteri ilmakaarte suhtes paiknemise mõju sisekliimale.
- 4) hinnata korteri paiknemise mõju hoones sisekliimale.
- 5) analüüsida temperatuuri, õhuniiskuse ja CO₂ omavahelist seost.
- 6) hinnata korteri sisekliima stabiilsust.
- 7) hinnata soojuskiirguse mõju korteri sisekliimale.
- 8) analüüsida korteri loomuliku valgustuse taset.

3 MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Hoone tutvustus

Käesoleva magistr töö uurimisobjektiks on Tartus, Tähe tänav 2 aadressil paiknev 4-korruseline korterelamu. Hoone on jaotatud kahte sektsiooni ja seal on 32 kahe või kolmetoalist korterit. Hoone on suurplokkidest kandvate sise- ja külgliseintega. Vahelaed on raudbetoonist õõnespaneelid. Hoone vundament on betoonist madalvundament katus on välimise ära vooluga lamekatus. Tabelis 3.1 on hoone üldandmed ehitusregistrist. [22]

Tabel 3.1. Hoone üldandmed ehitusregistrist [22]

Ehitisregistri kood	104034196
Esmase kasutuselevõtu aasta	1964
Kasutamise otstarve	11222 Muu kolme või enama korteriga elamu
Ehitisealune pind (m ²)	444
Maapealsete korruste arv	4
Suletud netopind (m ²)	1776,4
Kõetav pind (m ²)	1440
Ehitise kubatuur (m ³)	6425
Üldkasutatav pind (m ²)	278,1

Joonistel 3.1 ja 3.2 on kajastatud kortermaja vaated, mis annavad ülevaate hoone üldisest väljanägemisest ja ümbritsevast keskkonnast. Joonistel on näha, et hoone lõuna- ja põhjapoolsel küljel kasvab mitmeid põlispuid, mis takistavad loomuliku valguse ja päikesekiirguse levikut korterisse läbi valgusavade. Hoone idapoolsel küljel on vahetusläheduses teine kortermaja, mis jätab terve külje oma varju.



Joonis 3.1. Tähe 2 korterelamu lõunapoolne külg (autori foto)



Joonis 3.2. Tähe 2 põhjapoolne külg (autori foto)

3.2 Rekonstrueerimistööde kirjeldus

Aastal 2018 teostati hoone rekonstrueerimistööd SmartEnCity programmi raames, vastavalt SA Kredexi 40% toetuse tingimustele. Rekonstrueerimistööde käigus teostatud tööde loetelu: [23]

- 1) fassaadi rekonstrueerimine ja lisasoojustamine.
- 2) katuslae rekonstrueerimine ja lisasoojustamine.
- 3) päikesepaneelide paigaldamine.
- 4) metallkonstruktsioonil rõdude rajamine.
- 5) hoone ümber sillutusriba rajamine, parkla katendite taastamine.
- 6) avatäidete vahetamine (aknad, hoone välisüksed, korterite välisüksed).
- 7) küttesüsteemi rekonstrueerimine.
- 8) vee- ja kanalisatsioonisüsteemi rekonstrueerimine.
- 9) soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi rajamine.
- 10) üldkasutatavatel aladel elektrisüsteemi ja andmesidevõrgu asendamine ja rekonstrueerimine.

Rekonstrueerimistööde tulemusena muutusid hoone põhi gabariidid. Suurenesid hoone pikkus, kõrgus, laius, ehitisalune pind ja maht. Mõõtmete muutus võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga on esitatud tabelis 3.2. Lisa 1 tabelis L1.1 on esitatud rekonstrueerimisjärgsed energiaarvutuse tulemused, mille kohaselt on hoone energiatõhususarv 77 kWh(m²a) ja energiatõhususklass A. Võrreldes renoveerimiseelse olukorraga, on arvutuste kohaselt kortermaja energiatõhusus paranenud 70%. Alljärgnevalt on refereeritud rekonstrueerimistööde lühikirjeldused põhiprojektist. [23]

Tabel 3.2. Hoone tehniliste näitajate muutused [23]

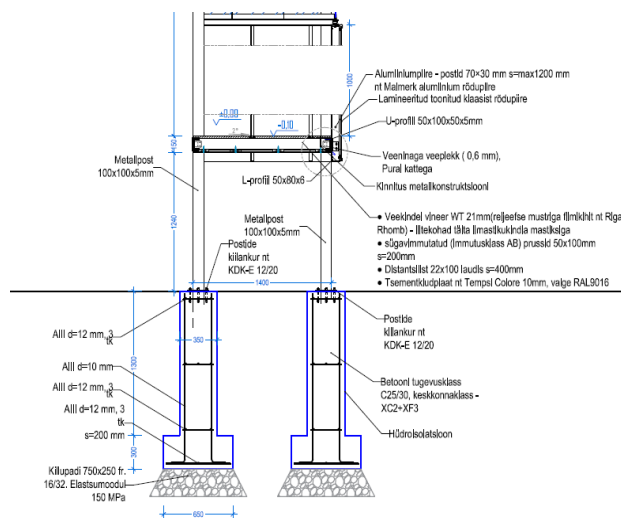
Näitaja	Enne rekonstrueerimist	Pärast rekonstrueerimist
Kõrgus maapinnast (m)	13,00	13,55
Pikkus (m)	40,90	41,30
Laius (m)	10,90	11,30
Maht (m ³)	6425,00	6870,40

3.2.1 Välispiirded

Sokkel lisasoojustati 250 mm paksuse vahtpolüstüreenist soojustusplaadiga EPS120-ga ja kaeti viimistluskrohviga. Fassaadi soojustamisel kasutati EPS100 Silver 250mm soojustusplaati ja viimistleti Caparoli liitsüsteemiga. Rekonstrueerimistööde tulemusena saavutati välisseinte soojusjuhtivusarvu U väärtuseks $U \leq 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta on $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vastavalt korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimustele ja korrale, on projektis seatud eesmärk sellega saavutatud ($U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$). [23, 24]

3.2.2 Rõdud

Rekonstrueerimistööde tulemusena rajati hoone piki külgedele eraldiseisvad ja vundamendile toetatud postidel rõdud. Rõdude kandevkonstruktsiooni moodustavad $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}$ teraspostid, mis on toetatud 350 mm postvundamendile (joonis 3.3) [23]. Varasemalt antud hoonel rõdusid ei olnud.

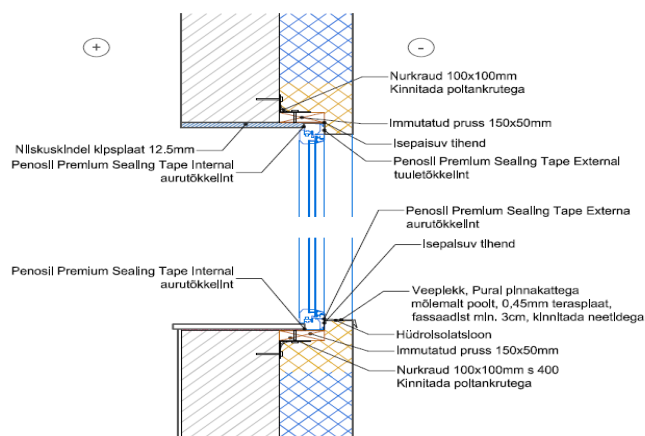


Joonis 3.3. Metallkonstruktsioonil rõdud [23]

3.2.3 Aknad, välisüksed

Hoone renoveerimise käigus asendati kõik olemasolevad PVC aknad uute kolmekordsete PVC akendega (aknaraami ja -klaasi keskmine kaalutud $U \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Kõik aknad ja hoone välisüksed paigutati soojustuse tasapinda, rajades selleks akende ja uste

ümbrustesse 150x50mm immutatud puitkarkassil raami, mis on kinnitatud tugevdatud nurgikutega olemasoleva seina külge (joonis 3.4). Parandamaks soojapidavust ja õhutihedust, kasutati avatäidete paigaldamisel auru- ja tuuletõkkelinte. Piirdekonstruktsioonide vahele jääv ruum on tihendatud montaaživahuga ning akna ja konstruktsiooni vahelised vuugid tihendatud elastse polüuretaanvahuga. Korterite välisüksed asendati kaasaegsete tuletõkkeustega. [23]



Joonis 3.4. Aknasõlm [23]

3.2.4 Katuslagi

Kortermaja katuslae on paigutatud täiendav soojustus kolmes kihis. Vahtpolüstüreen plaat EPS100 Silver 250mm + 100mm ning pealiskihti tuulutussoonega vill Ol-Top 40mm. Katuslagi on kaetud kahekihilise SBS-rullmaterjaliga (4,0 + 5,0 kg/m²). Rekonstrueerimistööde tulemusena saavutati katuslae soojuseri juhtivus arv $U \leq 0,09$ W/m²K. [23]

3.2.5 Ventilatsioon

Korterelamus on välja ehitatud soojustagastusega tsentraalne sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioon. Hoone katusele on paigutatud IVprodukt Envistar Flex 150 ventilatsiooniagregaat. Kõikide korterite sissepuhke ja väljatõmbe kanalitele on paigaldatud VAV-klapid. Ventilatsiooni reguleerimine toimub väljatõmbe õhukanalitesse paigaldatud CO₂-anduri alusel. Väljatõmme on lahendatud olemasolevate ehituslike lõõride kaudu, sissepuhke fassaadi soojustuse alla paigaldatud õhukanalite teel. Ventilatsiooniseadme kasutegur on 85,7%. Ventilatsioonisüsteem on varustatud automaatikaga, mis võimaldab korteripõhist ventilatsioonijuhtimist vastavalt CO₂ sisaldusele õhus, sissepuhke temperatuuri reguleerimist ning seadme tööparameetrite, olekute ja häirete kuvamist. Summaarne arvutuslik ventilatsioonisüsteemi energiakasutus on esitatud lisas 1 olevas tabelis L1.1. [23]

3.2.6 Küte

Kortermajas on välja ehitatud alumise jaotusega kahetoru vesikeskküttesüsteem. Radiaatorkütte peamagistraal on olemasolev, kuid tööde käigus asendati kõik püstikud ja ühendustorud uute pressteras torudega DN15. Kortertes on paigaldatud terasplekist radiaatorid, mis on varustatud dünaamiliste radiaatorventiilidega RA-DV 15 pealevoolu torustikel ja sulgliidestega tagasivoolul. Kõikide eluruumide radiaatorid on varustatud patareitoitel keskseadmest juhitud termostaatidega. Termostaadid on piiratud reguleerima temperatuuri vahemikus 19-24°C. Ventilatsiooniõhu kütmiseks on paigaldatud pööningul asuva agregaadiga vahetusse lähedusse ventilatsioonikalorifeeri segusõlm. Nii küttesüsteemi kui ka ventilatsioonikütte projekteeritud tööõhuks on 2,0 bar. Summaarne arvutuslik küttesüsteemi energiakasutus on esitatud lisas 1 olevas tabelis L1.1. Ventilatsiooniõhu soojendamine on arvestatud küttesüsteemi osaks. [23]

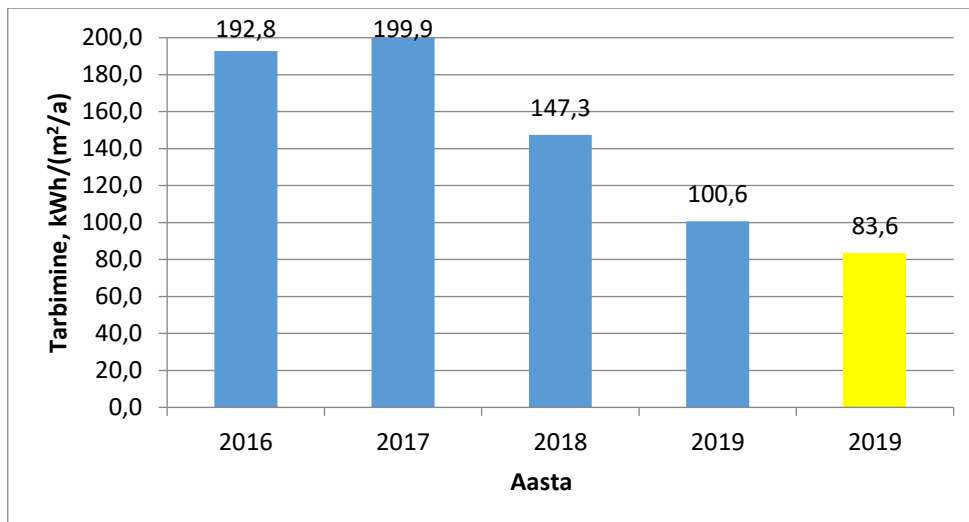
3.2.7 Päikesepaneelid

Katusele on paigaldatud 90 elektrivõrguga seotud päikesepaneeli. Paneelid on katusel orienteeritud edela suunas, kaldenurk maapinna suhtes on 30 kraadi. Ühe paneeli tippvõimsuseks on 350W, mis teeb arvutuslikult päikeseelektrijaama tippvõimsuseks 31,5kW. Päikeseelektrijaamast saadav alalisvool muundatakse vahelduvvooluks inverteeride kasutades. [23]

3.3 Ülevaade hoone energiatarbimusest

Vastavalt RenoveerimisAbi OÜ poolt 22.02.2016 välja antud energiamärgisele (energiamärgise nr 1611567/00205), oli hoonele omistatud F energiamärgis kaalutud energiakasutusega 257 kWh(m²/a). Rekonstrueerimisjärgselt korteriühistu poolt tellitud auditi kohaselt on hoonele omistatud A energiamärgis (märgise nr 1811566/00135) energiatarbimusega 77 kWh(m²/a). Arvutuste kohaselt on keskmine energiatarbimine hoones vähenenud 70%.

Hoone reaaltarbimine on esitatud perioodil 2016-2019 joonisel 3.3. Sinisega on tähistatud summaarsed energiatarbimise määrad aasta lõikes ilma päikesepaneelide tootlust arvestamata. Kollasega on tähistatud 2019 aasta kogutarbimine, võttes arvesse päikeseelektrijaama tootlikkust.



