



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

# **TÜÜPKORTERLAMUTE KÜTTE JA VENTILATSIOONI LAHENDUSTE VARAJASES STAADIUMIS PLAANIMISE ARUVUTUSMUDELI ARENDAMINE**

**DEVELOPMENT OF AN EARLY-STAGE CALCULATION  
MODEL FOR PLANNING HEATING AND VENTILATION  
SOLUTIONS FOR TYPICAL APARTAMENT BUILDINGS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sergei Ašmanov

Üliõpilaskood 182335EAKI

Juhendaja: Ergo Pikas, abiprofessor tenuuris

(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.

"....." ..... 2024

Autor: Sergei Ašmanov

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 2024

Juhendaja: Ergo Pikas / allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....2024

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Sergei Ašmanov (sünnikuupäev: 24.09.98)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tüüpkorterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis plaanimise arvutusmudeli arendamine

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on Ergo Pikas,

*(juhendaja nimi)*

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

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

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

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

---

22.05.2024 (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Sergei Ašmanov, 182335EAKI  
Õppekava, peeriala: EAKI02/17, Hoonete sisekliima ja veetehnika  
Juhendaja: Abiprofessor tenuuris, Ergo Pikas

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tüüpkorterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis plaanimise arvutusmudeli arendamine

(inglise keeles) Development of an Early-Stage Calculation Model for Planning Heating and Ventilation Solutions for Typical Apartment Buildings

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Arendada kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis plaanimise arvutusmudeli tüüpkorterelamutele
2. Täiendada ehisregistri lähteandmestiku tehnosüsteemidega seotud andmetega
3. Tuua välja võtmenäitajad kütte ja ventilatsiooni arvutusmudeli loomise jaoks

### Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus                                    | Tähtaeg    |
|----|---|------------|
| 1. | Lõputöö teema valik ja esialgne tutvustus             | 10.02.2024 |
| 2. | Lõputöö aktuaalsus, eesmärgid ja probleemid           | 14.02.2024 |
| 3. | Lõputöö esmane esitamine                              | 25.02.2024 |
| 4. | Täielik kirjanduse analüüs ja teoreetilised alused    | 16.03.2024 |
| 5. | Korterelamute võtmenäitajate arvutusmudeli arendamine | 01.04.2024 |
| 6. | Pooleliolevate ülesannete lõpetamine ja vormistamine  | 26.04.2024 |
| 7. | Arvutusmudeli analüüsimine, graafikute koostamine     | 10.05.2024 |
| 8. | Lõputöö viimane vormistamine ja esitamine             | 22.05.2024 |

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 22. mai 2024.a

**Üliõpilane:** Sergei Ašmanov ..... 22. mai 2024.a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Ergo Pikas ..... 22. mai 2024.a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Thalfeldt ..... 22. mai 2024.a  
/allkiri/

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

# SISUKORD

|  |    |
|--|----|
| EESSÕNA .....  | 7  |
| Lühendite, tähiste ja mõistete loetelu .....                                       | 8  |
| SISSEJUHATUS .....   | 9  |
| 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....   | 11 |
| 1.1 Renoveerimine .....  | 11 |
| 1.2 Eesti kivikonstruktsiooniga korterelamute tüpologia.....                       | 12 |
| 1.3 Küte olulisus ning küttesüsteemid vana Eesti kortermajades .....               | 17 |
| 1.4 Hoonete sisekliima olulisus .....  | 18 |
| 1.4.1 Erinevad kütteallikad .....  | 19 |
| 1.4.2 Vajalikud parameetrid kütte projekteerimiseks.....                           | 20 |
| 1.5 Ventilatsioon olulisus.....  | 21 |
| 1.5.1 Ventilatsiooni süsteemid vana kortermajades Põhja- ja Ida-Euroopas .....     | 22 |
| 1.5.2 Ventilatsiooni süsteemid vana Eesti kortermajades .....                      | 22 |
| 1.5.3 Vajalikud parameetrid ventilatsiooni projekteerimiseks Eesti tingimustes ..  | 25 |
| 1.6 Tüüpsed kütte ja ventilatsiooni lahendused Eestis .....                        | 26 |
| 1.6.1 Võimalikud kütte tüüpsed lahendused .....                                    | 27 |
| 1.6.2 Võimalikud ventilatsiooni tüüpsed lahendused.....                            | 30 |
| 1.7 Lühikokkuvõte.....   | 35 |
| 2 MEETODIKA .....  | 37 |
| 2.1 Arvutusmodeli koostamise lähteandmed ja alused .....                           | 38 |
| 2.2 Arvutusmodeli sisendid ja nõuded .....   | 40 |
| 2.2.1 Pilootohoned arvutusmodeli testimiseks .....                                 | 41 |
| 3 TULEMUSED .....  | 43 |
| 3.1 Projektijärgsete andmete statistiline kirjeldus.....                           | 43 |
| 3.2 Arvutusmodeli ülesehitus.....  | 45 |
| 3.2.1 Lähteandmete sisestamine arvutusmodelisse .....                              | 46 |
| 3.2.2 Lahenduse kirjeldatavad andmed .....   | 47 |
| 3.2.3 Ventilatsiooni õhuvooluhulk .....  | 48 |
| 3.2.4 Hoone pindalad ja ventilatsiooni torud .....                                 | 52 |
| 3.2.5 Soojussõlme koormused .....  | 57 |
| 3.2.6 Küte- ja ventilatsioonisüsteemi spetsifikatsiooni elemendid .....            | 60 |
| 3.2.7 Küte- ja ventilatsioonisüsteemi elementide maksumus ja CO <sub>2</sub> ..... | 64 |
| 3.3 Arvutusmodeli tulemuste testimine ja arendamine .....                          | 66 |
| 3.3.1 Piloot 1 – Tööstuse 85, Tallinn .....  | 66 |
| 3.3.2 Piloot 2 – Valdeku 118a, Tallinn .....                                       | 70 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3.3 Piloot 3 – Akadeemia tee 6, Tallinn.....   | 73  |
| 3.3.4 Piloot 4 – Kuuma 4, Saue .....   | 75  |
| 4 ARUTELU .....  | 77  |
| KOKKUVÕTE .....  | 79  |
| SUMMARY.....   | 81  |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....   | 83  |
| LISAD .....  | 89  |
| Lisa 3.1 Õhuvooluhulkade tabel korteri kaupa mõlema ventilatsiooni lahenduse<br>puhul.....                         | 90  |
| Lisa 3.2 Väärtused radiaatorite ja armatuuri spetsifikatsiooni genereerimiseks .....                               | 91  |
| Lisa 3.3 Kortermajade statistiline analüüs .....   | 92  |
| Lisa 3.4 Lähteandmete tabel ventilatsiooni spetsifikatsiooni tuletamiseks .....                                    | 94  |
| Lisa 3.5 Kütte ja ventilatsiooni elementide maksumus ilma käibemaksuta .....                                       | 95  |
| Lisa 3.6 Arvutusmudeli lähteandmete tabel CO2 koguste arvutamiseks .....   | 96  |
| Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel .....   | 97  |
| Lisa 3.8 Tüüpkorterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis<br>plaanimise arvutusmodel..... | 104 |

## **EESSÕNA**

Eesti ja kogu Euroopa eluhoonefondi terviklik rekonstrueerimine on vajalik, sest hoonete energiatarbimine omab suurt mõju keskkonnale. Terviklik rekonstrueerimine suudab vähendada hoone energia tarbimist 60% võrra. Käesoleva lõputöö teema pakkus välja professor tenuuris Ergo Pikas.

Töö käigus loodi kivikonstruktsiooniga korterelamute tehnosüsteemide lahenduste varajases staadiumis planeerimise arvutusmudel. Lõputöös kasutatavad hoonete andmed saadi RESTO projekti raames tehtud väljavõtetest ja OÜ Invento projektide tabelist.

Töö autor tänab juhendajat Ergo Pikast ja OÜ Invento juhatuse liiget konstruktiivse tagasiside ja heade mõtete eest.

Võtmesõnad: renoveerimine, ventilatsioon, küte, projekteerimine, uurimistöö, arvutusmudel

## Lühendite, tähiste ja mõistete loetelu

RESTO Renoveerimis strateegia töörist (Renovation Strategy Tool)

WHO (World Health Organisation)

U Piirdetarindi soojusläbivus,  $W/(m^2 \cdot K)$

Vinf Infiltratsiooni õhuvooluhulk,  $m^3/s$

ETA Energiatõhusus arv,  $kWh/(m^2 \cdot a)$

EHR Ehitisregister, [www.ehr.ee](http://www.ehr.ee)

Ca Circa

IAQ Indoor Air Quality

OECD Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon

SCOP Seasonal Coefficient of Performance

### **Kalorifeer**

soojusvaheti, milles soojus antakse õhuvoolule üle soojuskandja vahendusel

### **Loomulik ventilatsioon**

Ventilatsiooni läbi ebatiheduste ja ehitise ventilatsiooniavade, mis põhineb tuule mõjust põhjustatud rõhuvahel, sundõhuliikumist rakendamata

### **Mehaaniline ventilatsioon**

Ventilatsioon, mille puhul õhule antakse liikumiseks vajalik energia ventilaatori või muu mehaanilise seadme abil

### **Siseõhu temperatuur**

Õhu keskmine temperatuur viibimistsoonis

### **Soojustagastus**

Jääksoojuse utiliseerimine, heitõhu soojuse ülekandmine sissepuhke õhule

### **Õhu vooluhulk**

Ventilatsioonisüsteemi, selle elementi või ventileeritavat ruumi ajaühikus läbiv õhukogus



## SISSEJUHATUS

Euroopa Liidu roheleppe raames on eesmärgiks seatud kliimanetraalse hoonefondi saavutamine aastaks 2050. Kogu Euroopa energiatarbimisest hoonete energiatarbimine moodustab 40% ning energiakasutusega kaasnevatest CO<sub>2</sub> emissioonidest 36% [1]. Aastal 2018. moodustas elamute energiatarve 26% Euroopa koguenergiatarbest, suurema osakaaluga oli vaid transpordiga seotud tarbimine. Seetõttu on Euroopa roheleppe eesmärgi saavutamiseks „kliimanetraalne majandus aastaks 2050“ Euroopa hoonefondi renoveerimine oluline [2], [3].

Hinnanguliselt vajab Eestis renoveerimist umbes 14 000 kortermaja, et muuta elamufond energiatohusamaks, mis moodustab olulise osa rohelisest revolutsioonist ehituses ja hoonetes. See omakorda eeldab renoveerimise mahu kordades tõstmist [1]. Tänapäevaste praktikatega ehk „ühe hoone korraga soojustamine“ seda ei toeta. Tuleb tõsta omanike ja elanike teadlikkust renoveerimise vajadusest ning arendada seadusandlust, ehitusprotsesse, fiskaalmeetmeid ja praktikaid.

Korterelamute industriaalne ehitamine algas pärast II maailmasõda suurte elamispindade puuduse tõttu. Korterelamuid ehitati peamiselt tüüpprojektide järgi, mille eesmärgiks oli ehitusprotsessi kiirendamine. Korterelamute industrialiseerimise käigus kasutati tüüpprojekte, mis soodustasid ajastu hoonete tüüpidesse jagamist [4], [5].

Seni on teadus- ja arendustöö peamiselt keskendunud ühe hoone kaupa tehniliste lahenduste väljatöötamisele. Uus suund on piirkonna või hoonefondi tasemel renoveerimise strateegiate koostamine ja sellest lähtuvalt meetmete plaanimine. Tallinna Tehnikaülikoolis on selleks arendatud kivikonstruktsiooniga korterelamute tüpologia, et rikastada Ehitisregistri andmeid energiatarbimise arvutuste jaoks vajalike lähteandmetega. Puudu on kivikonstruktsiooniga korterelamute tehnosüsteemide kirjeldused, mis võimaldaks hoonefondi või piirkonna tasemel automaatselt või poolautomaatselt renoveerimist plaanida. Hetkel ei eksisteeri sellist lähteandmestiku renoveerimise lahenduste plaanimiseks ja hindamiseks.

Lõputöö eesmärgiks on seatud kivikonstruktsiooniga korterelamute tehnosüsteemide tüüplahenduste võtmenäitajate arvutusmudeli koostamine ja testimine renoveeritavate korterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduse kavandamiseks varajases staadiumis. Loodav arvutusmudel peab aitama püstitada erinevate majatüüpide puhul tehnosüsteemide renoveerimise eesmärgi ja aidata hinnata teostatavust. Eesmärgi täitmiseks otsitakse lõputöö käigus vastuseid järgmistele küsimustele:

- 1) Milline on tüüpsete kivikonstruktsiooniga korterelamute kütte- ja ventilatsiooni lahenduste taksonoomia ja mis oleksid selle alused?
- 2) Millist arvutusmudelit tuleb ja saab arendada tüüpsete kivikonstruktsiooniga korterelamute alternatiivsete kütte ja ventilatsiooni lahenduste plaanimiseks ja hindamiseks projekti varajases staadiumis?
- 3) Mis oleksid loodava arvutusmudeli ja võtmenäitajate usaldusväärsus ja täpsus erinevate hoonete puhul?

Vahendi toimimiseks on vaja teada hoonete ehitusfüüsikalisi näitajaid ning geomeetriat. Tallinna Tehnikaülikoolis loodud renoveerimise strateegia tööriist (RESTO) kasutab peamiste andmeallikatena ehitisregister ehitiste andmeid ja hoonete digikaksiku mudeleid. RESTO-st tulevaid tehnilisele kaardile lisatud andmeid saab kasutada tehnosüsteemide plaanimiseks ja hinnangute koostamiseks vastavalt ette antud maja tüübile. Tulev automatiseeritud tööriist on eelkõige kasulik teave tehnilisele konsultandile renoveerimise projekti kavandamise etapis. Loodav lahendus testib lähteandmete alusel tehnosüsteemide võtmenäitajate arvutused ja pakub välja soovituslikud tehnosüsteemide lahendused. Lahendusi ja võtmenäitajaid saab tehniline konsultant kasutada korteriühistuga suhtlemiseks, et koos otsustada, milline kütte- ja ventilatsiooni lahendus valida. Valitud lahenduse võib omakorda edastada projekteerijale lähteülesandena, et koostada korrektsed tehnosüsteemide projektid.

Kasutades RESTO-st tulevaid peamiseid hoone tüübi andmeid, näiteks korterelamu tüüp, korterite, trepikodade ja korruste arv, saab arvutada õhuvooluhulgad ja soojussõlme jaoks vajalikud soojuskoormused ning selle alusel määrata sobivad alternatiivsed kütte- ja ventilatsioonisüsteemi lahendused, näiteks soojuspump väljatõmbe süsteemile või konkreetne tsentraalne ventilatsiooniseade tervele korterelamule. Antud teabe alusel võiks olla hoonete renoveerimisprojektide tehnosüsteemide lahenduste koostamine eelprojekti mahus tulevikus automatiseeritav.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kirjanduse ülevaates kirjeldatakse, miks on renoveerimine oluline, miks kütte ja ventilatsioon renoveerimine vanades korterelamutes mängivad olulist rolli. Käesolevas lõputöös antakse ülevaade sellest, et Eesti korterelamute lahendused on tüüpsed ja neid saab liigitada ning kirjeldatakse võimalikud tüüpsed kütte ja ventilatsiooni lahendused korterelamutes, mis vajavad renoveerimist.

## 1.1 Renoveerimine

Kliimamuutuste halvimate mõjude vältimine on üks Euroopa Liidu peamisi eesmärke. Seetõttu on Euroopa Liit teinud otsuse oluliselt vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Euroopa Liidu jaoks on kaks olulist versteposti eesmärk vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid aastaks 2030 võrreldes 1990. aasta tasemega 40% võrra ning aastaks 2050 80% võrra [6].

Euroopas moodustavad hooned umbes 40% koguenergiatarbimisest, mis avaldab märkimisväärset mõju Euroopa riikide majandustele [7]. Sellepärast on hoonete energiatarbimise vähendamine oluline alam-eesmärk süsinikuheitmete vähendamise väljakutsele [6]. Terviklik renoveerimis lahendused võivad vähendada esmase energia tarbimist vähemalt 60% võrra [8].

Seni on peamine rõhk olnud uute hoonete energiatarbimise suurendamisel nende pika eluea tõttu ning põhjaliku energiaremonti kõrgete kulude tõttu. Kiire uute hoonete kasv arenevates riikides on osa väljakutsest, kuid ebapiisavalt efektiivsete hoonete väljavahetamise aeglane tempo arenenud riikides tähendab, et uute, madala energiakuluga või nullenergiahoonete loomine ei ole piisav. Euroopas uuendatakse umbes 1% hoonestikust ning igal aastal renoveeritakse keskmiselt 0,4-1,2% (ELis) [9].

Euroopa hoonete energiatarbimisest moodustab kõige olulisema osa kütmine ja jahutamine [7]. Lõuna- ja Kesk-Euroopas on korterelamute kütmiseks kasutatav energia tarbimine sageli 2-3 korda suurem kui sarnaste hoonete puhul Lääne-Euroopas. Elektri ja kütteenergia tarbimine jääb vahemikku 250-400 kWh/(m<sup>2</sup>·a), samas kui Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsiooni (OECD) riikides on see vahemikus 150-230 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Skandinaavias tarbivad hästi isoleeritud piirdetarinditega hooned tavaliselt 120-150 kWh/(m<sup>2</sup>·a), samas kui nii nimetatavad liginullenergiahooned võivad omada aastast energiatarbimist 60-80 kWh/(m<sup>2</sup>·a) [10].

On võimalik vähendada ruumi kütetarvet kuni 10 korda, näiteks Passiivmaja standardi järgi, kus üheks peamiseks energiatõhususe kriteeriumiks on maksimaalne ruumi kütetarve 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ulatuses [11].

## 1.2 Eesti kivikonstruktsiooniga korterelamute tüpologia

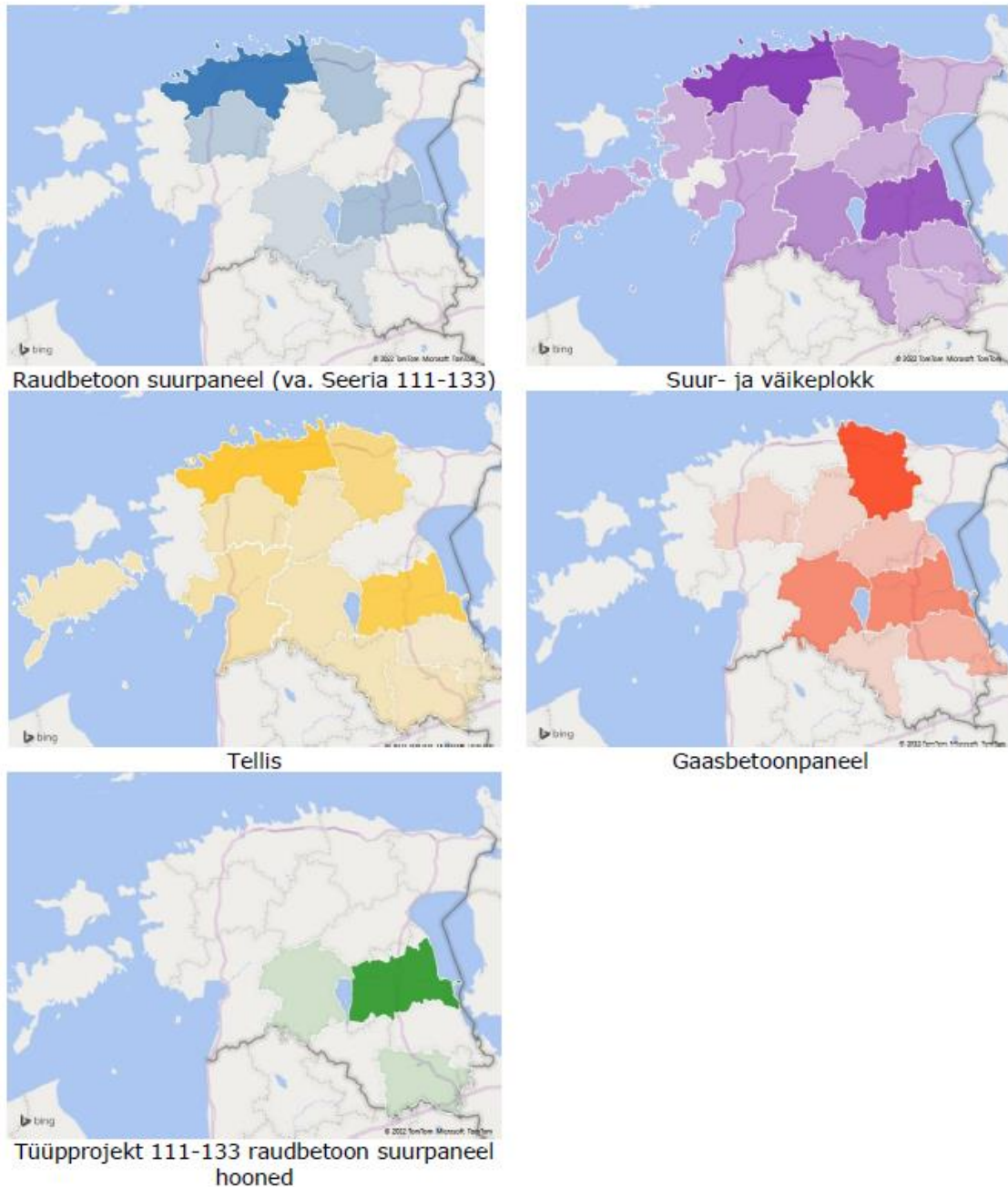
Eestis võib eluasemeid jagada kahe suurema rühma vahel: kortermajad ja eramud. Enamus kortermaju on ehitatud pärast Teist maailmasõda aastatel 1950–1990. Vanemad tellis- ja paneelmajad ehitati aastatel 1955–1990. Korteriid koosnesid ühest, kahest või kolmest toast, eraldi köögist, sissepääsust ja sanitaarruumidest [15]. Esialgused uuringud on näidanud, et tüüpiliste korterelamute kogu soojusenergia tarbimine enne renoveerimist oli vahemikus 170 kWh/(m<sup>2</sup>·a) kuni 280 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Eesi kivikonstruktsiooniga korterelamute soojusenergia tarbimine on samaväärne teiste Ida-Euroopa riikide tulemustega [11].

Tuvastati, et Eestis ehitatud aastatel 1955-1990 kortermajad võib liigitada konstruktsiooni tüüpide järgi. Hooned jaotusid välisseinte järgi 7 seinatüüpideks: raudbetoon suurpaneel (va. seeria 111-133), tellis-, väike- ja suurplokk, puit-, raudbetoon suurpaneel (seeria 111-133) ning gaasbetoon paneel lamu [16]. Visuaalselt hoonetüübid on toodud Joonis 1.1.



**Joonis 1.1** Visuaalselt määratud seinatüübid Google tänavavaatest [16].

Suurpaneel korterelamud asuvad peamiselt Tallinna ja Harju maakonna ümbruses. Telliselamud ning väike- ja suurplokk korterelamud on levinud üle kogu Eesti. Gaasbetoonpaneelidest hooned on peamiselt levinud Ida- ja Kesk-Eestis. Suurpaneel korterelamud tüüpidega 111-133 on levinud Lõuna-Eestis, eriti Tartus [16]. Korterelamute jaotus on illustreeritud Joonis 1.2.



**Joonis 1.2** Hoonetüüpide jagunemine vastavalt asukohale [16].

Iliste jt (2023) uurimistöös loodi tüpologia, mis kirjeldab vana korterelamute geomeetriat, välisseinte konstruktsiooni ja teised ehitusfüüsikalised omadused.

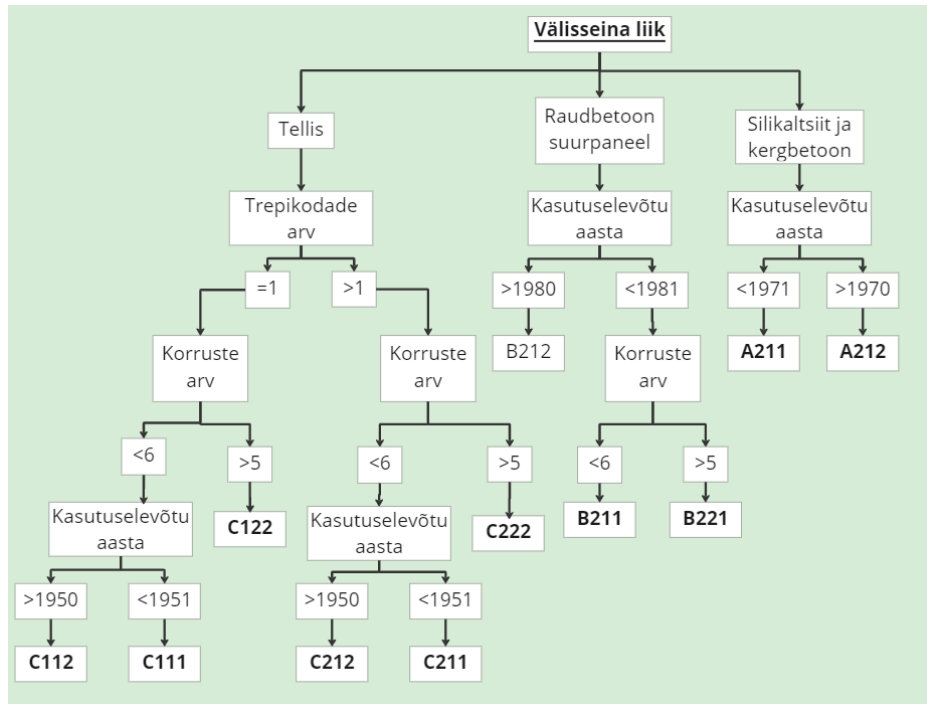
Peamine kriteerium oli, et klassifitseerimine peab põhinema juba olemasolevatel EHR-i parameetritel. Klassifitseerimise kriteeriumid hõlmasid välisseina tüüpi, fassaadi materjali (mõnel juhul viitavad teatud fassaadimaterjalid soojustuskihi olemasolule), korruste arvu ja ehitusaastat. EHR-is sisalduvad välisseina tüübid hõlmavad puitraami, tellise, kergbetoonplokkide ja mitmekihiliste betoonpaneelidega seinu [41].

Nõukogude Liidu ajastu korterelamute ehitamisel tehti termilised arvutused termilise mugavuse (pinna temperatuur ja soojusinererts) põhjal. Selle tulemusel oli välisseina soojusjuhtivus  $U \leq 1,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja katuse puhul  $U \leq 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Kasutatud materjalide madal kvaliteet ja suur kõikumine ning ehitustulemused olid kõrge soojusjuhtivuse olulised tegurid hoone välisseina puhul. Kortерelamute välisseinte soojusjuhtivused olid valdavalt [41]:

- 1) Eelvalmistatud suurpaneel sein  $U \approx 0,8-1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
- 2) Tellisein (ilma soojustuseta)  $U \approx 1,6-2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
- 3) Tellisein (60 mm soojustusega)  $U \approx 0,8-1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
- 4) Poorbetoonist suurplokk sein  $U \approx 0,6-0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Iliste 2022. aastal teostatud magistritöös arvatati uuesti vanade korterelamute piirdetarindite soojusjuhtivused vastavalt korterelamu geomeetrialet, välisseinte konstruktsioonile ja muudele ehitusfüüsikalise andmete järgi. Vastavalt kirjanduse analüüsile ja valimi näitajatele. Silikaltsiidi ja kergbetooni seinte soojusjuhtivus tuli välja keskmiselt  $0,83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , seinapaksuseks valiti tüüpiline paksus 300 mm. Raudbetoonist suurpaneelide välisseinte paksuseks valiti 275 mm, kusjuures enne 1980. aastat ehitatud hoonetel arvestati soojusjuhtivuseks  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja hiljem ehitatud hoonetel  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Telliskorterelamud jagunesid välisseina näitajate alusel nelja gruppi. Enne 1960. aastat ehitatud hoonete välisseinad eeldati vastavalt kirjandusele ja valimi hoonete väärtustele massiivseteks seinteks paksusega 510-640 mm. Soojusjuhtivuseks arvatati keskmine väärtus  $1,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja seinapaksuseks 570 mm. Pärast 1960. aastat ehitatud hoonete kõige levinum välisseina tüüp oli 430 mm soojustusega massiivsein, mille soojusjuhtivus oli  $1,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Kortерelamute puhul, millel on rohkem kui kuus korrust, arvestati sama seina paksusega, kuid paksema sisemise kandekihiga ( $B=560 \text{ mm}$ ,  $U=1,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ). Ruumide kõrguseid võrreldi kirjanduses esitatud suurustega, ja valimi hoonete tüüpilised ruumide kõrgused vastasid kirjanduse andmetele. Seega määrati enne 1960. aastat ehitatud tehiskivi korterelamutes ruumide kõrguseks 3,2 m ning ülejäänud tüüpide puhul 2,5 m [16].

Otsustuspuus toimub jagunemine välisseina tüübi, kasutuselevõtu aasta ning korruste arvu järgi. Otsustuspuud on kasutatud EHR andmete põhjal hoone ühte või teise tüüpi määramiseks. Korterelamuid võib liigitada erinevate koodide järgi, millele vastavad omad omadused [16]. Visuaalselt otsustuspuu on toodud Joonis 1.3.



**Joonis 1.3** Välisseina liigi määramisele järgnevad tüübi tuletamise sammud [16].

Samas uurimistöös koostatud otsustuspuu hoone kategooriad on praegusel hetkel teise numbrdusega. Tuletatud hoone tüpologia sisu on sama, kuid kasutatud koodid on erinevad kodeerimise ühtlustamise põhjusel. Nagu näiteks enne oli silikaltsiit ja kergbetooni koodid A211 ja A212 vastavalt kasutuselevõtu aastale, kuid praegu on A213 ja A214, kus A213 võrdub A211 ja A214 võrdub A212 [16].

Küte ja ventilatsiooni projekteerimiseks täpsustatakse selles peatükis korterelamute lähteandmeid. Põhinäitajad raudbetoon suurpaneel korterelamu kohta on esitatud Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Raudbetoon suurpaneeli korterelamu põhinäitajad [16]

| Tüpoloogia välisseina liik                      |                                     | Raudbetoon suurpaneel |           |           |
|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| Trepikodade arv                                 |                                     | 2+                    |           |           |
| Korruste vahemik                                |                                     | 2-5                   |           | 6-9       |
| Ajastu  |                                     | 1946-1970             | 1971-1995 | 1971-1995 |
| Hoone kategooria kood                           | -                                   | B213                  | B214      | B224      |
| Hooneosade arv trepikojas korruse kohta         | -                                   | 3                     | 3         | 4         |
| Ruumide arv vannitoata trepikojas korruse kohta | -                                   | 10                    | 9         | 13        |
| Trepikoja köetav pindala korruse kohta          | m <sup>2</sup>                      | 155.2                 | 163.3     | 233.3     |
| Tüüpne ruumi kõrgus                             | m                                   | 2.5                   | 2.5       | 2.5       |
| Hoone keskmine laius                            | m                                   | 12.5                  | 12.6      | 13.1      |
| Välisseina soojuslähivus                        | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 1.10                  | 1.00      | 1.00      |
| Katuslae soojuslähivus                          | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 1.10                  | 0.90      | 0.90      |
| Pinnasel põranda soojuslähivus                  | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 0.70                  | 0.70      | 0.70      |
| Kütmata keldri VL soojuslähivus                 | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 0.70                  | 0.70      | 0.70      |
| Keldriseina U                                   | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 1.10                  | 1.00      | 1.00      |
| Akende soojuslähivus                            | W/(m <sup>2</sup> ·K)               | 2.90                  | 2.90      | 2.90      |
| Õhulekke arv                                    | m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> ) | 6.1                   | 3.2       | 3.2       |
| Välisseina tüüpne paksus                        | m                                   | 0.250                 | 0.250     | 0.300     |
| Katuslae tüüpne paksus                          | m                                   | 0.4                   | 0.5       | 0.5       |
| Külma pööninguga lae tüüpne paksus              | m                                   | 0.35                  | 0.35      | 0.35      |
| Keldriseina tüüpne paksus                       | m                                   | 0.25                  | 0.25      | 0.30      |
| Vahelaie tüüpne paksus                          | m                                   | 0.2                   | 0.2       | 0.2       |
| Ukse tüüpne laius                               | m                                   | 1.8                   | 1.8       | 1.8       |
| Ukse tüüpne kõrgus                              | m                                   | 2.2                   | 2.2       | 2.2       |
| Akna tüüpne kõrgus                              | m                                   | 1.5                   | 1.5       | 1.5       |
| Akna tüüpne laius                               | m                                   | 1.6                   | 1.6       | 1.6       |
| Trepikoja akna tüüpne kõrgus                    | m                                   | 0.8                   | 0.8       | 0.8       |
| Trepikoja akna tüüpne laius                     | m                                   | 2.1                   | 2.1       | 2.1       |
| Keskmine KEK                                    | kWh/(m <sup>2</sup> ·a)             | 195.7                 | 210.5     | 182.4     |
| Keskmine Soojus                                 | kWh/(m <sup>2</sup> ·a)             | 134.4                 | 147.7     | 131.3     |
| Keskmine Elekter                                | kWh/(m <sup>2</sup> ·a)             | 32.6                  | 34.9      | 27.5      |



### 1.3 Küte olulisus ning küttesüsteemid vana Eesti kortermajades

Eesti korterelamud, mis ehitati vahemikus 1955-1990 köetakse enamasti kaugküttega ja 1-toru radiaatorküttesüsteemidega [15]. Tüüpiline renoveerimata korterelamu Nõukogude ajast, millele on viimastel aastakümnetel tehtud mõningaid renoveerimistöid (enamuse korteriaknad on välja vahetatud, torud keldris on soojustatud jne), omab aastast energiatarbimist vahemikus 150 kuni 200 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Mõnel juhul võib tarbimine olla isegi kõrgem. Lisades elektri valgustuseks ja majapidamistarvete kasutamiseks ning gaasi toiduvalmistamiseks, võib koguenergiatarbimine ulatuda 180 kuni 250 kWh/(m<sup>2</sup>·a) või isegi rohkem [30].

Tavaliselt ei ole radiaatorid varustatud termostaatventiilidega, seega ei olnud võimalik ruumi temperatuuri individuaalselt reguleerida. Hoone kütte temperatuuri kontrolliti kogu hoones sõltuvalt välisõhu temperatuurist soojussõlmedes [15]. Visuaalselt tüüpiline malmradiaator on toodud Joonis 1.4. Küttesüsteemide tasakaalustamine koos radiaatoritele paigaldatud termostaatidega, on vajalik, et tagada elanikele tervislik keskkond [17].



**Joonis 1.4** Malmradiaator ilma termostaatventiilita [33].

## 1.4 Hoonete sisekliima olulisus

Ruumide sisekliima mõjutab otse inimeste tervist ja töövõimet, seega on äärmiselt oluline tagada töökohtadel ja eluruumides tervislik ning mugav sisekliima. Sisekliima parameetrite hulka kuuluvad õhu temperatuur, operatiivne temperatuur, suhteline niiskus, õhu liikumiskiirus, õhu puhtus, müra, valgustatus jne. Sisekliima hindamise meetodika jaguneb neljaks klassiks: I - parim, II - hea, III – rahuldav, IV – puudulik [33]. Visuaalselt sisekliima klaaside parameetrid on toodud Tabel 1.2.

Eesti korterelamutes, mis olid võetud kasutusele ajavahemikul 1990-2010 on kütteperioodil keskmine siseõhu temperatuur +23 °C (hälve 1,8 °C), mis viitas ruumide üle kütmisele. Erinevate korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +19,8 °C kuni +27,8 °C. Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 31% (hälve 10%) (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 20% kuni 52%) [25]. 61% korteritest (5% piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud madalaimale sisekliimaklassi III piirsuurusele, eriti talvise ruumide üle kütmise tõttu. Sisetemperatuuride piirsuurustele mittevastavate kraadtundide analüüs näitas, et korterelamutes esineb probleeme liiga kõrgete temperatuuridega kütteperioodil [25].

**Tabel 1.2** Sisekliima klassid [33,34].

| Sisekliima klass | Kirjeldus   | Temperatuur, [°C]                      | Suhteline õhuniiskus               |
|------------------|---|--|------------------------------------|
| I – Parim        | Nõutav kõrge sisekliima kvaliteet. Eriti soovitatav ruumides, kus viibivad väga tundlikud või nõrga tervisega inimesed. | 21-23                                  | 30% - 50%                          |
| II – Hea         | Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile, mis peaksid kehtima uutes ja renoveeritavates hoonetes.                  | 20-24                                  | 25% - 60%                          |
| III – Rahuldav   | Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile, sobivad rakendamiseks olemasolevates hoonetes.                              | 19-25                                  | 20% - 70%                          |
| IV – Puudulik    | Ei sobi pidevalt kasutatavaks töö-, õppe- või eluruumiks.   | Väiksem kui 19 °C või suurem kui 25 °C | Väiksem kui 20% või suurem kui 70% |

### 1.4.1 Erinevad kütteallikad

Kaugkütte olulisust energiasektori tuleviku süsinikuneutraalsuse saavutamisel ei saa eirata, ning seda on laialdaselt arutatud mitmetes uuringutes, nagu näiteks Lund jt (2016) ja Sneum jt (2018) [26, 27, 28]. Kaugkütte omab suurimat potentsiaali tihedalt asustatud linnapiirkondades, kus see võib säästa hoonetes ruumi väärtuslikumaks kasutamiseks, kõrvaldada õhusaastet arvukatest kohalikest kateldest ning pakkuda võimalust ära kasutada jääsoojust, olmejäätmete põletamist, taastuenergiat ja koostootmist [30].