Joonis 3.3. Tähe 2 reaaltarbimine

Jooniselt 3.3 on näha, et tegelik tarbimine on võrreldes 2016 aastaga vähenenud 56,6%. Võttes arvesse päikeseelektrijaama tootlikkust, oli 2019 aasta lõikes kaalutud energiakasutuse summaarne väärtus 83,6 kWh(m²/a). Arvutuslikust energiatõhususarvust (77 kWh(m²/a)) erineb see 7,9%, kuid mahub korterelamu energiatõhususarvu või kaalutud energiakasutuse A klassi skaala vahemikku.

3.4 Sisekliima uuring

3.4.1 Kasutatud mõõteseadmed

Ruumide CO₂ kontsentratsiooni, õhutemperatuuri ja -niiskuse mõõtmisel kasutatakse Instruments EXCO210 (Green Eye) CO₂ õhukvaliteedi monitore-andmesalvestajaid. Seadmed on varustatud LCD ekraaniga, mis võimaldavad sisekliima parameetreid jälgida ka reaalajas. Seadme mõõtepiirkonnad ja -täpsused on esitatud tabelis 3.3.

Tabel 3.3. Green Eye CO₂ mõõtepiirkonnad ja -täpsused [25]

Mõõtepiirkonnad	CO ₂ , ppm: 0...9999 t, °C: -10...+60 RH, %: 0...99,9
Mõõtetäpsused	CO ₂ , ppm: ±50 t, °C: ±0,6 RH, %: ±5



Joonis 3.5. Green Eye CO2 seade (autori foto)

Ruumide loomuliku valgustuse ja soojuskiirguse mõõtmisel kasutatakse Delta OHM 2102.2 mõõteseadet. Loomuliku valgustuse mõõtmiseks kasutatakse luks-meetri andurit LP471PHOT ja soojuskiirguse mõõtmiseks LP471 Silicon-Pyra andurit. Tabelis 3.4 on toodud seadme ja andurite mõõtepiirkonnad ja -täpsused nii valgustuse kui ka soojuskiirguse mõõtmiseks. Seadmed on varustatud ekraaniga, mis võimaldavad näite reaajas jälgida.

Tabel 3.4. Delta OHM 2102.2 mõõtepiirkonnad ja -täpsused [26]

Valgustihedus	
Mõõtepiirkond	Valgustihedus, lx: $0,10 \dots 200 \times 10^3$
Mõõtetäpsus	<0,5% instrumendi lugemisviga
Soojuskiirgus	
Mõõtepiirkond	Kiirgusintensiivsus, W/m ² : $1,0 \times 10^{-3} \dots 2000$ W/m ²
Mõõtetäpsus	<0,5% instrumendi lugemisviga



Joonis 3.6. Delta OHM 2102.2 luks-meetri anduriga (autori foto)



Joonis 3.7. Delta OHM 2102.2 päikesekiirguse anduriga (autori foto)

Müramõõdistuste teostamisel kasutatakse müramõõtjat TES 1353H. Tabelis 3.5 on esitatud seadme mõõtepiirkonnad ja -täpsused.

Tabel 3.5. Müramõõtja TES 1353H mõõtepiirkonnad ja -täpsused [27]

Mõõtepiirkonnad	Heli tugevus, dB: 30...130 Heli sagedus, Hz: 31,5...8000
Mõõtetäpsus	±1,5dB



Joonis 3.8. Müramõõtja TES 1353H (autori foto)

3.4.2 Niiskulisa arvutusmetoodika

Niiskulisa arvutusmetoodika on esitatud hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehnilist toimivust käsitlevas standardis EVS-EN ISO 13788:2012 [17]. Arvutusteks vajalikud väliskliima parameetrid pärinevad Tartu Ülikooli füüsika instituudi e-ilmajaama andmebaasist [28].

Niiskulisa avaldatakse sise- ja välisõhu veeaurusisalduste vahest valemiga 3.1. [17]

$$\Delta v = v_i - v_e \quad (3.1)$$

kus Δv – niiskulisa, g/m³,

v_i – siseõhu veeaurusisaldus, g/m³,

v_e – välisõhu veeaurusisaldus, g/m³.

Sõltuvalt välisõhu ja siseõhu temperatuuridest, avaldatakse valemiga 3.2 veeauru küllastusrõhk, kui $\Theta \geq 0^\circ\text{C}$ või valemiga 3.3, kui $\Theta < 0^\circ\text{C}$. [17]

$$p_{sat} = 610,5 \times e^{\frac{17,269 \times \Theta}{237,3 + \Theta}} \quad (3.2)$$

$$p_{sat} = 610,5 \times e^{\frac{21,875 \times \Theta}{265,5 + \Theta}} \quad (3.3)$$

kus Θ – õhu temperatuur, °C,

p_{sat} – veeauru küllastusrõhk, Pa.

Õhu veeaurusisalduse küllastustaseme v_{sat} avaldatakse sõltuvalt küllastusrõhust valemiga 3.4. [17]

$$v_{sat} = \frac{M_w \cdot p_{sat}}{R \cdot T}, \text{ kg/m}^3 \quad (3.4)$$

kus M_w – vee molaarmass: 18,02 kg/kmol,
 R – gaasikonstant 8314,3 J/(kmol·K).

3.4.3 Päevavalgusteguri arvutusmetoodika

Keskmine päevavalgustegur arvutatakse vastavalt loomulikku valgustust elu- ja bürooruumides käsitlevas standardis EVS 894:2008+A2:2015 esitatud metoodikale ja valemile 3.5. [20]

$$D = \frac{T \cdot A_w \cdot \theta \cdot m}{A \cdot (1 - R^2)} \quad (3.5)$$

kus T – klaaside hajusvalguse läbivustegur,
 A_w – kogu akna klaasitud ala, m²,
 θ – nähtava taeva nurk kraadides,
 A – lae, põranda ja seinte kogupindala, m²,
 R – sisepindade peegeldustegurite kaalutud keskmine.

Arvutamiseks vajaminevad väärtused on pärit standardis esitatud jaotistest ja hoone projektdokumentatsioonist. [20, 23]

3.4.4 Uuritavad korterid

Uuringu käigus on teostatud sisekliima uuringud kortermaja kolmes korteris. Kaks neist paiknevad hoone Riia tn poolses trepikojas (korterid 20 ja 29) ja üks kortermaja teises trepikojas (korter 10). Korruseliselt paiknevad korterid järgnevalt: 20 – esimene korrus, 29 – neljas korrus ja 10 – kolmas korrus. Planeeringult piirnevad korterid 20 ja 10 hoone otsaseinaga ja pikiseinaga (välisseinad). Korter 29 on planeeringult läbi hoone. Korteri 10 aknad on orienteeritud edela ja kagu suunaliselt, korteri 20 loode ja kirde ning korteri 29 kirde ja edela suunaliselt (lisa 2, joonis L2.1). Kõikides korterites elas uuringuperioodil alaliselt üks inimene. Monitooringuga on mõõdetud korterites siseõhu temperatuure, suhtelist õhuniiskust, CO₂ kontsentratsiooni õhus korterite elu- ja magamistubades, loomulikku valgustust, soojuskiirgust läbi akna ning eluruumide mürataset. Mõõtmised on teostatud perioodil 16.03.2020-28.04.2020. Valitud korterite ja mõõteseadmete asukohad koos mõõteperioodiga on esitatud tabelis 3.6. Tegemist on kevadise ajaperioodiga, mis ulatub osaliselt insolatsiooni vaatlusperioodi (22.aprill - 22.august), kuid jääb välja ruumide ülekuumenemise kontrolli vahemikust.

Samas on tegemist kuudega, kus otsese päikesekiirguse intensiivsus vertikaalpinnale lõunasuunast on aasta intensiivseim [20].

Tabel 3.6. Paigaldatud seadmete ajavahemikud ja asukohad

Korteri number	Ajavahemik	Seade ja tähistus	Seadme paiknemine
10	18.03.2020 - 28.04.2020	Green Eye CO2, nr 3	Elutuba
		Green Eye CO2, nr 5	Magamistuba
		Delta OHM, nr V1 (valgustatus)	Elutuba
		Delta OHM, nr PK4 (soojuskiirgus)	Magamistuba
20	27.03.2020 - 28.04.2020	Green Eye CO2, nr 6	Elutuba
		Green Eye CO2, nr 4	Magamistuba
		Delta OHM, nr V2 (valgustatus)	Elutuba
		Delta OHM, nr PK6 (soojuskiirgus)	Magamistuba
29	16.03.2020 - 28.04.2020	Green Eye CO2, nr 2	Elutuba
		Green Eye CO2, nr 1	Magamistuba 2
		Delta OHM, nr V3 (valgustatus)	Elutuba
		Delta OHM, nr PK5 (soojuskiirgus)	Magamistuba 1

Mõõtepositsioonid

Mõõtepositsioonide valikul on lähenetud Green Eye andmesalvestajate paigaldusel igale korterile individuaalselt. Mõõtekoht on valitud mööbli paiknemise ja vooluallika olemasolu järgi. Keskmise seadme paigalduskõrgus põrandast on 0,6...1,1m ja paigaldatud selliselt, oleks varjatud otsese päikesekiirguse eest. Mõõtepositsioonid on esitatud lisa 2 joonisel L2.1.

Loomuliku valguse ja soojuskiirguse mõõtmisel hoones on lähtunud standardis EVS-EN 17037:2019 [19] esitatud meetodikast. Loomuliku valgustuse vaatepunktide valikul on lähtunud inimeste asukohast viibimistsoonis ja soovituselt, et ruumi peaks paistma minimaalselt 1,5 h vältel päikesevalgus [19]. Mõõtepunktid on valitud korterite elutubadesse, täpsel paigutusel lähtuti korteris mööbli paiknemisest ja inimese käitumisharjumustest. Soojuskiirguse vaatepunktide valikul on lähtunud akende orienteeritusest ilmakaarte suhtes. Kortерis 10 on sond orienteeritud ida suunal, korteris 20 lääne suunal ja korteris 29 edela suunal. Mõõtmised on teostatud 10 minutiliste intervallidega. Mõõtepositsioonid on esitatud lisa 2 joonisel L2.1.

Ruumi mürataset on mõõdetud uuringualuste korterite magamis- ja elutubades. Mõõtmised on teostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 16032:2004 [29] esitatud meetodikale. Seadme mõõtepunktid on valitud selliselt, et oleks tagatud vähemalt 0,5m distants hoone seintest ja 0,2m mööblist. Mõõtekõrgused on valitud põrandast 1,2m kõrgusele. Igas ruumis on teostatud mõõtmised kolmelt positsioonilt. Esimene

positsioon on valitud hoone nurgast, kus esines suurim C-kaalutletud helitase, teine ja kolmas positsioon on valitud vastas nurgast ja ruumi keskelt selliselt, et mõõtepositsiooni 1 ja 2 vahekaugus oleks vähemalt 1,5m ja 2 ja 3 vaheline distants vähemalt 0,75m [29]. Igal positsioonil on teostatud mõõtmised 30 sekundi vältel ja tulemused esitatud arvutusliku keskmisena.

Korterialanike küsitlus

Uuringu käigus viidi läbi ka uuritud korterite elanike küsitlus. Küsitluse käigus uuriti elanike käitumisharjumusi mõõteperioodil ja rahulolu korteri sisekliimaga. Küsimustiku käigus uuriti järgnevat:

- 1) termoregulaatorite reguleerituse aste mõõteperioodil, hinnang reguleerimise võimalustele.
- 2) hinnang ja tagasiside ventilatsioonisüsteemi töötamisele.
- 3) käitumisharjumused mõõteperioodil (mis ruumides viibiti rohkem, kus kuivatati pesu, kuna tuulutati tuba).
- 4) kas elanikel on endil kaebusi korteri sisekliima osas (näiteks suvisel ja/või talvisel ajal, õhu kuivus).

Korterite sisekliima mõõtmistulemusi on analüüsitud vastavalt kehtivatele standarditele, normidele ja seadusandlusele. Uuringute tulemused ja analüüs on esitatud käesoleva magistr töö neljandas peatükis.

4 TULEMUSED JA ANALÜÜS

4.1 Korterielanike küsitluse tulemused

Tabelis 4.1 on esitatud korterielanike seas läbiviidud küsitluse kokkuvõte. Tabeli all on täpsustavad märkused vastavalt tähisele tabelist.

Tabel 4.1. Korterielanike seas läbiviidud küsitluse tulemused

Jrk	Küsimused	Korteri number		
		10	20	29
1.	Mis tasemele olid mõõdistusperioodil reguleeritud radiaatorite termostaatventiilid?	24 °C	20 °C	23 °C
2.	Kas ventilatsiooniplafoonid on mõõdistusjärgsetel positsioonidel?	Jah	Jah	Ei ¹
3.	Kus kuivatatakse korteris pesu?	Rõdul	Rõdul	Rõdul
4.	Kuna tuulutatakse tuba?	Päeval	Päeval ja öösel	Päeval
5.	Kas küttesüsteem on piisavas vahemikus reguleeritav?	Ei ²	Jah	Jah
6.	Kas olete rahul õhuniiskuse tasemega korteris?	Jah	Jah	Jah
7.	Kas esineb korteri ülekuumenemist intensiivsema päikese kiirguse korral?	Jah	Ei ³	Jah
8.	Kas olete rahul siseõhu temperatuuridega talvisel ajal?	Ei ⁴	Ei ⁴	Ei ⁴

Märkused:

- 1- Talvisel ajal on magamistubades ventilatsiooniplafoonid suletud asendis. Põhjendatud liialt madala sissepuhke õhu temperatuuriga.
- 2- Elaniku väitel ei anna termostaatide reguleerimine mingit efekti. Siseõhu temperatuur korteris reguleerimise järel elaniku hinnangul ei muutu.
- 3- Korter paikneb elamu esimesel korrusel loodenurgas, päikesevalgust korterisse ei paista üldse.
- 4- Korterite 20 ja 29 elanikud hoone esimeselt ja kolmandalt korruselt kurdavad külmade pörandate üle talvisel ajal. Korteri 10 elanik liiga madala siseõhu temperatuuri üle külmemate välisõhu temperatuuride korral.