Enamik Eesti kaugküttesüsteeme on rajatud koos korterelamute ehitamisega. Eestis on rohkem kui 300 kaugküttesüsteemi. Enamus hoonestusest on ehitatud aastatel 1960-1990. Nõukogude ajal oli kaugküttesüsteemide ja uute korterite arendamine suunatud kvantiteedile, mitte kvaliteedile, seega energiatõhususele ei pööratud tähelepanu. Soojust ei mõõdetud, seda arvestati ainult elupinna järgi. Soojuse mõõtmiseks mõeldud arvestid hakkasid ilmuma alles 1990. aastate alguses, tekitades segadust, sest mõõdetud tarbimine oli palju väiksem kui soojuse tarbimise normid ette nägid [30].

Soojuspumpade integreerimist lokaalsete küttesüsteemidesse kaalutakse kui üht meetodit taastuenergiat põhineva elektri tarbimise suurendamiseks [31]. Tehnoloogilise arengu tõttu on lokaalsete küttesüsteemide, näiteks soojuspumpade hinnad langenud, mis on suurendanud erinevate küttesüsteemide vahelist konkurentsi. Uuringud on näidanud, et soojuspump süsteemid pakuvad märkimisväärsed kulusääste võrreldes traditsiooniliste kaugkütte süsteemidega erinevates hoonetes, nagu näiteks korterelamutes [27].

Soojusallikaks tuleks kasutada seadmeid, mis tagavad küttesüsteemis vee ringluse, hüdrostaatilise rõhu kontrolli, ülerõhu kaitse ning küttevete tsentraalse temperatuuri reguleerimise [36]. Torustikud, nendel paiknevad armatuurid ja seadmed küttesüsteemis tuleb isoleerida vastavalt ümbritseva keskkonna ja neis voolava soojuskandja temperatuuri erinevustele [36].

## 1.4.2 Vajalikud parameetrid kütte projekteerimiseks

Hoones püsiva siseõhu temperatuuri säilitamiseks on vajalik soojuse juurdevool, eriti madalate välisõhu temperatuuride korral. Soojuse juurdevool peab olema suurem, mida madalam on välisõhu temperatuur [37]. Sellest tulenevalt räägitakse soojuskadudest, mille suurus sõltub peamiselt hoone suuruselt, kasutatud ehitusmaterjalide soojustehnilistest omadustest, hoone geograafilisest asukohast ja arhitektuurist [35]. Üldiselt saab soojuskadusid jagada kaheks põhikategooriaks:

- 1) Soojuskaod läbi piirdetarindite;
- 2) Soojuskaod seotud välisõhu soojendamise ja ehk ventilatsiooni koos infiltratsiooniga [37].

Kõetava ruumi (i) arvutuslik küttekooormus (soojuskaod) määratakse valemiga 1.1 või 1.1a.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{\ddot{u}k,i}, W \quad (1.1)$$

$$\Phi_i = (H_{T,ie} + H_{T,iu} + H_{T,ip\ddot{o}r} + H_{T,ij} + H_{V,i}) \cdot (t_{\ddot{o}.arv,i} - t_{v\ddot{o}.arv}) + \Phi_{\ddot{u}k,i}, W \quad (1.1a)$$

- kus  $\Phi_{T,i}$  – kõetava ruumi (i) arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite W  
 $\Phi_{V,i}$  – kõetava ruumi (i) ventilatsiooni arvutuslik soojuskadu W  
 $\Phi_{\ddot{u}k,i}$  – vajalik üleskütmise võimsus perioodilise kütmise kompenseerimiseks W  
 $H_{T,ie}$  – kõetava ruumi (i) soojuserikadu läbi välispiirdetarindite W/K  
 $H_{T,iu}$  – kõetava ruumi (i) soojuserikadu läbi kütmata ruumide W/K  
 $H_{T,ip\ddot{o}r}$  – põranda soojuserikadu W/K  
 $H_{T,ij}$  – soojuserikadud madalama temperatuuriga naaberruumidesse W/K  
 $H_{V,i}$  – kõetava ruumi (i) ventilatsiooni arvutuslik soojuserikadu W/K  
 $t_{\ddot{o}.arv,i}$  – arvutuslik siseõhu temperatuur kõetavas ruumis (i)  
 $t_{v\ddot{o}.arv}$  – arvutuslik välisõhu temperatuur °C.

Ühtlase kütterežiimi korral  $\Phi_{\ddot{u}k,i} = 0$ .

Kõetava ruumi (i) arvutuslik soojuskadu läbi piirdetarindite määratakse valemiga 1.2.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iu} + H_{T,ip\ddot{o}r} + H_{T,ij}) \cdot (t_{\ddot{o}.arv,i} - t_{v\ddot{o}.arv}) W \quad (1.2)$$

Küttesüsteem tuleb projekteerida nii, et see rahuldaks hoone projekteeritud soojuskooormust ning vastaks kõikidele lisatud süsteemide nõuetele [35]. Vesi kaugkütte korral reguleeritakse küttesüsteemi soojusväljundit peamiselt kvalitatiivselt, muutes soojuskandja temperatuuri vastavalt etteantud küttegraafikule. Soojusväljundi järel

reguleerimine toimub ruumide kaupa kvantitatiivselt, kasutades termostaat- või termoelektrilisi ventiile küttekehade ees [36].

Küttesüsteemid valitakse vastavalt hoone, ruumi, soojusallika ja kasutuskorra eripäradele arvestades järgmised aspektid:

- 1) olemasoleva soojusallikat kasutamine;
- 2) ruumide mõõtmeid (pindala, kõrgust);
- 3) kasutusrežiimi;
- 4) klaasipindade osakaalu;
- 5) arhitekturseid ja sisekujunduslike eripärasid;
- 6) tellija soove [36].

Küttekehade valik peaks põhinema küttekeha tootja tehnilistel andmetel, tagades nii soojuskadude täieliku kompenseerimise ja vajaliku siseõhu temperatuuri saavutamise. Kui võimalik, peaks küttekehade valik tagama ühetüübilised küttekehad hoone ulatuses, samuti ühesuurused või ühekõrgused küttekehade ruumides [36].

## **1.5 Ventilatsioon olulisus**

Kuigi ventilatsioon mängib kriitilist rolli siseõhu kvaliteedi kontrollimisel (IAQ), on vaja rohkem rõhku panna ventilatsiooni jõudlusele eluhoonetes [12]. Eriti suureneva soojapidavuse ja õhupidavuse tõttu renoveerimiste tulemusel on oluline pöörata erilist tähelepanu sobiva siseõhu kvaliteedi säilitamisele (IAQ) ja elanike terviseprobleemide vältimisele. Enamikul (59%) Euroopa eluhoonetest puuduvad spetsiaalsed mehhaanilised ventilatsioonisüsteemid, samal ajal kui umbes 24% kasutab loomuliku ventilatsioonisüsteemi, 16% on varustatud väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiga ja ainult 0,3% omab soojustagastusega süsteemi [13].

Olulise tähtsusega, olenemata hoone energiastandardist, on ventilatsioon. See on oluline, kuna ventilatsioon toimib pidevalt või vähemalt siis, kui hoones viibivad inimesed, tuues värske õhu antud ruumi ja eemaldades saastunud õhu hügieeni ja sanitaarsetel põhjustel. Kütpperioodil on õhutemperatuur hoonesse sisse puhutaval välisõhul madalam kui siseõhul [7].

Soojuskadude vähendamiseks kasutatakse ventilatsioonisüsteeme koos soojusvahetusega, tavaliselt risti- või vastuvoolu soojusvahetiga või rootor soojusvahetitega [14].

### **1.5.1 Ventilatsiooni süsteemid vana kortermajades Põhja- ja Ida-Euroopas**

Vanade korterelamute ventilatsioonisüsteemid naaberriikides, nagu Läti, Leedu, Poola, Slovakkia ja teistes Ida-Euroopa riikides on üsna sarnase tehnilise lahendusega, mida kasutatakse Eestis. Suurim sarnasus esineb eelkõige vanade korterelamute vahel, mis on ehitatud enne 1990. aastat endistes Nõukogude Liidu riikides, näiteks Lätis, Leedus, Poolas, Slovakkias ja teistes Ida-Euroopa riikides [15]. Kõigis nendes piirkondades asuvates riikides kasutatakse vanades korterelamutes loomuliku ventilatsiooni [19]. Sarnaseid projekteerimise parameetreid kasutati nende riikide loomuliku ventilatsiooni projekteerimise protsessis. Näiteks kasutati sama välisõhu temperatuuri (+5 °C) loomuliku ventilatsiooni projekteerimiseks ja ka sarnaseid tehnilisi lahendusi loomuliku ventilatsioonisüsteemi ehitamisel nagu vanades Eesti korterelamutes [20].

Poolas on korterelamute korterites ventilatsioonisüsteemi lõõride jaotus sarnane Eesti lahendustega (väljatõmbeavad vannitoas, köögis ja eraldi tualettruumides) [21]. On võimalik teha järeldus, et vanade korterelamute loomulikel ventilatsioonisüsteemidel Ida-Euroopas on sarnased tehnilised omadused. Samal ajal on Soomes, Norras, Taanis ja Rootsis enamus vanadest korterelamutest varustatud mehhaanilise väljatõmbe ventilatsioonisüsteemidega [22]. See tähendab, et nendes riikides kasutatavad renoveerimislahendused ei ole otse üle kantavad Eesti tingimustesse. On leitud, et näiteks Taanis on mõned vanad korterelamud varustatud loomuliku ventilatsioonisüsteemidega [23].

### **1.5.2 Ventilatsiooni süsteemid vana Eesti kortermajades**

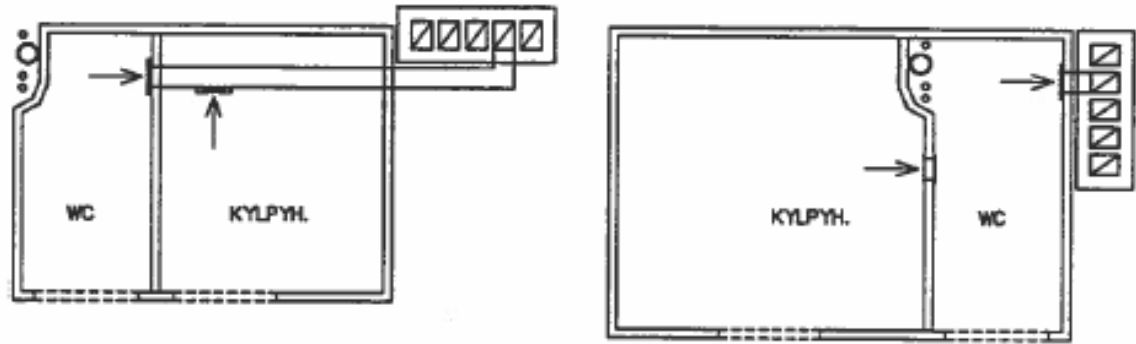
Eestis enne 1991. aastat ehitatud kortermajades oli kasutusel loomuliku ventilatsioonisüsteem. Loomuliku ventilatsioonisüsteem toimib sisse- ja välisõhu rõhuvahe tõttu. Sisse- ja välisõhu rõhuvahe on tingitud õhutiheduse erinevusest, tuulekiirusest ja kanalite kõrgusest. Loomuliku ventilatsioonisüsteemi õhuvõtt oli kavandatud läbi lekkivate akende ja seinte kaudu. Aknad kinnitati seina külge puksidega, mis tähendas, et selline kinnitusviis ei olnud samuti väga õhukindel. Värsket õhku lasti loomuliku ventilatsioonisüsteemi sisse mõnikord ka kortermajades kasutatavate spetsiaalsete õhuavadega. Vanade Eesti kortermajade loomuliku ventilatsioonisüsteemi projekteerimisel kasutati välisõhu projekteeritud temperatuurina +5 °C. Kui välisõhu temperatuur on kõrgem kui +5 °C ja tuulekiirus on madal, siis korteritest väljatõmbe õhuvooluhulk on madalam kui projekteeritud. Kuna sisse- ja välisõhu temperatuuri erinevus ning tuulekiirus ei ole pidevad, ei suuda loomulik

ventilatsioonisüsteem tagada korterites stabiilset õhuvoolu aasta läbi [15]. Loomuliku ventilatsiooni lahendused läbi resti või akna avamise abil on toodud Joonis 1.5.



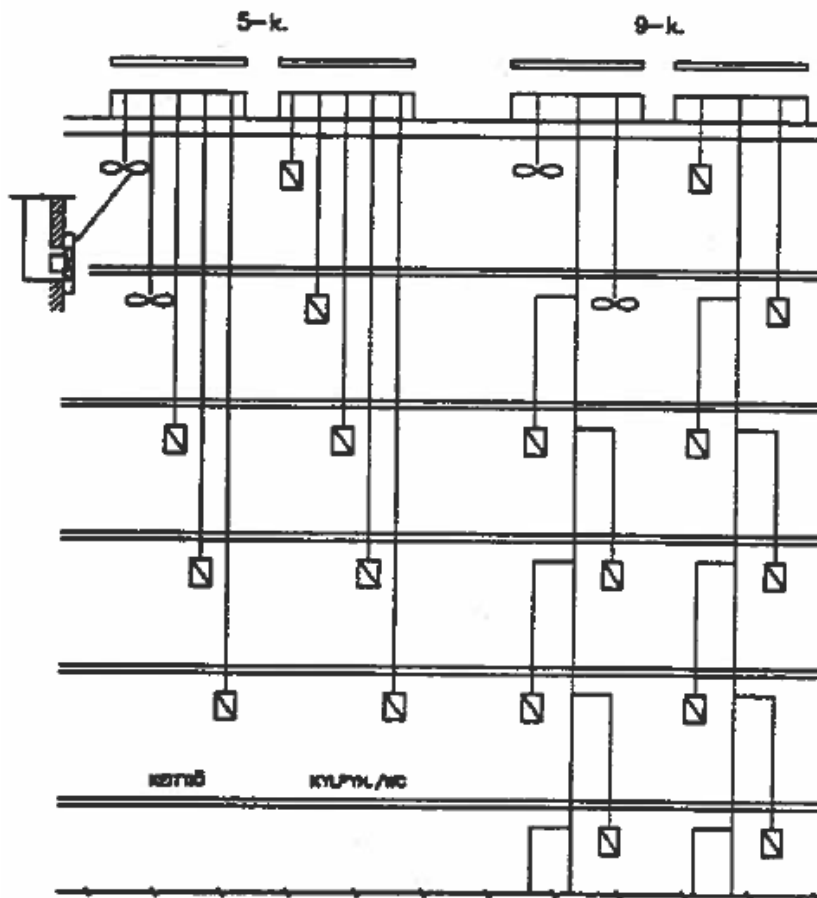
**Joonis 1.5** Loomulik ventilatsioon [33].

WC- ja vannitubade väljatõmbeavade loomuliku ventilatsioonisüsteemi kanalite ühendamiseks on kaks kõige levinumat projekteerimislahendust [15]. Ventilatsiooni projekteerimislahendus näeb ette, et väljatõmbeavad paigaldatakse köökidesse, vannitubadesse või tualettruumidesse. Tavaline lahendus tualettruumide ja vannitubade jaoks on ühine väljatõmbeava mõlemale ruumile ning seinte vahel asuv väljatõmberest. Kui ventilatsioonilõõr asub lähedal tualettruumile, paigaldatakse väljatõmbeava tualettruumi seinale ning väljatõmberest vannitoa seinale. Kuid kui vannituba asub lähedal ventilatsioonilõõrile, on nii tualettruumis kui ka vannitoas eraldi väljatõmbeavad [15]. Ventilatsiooni kanalite peamised ühendusskeemid väljatõmbevõredega korterelamutes. Vasakul on tavaline lahendus ning paremal on lahendus, kui ventilatsioonilõõr asub tualettruumi lähedal s on toodud Joonis 1.6.



**Joonis 1.6** Loomuliku ventilatsiooni ühendusskemid [15].

Kuni 6-korruselistes kortermajades on igal korteril eraldi ventilatsiooniavad, kuid kui 7 või enam korrust kortermajades on tavaliselt ülemistel kahel korrusel eraldi ventilatsiooniavad ning alumised korrused on ühendatud peamise šahtiga, mis on ette nähtud loomuliku ventilatsiooni tagamiseks [15]. Joonisel 1.7 on näha loomuliku ventilatsioonisüsteemi põhiskeemid 5-korruselise telliskivikorterelamu jaoks (vasakul) ja 9-korruseline hoone (paremal).



**Joonis 1.7** Loomuliku ventilatsioonisüsteemi põhiskeemid [15].



Uuritud vanade kortermajade ventilatsioonisüsteemide tehniline kontroll näitab, et loomuliku ventilatsioonisüsteemid on halvas seisukorras. Peamised probleemid on seotud õhuvõtuavade ja väljatõmbe seadmete ebapiisava paigalduskvaliteediga ning kompensatsiooniõhuvoo puudumisega õhulekete tõttu hoone konstruktsioonis [15].

### **1.5.3 Vajalikud parameetrid ventilatsiooni projekteerimiseks Eesti tingimustes**

Mitu läbi viidud uuringuid vanades Eesti kortermajades ventilatsioonisüsteemi jõudluse kohta näitavad, et keskmine siseõhu süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) tase kasutusajal on 1225 ppm, mis tähendab, et õhuvahetuse määr on liiga madal, et tagada hea siseõhu kvaliteet [16].

Eesti rakendab ühte vähestest ja valideeritud sügava renoveerimise toetuskeemidest – KredExi kortermajade renoveerimistoetuste skeemi. See praktika näitab, et suuremahuline sügav renoveerimine hea energiatõhususe ja sisekliima saavutamiseks on võimalik ning toetused võivad olla eelarve neutraalsed [15].

KredEx nõuetes on kirjas, mida tegevused peavad olema tehtud toetuse saamiseks ja üks punktidest on soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi ehitamine või ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine, ventilatsioonisüsteemi mõõdistamise protokoll koostamine ning sellega kaasnevad tööd [24].

Vastavalt Eesti Vabariigi Valitsuse määrusele nr 38 peab eluruumis olema loomulik või mehhaaniline ventilatsioon, mis tagab vajaliku õhuvahetuse inimtegevuse jaoks. Vastavalt standarditele EVS-EN 15251:2007 ja EVS-EN 16798-1:2019 õhukiirus eluruumides, ruumi maht inimese kohta ega kahjulike ainete sisaldus siseõhus ei tohi ületada lubatud väärtusi [15]. Projekteerimise tulemuseks peab mehhaaniline sissepuhke väljatõmbe ventilatsioonisüsteem soojustagastusega, mis teenindab kõik ruumid igas korteris [24].

Ventilatsiooni projekteerimisel KredEx toetuse saamiseks tuleb arvestada nõuetega, mis on toodud eraldi KredEx nõuetes. Iga korteri magamistoas või eluruumis peab olema sissepuhke õhuvooluhulk vähemalt 10 l/s sõltumatu ruumide arvust. Müratase nendes ruumides ei tohi ületada 25 dB(A). Korteri vannitoad, tualettruumid ja köögid peavad olema varustatud mehhaanilise väljatõmbega, millel on oma nõuded sõltuvalt tubade arvust korteris [24]. Vana korterelamute õhuvooluhulkade määramiseks on vajalikud parameetrid on toodud Tabel 1.3.

**Tabel 1.3** Õhuvooluhulkade projekteerimise tabel.

| Tubade arv  | Vooluhulk vannitoas (l/s) | Vooluhulk WCs (l/s) | Vooluhulk köögis (l/s) | Kokku |
|-------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-------|
| 1           | 5                         | 5                   | 6                      | 16    |
| 2           | 8                         | 7                   | 8                      | 23    |
| 3 ja rohkem | 15                        | 10                  | 8                      | 33    |

Vastavalt standardile EVS-EN 16798-3:2019 [40] peab seadme sissepuhke olema varustatud ePM1 60% (F7) filtritega ning väljatõmbe ePM10 60% (M5) filtritega [13]. Ventilatsiooniseadmed peavad olema varustatud vee või etüleenglükooli põhjal järelküttekalorifeeridega, kuna elektrilised eelküttekalorifeerid ei vasta nõuetele [24].

Standardi EVS 906:2018 kohaselt peab välisõhuhaare ehk õhuvõtu rest asuma vähemalt 8 meetri kaugusel kanalisatsiooni tuulutussavade, korstnamütside ja muude saasteallikate läheduses. Õhuvõtuavad ei tohiks paikneda elava liiklusega tänava poolel ning õhuvõtuava kõrgus katuse pinnast peab olema tagatud. Ava alumine serv peab asuma vähemalt 0,7 meetri kõrgusel võimalikest lumekottidest. Õhuvõtuava suurus planeerides tuleb arvestada õhuvoolukiirust restis. Et vältida mistahes vett (lume, vihma, udu) või tolmu, sealhulgas puulehtede süsteemi sattumist, võib maksimaalne õhuvoolu kiirus olla 2,0 m/s, kuid soovituslik on 1,5 m/s [43].

Ventilatsiooni seadme heitõhu suunamine väliskeskkonda peab olema teostatud läbi hoone seinte asuvates avadest või katuse kaudu. Heitõhu ava kaugus õhuvõtu avast on vähemalt 2 m. Juhul kui avad on üks teise peal, siis peaks projekteerima õhuvõtuava allpool heitõhu ava. Heitõhu ava kõrgus katuse pinnast peab olema minimaalselt 0,7 m. Valides heitõhu resti on vaja jälgida õhuvoolu kiirust restis, mis peab olema pideval 2 m/s või rohkem [43]. Korterite lõppelemendid tuleb valida, lähtudes eestkätt ventilatsiooni efektiivse toimimise nõuetest ja optimaalse aerodünaamilise takistusega.

## **1.6 Tüüpsed kütte ja ventilatsiooni lahendused Eestis**

Renoveerimise käigus saab ventilatsioonisüsteeme liigitada vastavalt paigaldustööde ulatusele korterite sees. Enamus renoveerimisprojekte korraldatakse nii, et hoone elanikud saavad oma kodus edasi elada. Seetõttu eelistatakse ventilatsioonilahendusi, mis saab paigaldada hoone väljas. Vana ventilatsioonisüsteemide renoveerimine on loomulik osa renoveerimisprotsessist ning külmas kliimavööndis soojuse taaskasutuse kasutamine on ainus lahendus, mis võimaldab saavutada Euroopa Liidu energiasäästu eesmärgid [15]. Renoveerimise käigus saab ventilatsioonisüsteeme liigitada vastavalt

korterites vajalikele paigaldustöödele. Enamus renoveerimisprojekte korraldatakse nii, et hoone elanikud saavad jätkata oma kodudes elamist või töötamist [13].

Külmas kliimas kasutatakse kõige sagedamini järgmisi ventilatsiooni renoveerimismeetmeid: tsentraalne tasakaalustatud ventilatsioon koos ventilatsiooni soojustagastusega ning mehaaniline väljatõmbeventilatsioon koos väljatõmbeõhu soojuspumba soojuse tagastusega [15].

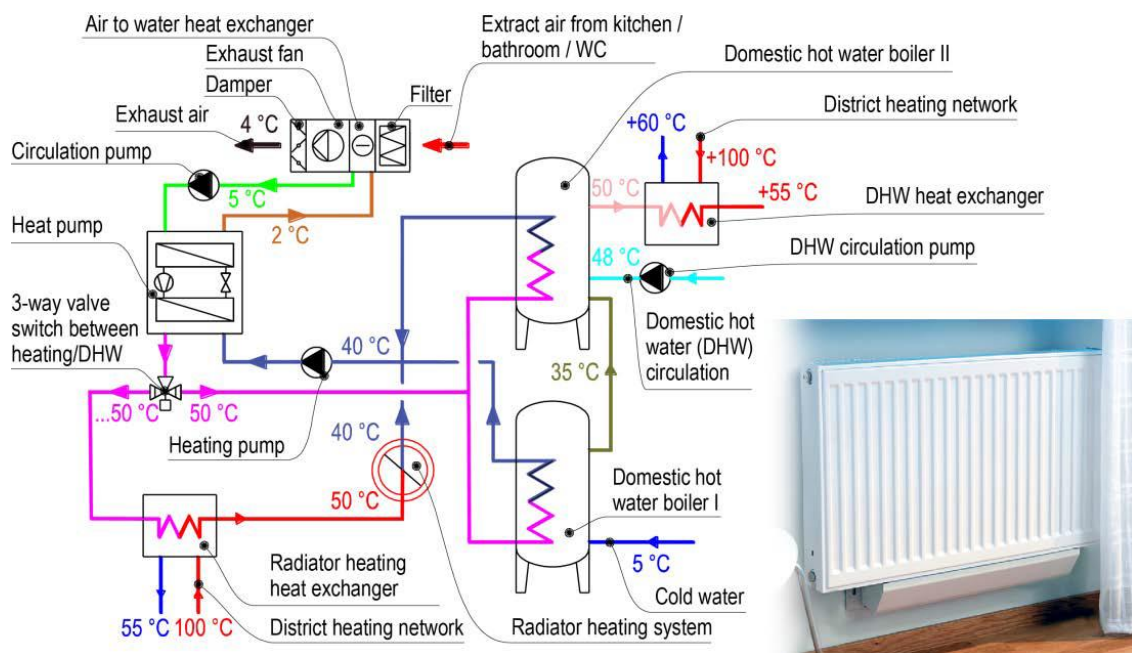
### 1.6.1 Võimalikud kütte tüüpsed lahendused

Mehaanilise väljatõmbe ventilatsioonisüsteemis väljatõmbe soojuspumbaga kasutatakse õhuvõtuks ventilatsiooniradiaatorit, mis sarnaneb tavalise radiaatoriga, kuid sisaldab õhuvõttu osa koos filtriga (tavaliselt ISO ePM1 60% (F7) efektiivsusega). See soojendab õhuvõtu õhk praktiliselt toatemperatuurini. Ventilatsiooniradiaatorid ei ole külmumisele tundlikud, isegi kui termostaatventiilid on suletud, vastavalt laborikatsetele ja nende laialdasele kasutuskogemusele külmades kliimatingimustes [13]. Joonis 1.8 illustreerib värse õhu radiaatori tööpõhimõtte, millel on näidatud ruumile saabuv temperatuur, kui radiaatori termostaatventiil on täiesti lahti (vasakaul) ja ruumile saabuv temperatuur, kui termostaatventiil oli suletud umbes 1,5 tundi (paremal).



**Joonis 1.8** Värse õhu plekkradiaator termostaatventiiliga [13].

Väljatõmbe soojuspumba jaoks on mitmeid võimalikke ühendusskeeme. Kui väljatõmbeõhu soojuspumba kasutatakse koos kaugküttesüsteemiga, tuleks kaugkütte tagasivoolu jahutamist maksimeerida. Kui väljatõmbeõhu soojuspumba kasutatakse koos boileritega, võib olla võimalik ühendada radiaatorkütte tagasivooluga, et töötada madalamatel temperatuuridel [13]. Joonisel 1.9 on illustreeritud skeem, mis näitab väljatõmbeõhu soojuspumba ja kaugkütte ühendusskeemi põhimõtet sojussõlmes (vasakul). Samuti on näidatud veel üks näide värskes õhus radiaatorist (paremal).



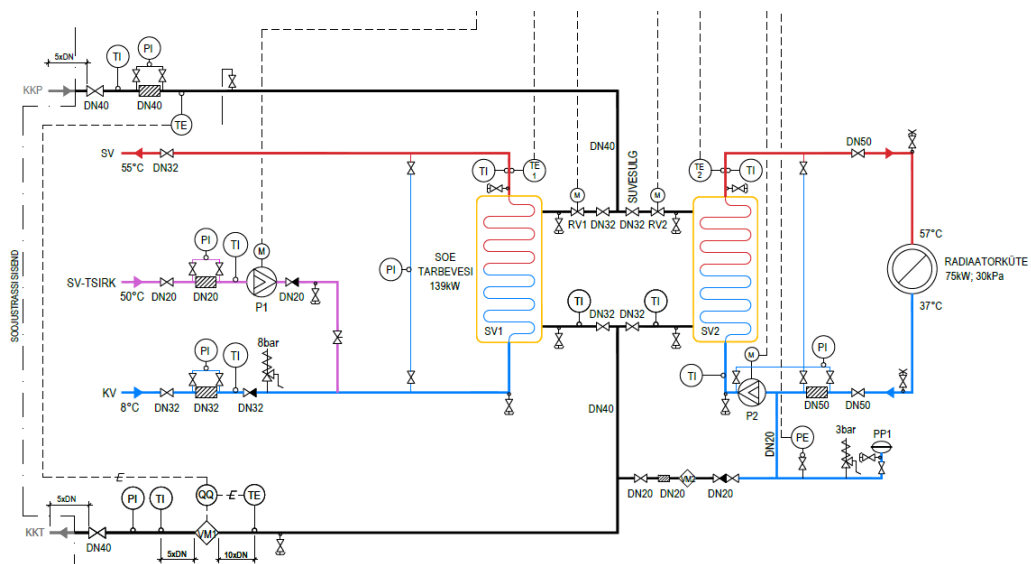
**Joonis 1.9** Väljatõmbeõhu soojuspumba ühendusskeem sojussõlmes [13].

Kui hoones on mehaaniline sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteem, siis kaasa paigaldatakse korteritesse tavalised terasplekkraadiaatorid, mis on varustatud termostaatventiilidega [24]. Visuaalselt plekkraadiaator termostaatventiiliga, mis võimaldab reguleerida ruumipõhist temperatuuri on toodud Joonis 1.10



**Joonis 1.10.** Plekkradiator termostaatventiiliga [33].

Soojusvarustuse osas olemasolev vana soojussõlm demonteeritakse. Rajatakse uus täisautomaatne sõltumatu ühendusega soojussõlm, milles võib olla mitu rühma, kas kütte, soe tarbevesi ja ventilatsioon. Tavaliselt uus soojussõlm rajatakse keldrisse olemasolevasse soojussõlmmeruumi [24]. Joonisel 1.11 on näidatud renoveeritava korterelamu kaugkütte soojussõlm, kus on kaks tarbijat, millest üks on soe tarbevesi (soojuvaheti vasakul) ja radiatorkütte süsteem (soojuvaheti paremal).



**Joonis 1.11** Kortterelamu kaugkütte soojussõlm [42].

## 1.6.2 Võimalikud ventilatsiooni tüüpsed lahendused

Vana ventilatsioonisüsteemide renoveerimine on loomulik osa renoveerimisprotsessist ning külmas kliimavööndis soojuse taaskasutuse kasutamine on ainus lahendus, mis võimaldab saavutada Euroopa Liidu energiasäästu eesmärgid [15]. Renoveerimise käigus saab ventilatsioonisüsteeme liigitada vastavalt korterites vajalikele paigaldustöödele. Enamus renoveerimisprojekte korraldatakse nii, et hoone elanikud saavad jätkata oma kodudes elamist või töötamist [13].

Külmas kliimas kasutatakse kõige sagedamini järgmisi ventilatsiooni renoveerimismeetmeid: tsentraalne tasakaalustatud ventilatsioon koos ventilatsiooni soojustagastusega ning mehaaniline väljatõmbeventilatsioon koos väljatõmbeõhu soojuspumba soojuse tagastusega [15].

Enamikus projektides määravad hoone elanike võimalikult vähem häirivad kasutatavad tehnilised lahendused [13]. Eestis KredEx-i toetuse saamiseks võib kaaluda kahte tüüpi ventilatsioonisüsteeme, mis sobivad tavalisteks renoveerimisprojektides:

- 1) Tsentraalne mehaaniline sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteem soojustagastusega;
- 2) Mehaaniline väljatõmbe ventilatsioonisüsteem väljatõmbe soojuspumbaga.

Esimene jaotis tähendab seda, et tuleb paigaldada mehaaniline soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteem, mis teenindab kõiki korterite ruume. Nendega kaasa paigaldatakse korteritesse tavalised plekkradiaatorid, mis on varustatud termostaatventiilidega [24].

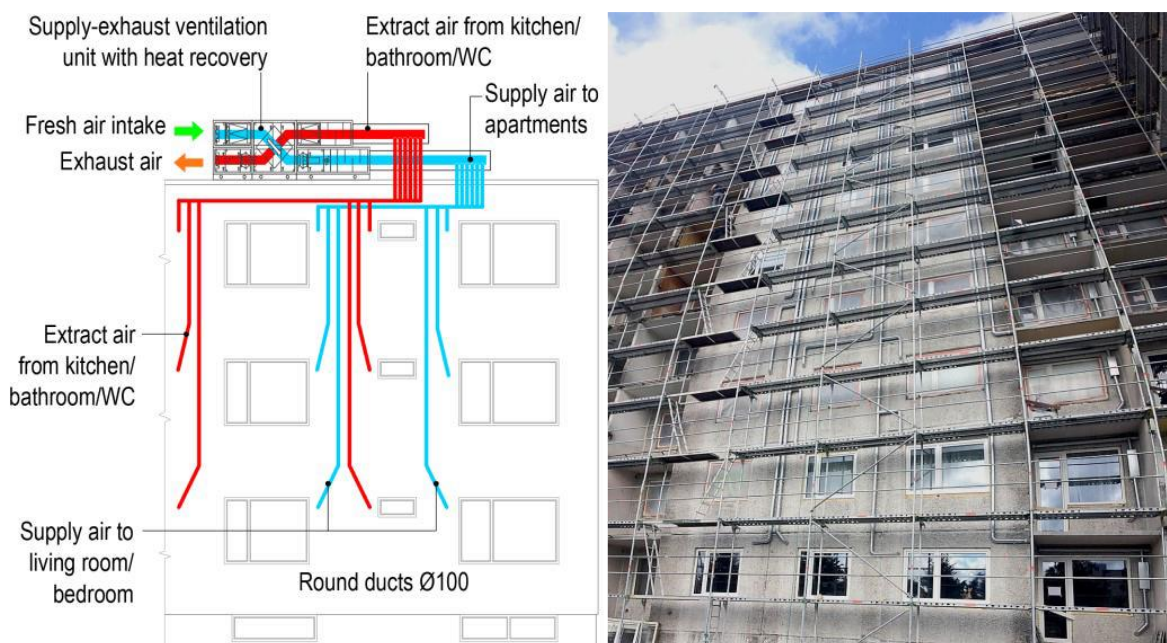
Teine jaotis käsitleb soojuspumbaga soojustagastusega väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi, mis tagab võrdväärse sisekliima ja on varustatud välisõhu eelsoojendamise ja filtreerimise seadmetega nagu värske õhu radiaatorid [24].

Täieliku renoveerimise käigus sügava renoveerimise ajal on võimalik paigaldada korteripõhiseid soojustagastusega ventilatsioonisüsteeme, mis on tavalised uute hoonete ehitustes [13]. Kuna selle süsteemi paigaldamine korterisse nõuab ruumi ja ehitustöid korteris, on seda kasutatud väga harva (~1%) [39].

## Tsentraalne mehaaniline sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteem soojustagastusega

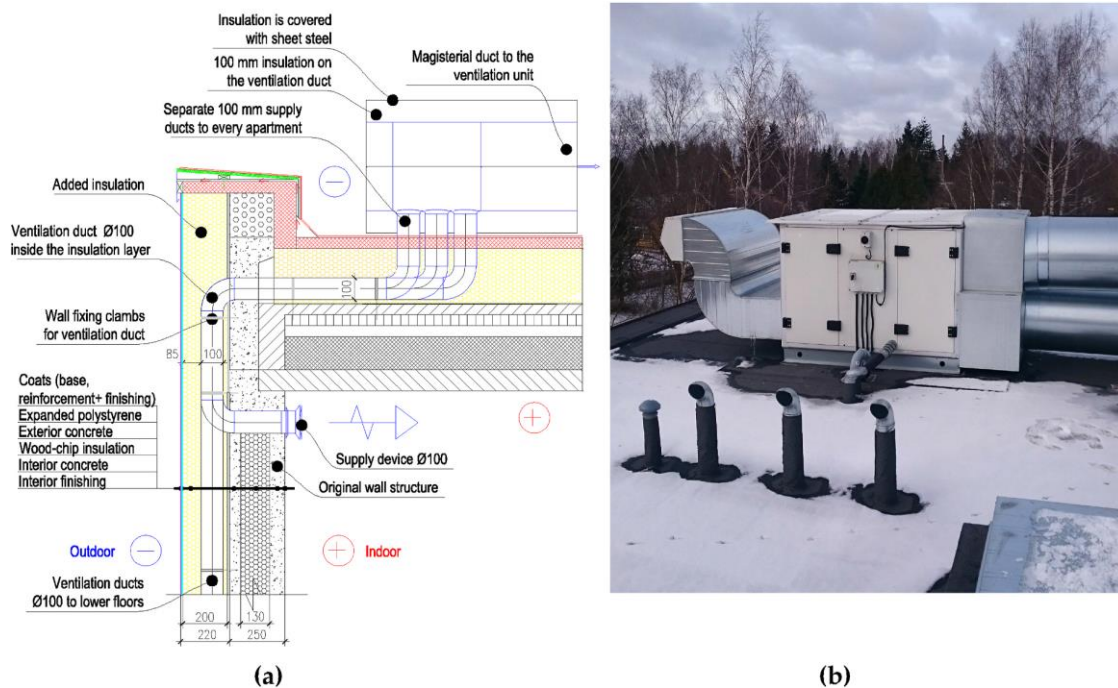
Tsentraalne tasakaalustatud ventilatsioon koos ventilatsiooni soojustagastusega sobib hoonetele, mis saavad oma fassaadile lisaks paigaldatud 150–200 mm isolatsiooni, võimaldades uue õhuvarustuskanali paigaldamist fassaadile. Külmas kliimas võib soojustagastussüsteem pakkuda suurt energiasäästu tänu efektiivsele soojustagastusele (tavaliselt  $\geq 80\%$ ) ja ventilaatorite väikesele lisatarbimisele (ventilatsiooniseadme spetsiifiline ventilaatorivõimsus (SFP):  $<1,8 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ) [13].