4.2 Õhutemperatuur ja -niiskus, CO₂

Korterimaja kolmes korteris on mõõdetud siseõhu temperatuure, suhtelist õhuniiskust ja süsihappegaasi kontsentratsiooni andme-salvestajatega Green eye CO₂, ajaperioodil 16.03.2020 – 28.04.2020. Koondtulemused on esitatud tabelis 4.2, kus on välja toodud iga korteri mõõtepositsioonide keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused.

Punasega on tähistatud väärtused, mis ei vasta eespool käsitletud ja määrustes, standardites või SA KredExi nõuetes esitatud miinimumnõuetele või soovitudele.

Tabel 4.2. Korterite keskmised mõõteparameetrid

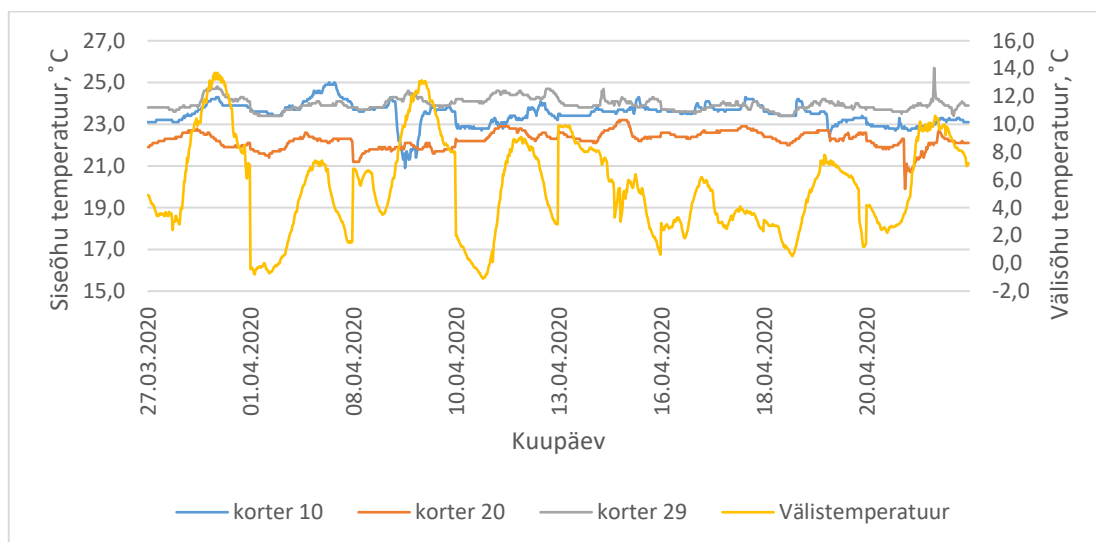
Mõõtepositsioon			Mõõdetud parameetrite väärtused			
Korteri nr/asukoht	Mõõtekoht	Seadme tähis		Temp, °C	CO2, ppm	Õhuniiskus, %
10/kolmas korrus	Elutuba	GE3	Keskmine	23,5	585	26,3
			Max	25,0	831	35,2
			Min	20,9	398	18,3
	Magamistuba	GE5	Keskmine	23,1	625	24,6
			Max	24,3	922	32,0
			Min	22,0	403	16,5
20/esimene korrus	Elutuba	GE6	Keskmine	22,3	539	25,7
			Max	23,2	750	32,1
			Min	19,9	381	18,9
	Magamistuba	GE4	Keskmine	20,9	560	26,3
			Max	24,3	779	43,8
			Min	15,6	394	16,5
29/neljäs korrus	Elutuba	GE2	Keskmine	23,9	673	23,4
			Max	25,7	648	23,9
			Min	23,4	384	15,5
	Magamistuba	GE1	Keskmine	22,1	738	28,3
			Max	26,0	1813	38,9
			Min	18,8	384	18,0

Õhutemperatuur

Tabelis 4.2 on esitatud siseõhu temperatuuri keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused korterite kaupa. Joonistel 4.1 ja 4.2 on esitatud teostatud mõõdistuste õhutemperatuuride graafikud, vastavalt elu- ja magamistubade kohta. Kuna mõõdistused on läbi viidud tavapärasest soojemal aprillikuul ja kütteperioodil, on võimalike välisõhu temperatuuri mõjutuste hindamiseks sisekliimale lisatud graafikutele välisõhu temperatuuri väärtused.

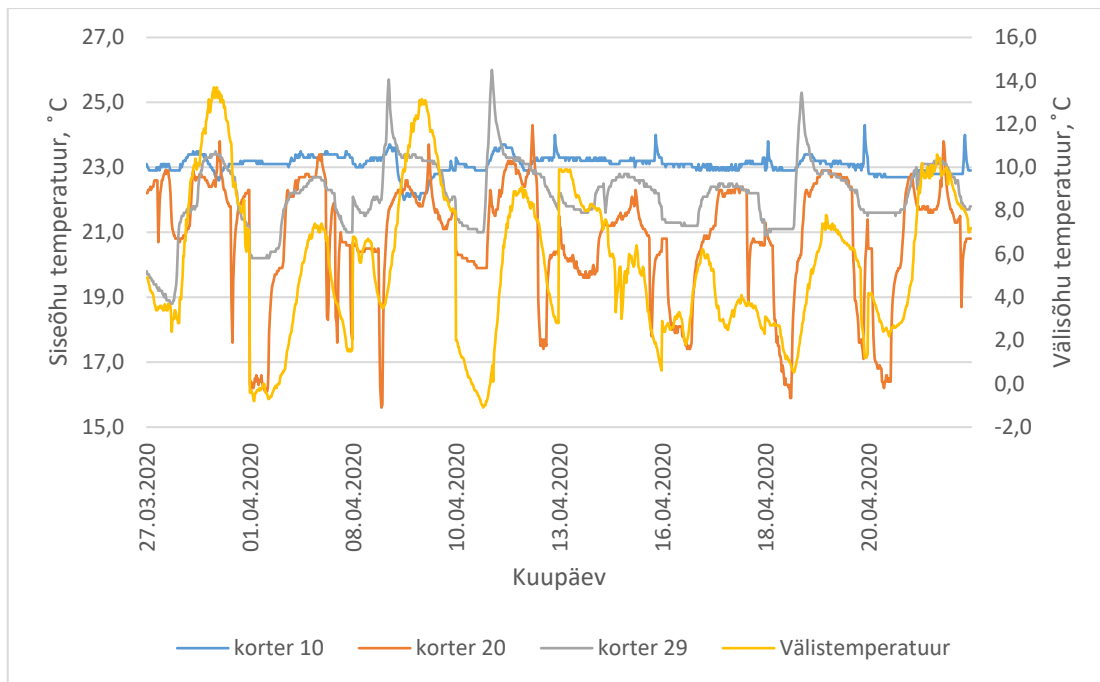
Tabelist 4.2 on näha, et kõige kõrgema keskmise õhutemperatuuriga on korter 10, kus mõõdetud keskmine õhutemperatuur on +23,3 °C, ligikaudselt võrdne on korter 29 tulemusega +23,0 °C ja madalaima keskmise temperatuuriga korter 20, +21,6 °C. Sisetemperatuuride kõikumised toimusid vahemikus +15,6...+26,0 °C, kõige madalam väärtus on mõõdetud korteri 20 magamistoas ja kõige kõrgem korteri 29 magamistoas. Vastavalt lisaküsimustele oli korteris 20 tavaks ruume õhutada ka öösiti. Korterite 10 ja 29, mis paiknemiselt on vastavalt kolmandal ja neljandal korrusel, on mõõdetud keskmised õhutemperatuuride väärtused kõrgemad, kui hoone loodenurgas ja esimesel

korrusel paikneva korteri 20 puhul. Korterite 10 ja 29 keskmiste temperatuuride vahe on 0,3 °C, korteri 10 ja 20 aga 1,7 °C.



Joonis 4.1. Korterite elutubade õhutemperatuuri mõõtetulemused ja välisõhu temperatuurid

Jooniselt 4.1 on näha, et temperatuuride kõikumisi esineb kõikides korterites. Temperatuuri järsku tõusu graafikul võib seostada intensiivsema soojuskiirgusega, stabiilseid muutusi inimtegevusega antud ruumis ja temperatuuride langusi ruumi tuulutamisega. Jooniselt on näha, et mõõdukaid temperatuurivahemike kõikumisi esineb kõikides korterites päevasel ajal, mida võib seostada inimtegevusega antud ruumis. Ajutisi hüppelisi temperatuuri tõuse võib täheldada üksnes korteri 29 puhul, mil 20.04.2020 kerkis õhutemperatuur lühikese ajaga +25,7°C-ni (mõõdetuna kella 15:52 ajal). Kuna samaaegselt kerkisid ruumis ka teised näitajad (CO₂ ja õhuniiskus), võib kiiret muutust seostada ruumi ajutise ülerahvastatusega. Siseõhu temperatuuride langedes, järgneb iga korteri puhul ajutine tõus, mis ajas taas stabiliseerub. Antud varieerumist võib seostada ruumi tuulutamisega. Korterite omavahelises võrdluses on ligikaudu võrdsete siseõhu temperatuuri väärtustega korterite 29 ja 10 elutoad. Vastavad väärtused 23,9 °C ja 23,5 °C. Mõnevõrra madalam keskmine siseõhu temperatuur on mõõdetud korteri 20 elutoast, keskmiselt 21,6 °C. Jahedam õhutemperatuur võib olla tingitud asjaolust, et tegemist on loodenurgas hoone esimesel korrusel paikneva otsakorteriga, mis on otsese päikesekiirguse eest ümbritsevate kortermajade varjus ja piirneb kahest küljest välisseintega. Samuti on mõõteperioodil seadistatud antud korteri radiaatorite termoregulaatorid hoidma siseõhu temperatuuri 20°C.



Joonis 4.2. Korterite magamistubade õhutemperatuuri mõõtetulemused ja välisõhutemperatuurid

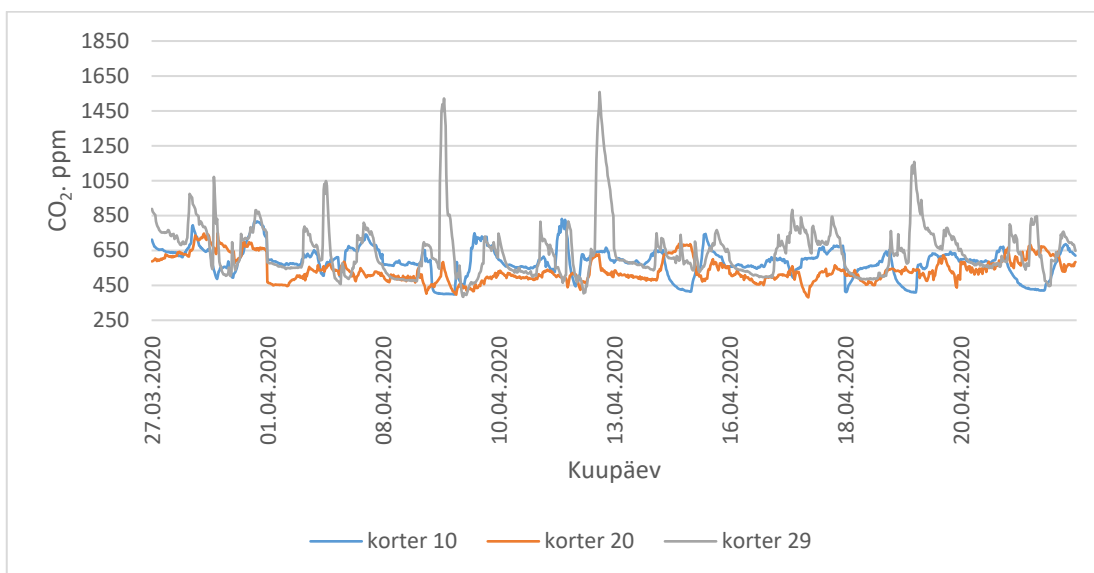
Jooniselt 4.2 on näha, et korterite magamistubades on siseõhu temperatuuride kõikumised oluliselt suuremad ja mõõdetud keskmised tulemused madalamad, kui elutubades. Kõige stabiilsemate näitudega tõuseb esile korter 10, kus hetkelisi tõuse võib täheldada just hommikutundidel, mil ruumi paistab päike. Suuremates vahemikes varieeruvad korterite 29 ja 20 väärtused, korteri 29 puhul vahemikus $+18,0^{\circ}\text{C} \dots +26,0^{\circ}\text{C}$ ja korteris 20 $+15,6^{\circ}\text{C} \dots +24,3^{\circ}\text{C}$. Mõlema korteri puhul on öötundidel temperatuurid langustrendis. Siseõhutemperatuurid hakkavad stabiliseeruma mõlema korteri puhul hommikutundidel, alates kella 07:00-st. Ajutisi hüppelisi temperatuuride tõuse võib täheldada korteri 29 puhul hommikutundidel (ajavahemikus 6.30...8.32), mil korterisse paistab hommikupäike.

Vaadeldes jooniseid 4.1 ja 4.2, on näha, et korterite siseõhu temperatuuride graafik on mõningatel juhtudel seoses välisõhutemperatuuriga. Näiteks 27 märtsil, mil välisõhutemperatuur tõusis kuni $+13,7^{\circ}\text{C}$ -ni (mõõdetuna kell 16:20), võib täheldada lühiajalisi temperatuuri tõususid ka korterite graafikutel. Suuremad muutused ja graafikute ühtimised on tingitud pikaajalisest akna avatud asendis hoidmisest ja lühiajalised, ajas stabiliseeruvad muutused, toa tuulutamisest.