Ventilatsiooniseade võib paigaldada hoone katusele või pööningule [13]. Asukoht on illustreeritud Joonis 1.13. Lisaisolatsiooni sisemusse paigaldatakse lame- või ümmargused õhuvarustuskanalid. Kanalite paigaldus on visualiseeritud Joonis 1.12 ja Joonis 1.13. Vana ventilatsioonisüsteem kasutab õhu väljatõmbamiseks korteritest pärit vanu ventilatsioonikorstnaid. Kuna vanade ventilatsioonikorstnate õhutihedus on sageli madal, tuleks uued ventilatsioonikanalid alati paigaldada vanade korstnate sisse. Mõnikord paigaldatakse õhuvarustuskanalid fassaadile sarnaselt õhuvarustuskanalitega. Õhku juhitakse elutubadesse ja magamistubadesse ning väljatõmme toimub tualettides, vannitubades ja köökides [39].



**Joonis 1.12** Ventilatsiooni renoveerimis lahendused [13].

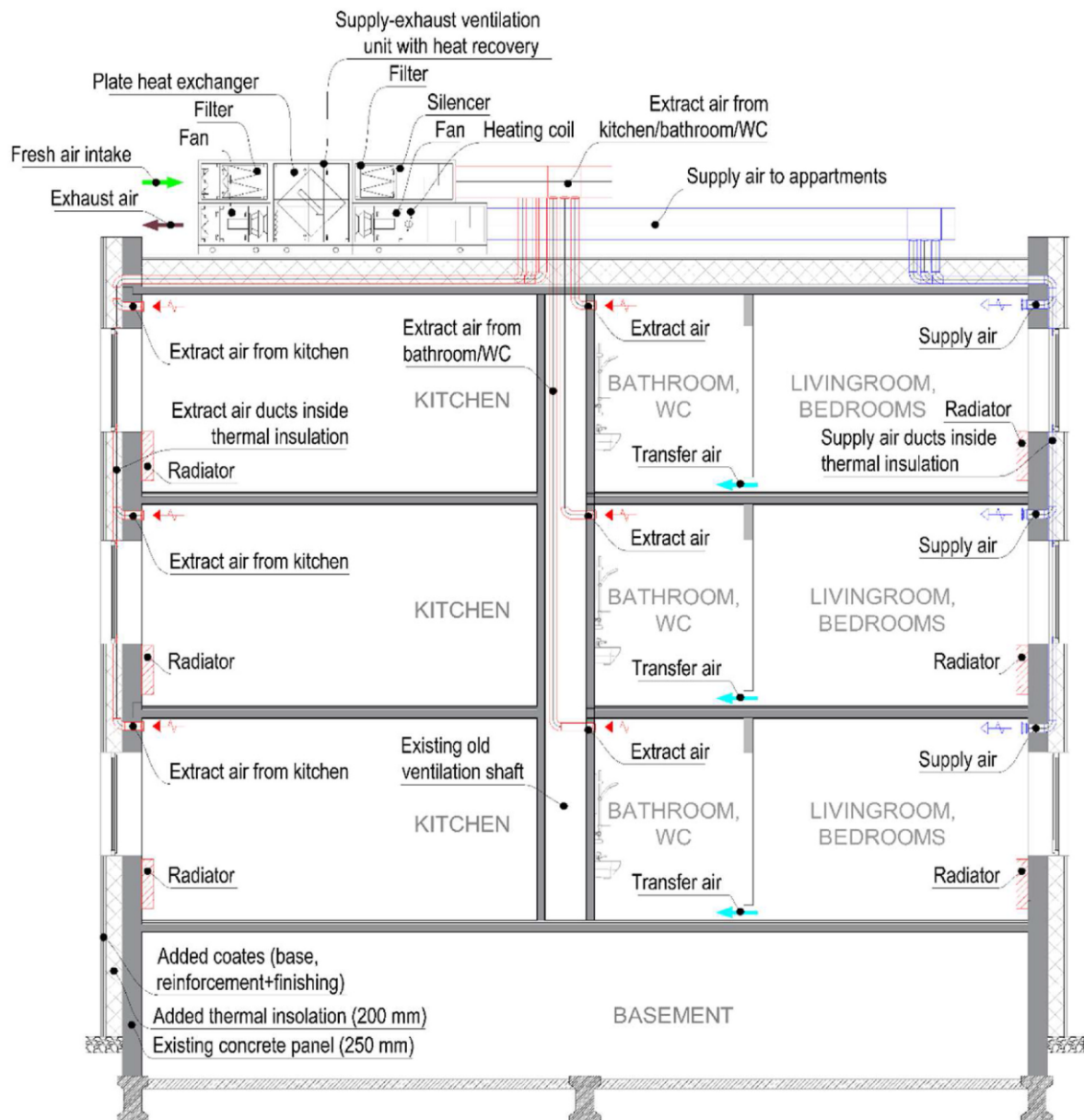




**Joonis 1.13** Ventilatsiooni toru paigaldus lõikes ja ventilatsiooni seade [39].

Ventilatsioonikanalite paigaldamine lisaisolatsioonikihi sisse aitab vältida nähtavaid kanaleid korterites. Öhuvarustusavasid paigaldati elutoa ja magamistoa välisseinale ning väljatõmbeava ventiilid asetati seinale lähedale ventilatsioonikorstnatele. Ventilatsioonitööde maht korteris on minimaalne ja ei häiri elanikke oluliselt. Katuse ventilatsioonikanalid tuleks paigaldada katuse isolatsioonikihi sisse või katta eraldi isolatsioonikihiga [39]. Kõrge soojusetagastuse tõhususe ja lõhnade leviku vältimiseks kasutatakse sageli vastuoolu plaatsoojusvahetit [13]. Detailne ventilatsiooni süsteemi soojusetagastusega töö- ja paigalduse põhimõtte on näidatud Joonis 1.14.





**Joonis 1.14** Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi tööpõhimõtte skeem [39].

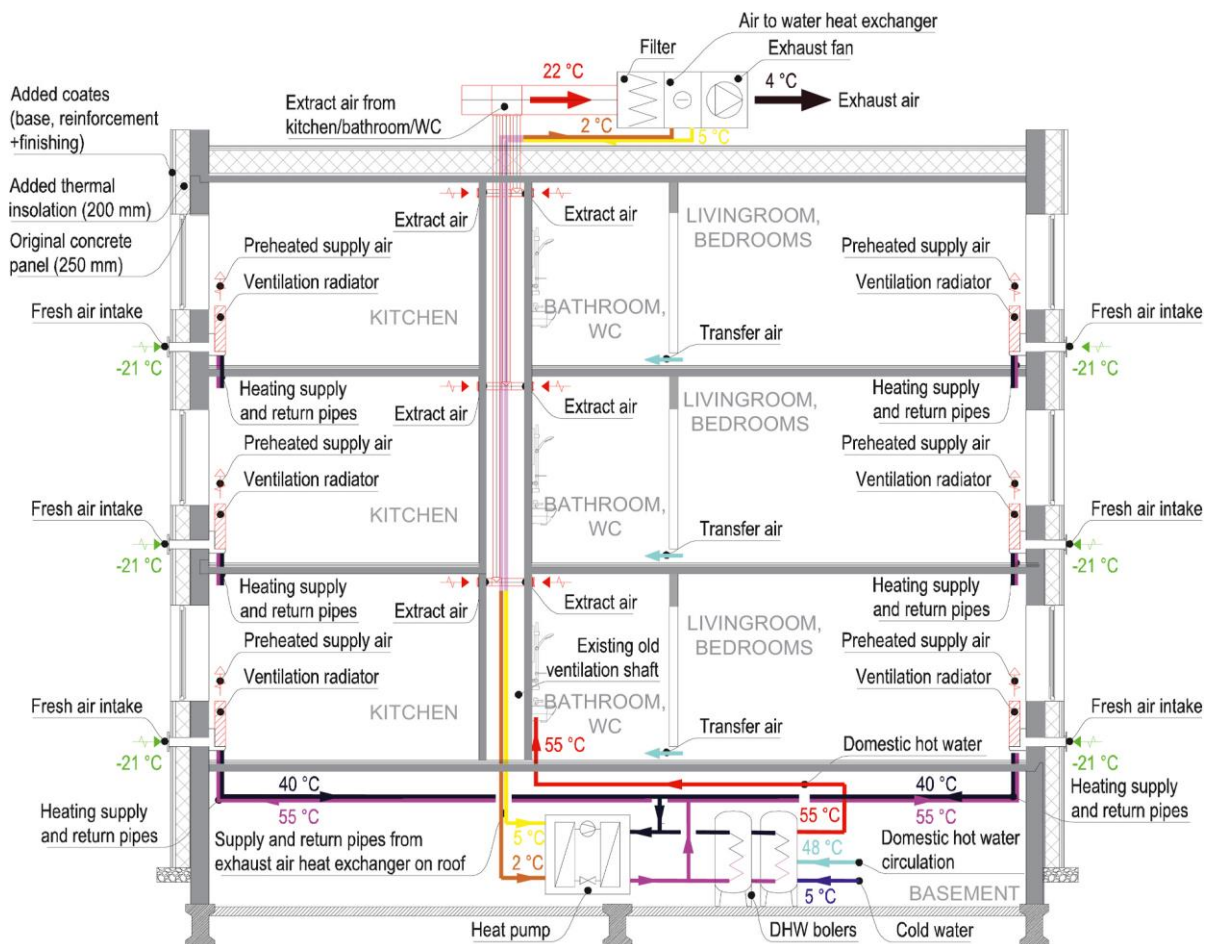
## Mehaaniline väljatõmbe ventilatsioonisüsteem väljatõmbe soojuspumbaga

Mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni süsteemile saab lisada väljatõmbeõhu soojuspumba [13]. Väljatõmbeõhu soojuspumbal on negatiivne mõju kaugküttele, suurendades tagasivoolu temperatuuri ja praktiliselt kõrvaldades kaugkütte tarbimise suveperioodil [32]. Eesti kliimatingimustes tehtud energia analüüsid on näidanud, et väljatõmbeõhu soojuspump omab paremat soojuse taaskasutuse jõudlust võrreldes soojustagastusega ventilatsioonisüsteemiga Kesk-Euroopa ja soojemate kliimatingimuste korral. Selles süsteemis on oluline pöörata tähelepanu piisavale

õhuvõtule, sest tavalised õhuvõtu kohad on tundlikud välismürale, tekitavad külmatõmbetuult ja on tavaliselt halva filtreerimisega. Parim saadavalolev lahendus sissepuhke õhu jaoks on veepõhine värske õhu radiaator [13].

Väljatõmbeõhk kogutakse katusele ventilatsiooni väljatõmbeseadmes õhk-veesi soojusvahetisse. Soojus kantakse veekontuuriga edasi vee-soojuspumba toitmiseks. Seejärel kasutatakse soojuspumpa ruumi kütmiseks ja sooja tarbevee varustamiseks. Süsteemi hooajaline jõudluskordaja (SCOP) on ligikaudu 3,0–4,0, sõltuvalt paigalduse ühendusskeemist ja soojuspumba küttegraafikust [13]. Selle renoveerimislahendusega seotud tavaline probleem tuleneb hoone vanade loomuliku ventilatsiooni korstnate kasutamisest ilma uute kanaliteta olemasolevatesse korstnatesse. Vanade korstnate madal õhutihedus võib põhjustada tasakaalustamata õhuvoolu ja müraprobleeme [39].

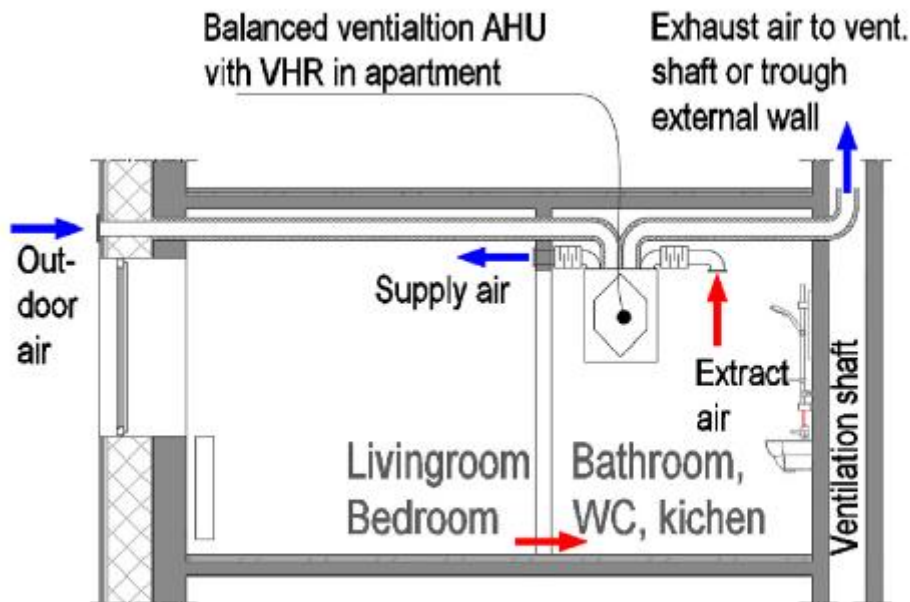
Väljatõmbe soojuspumbaga ventilatsioonisüsteemi põhiline tööpõhimõte koos värske õhu radiaatoritega on näidatud Joonis 1.15.



**Joonis 1.15** Väljatõmbe soojuspumbaga ventilatsioonisüsteemi tööpõhimõtte skeem [39].

## Korteripõhine ventilatsioonisüsteem

Korteripõhine ventilatsioonisüsteem on alternatiiv renoveerimisel ja ei ole kõige olulisem, seega keskendub käesolev töö siiski minimaalselt informatsiooni. Selle süsteemi ventilatsiooniseade paigaldatakse trepikodadesse, koridoridesse või sanitaarruumidesse, nii lae alla kui ka seinale. Soojustagastuse tagamiseks kasutatakse plaat- või rootorsoojusvahetit, mis võimaldab säilitada soovitud sisekliimat ja vähendada energiakadusid. Õhu väljatõmme toimub aktiivselt köögikubudest, tualettruumidest ja vannitubadest, tagades ebameeldivate lõhnade ja niiskuse eemaldamise. Samal ajal tagavad sissepuhke plafoonid elutubades ja magamistubades värskema õhu sissevoolu ning aitavad säilitada meeldivat sisekliimat ja õhukvaliteeti [13]. Korteripõhise ventilatsioonisüsteemi tööpõhimõtte on näidatud Joonis 1.16.



**Joonis 1.16** Korteripõhine ventilatsioonisüsteem [39].

### 1.7 Lühikokkuvõte

Kirjanduse analüüsis käsitletakse sügavuti renoveerimise olulisust Eesti ehitussektoris, rõhutades tehniliste süsteemide, nagu küte ja ventilatsioon, rolli nii hoonete kui ka elanike heaolu tagamisel. Renoveerimine on muutunud hädavajalikuks Euroopa Liidu direktiivide valguses, mis seab standardid hoonete energiatõhususele ja keskkonnasäästlikkusele. Lisaks sellele on energiakriisist tingitud surve vähendada hoonete energiakasutust, muutes renoveerimise protsessi ülimalt oluliseks.

Eestis on suur osa elamufondist ehitatud enne 2000. aastat, olles seega vastuvõtlik amortiseerumisele ja energiakulude tõusule. Käesolevas analüüsis on keskendumine suunatud enne 2000. aastat ehitatud raudbetoon suurpaneeliga korterelamutele, kuna need moodustavad märkimisväärse osa Eesti elamufondist. Nende hoonete tehniliste süsteemide renoveerimine on hädavajalik, et tagada nii energiatõhusus kui ka elanike heaolu. Samuti on oluline rõhutada, et vananenud süsteemid võivad põhjustada terviseprobleeme elanikele, seega on vajalik leida kaasaegseid ja jätkusuutlikke lahendusi.

Tehniliste süsteemide renoveerimine hõlmab mitmeid aspekte, sealhulgas küttelahenduste kaasajastamist ja ventilatsioonisüsteemide parendamist. Uute tehnoloogiate, näiteks soojuspumpade ja automatiseeritud ventilatsioonisüsteemide rakendamine, võib oluliselt vähendada hoonete energiakulu ja süsinikujalajälge. Selliste uuenduste integreerimine renoveerimisprojektidesse aitab kaasa rohelisele energiale üleminekule ning aitab Eestil täita oma keskkonnavalaseid kohustusi.

Lõpuks, analüüsist selgub, et tehnosüsteemide renoveerimise kaudu on võimalik mitte ainult parandada hoonete energiatõhusust ja elamistingimusi, vaid ka aidata kaasa riigi üldisele keskkonnapoliitikale. Selle lähenemisviisi rakendamine nõuab tõhusaid strateegiaid, koostööd valitsusasutuste, ehitusettevõtete ja elanikkonna vahel ning pühendumust rohelisema tuleviku loomisel Eestis.

## 2 MEETODIKA

Lõputöö eesmärgiks on püstitatud küsimustele vastamine - millist arvutusmudelit saab ja tuleks arendada tüüpiliste kivikonstruktsiooniga korterelamute alternatiivsete kütte- ja ventilatsioonilahenduste planeerimiseks ning milline on loodava arvutusmodeli ja võtmenäitajate usaldusväärsus erinevate hoone tüüpide puhul. Lõputöö eesmärgi, st korterelamute võtmenäitajate alusel arvutusmodeli väljatöötamiseks kasutatakse uurimistöo meetodikat. Meetodika jaguneb järgmisteks etappideks:

- 1) Kirjanduse ülevaade, eesmärgi ja uurimisküsimuste püstitamine.
- 2) Arvutusmodeli nõuete määratlemine, lähteandmete kogumine ja süstematiseerimine.
- 3) Arvutusmodeli kontseptsiooni väljatöötamine, arendamine ja testimine.
- 4) Töö tulemuste kirjeldamine ja olulisemate järelduste esitamine.