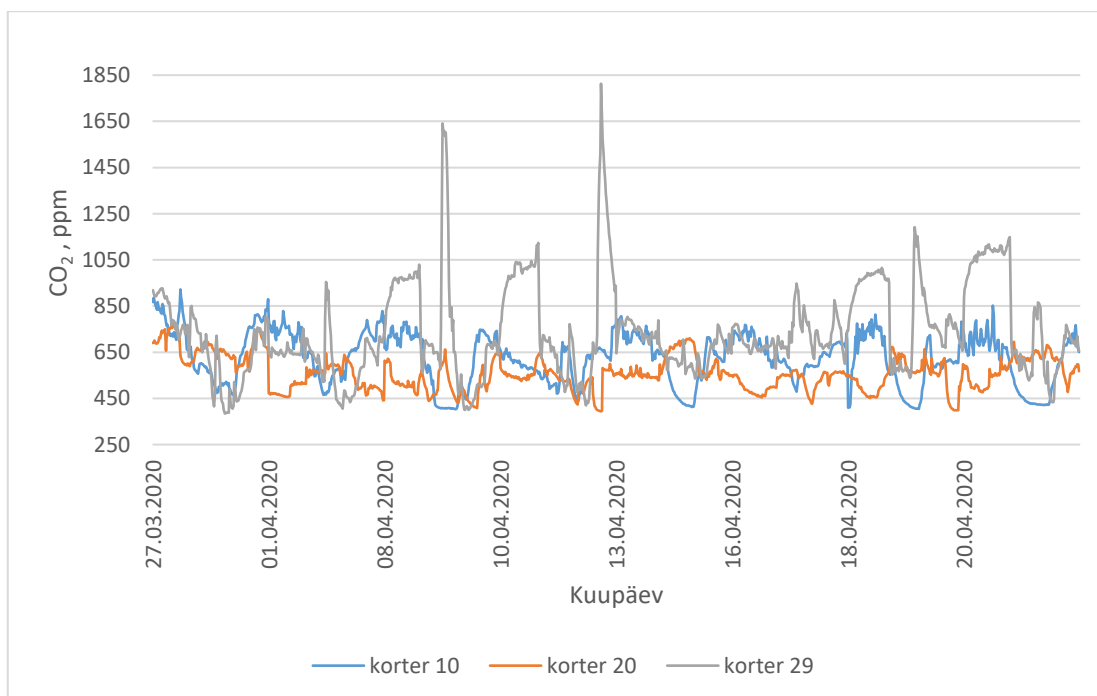
Süsihappegaasi kontsentratsioon õhus

Tabelis 4.2 on esitatud süsihappegaasi kontsentratsiooni keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed mõõtetulemused. Joonistel 4.3 ja 4.4 on teostatud mõõdistuste graafikud, vastavalt elu- ja magamistubade kohta. Kogu mõõteperioodi vältel elas kõikides korterites alaliselt üks inimene.

Tabelist 4.2 on näha, et kõige suuremad keskmise süsihappegaasi kontsentratsiooni tasemed õhus on mõõdetud korteri 29 magamis- ja elutoas, väärtused vastavalt 738 ppm ja 673 ppm. Järgneb korter 10, kus elutoas on keskmiseks väärtuseks 585 ppm ja magamistoas 625 ppm. Kõige madalamad on näitajad korteri 20 elu- ja magamistoas, väärtused vastavalt 539 ppm ja 560 ppm. Kõige kõrgem hetkeline näit on mõõdetud korteri 29 magamistoas, väärtus 1813 ppm (10.04.2020 kell 20:52).



Joonis 4.3. Korterite elutubade CO₂ kontsentratsiooni mõõdetud väärtused



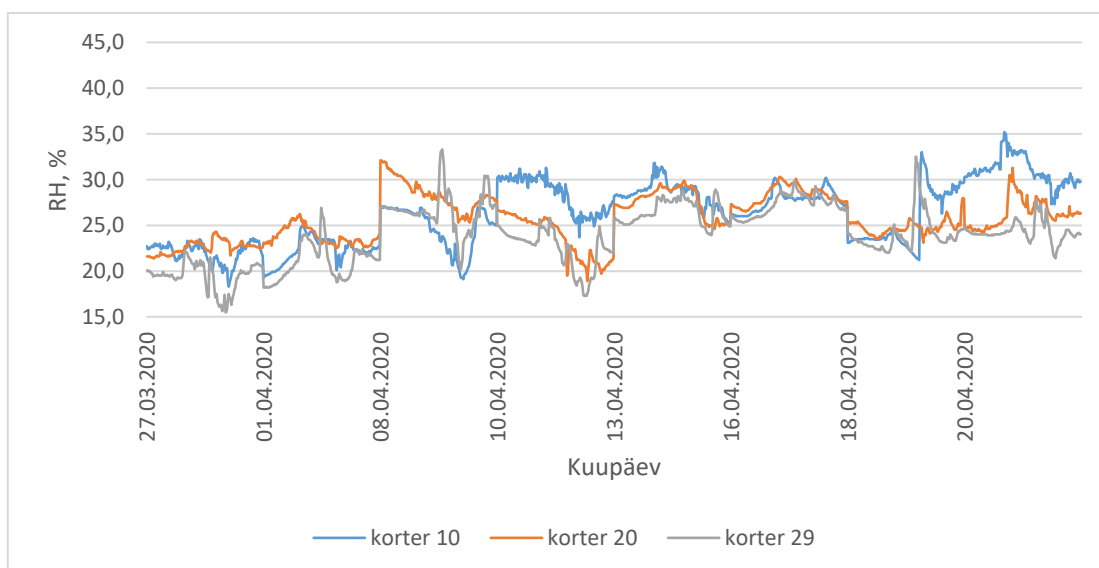
Joonis 4.4. Korterite magamistubade CO₂ kontsentratsiooni mõõdetud väärtused

Joonistelt 4.3 ja 4.4 on näha, et korterites 10 ja 20 esinevad CO₂ kontsentratsioonide kõikumised vahemikes 381...922 ppm ega ületa normaalse kontsentratsiooni

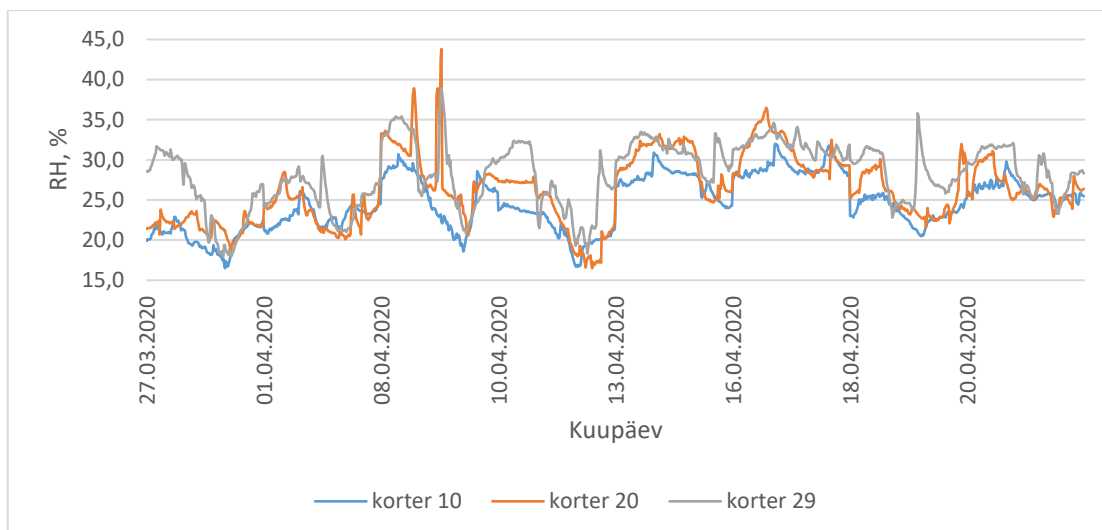
ülemääraks peetavat 1000 ppm. Korteris 29 võib täheldada nii elu- kui ka magamistoas kõikumisi vahemikes 381...1813 ppm. Päevasel ajal on tõusutrendis CO₂ väärtused elutubades, öötundidel magamistubades. Elutubade puhul on näit üle 1000 ppm fikseeritud kogu mõõteperioodi peale 3,3% juhtudest, magamistoas 10,7%. Korteris 29 magamistoas kõrgemaid näite võib seostada asjaoluga, et tegemist on väikseima magamistoaga (pind 9,3 m²) ning elanike seas läbiviidud küsitlusest selgus, et talvisel/varakevadel ajal on elanikul magamistoas ventilatsiooniplafoon suletud.

Õhuniiskus ja niiskuslisa

Suhtelise õhuniiskuse keskmised mõõtetulemused on esitatud tabelis 4.2. Joonisel 4.5 on esitatud suhtelise õhuniiskuse graafik elutubade kohta, joonisel 4.6 magamistubade. Tabelist 4.2 avaldub, et korterite keskmised õhuniiskuse näitajad kogu perioodi vältel varieeruvad suhteliselt väikestes vahemikes, 23,4...28,3 %. Nii suurim keskmine kui ka väikseim keskmine tulemus on mõõdetud mõlemad korterist 29, vastavalt magamis- ja elutoast. Suurim hetkeline suhtelise õhuniiskuse protsent on fikseeritud korteri 20 magamistoas, väärtus 43,8 % ja väikseim väärtus korteri 29 elutoas, väärtus 15,5 %. Mõõteperioodi keskmine suhtelise õhuniiskuse näitaja kolme korteri peal on 25,7 %. Suhteliselt madal keskmine näitaja on tingitud asjaolust, et mõõteperiood langes kokku kütteperioodiga. Kütmisperioodil kerkib esile kuiva õhu probleem, sest temperatuuri tõustes suhteline õhuniiskus langeb.

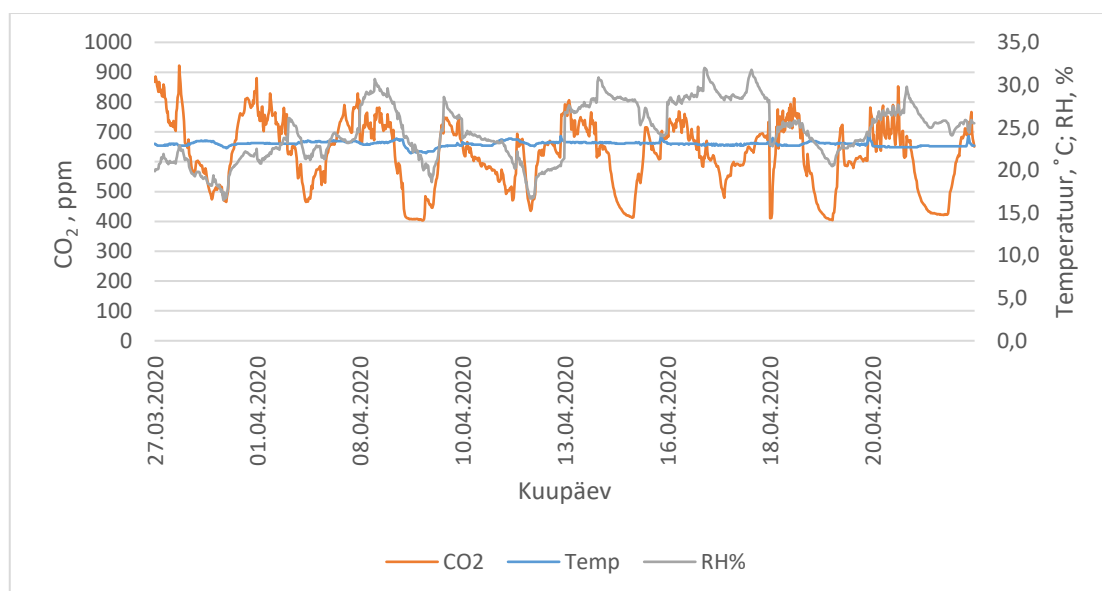


Joonis 4.5. Korterite elutubade suhtelise õhuniiskuse mõõdetud väärtused, RH%

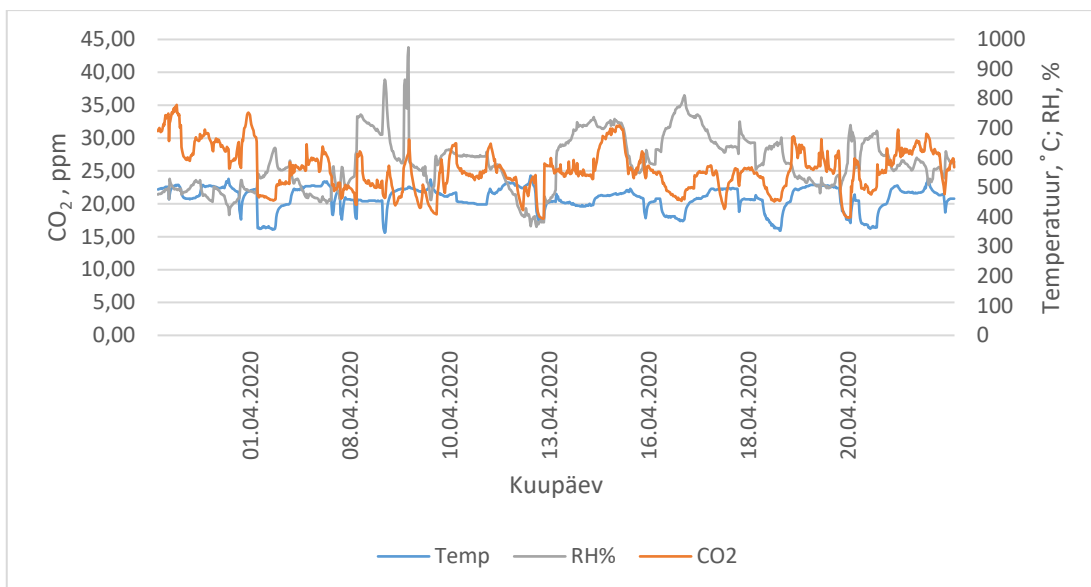


Joonis 4.6. Korterite magamistubade suhtelise õhuniiskuse mõõdetud väärtused, RH%