Kirjanduse ülevaate meetodit kasutatakse, et selgitada välja varasemad uurimused, kus leitakse vastused püstitatud uurimisprobleemide lahendamiseks. Käesoleva lõputöö teoreetilises osas teostatakse kirjanduse ülevaade renoveerimise, hoonete tüpologia ja tüüpkorterelamute tehnosüsteemide teemadel. Kirjandusallikate analüüsi alusel püstitati lõputöö sissejuhatuses eesmärk, uurimisprobleem ning küsimused. Kirjandusallikate valiku oluliseks kriteeriumiks oli vastavus lõputöös püstitatud eesmärgile ja küsimustele. Kirjanduse ülevaade on teadusallikate süstemaatiline ülevaade valitud teemadel, et saada ülevaade valdkonnast ja tuvastada puudused. Allikate otsimisel lähtuti kirjanduse teaduslikkusest, teemakohasusest ja usaldusväärsest. Lõputöö usaldusväärse tagamiseks kasutati ainult tõenduspõhist ja seadusandlikku kirjandust. Artiklid töötati põhjalikult läbi, selekteeriti sobiva materjali järgi ning refereeriti ja tsiteeriti. Kasutatud materjal on lõputöös korrektselt viidatud kirjandusallikate loetelus. Lõputöö kirjanduse ülevaade ei sisalda plagiaati.

Enne arvutusmodeli koostamist kaardistatakse loodava arvutusmodeli ootused ja sellele esitatavad nõuded. Lisaks kogutakse lähteandmed ja süstematiseeritakse need vastavalt arvutusmodeli vajadustele. Üheks alusandmeallikaks on Eesti ühe tehnosüsteemide projekteerimise ettevõtte poolt teostatud üle 800 erineva korterelamu renoveerimisprojektide andmed. Samuti kasutatakse alusandmetena RESTO projekti poolt koostatud hoonete tüpoloogiat ja KredEx-i referentshoonete andmestikku. RESTO tüpologia otsustuspuud kasutatakse projekteerimise ettevõtte poolt saadud üle 800 korterelamu tüüpideks jagamisel. Põhinäitajatena kasutatakse hoonete tüüpideks jagamisel välisseina liiki, trepikodade, korterite ja eluruumide arvu. Tänapäevaks on ilmnunud, et tüpologia alusel saab korterelamud jagada 14-ks tüübiks. Igal tüübil vastavad tüpologiaapõhised tehnilised ja ehitusfüüsikalised näitajad. Ehitusfüüsikalised

näitajad hõlmavad piirdetarindite soojuslähivusi, liitekohtade joonsoojuslähivusi, välisõhu ja sisseõhu temperatuure.

## 2.1 Arvutusmudeli koostamise lähteandmed ja alused

Käesolevas lõputöös uuriti telliskivist, raudbetoon suurpaneelist ning kergbetoonist korterelamuid. Projekteerimisettevõtte Invento OÜ esitas projekteeritud objektide koondtabeli koos hoonete algandmetega. Objektide koondtabelis on esindatud kokku 354 erinevat korterelamut, mis valmisid perioodil 2016–2020. Objektide koondtabel pärineb RESTO projekti raames, kus see määrati objektide tüüpidesse. Pärast RESTO analüüsi selgus, et koondtabel sisaldab 14 erinevat hoonekategoriat või tüüpi. Objektide koondtabeli põhjal eristati 7 kõige levinumat hoonetüüpi: A213, A214, B213, B214, B224, C213 ja C214. Andmete analüüsimiseks kasutati Microsoft Exceli tarkvara. Invento OÜ objekti koondtabelist tuleva hoonete kogused koos tüüpidega on nähtav Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Invento OÜ objektide RESTO tulemuste koondtabeli ülevaade.

| Tüüp (kood) | Kogus | Välisseina tüüp           | Ajastu    |
|-------------|-------|---------------------------|-----------|
| A213        | 40    | Silikatsiit ja kergbetoon | 1946-1970 |
| A214        | 117   | Silikatsiit ja kergbetoon | 1971-1995 |
| B213        | 12    | Suurpaneel                | 1946-1970 |
| B214        | 62    | Suurpaneel                | 1971-1995 |
| B224        | 6     | Suurpaneel                | 1971-1995 |
| C213        | 55    | Telliskivi                | 1946-1970 |
| C214        | 34    | Telliskivi                | 1971-1995 |

Arvutusmudeli koostamisel valiti 60 hoonete tehnosüsteemide renoveerimisprojektile Invento OÜ andmestikust. Projekteerimisvalik tehti välisseina materjali põhjal, keskendudes peamiselt raudbetoonist suurpaneelist korterelamutele (tüüpprojektid 1–464, 121, 111–333 - tüüp B213, B214, B224), telliskivist korterelamutele (tüüp C111-

C114, C211-C214, C223-C224) ja silikaltsiidi- ning kergbetoonist või väike- ja suurplokkidega korterelamutele (tüüp A213-A214). Analüüs hõlmas peamiselt projektide jooniseid, seletuskirju, spetsifikatsioone ja skeeme. Hoonete jaotus erinevate tüüpide vahel oli järgmine: 31 tüüpprojekti raudbetoon suurpaneelidest, 16 tellisseintega hoonet ning 11 silikaltsiidist ja kergbetoonist hoonet. Oluline on märkida, et projektide tehnosüsteemide lahendused olid erinevad ja omamoodi unikaalsed. Enamikul hoonetest oli mehaaniline ventilatsioon, mõnedel väljatõmbe soojuspump ja erandjuhtudel kas ainult küte või loomulik ventilatsioon. Projektiandmete kogumisel viidi läbi põhjalik analüüs, hõlmates sissepuhke- ja väljatõmbevooluhulki, radiaatorite arvu, ventilatsiooni plafoonide arvu, ventilatsioonikanalite arvu (fassaadis, katuse soojustuses, välisõhus). Arvutusmudeli koostamise alused põhinesid reaalsete projektiandmete analüüsil ja tehnosüsteemide tööpõhimõtetel.

Küte ja ventilatsiooni spetsifikatsioonide põhjal arvutati arvutusmudelis ligikaudsed õhuvooluhulgad, soojussõlme koormused hoone kohta ning küte ja ventilatsiooni elementide ligikaudsed kogused ühe trepikoja ja ühe korruse kohta. Lisaks arvutati mudelis ligikaudsed süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) kogused kilogrammides, kasutades selleks A1-A3 globaalset soojenemispotentsiaali (GWP) arvu. GWP arv mõõdab teatud kasvuhoonegaaside mõju atmosfäärile võrreldes süsinikdioksiidiga üle kindla ajaperioodi, näiteks 100 aasta jooksul. See aitab hinnata erinevate kasvuhoonegaaside potentsiaali soojenemisega kaasnevaks riskiks [44]. Küte ja ventilatsiooni elementide ligikaudset maksumust arvutati, kuid tuleb märkida, et see on ligikaudne ning selles ei ole arvestatud puurimistöde, transpordi ja muude lisakuludega. See maksumus ei hõlma kõiki projekti kulusid ning on pigem üldine hinnang. Samuti tuleb mainida, et CO<sub>2</sub> kogused kilogrammides ja küte ning ventilatsiooni elementide ligikaudne maksumus on lisatud töösse lisatulemustena. Need pole peamised tulemused, vaid täiendavad andmed, mis aitavad täiendada arusaama arvutusmudeli rakendamisest ja selle tulemustest.

Mudeli testimiseks kasutati kahte tüüpi kontrolli. Esmase testimise käigus võrreldi arvutusmudeli tulemusi reaalsete projektandmetega, kasutades ühte hoone näidet. Teiseks testimiseks viidi läbi statistiline analüüs, kasutades terve objektide koondtabelit koos 58 korterite arvutusmudeli tulemustega. Arvutusmudeli tüüpprojektide kogus ja liigitus on esitatud Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Invento OÜ projektide nimekiri, mis oli kasutatud arvutusmodeli koostamiseks.

| Tüüp (kood)                     | Kogus | Välisseina tüüp           | Ajastu    |
|---------------------------------|-------|---------------------------|-----------|
| A213-A214                       | 12    | Silikatsiit ja kergbetoon | 1946-1995 |
| B213-B214, B224                 | 32    | Raudbetoon suurpaneel     | 1946-1995 |
| C111-C114, C211-C214, C223-CC24 | 16    | Telliskivi                | 1921-1995 |

## 2.2 Arvutusmodeli sisendid ja nõuded

Vastavalt standarditele EVS 906:2018, EVS-EN 12828:2012+A1:2014, EVS 844:2022, EVS-EN 12831-1:2017, EVS-EN 16798-1:2019 ja korterelamute rekonstrueerimise [24], [35], [36], [38], [40], [43] leiti, et üksiku hoone kütte ja ventilatsiooni projekteerimiseks on vaja mitmeid sisendeid. Need sisendid jaotuvad järgmiseks alakategooriateks:

- 1) Hoone asukoht: Hoone asukoht määrab kohalikud kliimatingimused ja püsivad seega kütte ja ventilatsiooni vajadusi. Peamised Eesti linnad, näiteks Tartu, Pärnu, Tallinn, Viljandi ja muud, võivad pakkuda erinevaid kliimatingimusi.
- 2) Hoone geomeetria: Hoone geomeetria, mille pikkus, laius ja kõrgus, on oluline, et arvutada kütte soojuskoormused ja ventilatsiooni kanalite kogused vastavalt hoone suurusele.
- 3) Piirdetarindite soojuslähivused: Põranda, välisseina, katuslae ja avatäidete soojuslähivused on vajalikud soojuskadude arvutamiseks.
- 4) Iga korteri tubade arv: Iga korteri kohta on vaja teada tubade arvu, et saaks arvutada õhuvooluhulgad, radiaatorite arvu ja plafoonide kogust, mis mõjutavad kütte ja ventilatsiooni spetsifikatsiooni, maksumust ja CO<sub>2</sub> arvutamist.
- 5) Kõetavate ruumide pindala: Kõetavate ruumide pindala määrab soojuskadude suuruse ruumis ning seetõttu on vaja kütte ja ventilatsiooni vajadusi.
- 6) Kortereelamu KredEx renoveerimistoetuse osakaal: KredEx renoveerimistoetuse osakaal puudutab kütte ja ventilatsiooni süsteemide valikut, näiteks kas



kasutatakse mehaanilise sissepuhkega ventilatsiooni või väljatõmbe soojuspumpa.

- 7) Hoone tüüp: Igal hoone tüübil on omad ehitusfüüsikalised andmed, mis mõjutavad kütte ja ventilatsiooni projekteerimist.

Andmeallikate kategooriad valiti järgmised:

- 1) EHR – hoone parameetrid EHR’st
- 2) RESTO projekt – genereeritud info digikaksikust
- 3) Invento OÜ objektide koondtabel

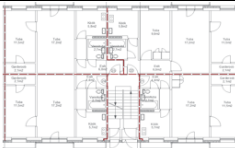
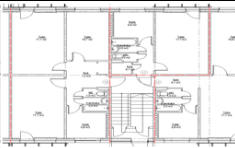




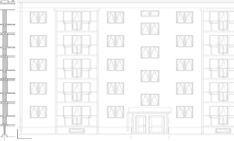

### 2.2.1 Pilothonned arvutusmodeli testimiseks

Arvutusmodeli testimiseks valiti neli pilothonnet, et hinnata arvutusmodeli tulemusnäitajate, nagu spetsifikatsioonide, maksumuse, CO2 jalajälje ja teiste näitajate usaldusväärsust. Hooned ja peamised kriteeriumid, mis valiti tulemuste testimiseks on järgmised nähtavad Tabel 2.3 ja Tabel 2.4.

**Tabel 2.3** Valitud pilothonnete iseloomustavad näitajad.

| Karakteristik           | Tööstuse 85,<br>Tallinn   | Valdeku 118A,<br>Tallinn  | Akadeemia 6,<br>Tallinn  | Kuuma 4, Saue   |
|-------------------------|---|---|--|---|
| Pildid                  |  |  |  |  |
| Kasutusotstarve         | Korterelamu   | Korterelamu   | Korterelamu  | Korterelamu   |
| Projekti tüüp           | Rekonstrueerimine   | Rekonstrueerimine   | Rekonstrueerimine  | Rekonstrueerimine   |
| Hoone tüüp ja seinaliik | B213, raudbetoon suurpaanel   | B213, raudbetoon suurpaanel   | B213, raudbetoon suurpaanel  | A214, väike plokk   |
| Ventilatsiooni lahendus | Mehaaniline sissepuhke ventilatsioon  | Väljatõmbe soojuspump   | Mehaaniline sissepuhke ventilatsioon   | Mehaaniline sissepuhke ventilatsioon  |
| Põhikontrolli näitaja   | Vooluhulk, koormused, spetsifikatsioon  | Vooluhulk, koormused, spetsifikatsioon  | Maksumus   | CO2e jalajalg   |

**Tabel 2.4** Valitud piloothoonete korruse plaanid ja vaated.

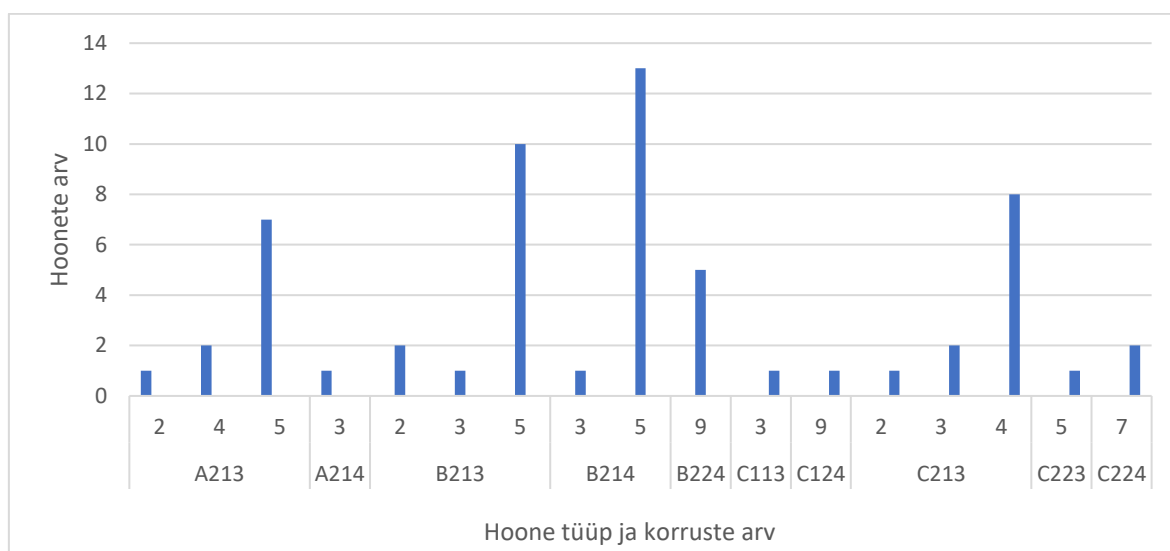
| Karakteristik | Tööstuse 85,<br>Tallinn   | Valdeku 118A,<br>Tallinn  | Akadeemia 6, Tallinn   | Kuuma 4, Saue   |
|---------------|---|---|--|---|
| Korruse plaan |  |  |  |  |
| Vaade         |  |  |  |  |
| Trepikoda     | 4   | 6   | 4  | 4   |
| Korrus        | 5   | 5   | 5  | 3   |
| Korterite arv | 80  | 90  | 80   | 24  |
| Geomeetria    | Pikkus - 73,8 m<br>Laius - 12,3 m<br>Kõrgus - 15,0 m                              | Pikkus - 92,4 m<br>Laius - 12,2 m<br>Kõrgus - 15,6 m                              | Pikkus - 72,8 m<br>Laius - 11,7 m<br>Kõrgus - 15,6 m                               | Pikkus - 72,0 m<br>Laius - 12,0 m<br>Kõrgus - 10,7 m                                |

Tööstuse 85, Tallinn valiti selleks, et näidata arvutusmodeli täpsust õhuvooluhulkade, soojussõlme koormuse ning spetsifikatsioonide osas, kuna hoones on mehaaniline sissepuhke ventilatsioonisüsteem. Valdeku 118A eripäraks on teise ventilatsioonisüsteemi kasutamine, seal on rajatud väljatõmbe soojuspumbaga ventilatsioon. Akadeemia 6 valiti seetõttu, sest sellele projektile on olemas läbi hanke saadud hinnapakkumused. See aitab võrrelda arvutusmodeli maksumust. CO2 jalajälje kontrollimiseks valiti Kuuma 4, Saue, kuna seal on põhjalikult tehtud CO2 arvutus teadustöö raames, mis aitab kontrollida arvutusmodeli CO2 arvutuse usaldusväärtust [45]. Kõik tulemusnäitajad on arendatud varajases staadiumis, et luua esialgseid andmeid projektide jaoks. Invento OÜ projektijärgsed andmed ei sisalda maksumust ega CO2 jalajälge, seega Akadeemia 6, Tallinn ning Kuuma 4, Saue on olulised maksumuse ja CO2 tulemuste valideerimiseks ning kontrollimiseks.

## 3 TULEMUSED

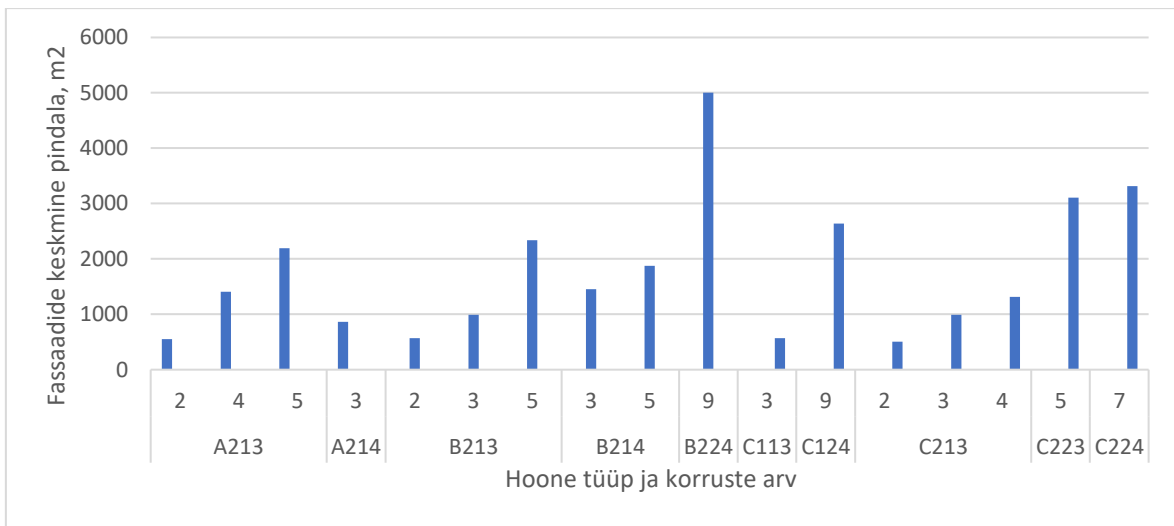
### 3.1 Projektijärgsete andmete statistiline kirjeldus

Tulemuste hindamise eesmärgil tehti statistiline analüüs 60 hoonetele. Invento OÜ projektide koondtabelist valiti vähemalt 10 hoonet iga välisseina tüübiga, ehk telliskivist, raudbetoonist ning gaasbetoonist. Koondtabel on saadaval Lisa 3.7. Hooned olid valitud alates 1-korrulisestest kuni 9-korrulisteni. Kõige rohkem erinevaid korruse arve oli C-tüüpi ehk telliskorterelamutel, kus kõige madalam oli kahe korruselise hoone ja kõige kõrgem üheksa korruselise. Kõige enam levinud korruste arv oli 5 korrust; 5 korrusega oli kokku 41 hoonet. Hooned, kus korruste arv oli rohkem kui 5, on antud analüüs üsna vähe, kokku ainult 8, seega antud lõputöö raames keskendutakse rohkem hoonetele, mille maksimaalne korruse arv on 5. Hoonete korruselise jaotuse hoone tüübi alusel on toodud Joonis 3.1.



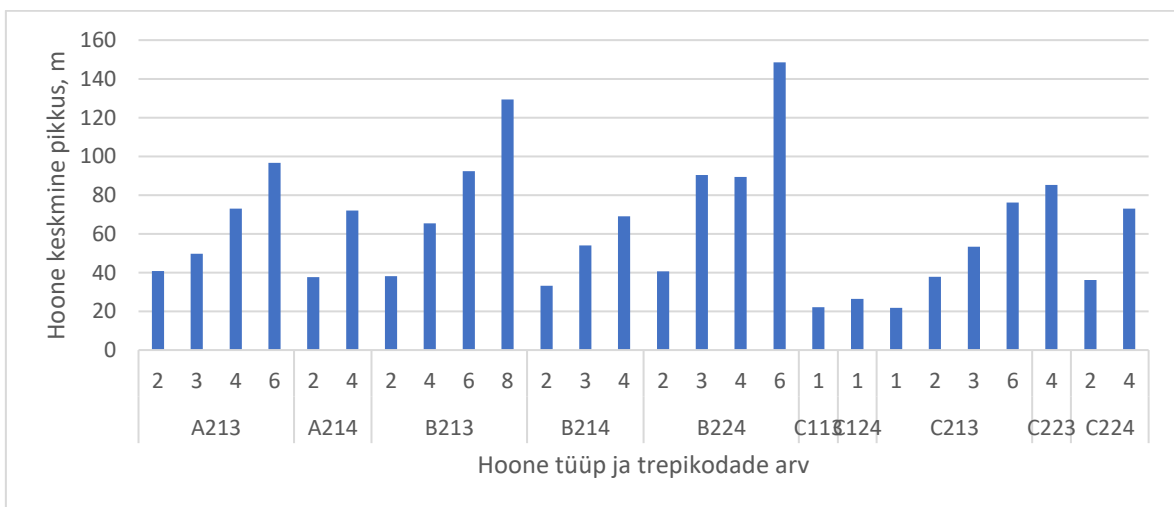
**Joonis 3.1** Hoonete jagunemine korruste kaupa.

Korruste arvu järgi võib luua seose: mida rohkem on korruseid hoones, seda suurem on fassaadi pindala. Visuaalselt on korruste ja fassaadide keskmiste pindalade seos toodud Joonis 3.2.



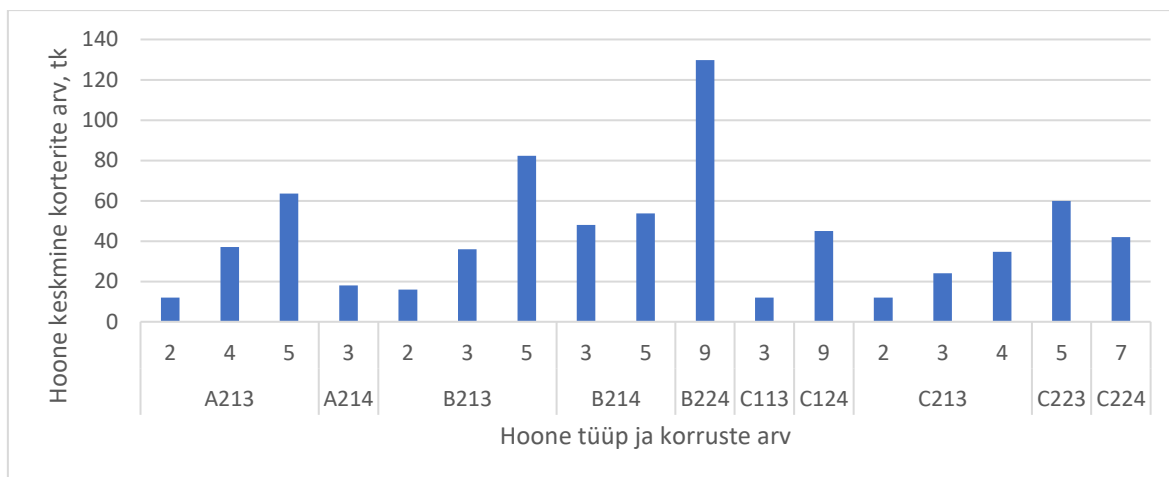
**Joonis 3.2** Hoone fassaadide keskmise pindala ja korruste arvu seos.

Hoone trepikodade ja pikkuse vahel on seos: mida rohkem on trepikodasid hoones, seda suurem on hoone pikkus. Visuaalselt on trepikodade ja hoone keskmise pikkuse seos toodud Joonis 3.3.



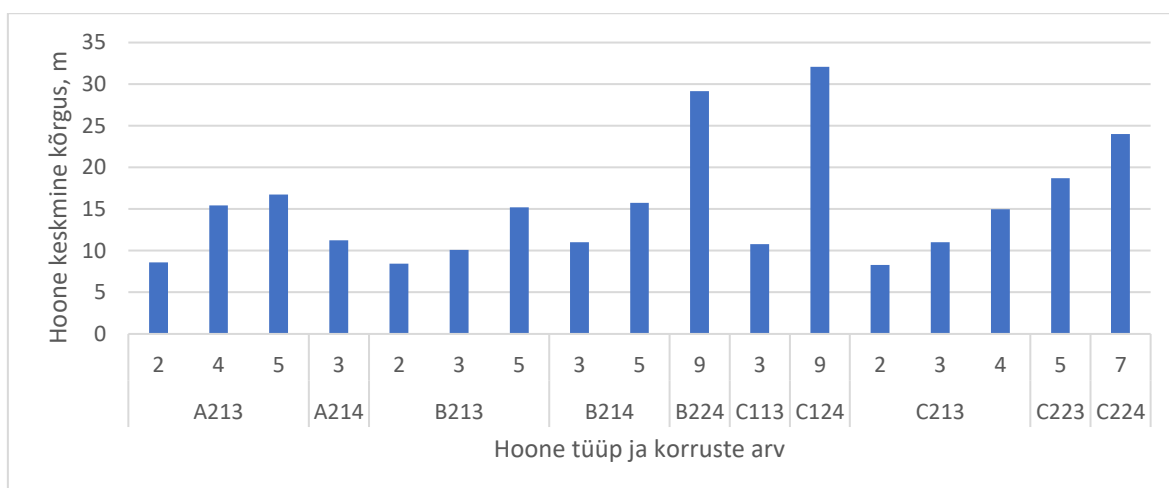
**Joonis 3.3** Hoone keskmise pikkuse ja trepikodade arvu seos.

Arvutusmudelis oli kütte- ja ventilatsiooni andmete arvutamise jaoks väga oluline korterite arv. Hoone korruste ja keskmine korteri arvu vahel on seos: mida rohkem on korruseid hoones, seda suurem on korterite arv. Visuaalselt on hoone korruste ja korterite arvu seos toodud Joonis 3.4.



**Joonis 3.4** Hoone keskmise korruste arvu ja korruste arvu seos.

Järgmine graafik näitab hoonete keskmist kõrgust erinevate hoonetüüpide ja korruste arvu põhjal. Graafikult on näha, et mida rohkem on korruseid hoones, seda kõrgem on hoone. Visuaalselt on hoone korruste ja hoone keskmise kõrguse seos toodud Joonis 3.5.



**Joonis 3.5** Hoone keskmise kõrguse ja korruste arvu seos.

## 3.2 Arvutusmudeli ülesehitus

Arvutusmudel on ehitatud neljast etapist: lähteandmed, lahenduse kirjeldatavad andmed, süsteemide spetsifikatsioonid ja maksumus ning tulemusnäitajate visualiseerimine. Käesolevas peatükis on kirjeldatud etappide kaupa, mida ja kuidas kasutaja käest küsitakse sisestada ning mida sellest järeldatakse. Samuti on lehekülje kaupa kirjeldatud arvutusmudelis tehtavad arvutused ja seal olev info. Arvutusmudel on koostatud programmis Microsoft Excel. Täpsemalt on toodud arvutusmudeli skeem Joonis 3.6.



**Joonis 3.6** Arvutusmudeli etappide skeem.

### 3.2.1 Lähteandmete sisestamine arvutusmudelisse

Esimene etapp on lähteandmete sisestamine, mille teeb kasutaja. Kasutajaks võib olla tehniline konsultant, ehitaja või korterühistu haldur, kes sisestab andmeid hoone kohta, kuna neil on pädevus ja arusaamine sisestatavatest andmetest. Sisestava info selgituseks on kõrval olevas tulbas abistavad märkused, näiteks kust ja kuidas saab infot hoone geomeetria kohta. Üks võimalus on kasutada ehitisregistri andmeid ning juhul kui neid ei ole, saab vajadusel mõõta kaardilt või kasutada muid kohalikke registreid.

Järgnevalt on toodud lähteandmete lehel kõik vajalikud parameetrid arvutusmudeli koostamise jaoks, mis hõlmavad korruste, trepikodade ja korterite arvu, samuti erinevate korterite tüüpide ja toalisuse arvu. Lisaks sisestatakse hoone geomeetria kohta olulised andmed, sealhulgas hoone pikkus, laius ja kõrgus. Kasutaja peab samuti sisestama uute piirdetarindite U-väärtused, mis on renoveerimisprojekti määratud, et saaks täpselt arvutada koormust ja soojuskadusid hoone sees. Need väärtused on olulised arvutusmudeli täpsuse tagamiseks ning võimaldavad realistlikumaid tulemusi, täpsemalt vaata Joonis 3.7.

## Lähteandmed

- Trepikodade ja korruste arv
- Hoone mõõtmed ja asukoht
- Korterite arv ja korterite jagunemine
- Hoone pindalad
- Hoone konstruktsiooni omadused

**Joonis 3.7** Arvutusmodeli lähteandmed.

Sisestatud lähteandmed on olulised arvutusmodeli toimimiseks ning aitavad kasutajatel saada ülevaadet hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemi projekteerimisest ning sellest tulenevatest kuludest ja ressursside kasutamisest. Lähteandmete täpne sisestamine tagab arvutusmodeli usaldusväarsuse ning aitab kaasa efektiivseimate lahenduste väljatöötamisele. Arvutusmodeli lähteandmete leht on visuaalselt nähtav Joonis 3.8.

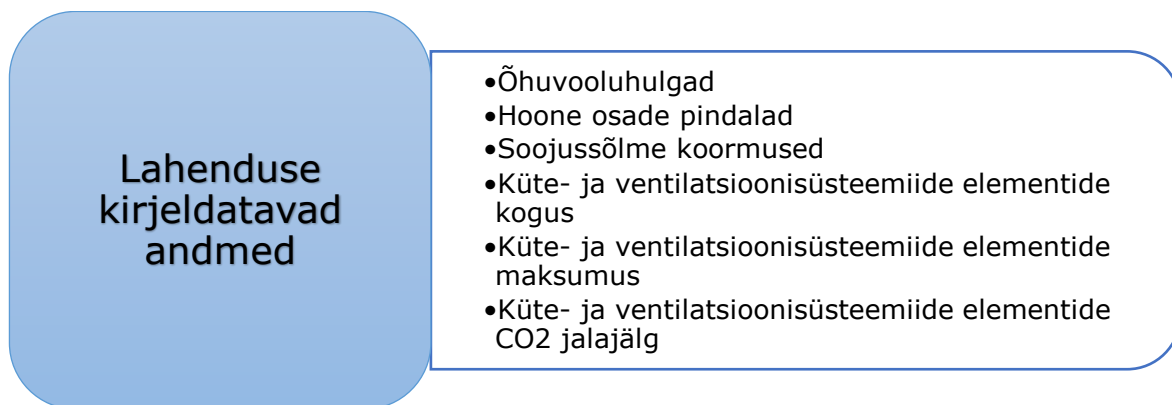
| Palun sisestage oma andmed lahtrisse, mis on värvitud kollase värviga. |         |         |  |
|--|---------|---------|--|
| Läheandmed   | Väärtus | Ühik    |  |
| Valige hoone tüüp  | B213    |         |  |
| Sisestage korruste arv   | 7       | tk      |  |
| Sisestage trepikodade arv  | 2       | tk      |  |
| Korterite arv  | 28      | tk      |  |
| Asukoht  | Tallinn |         |  |
| Mitu 1-toalist   | 5       | tk      |  |
| Mitu 2-toalist   | 11      | tk      |  |
| Mitu 3-toalist   | 9       | tk      |  |
| Mitu 4-toalist   | 3       | tk      |  |
| Hoone geometria  |         |         |  |
|  | Väärtus | Ühik    |  |
| Hoone pikkus   | 36.2    | m       | Andmed on kättesaadavad ehitusregistrist, hoone mõõtmete all. Kui andmeid ei ole, siis tuleb mõõta   |
| Hoone laius  | 24.6    | m       |  |
| Hoone kõrgus   | 24.0    | m       |  |
| Uued piirdetarindid  |         |         |  |
|  | Väärtus | Ühik    |  |
| Välisseina soojuslähivus   | 0.2     | W/(m2K) | Palun kirjutada järgnevate piirdetarindite soojuslähivuse väärtused, mida Te soovite saavuta renoveerimise jooksul, need mõjutavad radiaatorküte koormust. |
| Katuslae soojuslähivus   | 0.11    | W/(m2K) |  |
| Pinnasel põranda soojuslähivus   | 0.35    | W/(m2K) |  |
| Välisuste soojuslähivus  | 1.1     | W/(m2K) |  |
| Akende soojuslähivus   | 1.1     | W/(m2K) |  |

**Joonis 3.8** Arvutusmodeli lähteandmete leht.

### 3.2.2 Lahenduse kirjeldatavad andmed

Arvutusmodeli üks oluline osa on lahenduse kirjeldatavad andmed. Need andmed moodustavad arvutusmodeli sisendinfo, mille alusel arvutusmodel genereerib kõik vajalikud parameetrid tulemuste saavutamiseks, nagu näiteks õhuvooluhulgad, sojussõlme koormused ja nii edasi. Lähteandmed eelmisest peatükist on väga olulised, kuna need moodustavad aluse arvutusmodeli sisendandmetele. Nende andmete hoolikas määratlemine ja sisestamine tagab arvutusmodeli usaldusväärse toimimise

ning täpsete tulemuste saavutamise. Lähteandmed võivad hõlmata hoone geometriat, piirdetarindite omadusi, korterite ja ruumide arvu ning muid olulisi parameetreid. Kuna arvutusmodel tugineb nendele andmetele, on nende täpsus ja täielikkus äärmiselt oluline. Seega on lahenduse kirjeldatavad andmed lahutamatuks osaks arvutusmodeli töös. Lahenduse kirjeldatavate andmete täpsem loetelu on esitatud Joonis 3.9.



**Joonis 3.9** Lahenduse kirjeldatavad andmed.

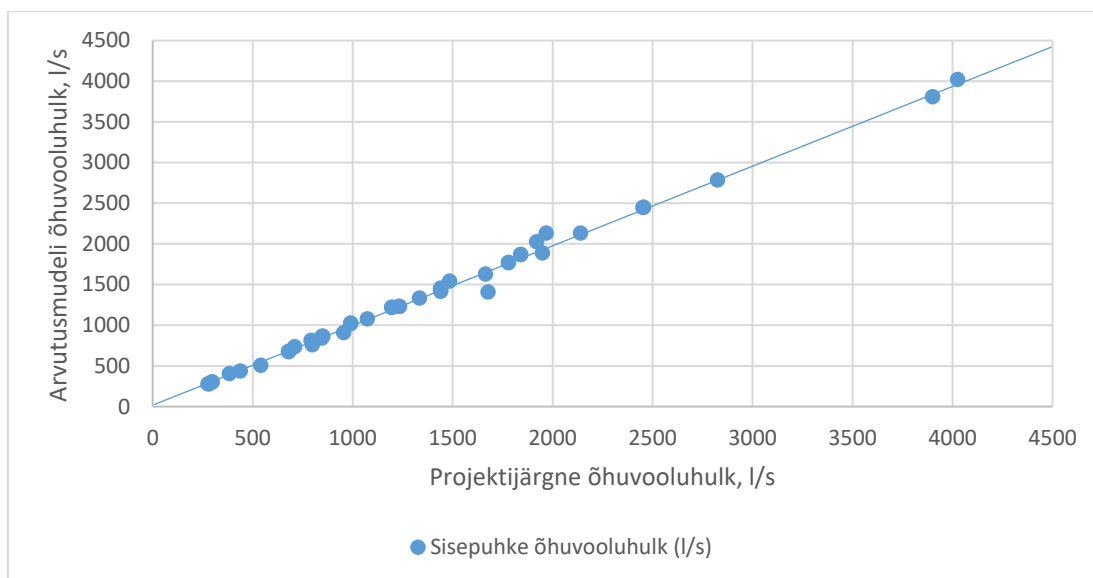
### 3.2.3 Ventilatsiooni õhuvooluhulk

Ventilatsiooni õhuvooluhulk on üks olulisemaid väärtusi arvutusmodelis, kuna see määrab radiaatorkütte ja ventilatsioonikütte koormused soojussõlme jaoks. Sõltuvalt õhuvooluhulga kogusest muutuvad ka vastavalt ventilatsiooni elementide spetsifikatsioonid. Arvutusmodelis on aluseks võetud KredEx-i poolt esitatud õhuvooluhulkade tabel iga korteri toa kohta. Korterite arvule vastavalt arvutatakse sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulk. Korterite arv ja tubade arv aitavad täpsemalt määrata kogu ventilatsioonile vajaliku õhuvooluhulga nii mehaanilise ventilatsiooni kui ka väljatõmbe soojuspumba puhul. Näiteks, kui korter on 3-toaline, võetakse vooluhulga väärtused iga korteri toa kohta vastavalt Lisa 3.1. Sellises korteris on 3 tuba, 1 köök, 1 pesuruum ja WC. Vastavalt tabelile arvutatakse kolme eluruumi sissepuhke õhuvooluhulk, kus iga toa sissepuhke õhuvooluhulk on 11 l/s, samas kui köögi, pesuruumi ja WC väljatõmbe õhuvooluhulk on 33 l/s, kusjuures köök on 8 l/s, pesuruum 15 l/s ja WC 8 l/s.