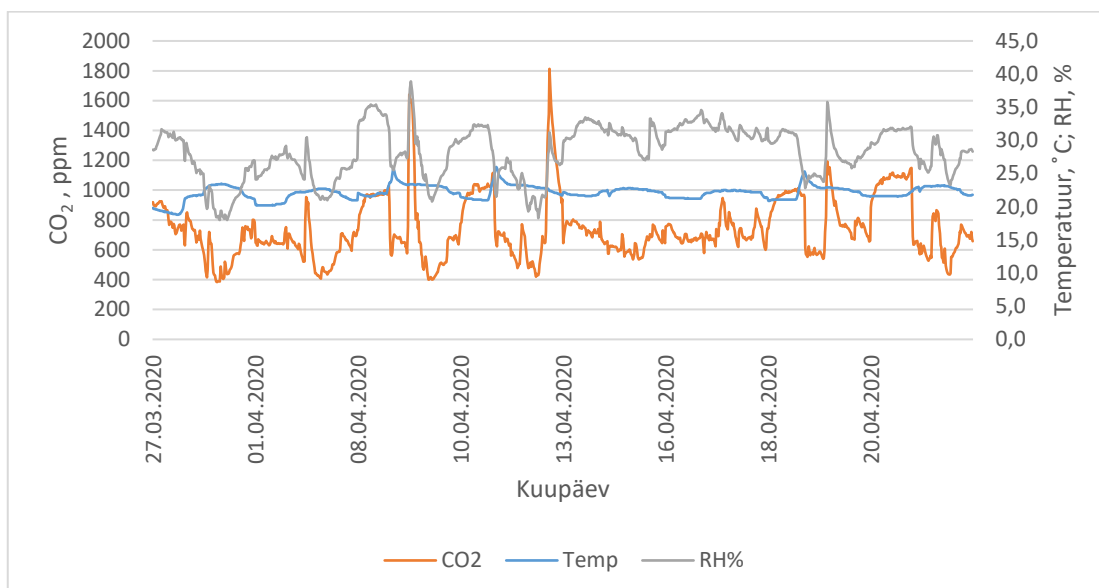
Joonistelt 4.5 ja 4.6 avaldub, et suhtelise õhuniiskuse näit kõigub korterites suhteliselt vähe. Üksikutel hetkedel langeb näit alla 20%, mis on arvestades asjaolu, et välisõhu temperatuur ei langenud vaatlusperioodil alla $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, madalavõitu. Nii elu- kui ka magamistubade puhul on näha, et eri korterite graafikud on üsna sarnase ülesehitusega. Muutuseid graafikutel võib eelkõige seostada inimtegevusega antud ruumis, mis on peamine suhtelist õhuniiskust mõjutav indikaator. Tegevuste alla võib liigitada näiteks pesu pesemise, toidu valmistamise aga ka pikaajaliselt ruumis viibimise. Joonisel 4.7, 4.8 ja 4.9 on esitatud mõõtmiste koondtulemused korterite 10, 20 ja 29 magamistubade kohta.



Joonis 4.7. Korter 10 magamistuba koondtulemused

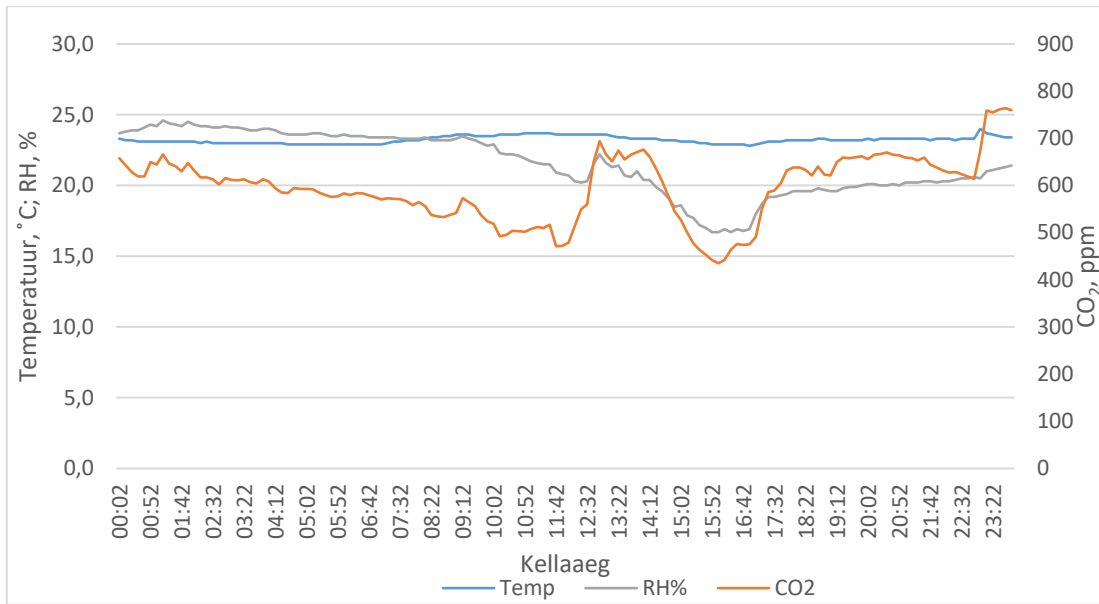


Joonis 4.8. Korteris 20 magamistoa koondtulemused

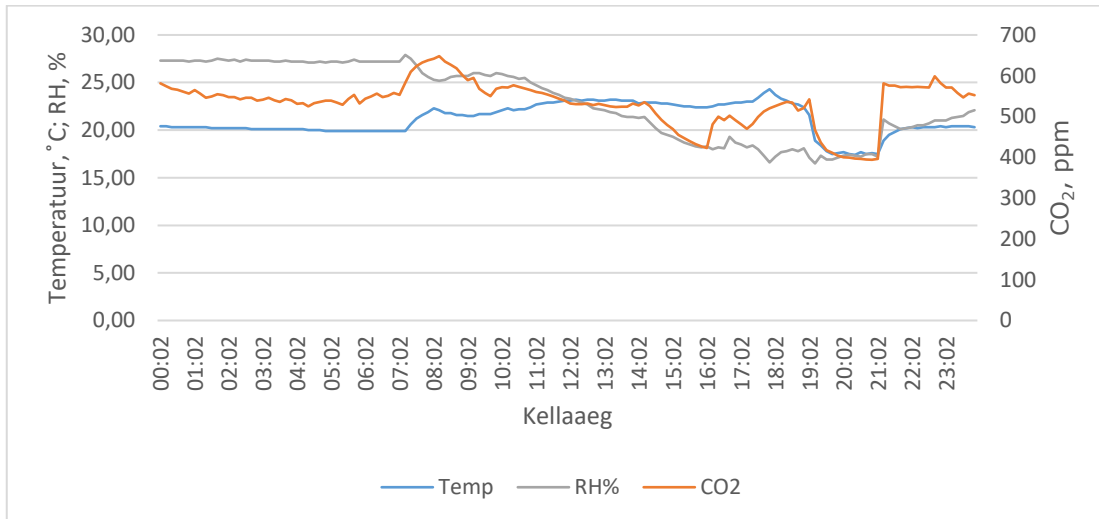


Joonis 4.9. Korteris 29 magamistoa koondtulemused

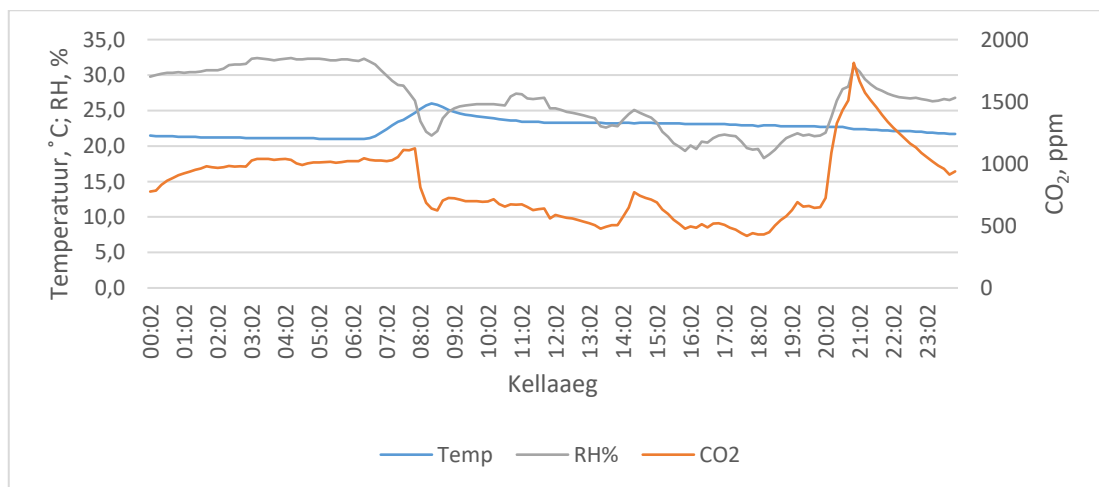
Joonistelt on näha, et muutused parameetrites leiavad aset sünkroonselt. Muutustele suhtelise õhuniiskuse graafikutel järgneb muutus ka süsihappegaasi kontsentratsiooni graafikutel. Samuti võib täheldada, et tõusud temperatuurigraafikutel toovad endaga kaasa suhtelise õhuniiskuse langemise. Joonistel 4.10, 4.11 ja 4.12 on esitatud graafikud 10.04.2020 ööpäeva lõikes teostatud mõõdistuste kohta, ilmestamaks parameetrite omavahelisi seoseid ja muutuseid ajas. Kuupäeva valik osutus päevale, mis korteri 29 puhul esines hommikutundidel järsk temperatuuri tõus, korteri 20 puhul võis täheldada öisel ajal madalaid temperatuure.



Joonis 4.10. Korterit 10 magamistoa 10.04.2020 m dtegraafik



Joonis 4.11. Korterit 20 magamistoa 10.04.2020 m dtegraafik



Joonis 4.12. Korterit 29 magamistoa 10.04.2020 m dtegraafik

Niiskuslisa on arvatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 13788:2012 [17] esitatud meetodikale. Arvutustulemused on esitatud tabelis 4.3.

Tabel 4.3. Keskmised niiskuslisa arvutuslikud väärtused

Positsioon		Keskmise niiskuslisa, g/m ³
Korteri nr	Tuba	
10	Elutuba	1,40
	Magamistuba	0,93
20	Elutuba	0,92
	Magamistuba	0,61
29	Elutuba	1,04
	Magamistuba	1,38

Tabelist 4.3 on näha, et keskmise niiskuslisa näitajad vastavad esimesele niiskusklassile kõikides korterites. Niiskuslisa väärtused on sarnased ja suhteliselt madalad – vastavalt 0,61...1,40 g/m³. suurim niiskuslisa väärtus on saavutatud korteri 10 elutoast. Madalaim tulemus on korteri 20 magamistoast, väärtusega 0,61 g/m³. Niiskuslisa negatiivset või nullilähedast tulemust võib täheldada päevastel aegadel, mil inimesi ruumis ei viibinud.

4.3 Soojuskiirgus ja loomulik valgus

Loomulik valgus

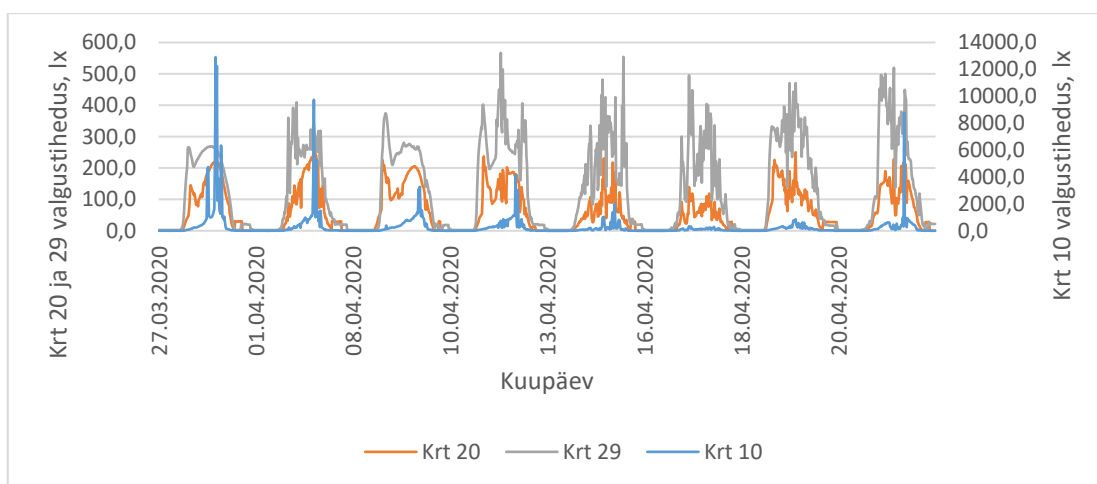
Tabelis 4.4 on esitatud valgustiheduse mõõtetulemused. Tulemuste arvutamisel on arvestatud perioodiga päikesetõusust päikeseloojanguni (aprillis keskmiselt vahemikus 06.00...20.30).

Tabel 4.4. Valgustiheduse keskmised ja maksimaalsed väärtused

Mõõtepositsioon			Valgustihedus, lx	
Korteri nr	Mõõtekoht	Seadme tähis		
10	Elutuba	V1	Keskmine	453
			Max	12904
20	Elutuba	V3	Keskmine	96
			Max	261
29	Elutuba	V2	Keskmine	212
			Max	567

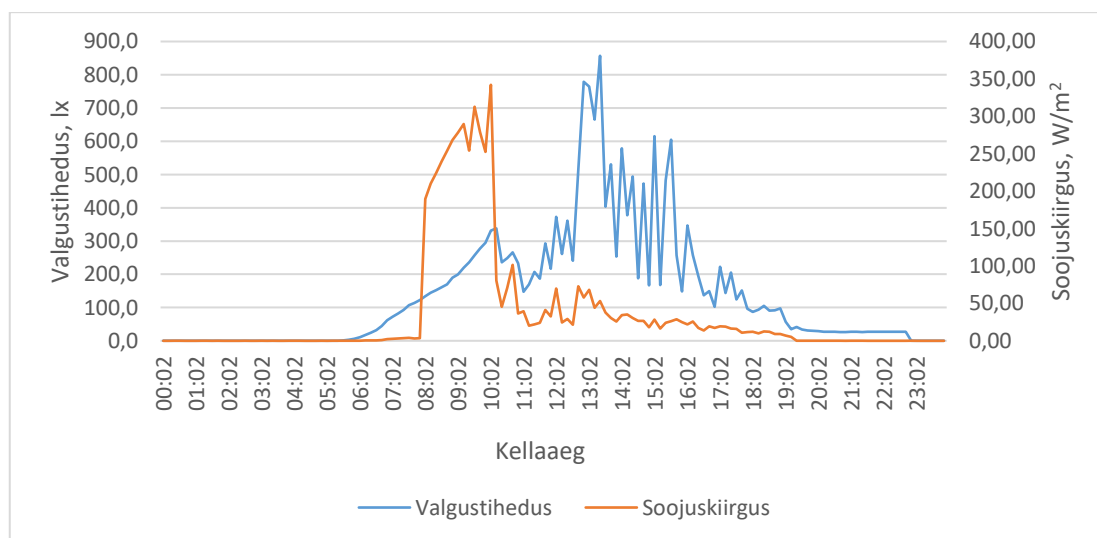
Tabelist 4.4 on näha, et kõige suurem keskmine väärtus on mõõdetud korteris 10, mis paikneb hoone kolmandal korrusel ja on avatud päeva- ja päikesevalgusele suurema osa päevast. Antud korteris on mõõdetud ka maksimaalne hetkeline näit väärtusega 12904 lx. Nii kõrge väärtus võib olla tingitud asjaolust, et mõõdu fikseerimise hetkel paistis sondile otsene päikesekiirgus. Mõõteperioodide keskmisi järjestades on

järgmine suurim näit fikseeritud korteris 29, mis paikneb elamu neljandal korrusel, väärtusega 212 lx. Maksimaalne valgustiheduse näit on mõõdetud väärtusega 567 lx. Kõige madalam valgustihedus on hoone esimese korruse loodenurgas paiknevas korteris 20. Keskmine näit on kõigest 96 lx ja maksimaalne mõõteperioodil fikseeritud väärtus 261 lx. Korteris 20 madalad näidud on tingitud asjaolust, et päevavalguse ligipääsetavust korterisse takistavad maja ees kasvavad puud (võib arvata, et puude lehte minemisel probleem süveneb veelgi) ja kinni ehitatud rõdu, mis halvendab valguse ligipääsetavust oluliselt. Alljärgnevalt on joonisel 4.13 esitatud korterite valgustiheduse ööpäevased graafikud.



Joonis 4.13. Korterite valgustiheduste graafikud

Valgustiheduse graafikutel võib päevasel ajal täheldada mõningatel juhtudel valgustiheduse konstantseid tõuse. Valgustiheduste ja soojuskiirguse mõõtmisi ei viidud küll läbi samades ruumides, kuid arvestades päikese liikumist, võib paralleelse graafikutel täheldada. Joonisel 4.14 on esitatud 18.04.2020 korteri 10 magamistoas mõõdetud soojuskiirguse ja elutoast mõõdetud valgustiheduse graafikud.



Joonis 4.14. Valgustiheduse ja soojuskiirguse graafik

Jooniselt 4.14 on näha, et soojuskiirguse ligipääsetavuse kestus on korteri magamistoas kuni keskpäevani. Elutoa aknad on orienteeritud edela suunaliselt. Kui arvestada päikese liikumistrajektoori, on elutuba mõjuorbiidis just keskpäeval, kuid samaaegselt võib täheldada veel madalat soojuskiirguse intensiivsust ka magamistoas. Jooniselt 4.14 on näha, et soojuskiirguse graafikuga tõuseb konstantselt ka valgustiheduse graafik, sumbudes õhtutundidel koos päikese loojumisega.

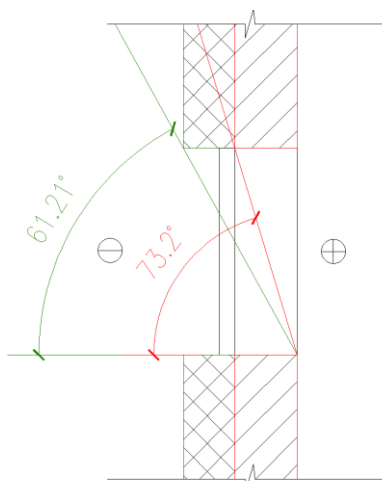
Päevavalgustegur

Päevavalgusteguri keskmised väärtused on arvutatud vastavalt valemile standardis EVS 894:2008+A2:2015 Loomulik valgus elu- ja bürooruumides [20] esitatud valemile 4.5. Keskmised päevavalgusteguri väärtused on esitatud tabelis 4.5.

Tabel 4.5. Arvutuslik keskmine päevavalgustegur

	Positsioon	Keskmine päevavalgustegur
10	Elutuba	1,2
	Magamistuba	1,8
	Köök	2,9
20	Elutuba	0,7
	Magamistuba	1,0
	Köök	2,5
29	Elutuba	1,2
	Magamistuba1	1,2
	Magamistuba2	1,5
	Köök	2,7

Tabelist 4.5 on näha, et kõige suuremad keskmise päevavalgusteguri väärtused on korteris 10, järgneb korter 29 ja kõige madalamad tulemused on korterist 20. Võib eeldada, et seina lisaosustamisest tingituna on muutunud mõnevõrra halvemaks ka loomuliku valguse ligipääsetavus korterisse (nähtava taeva nurga vähenemine). Korteri 10, 20 elutoas ja korteri 29 magamistoas nr 1 takistab loomuliku valguse ligipääsetavust täiendavalt hoonest eenduv rõdu konstruktsioon. Võrdlusmomendi tekkimiseks on esitatud joonisel 4.15 olukord enne (punane joon) ja pärast hoone rekonstrueerimist (roheline joon). Jooniselt 4.15 on näha, et nähtava taeva nurk on seoses seinte lisaosustamisega vähenenud hinnanguliselt 12° võrra.



Joonis 4.15. Nähtava taeva nurga vähenemine (autori joonis)

Soojuskiirgus

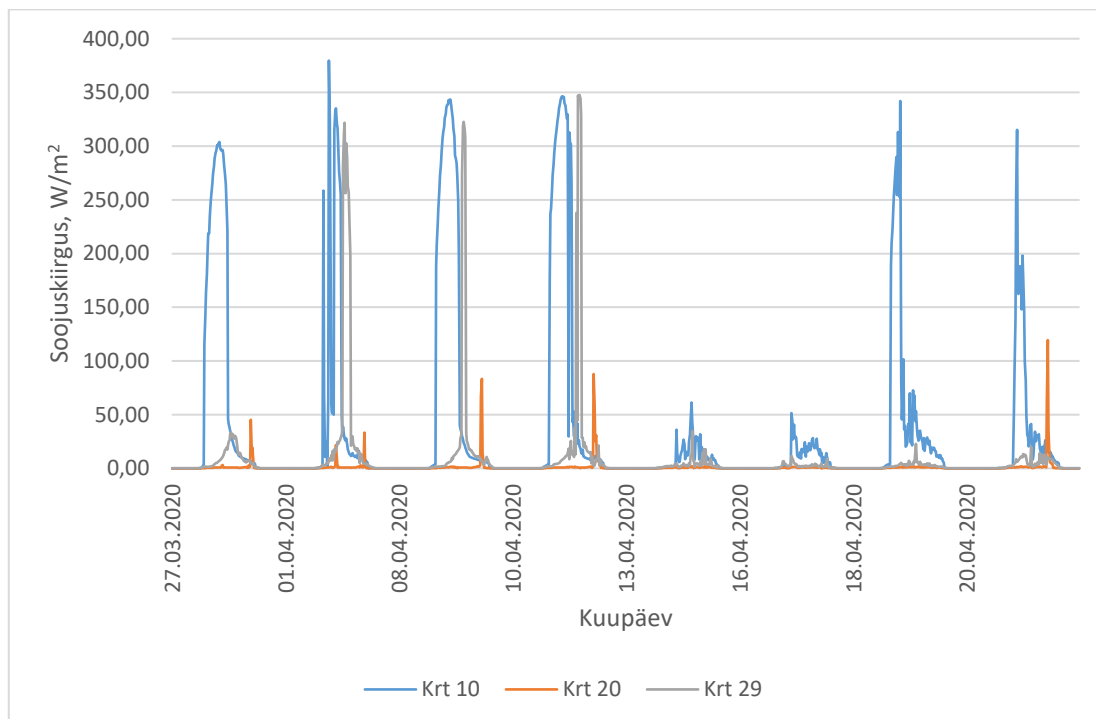
Tabelis 4.6 on esitatud korteritesse läbi akna jõudnud soojuskiirguse mõõtetulemuste keskmised ja maksimaalsed väärtused, võttes arvesse tulemusi päikesetõusust päikeseloojanguni. Soojuskiirguse mõõtmise valik seisnes asjaolus, et varasemates uuringutes ei ole hinnatud soojuskiirguse mõju hoone sisekliimale. Kuna hoone on soojustatud rekonstrueerimistöõde käigus 250mm vahtpolüstüreen plaadiga, mille eesmärk on talvel hoida maja soojana, suvel jahedana, keskenduti soojuskiirguse mõõtmisel läbi avatäidete korteritesse suubuvatele väärtustele mõõtmistele.

Tabel 4.6. Soojuskiirguse keskmised ja maksimaalsed väärtused

Mõõtepositsioon			Soojuskiirgus, W/m ²	
Korteri nr	Mõõtekoht	Seadme tähis		
10	Magamistuba	PK4	Keskmine	59,7
			Max	379,6
20	Magamistuba	PK6	Keskmine	1,5
			Max	119,4
29	Magamistuba	PK5	Keskmine	9,3
			Max	347,6

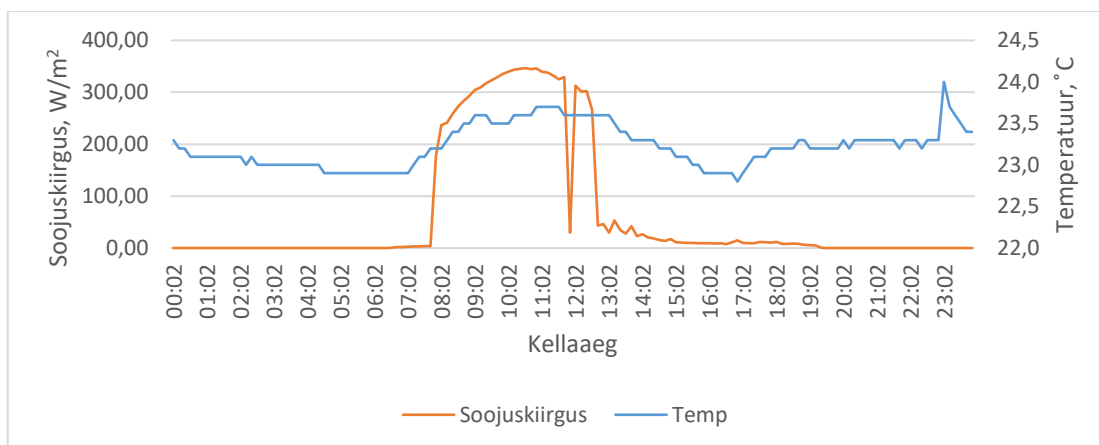
Tabelist 4.6 on näha, et kõige suurem keskmine tulemus on fikseeritud kolmanda korruse hoone kagu nurgas paiknevas korteris 10, tulemus 59,7 W/m². Antud korteris on magamistoa aken orienteeritud kagu suunal, sond orienteeriti ida suunal. Korterrisse nr 10 paistab hommikupäike ning näidud hakkavad suurenema perioodil 8.00...13.00. Keskmisi järjestades on järgmine suurim tulemus fikseeritud korteris 29, väärtusega 9,3 W/m². Kui võrrelda korteri 10 ja 29 keskmisi, on korteri 29 näit 84% väiksem. Selline muutus võib olla tingitud asjaolust, et päikesekiirguse ligipääsetavust mõõtepositsioonil takistasid puud ja hoonest eenduv rõdu konstruktsioon. Kõige madalamad tulemused fikseeriti korteris 20, kus mõõdetud keskmine on 1,5 W/m². Korteri 10 keskmisega võrreldes on näit 97% väiksem. Keskmine insolatsiooni kestus

korteris 10 on 4h ja 40min, korteris 20 30 min ja korteris 29 1h. Joonisel 4.16 on esitatud korterite soojuskiirguse mõõtetulemuste graafik.



Joonis 4.16. Korterite soojuskiirguste graafik

Jooniselt 4.16 on näha, et päikesekiirgus on olnud intensiivsem 27.03.2020, 01.04.2020, 08.04.2020, 10.04.2020, 18.04.2020 ja 20.04.2020. Hindamaks soojuskiirguse mõju sisekliimale, on joonisel 4.16 esitatud korteri 10 magamistoas teostatud mõõdistuste graafik koos ruumi siseõhu temperatuuri graafikuga 10.04.2020 teostatud mõõdistuste baasil.



Joonis 4.17. Korteris 10 soojuskiirguse ja õhutemperatuuri graafik

Jooniselt 4.17 on näha, et päike on intensiivsem perioodil 07.50...13.00. Võib täheldada, et soojuskiirguse suurenedes on tõusvas trendis ka ruumi siseõhu temperatuur. Kell 10.52 on saavutatud siseõhu temperatuuri haripunkt, väärtusega 23,7°C. Hommikul kell 08.02 oli vastav näit 23,2°C, mis teeb kokkuvõttes siseõhu

temperatuuri suurenemise 0,5°C ja 2,1% võrra. Alates kella 13.00-st võib täheldada soojuskiirguse näitude langust, konstantselt hakkab langema ka ruumi siseõhu temperatuur, langedes kella 14.32-ks taas 23,2°C peale.

4.4 Müratase ruumis

Alljärgnevalt on esitatud tabelis 4.7 mõõtmistulemuste keskmised arvutuslikud väärtused.

Tabel 4.7. Korterite keskmised helitaseme mõõtmistulemused

Korteri nr	Mõõtekoht	Max tase, dB	Min tase, dB	Arvutuslik müra
10	Elutuba	34,05	28,15	29,25
	Magamistuba	32,30	28,70	29,30
20	Elutuba	36,90	27,80	29,05
	Magamistuba	37,80	28,00	29,95
29	Elutuba	32,75	29,55	29,75
	Magamistuba 1	34,50	27,95	28,75
	Magamistuba 2	33,75	28,40	29,80

Tabelist 4.7 avaldub, et keskmised mürataseme väärtused korterites on sarnased ja jäävad eranditult alla 30 dB. helitaseme kõrgeimad väärtused (vastavalt 38,05 ja 37,8 dB elutoas ja magamistoas) fikseeriti korteris 20. Vähesel määral suuremaid tulemusi võib seostada korteri paiknemisega hoone esimesel korrusel ja piirnemist kahest küljest välisseintega. Selle tõttu on korterisse väga hästi kuulda tänava ja parkla müra.

5 JÄRELDUSED

1. Uuritud korteritest on kõige soojema sisekliimaga hoone kolmanda korruse kagu nurgas paiknev korter 10, keskmise siseõhu temperatuuriga 23,3 °C. Ligikaudu sama tulemusega on korter 29, keskmise õhutemperatuuriga 23,0 °C. Madalaim keskmine õhutemperatuur on mõõdetud korteris 20, 21,6 °C. Kõikide korterite keskmised siseõhu temperatuurid on vastavuses standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] esitatud vahemikega II sisekliimaklassi jaoks kütteperioodil (20...25 °C). Korteri 20 jahedamad temperatuurid on tingitud radiaatorite termoregulaatorite seadistamisest madalamale tasemele ja elaniku ruumi tuulutamise harjumustest.
2. CO₂ kontsentratsiooni hulk õhus vastab vastavalt standardile EVS-EN 16798-1:2019 [14] II sisekliima klassile kõikide korterite elutubades, jäädes alla 800 ppm. Korteri 20 elutoa näit mahuks ka I klassi piiridesse, väärtusega 539 ppm. Magamistubade keskmised süsihappegaasi kontsentratsiooni sisaldused õhus ei vasta sisekliima klassi II ülempiirmääradele üheski korteris (550 ppm). Korteri 10 erineb keskmine ülempiirmäärast 12%, korteris 20 1,7% ja korteris 29 26%. Elanike seas läbi viidud küsitluse käigus selgus, et korteris 20 on tavaks magamistuba tuulutada ka öösiti ja korteris 29 on talvisel-varakevadisel ajal ventilatsiooniplafoon suletud.
3. Õhuniiskus vastab standardis EVS-EN 16798-1:2019 [14] esitatud sisekliima teise klassi parameetritele ja standardis EVS-EN ISO 13788:2012 [17] esitatud niiskulisa teise klassi väärtustele kõikides uuritud korteris, kuid on suhteliselt madal. Keskmine suhtelise õhuniiskuse näit jääb vahemikku 25,5...26,0%, niiskulisa väärtused 0,61...1,40 g/m³. Madalaid õhuniiskuse keskmisi tulemusi võib seostada asjaoluga, et mõõteperiood langes kokku kütteperioodiga ja aastaajaga, mil välisõhu suhteline õhuniiskus on küll kõrge, aga veeauru sisaldus suhteliselt madal. Visuaalse vaatluse ja mõõtetulemuste põhjal võib järeldada, et hallituse tekke oht kõikides korterites on madal.
4. Loomuliku päevavalguse tase ei vasta 2/3 korteritest standardis EVS-EN 17037:2019 [19] esitatud soovituslikele minimaalsele väärtustele (300 lx). Kõige kõrgem tulemus on saavutatud korteris 10, väärtusega 453 lx, mis ületab minimaalse valgustiheduse sihtväärtuse, aga on soovituslikust keskmisest väärtusest (500 lx) 9,3% väiksem. Korteri 29 on keskmiseks tulemuseks 212 lx, olles soovituslikust keskmisest 57,6% väiksem ja minimaalsest tasemest 29,4% väiksem. Kõige madalam tulemus on korterist 20, kus valgustiheduse

väärtuseks on 96 lx, olles soovituslikust keskmisest 80,8% madalam ja minimaalsest piirväärtusest 68% madalam. Päevavalguse valgustiheduse suhteliselt madalad tulemused on tingitud kortermaja ümbritsevast keskkonnast, mis takistavad päevavalguse ligipääsetavust oluliselt – naaberkinnistutel paiknevad kortermajad ja krundil kasvavad puud. Korterite 20 madala näidu põhjuseks on naaberkinnistul oleva kortermaja varju jäämine. Keskmine insolatsioon kestus mõõteperioodil oli korteri 20 ruumis 30 minutit. Korterite 10 ja 29 tubades vastavad kestused keskmiselt 4h ja 40min ning 1h.

5. Soojuskiirguse suurim keskmine tulemus on mõõdetud korteris 10, väärtusega 59,7 W/m². Korteris 20 on vastav tulemus 1,5 W/m² ja korteris 29 9,3 W/m². Kõige enam mõjutab soojuskiirgus ruumi temperatuuri korteri 10 magamistoas hommikutundidel, mil võis täheldada intensiivsema päikesekiirguse korral temperatuuri tõusu kuni 0,5°C võrra. Ka päikesekiirguse ligipääsetavuse koha pealt on hoones kõige paremal positsioonil korter 10, kus hommikuti paistab päike magamistuppa, päevasel ajal elutuppa. Elutubades erilisi muutusi temperatuurigraafikutel sõltuvalt soojuskiirguse osakaalust ei täheldatud. Korterite 29 madalat näitu võib seostada hoonest eenduva rõdu konstruktsiooniga, mis vähendab päikese ligipääsetavust korterisse oluliselt. Korterite 20 puhul võib öelda, et korter on sisuliselt päikese eest varjus.
6. Vastavalt standardile EVS-EN 16798-1:2019 [14], peab II klassi kuuluva korterelamu puhul jätkuva helitaseme väärtus olema võrdne või jääma alla 30 dB elutubade puhul ja 35 dB magamistubade korral. Vabariigi Valitsuse määrus nr 85 „Eluruumile esitatavad nõuded“ [12] on määratletud piirväärtused helitasemele päevasel ja öisel ajal, väärtused kuni 30dB-i öisel ajal ja kuni 40 dB päevasel ajal. Mõõdetud keskmine müra tase vastab kõikides uuritavates korterites määruks ja standardis esitatud piirmääradele, jäädes alla 30 dB.
7. Rekonstrueerimisjärgselt on hoone reaaltegevus vähenenud 56,6%. Arvutuslik energiatõhususarv (77 kWh(m²/a)) erineb reaaltegevusest (83,6 kWh(m²/a)) 7,9% võrra. 83,6 kWh(m²/a) mahub aga energiakasutuse A klassi vahemikku.
8. Käesolevas töös on mõõtmised läbi viidud kevadisel perioodil, mis küll ulatub osaliselt insolatsiooni vaatlusperioodi, kuid jääb välja ruumide ülekuumenemise kontrolli vahemikust. Analoogseid mõõtmisi tuleks korrata teistel aastaaegadel ja suurendada korterite valimit. Põhjalikuma sisekliima analüüsi jaoks on tarvis ka mikrobioloogia andmeid.

6 KOKKUVÕTE

Magistritöö raames uuriti Tartus asuva renoveeritud korterelamu sisekliima parameetreid. Uuritava korterelamu näitel on tegemist 1964. aastal kasutusele võetud, 32 korteriga ja 4-maapealse korrusega suurpaneelalammuga. Aastal 2018 läbis hoone SmartEnCity projekti raames põhjaliku SA Kredexi 40% toetusmäärale vastavad rekonstrueerimistööd.

Sisekliima parameetrite mõõtmine leidis aset hoone kolmes korteris perioodil 16.03.2020-28.04.2020. Paiknemiselt valiti korterid selliselt, et oleks kaetud võimalikult erinevad hoone piirkonnad ja korrused. Mõõdetud parameetriteks on siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus, süsihappegaasi kontsentratsioon õhus, loomulik valgustus, soojuskiirgus läbi akna ja müratase siseruumides.

Uuringu tulemustest avaldub, et õhutemperatuur oli kõikides korterites normi piires, keskmine väärtus 22,6 °C, keskmised tulemused varieerusid vahemikus 21,6 °C kuni 23,3 °C. Mõnevõrra jahedam oli esimesel korrusel paiknev otsmine korter (keskmine 21,6 °C) ja kõrgemate ning stabiilsemate näitudega kerkis esile kolmanda korruse kagu nurgas olev korter (keskmine 23,3 °C).

Keskmine CO₂ kontsentratsioon elutubades oli vahemikus 539 kuni 673 ppm. Magamistubades 560 kuni 738 ppm. Tulemuste kõikumisi esines vahemikus 381 kuni 1813 ppm. Standardis EVS 16798-1:2019 on soovituslikud väärtused elutubade puhul 800 ppm ja magamistubades 550ppm [14]. Uuritud korterites vastavad elutoad sisekliima klassile II ja magamistoad sisekliima klassile III.

Suhteline õhuniiskus oli korterites suhteliselt madal, keskmised tulemused vahemikus 23,4% kuni 28,3%. Siseõhu niiskuslisa oli samuti normi piires, jäädes vahemikku 0,61 g/m³ kuni 1,40 g/m³. Madalaid tulemusi võib seostada mõõte- ja kütteperioodi kokkulangemisega ning tõhusa ventilatsiooniga.

Päikese- ja päevavalguse keskmised tulemused erinesid korterites oluliselt. Keskmised päevavalguse valgustihedused varieerusid vahemikes 96 kuni 453 lx. Soojuskiirguse väärtused vahemikus 1,5 kuni 59,7 W/m². Kõige kõrgemad tulemused on mõõdetud korterist, mille aknad on orienteeritud kagu ja edela suunaliselt, mistõttu on insolatsiooni kestuse suhtes korter hoones kõige paremal positsioonil. Kõige madalamad tulemused on hoone esimese korruse loode nurgas olevast korterist, mis sisuliselt on ümbritsevate korterelamute ja puude varjus. Keskmise päevavalgusteguri väärtused esinesid vahemikus 0,7 kuni 2,9. Kõige kõrgemad ja madalamad keskmised väärtused vastavad mõõtetulemustes vastavatele keskmistele.

Soojuskiirguse mõju sisekliimale hinnati kõrgeima keskmise tasemega korteris. Keskmine insolatsiooni kestus oli vahemikul 07.50 kuni 13.00. Kõrgeim fikseeritud soojuskiirguse näit 346 W/m^2 . Antud aja jooksul kerkis toa temperatuur $+0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Mürataseme mõõdistused viidi läbi korterite elu- ja magamistubades. Kõik mõõtmistulemused olid optimaalsed, jäädes alla 30 dB. Kõrgeimad hetkelised helitaseme tõusud, kuni 37,8 dB, fikseeriti hoone esimesel korrusel, kuhu kostub kõige paremini ka tänava müra.

Uuritavate korterite sisekliima parameetrite hindamisel saadud tulemused võimaldavad järeldada, et hoone sisekliimaatiline olukord tervikuna on hea. Kõrvalekaldeid hoone energiatõhusust käsitlevas standardis, EVS-EN 16798-1:2019 [14], esitatud II sisekliimaklassi parameetritest esineb magamistubade CO_2 kontsentratsiooni tasemetes, kuid tulemused ei ületa normaalseks piirmääraks peetavat 1000 ppm. Samuti erinevad standardis EVS-EN 17037:2019 [19] esitatud soovituslikest väärtustest keskmised päevavalguse sihtväärtused, kuid suuresti on see tingitud hoone paiknemisest ümbritseva keskkonna suhtes (kortermajad, puud) ja rekonstrueerimistöode käigus rajatud rõdudest ning lisasoojustuse kihist, mis vähendavad päevavalguse ligipääsetavust korterisse.

SUMMARY

Within the framework of the Master's thesis, the indoor climate parameters of a renovated apartment building in Tartu were examined. The apartment building examined is a large panel building with 32 apartments and a 4 floors above ground, commissioned in 1964. In 2018, within the framework of a project called SmartEnCity, the building underwent extensive reconstruction works complying with the 40% aid intensity of SA KredEx.

Measurements of indoor climate parameters were performed in three apartments of the building between 16 March 2020 and 28 April 2020. The location of the apartments was chosen to cover as many different zones and floors of the building as possible. The parameters measured are indoor air temperature, relative humidity, carbon dioxide concentration in the air, natural lighting, thermal radiation through the window, and indoor noise level.

The results of the survey show that air temperature in all the apartments was within the limits, with the average value of 22.6 °C, the average results ranged from 21.6 °C to 23.3 °C. The apartment in the north-west corner on the ground floor was somewhat cooler (average 21.6 °C) and the apartment on the south-east corner of the third floor emerged with higher and more stable readings (average 23.3 °C).

The average concentration of CO₂ in the living rooms ranged from 539 to 673 ppm. In bedrooms - between 560 and 738 ppm. Fluctuations in results ranged from 381 to 1813 ppm. The recommended values in EVS 16798-1:2019 are 800 ppm for living rooms and 550 ppm for bedrooms. [14]. In the apartments examined, the living rooms comply with indoor climate class II, and the bedrooms - with indoor climate class III.

Relative humidity was relatively low in the apartments, with average results ranging from 23.4% to 28.3%. The indoor air humidity supplement was also within the normal range, ranging from 0.61 g/m³ to 1.40 g/m³. Low results can be attributed to the concurrence of the measurement and heating periods and to efficient ventilation.

The average results of sunlight and daylight differed significantly in the apartments. Mean daylight illuminances ranged from 96 to 453 Lx. Thermal radiation values between 1.5 and 59.7 W/m². The highest results are measured in an apartment with windows towards southeast and southwest, which means that the apartment is in the best position in the building in terms of insolation duration. The lowest results come from the apartment in the north-west corner of the ground floor of the building, being essentially in the shade of the surrounding apartment buildings and trees. The mean daylight factor

values ranged from 0.7 to 2.9. The highest and lowest average values correspond to the corresponding means in the measurement results.

The impact of thermal radiation on the indoor climate was assessed in the apartment with the highest average level. The mean duration of insolation was between 07.50 am to 1 pm. Highest fixed thermal radiation reading - 346 W/m². During this time, the room temperature rose by +0.5 °C.

Noise level measurements were performed in the living and sleeping rooms of the apartments. All the measurement results were optimum, below 30 dB. The highest instantaneous increases in sound level, up to 37.8 dB, were recorded on the ground floor of the building, where street noise is best heard as well.

The results obtained from the assessment of the indoor climate parameters of the apartments examined enable to conclude that the indoor climate situation of the building as a whole is good. Deviations from the parameters of indoor climate class II in the standard for the energy performance of a building, EVS-EN 16798-1:2019 [14], occur in the concentration levels of CO₂ in the bedrooms, but the results do not exceed the normal limit of 1,000 ppm. The average target values for daylight also differ from the recommended values in EVS-EN 17037:2019 [19], but this is mainly due to the location of the building in relation to its environment (apartment buildings, trees) and balconies built during reconstruction works and additional insulation layer, which reduce daylight accessibility.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.A., Liias, R., Kallavus, U., Mikli, L., Lehtla, A., Kodi, G., Luman, A., Arumägi, E., Mironova, J., Peetrimägi, L., Korpen, M., Männiste, L., Murman, P., Hamburg, A., Tali, M., Seinre, E. (2010). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. - https://mkm.ee/sites/default/files/suurpaneel-alamute_uuringu_loppraport_trukk.pdf. Viimati külastatud 14.03.2020.
2. Hoonete energiatõhusus. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. [WWW]. Address: <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>. Viimati külastatud 15.03.2020.
3. RT I. 22.08.2019. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, Ettevõtlus ja infotehnoloogiaministri määrus nr. 63. - <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019002>. Viimati külastatud 15.03.2020
4. RT I. 22.08.2019. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, Majandus- ja taristuministri määrus nr 58. - <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019005>. Viimati külastatud 14.05.2020.
5. Kalamees, T., Kõiv, T.A., Liias, R., Õiger, K., Kallavus, U., Mikli, L., Ilomets, S., Kuusk, K., Maivel, M., Mikola, A., Klõšeiko, P., Agasild, T., Arumägi, E., Liho, E., Ojand, T., Tuisk, T., Raado, L.M., Jõesaar, T. (2009). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. - https://mkm.ee/sites/default/files/telliskorterelamute_uuring.pdf. Viimati külastatud 15.03.2020.
6. Kalamees, T., Thalfeldt, M., Meos, H., Laas, M., Zelenski, M., Kurnitski, J., Diligentov, E., Bõkova, L. (2015). Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmjoonised ja tüüpkorterite ventilatsioonilahendused. - <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Korterelamute%20v%C3%A4lispiirete%20lisasoojustamise%20s%C3%B5lmjoonised%20ja%20t%C3%BC%C3%BCpkorterite%20ventilatsioonilahendused.pdf>. Viimati külastatud 16.03.2020.
7. Projekti SmartEnCity ülevaade. Tark Tartu. [WWW]. Address: <http://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/>. Viimati külastatud 17.03.2020.
8. Projekti SmartEnCity kavandatud tegevused. Tark Tartu. [WWW]. Address: <http://tarktartu.ee/avaleht/kavandatud-tegevused/>. Viimati külastatud 17.03.2020.
9. RT IV. 28.02.2019. Targa linna korterelamu rekonstrueerimise toetus, Tartu Linnavolikogu määrus nr. 119. - <https://www.riigiteataja.ee/akt/428022019014>. Viimati külastatud 18.03.2020.
10. Rekonstrueerimistoetus 2014-2018. SA Kredex. [WWW]. Address: <https://kredex.ee/et/teenused/elamistingimuste-parandamiseks/rekonstrueerimistoetus>. Viimati külastatud 18.03.2020.
11. SmartEnCity pilootala. Google kaardirakendus. [WWW]. Address: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=13rM25RCfiaXrmMk4vgdz1hqG>

- MCo&ll=58.37618449201568%2C26.72207430529032&z=14. Viimati külastatud 27.05.2020.
12. RT I. 24.08.2018. Eluruumile esitatavad nõuded, Majandus- ja taristuministri määrus nr. 85. - <https://www.riigiteataja.ee/akt/124082018002>. Viimati külastatud 19.03.2020 11
 13. Hoonete sisekliima ja õhustuse nõuded, 30.06.2015 tööversioon. Eesti Kütte- ja ventilatsiooniinseneride ühendus. [WWW]. Aadress: https://ekvy.ee/attachments/article/17/Hoonete%20sisekliima%20ja%20%C3%B5hustuse%20n%C3%B5uded_t%C3%B6%20%C3%B6versioon.pdf. Viimati külastatud 26.05.2020
 14. EVS-EN 16798-1:2019. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustatusest ja akustikast. (2019). Tallinn: Eesti Standardikeskus. Viimati külastatud 15.04.2020.
 15. Liiske, M. (2002). Sisekliima. Tartu: Eesti põllumajandusülikooli kirjastus.
 16. Kalamees, T. Õppematerjal. Ehitusfüüsika II osa. [WWW]. Aadress: https://www.ttu.ee/public/p/projektid/BuildEst/Ehitusfuusika_II_Osa_T_Kalamees.pdf. Viimati külastatud 01.05.2020.
 17. EVS-EN ISO 13788:2012. Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid. (2013). Tallinn: Eesti Standardikeskus. Viimati külastatud 19.05.2020.
 18. Kerde, A. (2009). Eluruumide õhutemperatuurist ja teistest sisekeskkonna parameetritest hügieeni aspektist ja seadusandlusest lähtuvalt. [WWW]. Aadress: https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/ruumide_temperatuurist.pdf. Viimati külastatud 10.05.2020.
 19. EVS-EN 17037:2019. Päevavalgus hoonetes. (2019). Tallinn: Eesti Standardikeskus. Viimati külastatud 19.05.2020.
 20. EVS 894:2008/A2:2015. Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides. (2015). Viimati külastatud 19.05.2020.
 21. Murula, R., Tihhonov, A., Kurnitski, J., Thalfeldt, M. (2017). Energiatõhususe juhendmaterjal ja meetodika peaprojekterijatele ja arhitektidele. [WWW]. Aadress: <https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/juhendid/Juhendmaterjal%202017%2010.pdf>. Viimati külastatud 10.05.2020.
 22. Tähe 2 üldandmed. Ehisregister. [WWW]. Aadress: <https://www.ehr.ee/app/w/page?4>. Viimati külastatud 10.05.2020.
 23. Eesti Ehitusprojekt OÜ. (2017). Tähe tn 2 korterelamu rekonstrueerimise ja laiendamise põhiprojekt. Töö nr PP1638.
 24. RT I. 08.05.2020. Kortere lamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused ja kord, Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri määrus nr 24. -

- <https://www.riigiteataja.ee/akt/108052020020>. Viimati külastatud 15.05.2020.
25. Green Eye CO₂ andmesalvestaja kasutusjuhend. Techgrow veebilehekülg. [WWW]. Address: https://www.techgrow.nl/manuals/manual_Green_Eye_v1.0.pdf. Viimati külastatud 01.05.2020.
26. Delta OHM 2102.2 andmesalvestaja kasutusjuhend. DeltaOHM veebilehekülg. [WWW]. Address: http://www.deltaohm.com/ver2012/download/HD2102_M_uk.pdf. Viimati külastatud 01.05.2020.
27. TES-1353S mürataseme mõõtja tehnilised andmed. Tes veebilehekülg. [WWW]. Address: http://www.tes.com.tw/en/product_detail.asp?seq=386. Viimati külastatud 01.05.2020.
28. Tartu Ülikooli keskkonnafüüsika instituudi ilmajaam. Tartu Ülikool. [WWW]. Address: <https://meteo.physic.ut.ee/>. Viimati külastatud 13.05.2020.
29. EVS-EN ISO 16032:2004. Acoustics – Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – Engineering method. (2005). Tallinn: Eesti Standardikeskus. Viimati külastatud 02.05.2020.

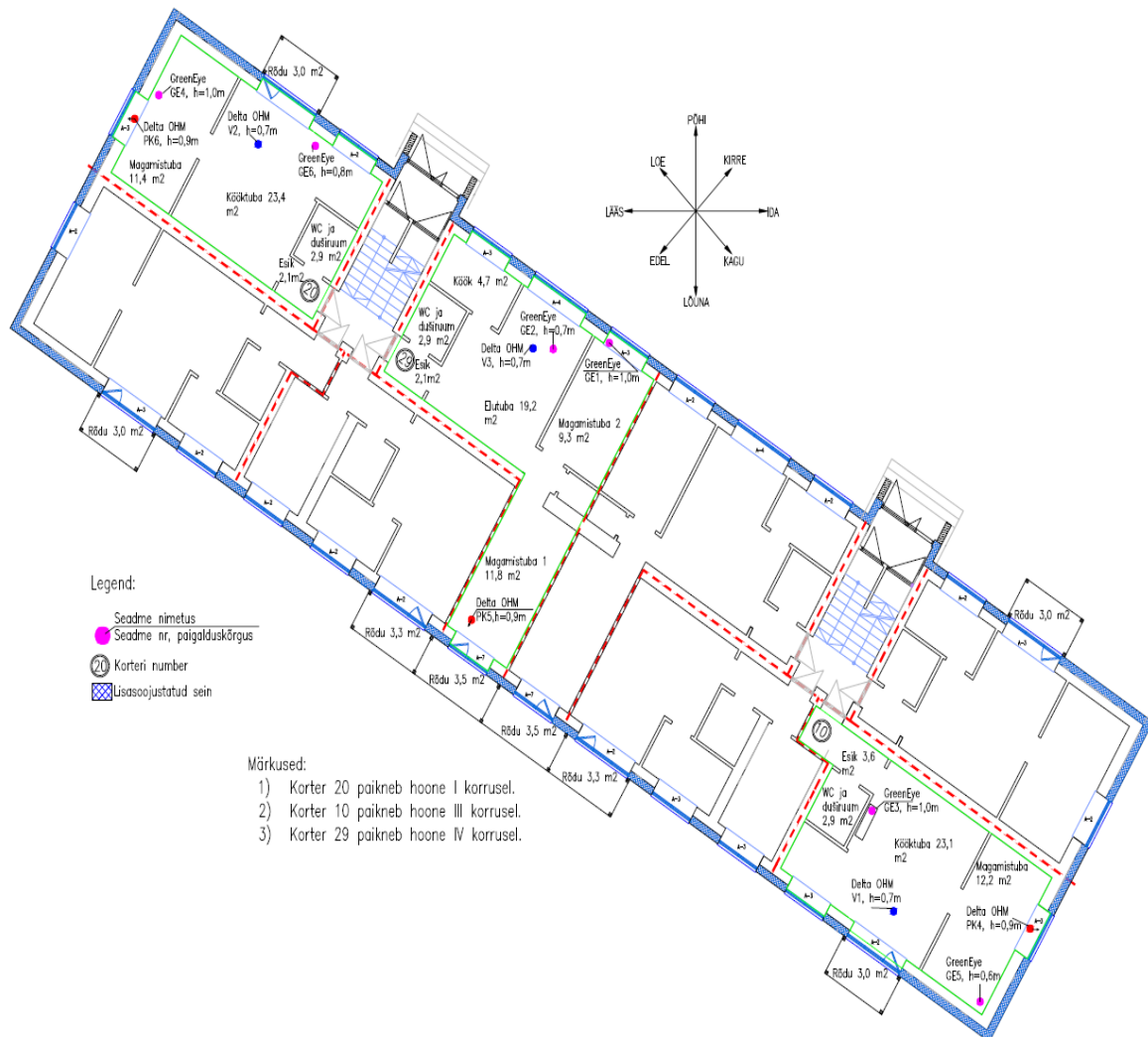
LISAD

Lisa 1 Hoone Energiaarvutuse tulemused

Tabel L1.1. Energiaarvutuste tulemuste esitamine [23]

Energiaarvutuse tulemuste esitamine								
Andmed hoone kohta								
Hoone kasutusotstarve	Muu kolme või enama korteriga elamu						<input type="checkbox"/> Uusehitus	
Aadress	Tähe tn. 2, Tartu linn, Tartumaa						<input checked="" type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	1964 (2018)						<input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	1 440,0 m ²						<input type="checkbox"/> Olemasolev hoone	
Netopind	1 776,4 m ²							
Energiaõhususarv	77 kWh/(m²a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)							
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kogus/a	kütused massi või mahuühik	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis-tegur	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekter	-	-	51 912	36,1	25 920	18	2	36,1
Kaugküte	-	-	66 067	45,88	0	0	0,9	41,3
Summa	-	-	117 979	82	25 920	18	-	77
Summaarne energiakasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem			-	-	-	-		
Ruumide küte			720	8 669	0,5	6,0		
Ventilatsiooniõhu soojendamine			-	14 198	-	9,9		
Tarbevee soojendamine			-	43 200	-	30,0		
Ventilatsioonisüsteem ¹			8 827	-	6,1	-		
Jahutussüsteem			0	-	0,0	-		
Valgustus			10 094	-	7,0	-		
Seadmed			32 270	-	22,4	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)			51 912	66 067	36,1	45,9		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks								
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energia			Lokaalne taastuv kWh/a kWh/(a m ²)		Eksporditud kWh/a kWh/(a m ²)			
Soojusenergia päikesest			-	-	-	-		
Elekter päikesest (120 tk)			25 920	18,0	-	-		
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²			8 409	5,8				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			14 198	9,9				
Tarbevee soojendamine			43 200	30,0				
Jahutus			0	0,0				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis								
³ arvutatud koos soojuslagastusega								
Energia vabasoojustest			kWh/a	kWh/(a m ²)				
Päikesekiirgus			63 835	44,3				
Inimesed			22 694	15,8				
Valgustus			10 094	7,0				
Seadmed			22 550	15,7				
Tehnosüsteemide võimsused			Elekter kW	Soojus kW				
Küttesüsteem			-	-				
Jahutussüsteem			-	-				
Arvutusprogrammi nimi ja versioon			BV2	Versioon 2007 B				
Arvutusprogrammi litsentsi number								
19.02.2017			Everyn Kallamets					
Kuupäev			Nimi				Allkiri	

Lisa 2 Skemaatiline plaan koos seadmete paiknemisega



Joonis L2.1. Tähe 2 skemaatiline plaan seadmete paiknemisega:
 Lillaga on tähistatud Green Eye CO₂ andmesalvestajad, punasega Delta OHM 2102.2 varustatuna soojuskiirgust mõõtvga sondiga, sinisega Delta OHM 2102.2 varustatuna valgustihedust mõõtvga sondiga (autori joonis)