Sellise loogika alusel arvutab arvutusmodel kogu korterelamu õhuvooluhulgad. Selleks, et kontrollida arvutusmodeli arvutuste usaldusväärtust, koostati graafik, mis näitab erinevust projektijärgsete ja arvutusmodeli andmete vahel. Üldine trend andmepunktide vahel on lineaarne, viidates sellele, et arvutusmodeli arvutatud õhuvooluhulgad on väga sarnased projektijärgsetele vooluhulkadele. See näitab, et arvutusmodel on enamikel juhtudel üldiselt usaldusväärne projektijärgsete õhuvooluhulkade ennustamisel, kuna

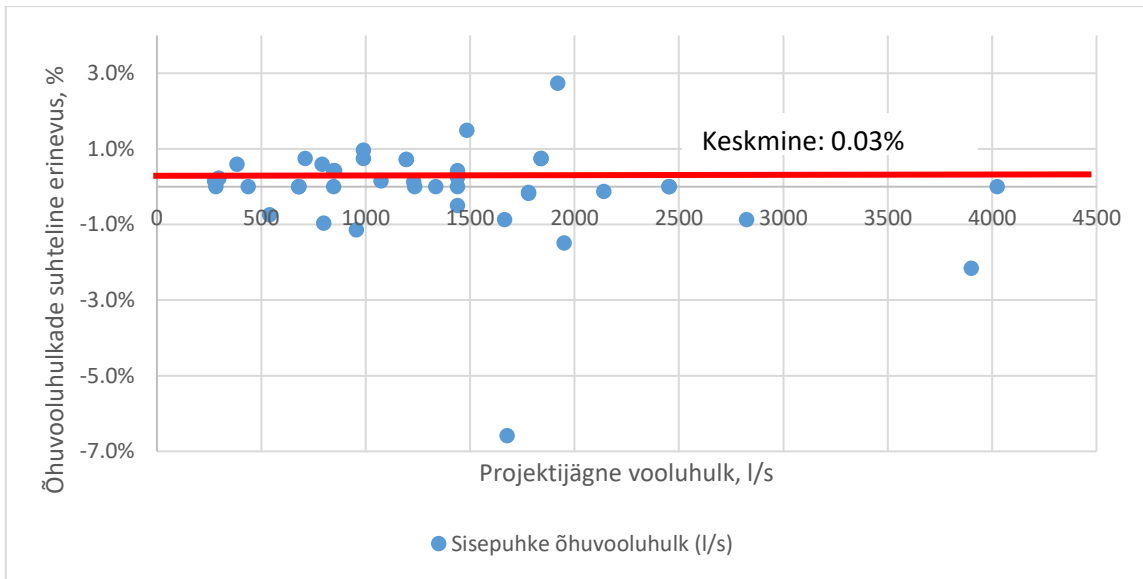


arvutusmudelist tulev õhuvooluhulk on 10 kuni 20% kõrgem, kui projektijärgne vooluhulk, kuigi esineb mõningaid erinevusi. Suuremate vooluhulkade korral on arvutusmudeli ja projektijärgsete väärtuste vahelised erinevused suuremad, mis võib viidata vajadusele täpsemateks arvutusteks või mudeli täiustamiseks. Võrdlus on nähtav Joonis 3.10.



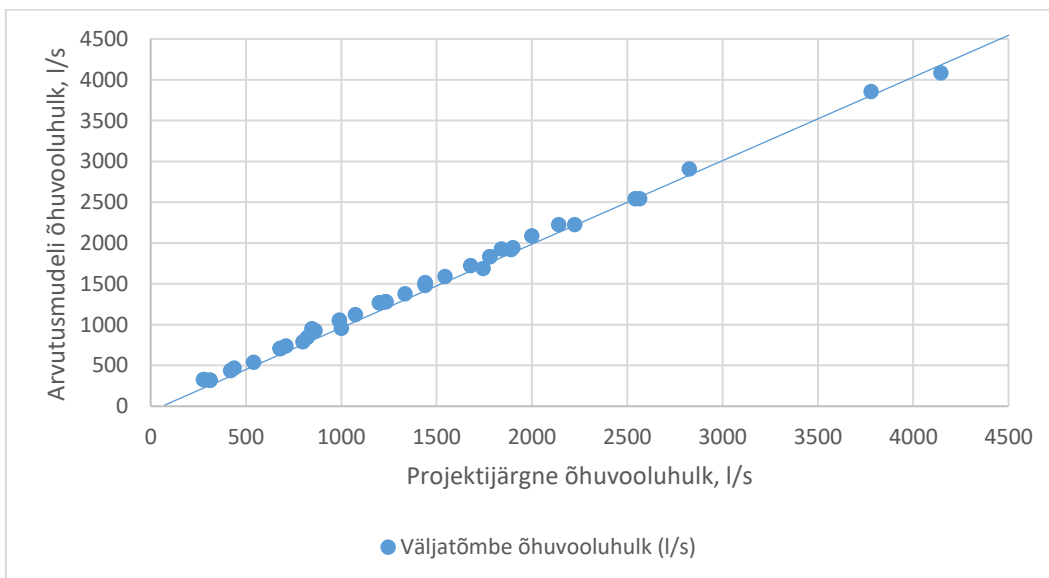
**Joonis 3.10** Projektijärgsete ja arvutusmudeli sissepuhke õhuvooluhulkade absoluutse erinevus.

Usaldusväarsuse täpsustamiseks koostati projektijärgsete ja arvutusmudeli õhuvooluhulkade suhtelise erinevuse graafik, kus vahe on näidatud protsentides. Kui Y-telje väärtus on suurem kui 0, tähendab see, et arvutusmudeli tulemus on suurem kui projekteeritud õhuvooluhulk. See on varajases projekteerimisetapis pigem positiivne, kuna parem on arvestada suurema õhuvooluhulgaga. Varuga arvestamine aitab vältida aladimensioneerimist ja tagab parema töökindluse. On näha, et enamik andepunkte paiknevad vahemikus 0% kuni 1% Y-teljel, mis viitab sellele, et arvutusmudel on üldiselt täpne, kuna enamik erinevusi projekteeritud väärtustest jäävad alla 1% ning keskmiselt on arvutusmudeli sissepuhke õhuvooluhulk 0,03% suurem, kui projektijärgne vooluhulk. See viitab sellele, et mudel toimib hästi projekteeritud õhuvooluhulkade hindamisel. Siiski, ühe projekti puhul on erinevus umbes 7%, kus arvutusmudeli tulemus on madalam võrreldes projektijärgse tulemusega. Sellel projektil oli projekteeritud mehaaniline ventilatsioon keldrisse ning elutubade vooluhulgad olid valitud erikokkuleppel kooskõlas ehitajaga, mis tähendab seda, et vooluhulgad ei vasta KredEx nõuetele. Suhteline erinevus sissepuhke õhuvooluhulga korral on nähtav Joonis 3.11.



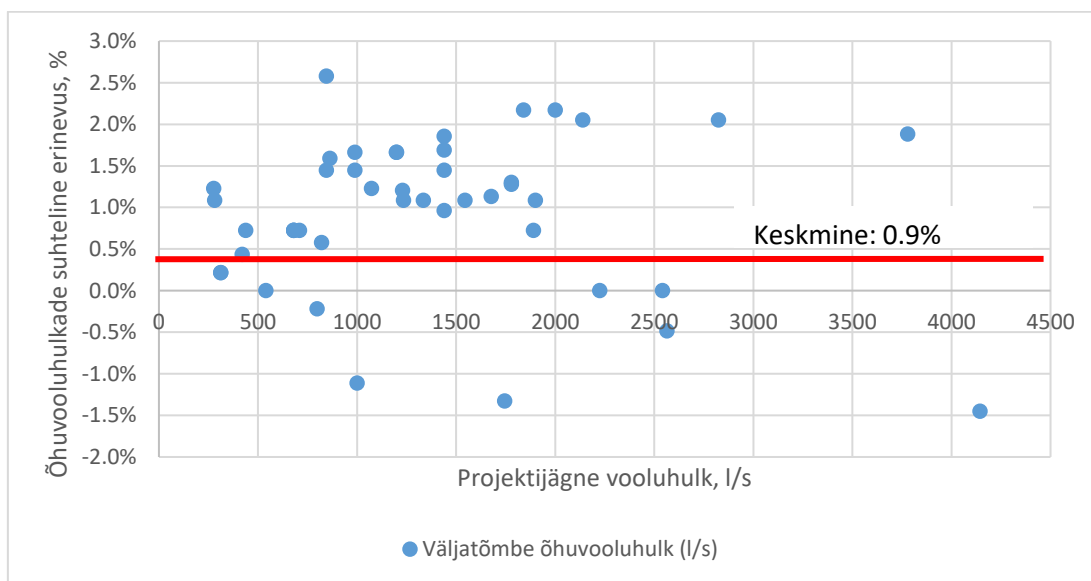
**Joonis 3.11** Projektijärgsete ja arvutusmodeli sissepuhke õhuvooluhkade suhteline erinevus.

Järgmisena on toodud graafik, mis kujutab väljatõmbe õhuvooluhulga projektijärgsete väärtuste ja arvutusmodelis saadud väärtuste võrdlust. Graafiku eesmärk on illustreerida absoluutset erinevust nende kahe väärtuse vahel, et hinnata arvutusmodeli täpsust ja usaldusväärsust. Üldine trend andmepunktide vahel on lineaarne, mis viitab sellele, et arvutusmodel on üldiselt usaldusväärne projektijärgsete vooluhkade ennustamisel. Nagu Joonis 3.10 on ka väljatõmbe suuremate vooluhkade korral arvutusmodeli ja projektijärgsete väärtuste vahelised erinevused suuremad, mis võib viidata vajadusele täpsemateks arvutusteks või mudeli täiustamiseks. Tulemused on täpsemalt nähtavad Joonis 3.12.



**Joonis 3.12** Projektijärgse ja arvutusmodeli väljatõmbe õhuvooluhulkade absoluutne erinevus.

Väljatõmbe õhuvooluhulga suhteline erinevuse paiknes vahemikus 0.5% kuni 2%, mis viitab sellele, et arvutusmodel on üldiselt täpne, kuna enamik erinevusi projekteeritud väärtustest jäävad alla 2% ning keskmiselt on arvutusmodeli väljatõmbe õhuvooluhulk 0,9% suurem, kui projektijärgne vooluhulk. Vahe tuleneb sellest, et mõned projektides on arvestatud, et WC ja vannituba on üks ühine tuba, kuid arvutusmodelis arvestatakse, et vooluhulk jaguneb kaheks eraldi toaks. Suhteline erinevus väljatõmbe õhuvooluhulga korral on nähtav Joonis 3.13.



**Joonis 3.13** Projektijärgse ja arvutusmodeli väljatõmbe õhuvooluhulkade suhteline erinevus.

Ventilatsiooni õhuvooluhulga arvutamine arvutusmodelis toimub vastavalt korteri suurusele ja otstarbele. Näiteks võib suuremate tubade ja köökide jaoks arvutada suuremad vooluhulgad, mis tagavad piisava õhuvahetuse ja siseõhu kvaliteedi. Väiksemates ruumides võib õhuvooluhulk olla väiksem, kuid piisav, et tagada mugav ja tervislik sisekliima. Väljatõmbe õhuvooluhulk ja väljatõmbeplafoonide arv võivad erineda sõltuvalt sanitaarsõlmede ruumilahendusest. Arvutusmodelis on arvestatud variant 1, kus iga ruum (WC ja vannituba) on lahendatud eraldi väljatõmbeplafooniga. Mõnel juhul võib korterelamutes WC ja vannituba vaheline sein olla lammutatud ning kaks ruumi ühendatud üheks. Sel juhul kasutatakse ainult ühte väljatõmbeplafooni, nagu on näidatud variandis 2. Projektides võib esineda ka siirdeõhuresti kasutamist WC ja vannituba vahelises seinas ning ainult ühe plafooni paigaldamist, nagu näidatud variandis 3. Variant 3 on aga projektide analüüsis esinenud väga harva.

Visuaalselt on kujutatud kõik võimalikud väljatõmbe lahendused renoveeritavates tüüpkorterelamutes Joonis 3.14.



**Joonis 3.14** Sanitaarsõlmede ruumide väljatõmbe lahenduse variandid.

### 3.2.4 Hoone pindalad ja ventilatsiooni torud

Antud peatükis kirjeldatakse hoone geomeetria olulisust arvutusmudelis. Hoone pindalad arvutatakse vastavalt sisestatud parameetritele lähteandmete lehel, sealhulgas hoone pikkus, laius ja kõrgus. Nende näitajate alusel arvutatakse hoone osade pindalad, mis omakorda on olulised hoone soojuskadude arvutamisel. Lisaks on tähtis arvutada ka hoone fassaadide ja katuse eraldi pindalad, kuna need mõjutavad oluliselt ventilatsioonitorude arvutamisel kasutatavaid tegureid. Allpool on toodud pindalad, mis on vajalikud arvutusmudeli töötamiseks. Tavaliselt nimetatakse hoone fassaade ilmakaare järgi, kuid antud arvutusmudeli kontekstis on see lihtsustatud ning hoone fassaadi pindalad on nimetatud lakooniliselt. Ventilatsiooni torustiku koguse määramisel on järgmised pindalad olulised:

- 1) Hoone ees- ja taga fassaadi pindalad;
- 2) Hoone nurkade fassaadi pindalad;
- 3) Summaarne fassaadide pindala;
- 4) Katuse pindala.

Pindalade arvutused olid järgmised:

- 1) Hoone laius \* (Hoone kõrgus - 3 m), m<sup>2</sup>
- 2) Hoone pikkus \* (Hoone kõrgus - 3 m), m<sup>2</sup>
- 3) Hoone eesfassaadi pindala + hoone tagafassaadi pindala + (2 \* Hoone nurga pindala), m<sup>2</sup>
- 4) (Hoone laius - 1 m) \* (Hoone pikkus - 1 m), m<sup>2</sup>

Ees- ja tagafassaadide arvutamisel on hoone kõrgusest lahutatud 3 meetrit, kuna see on kaugus maapinnast kuni akna kõige ülemise servani. Arvutusmudel arvestab seda vahet, kuna fassaadi soojustuse sisse paigaldatav toru paigaldatakse umbes 3 m kõrgusel maapinnasest, seega terve fassaadi pindala ei ole oluline antud arvutusmudeli kontekstis. Hoone geometria näitajate rakendus on nähtav Joonis 3.15.



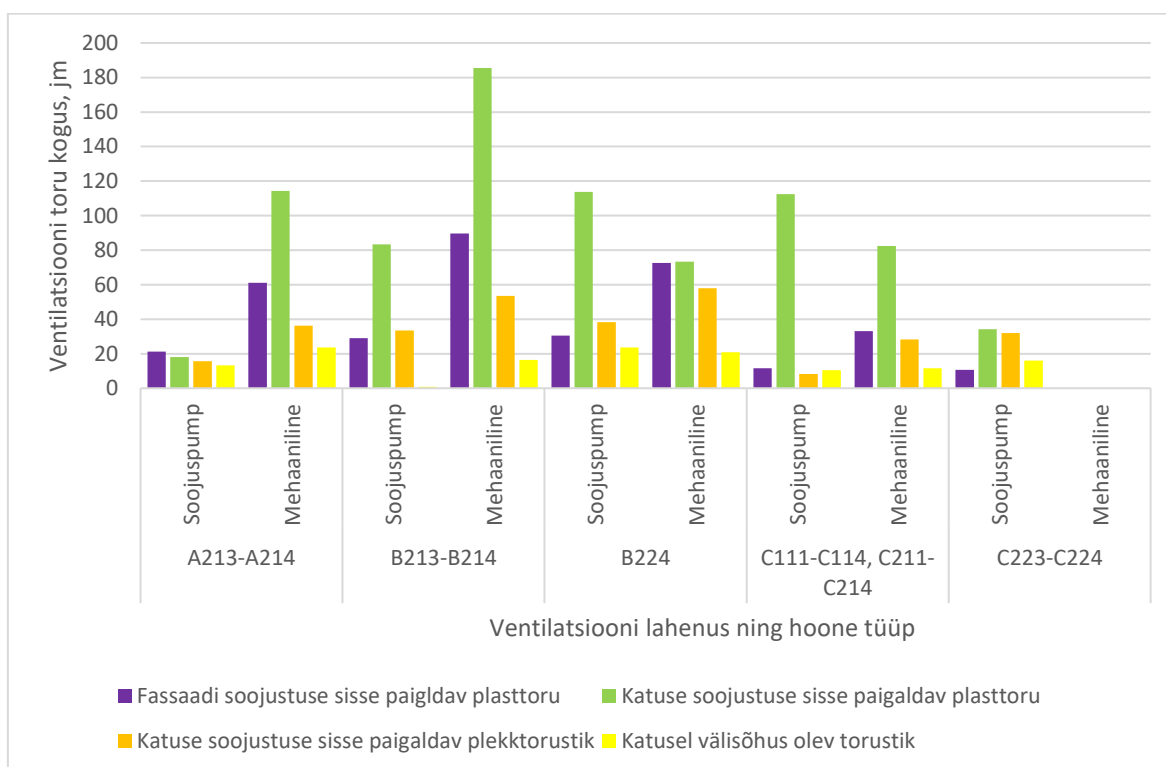
**Joonis 3.15** Arvutusmudeli geometria väärtuste kujundus.

Nende pindalade kaudu tuletati ventilatsiooni torustiku arvutamise loogika. Analüüsiti täpsemalt 138x51 lapikuid ventilatsioonitorusid (paigaldatakse fassaadi soojustuse sisse), 90 mm plastist ventilatsioonitorusid (paigaldatakse katuse soojustuse sees), plekist ventilatsioonitorusid (paigaldatakse katuse soojustuse sees) ning välisõhus olevaid ventilatsioonitorusid (ventilatsiooni seadmete torud või ristumise lahendamiseks vajalikud torud). Hoone pindalade ja ventilatsiooni torude vahel tuletati järgmised olulised väärtused, mis on nähtavad Joonis 3.16.

| Projektijärgsed tulemused terve hoone kohta                       |  |  |  | Projektijärgsed tulemused ühe trepikoda ja korruse kohta |  |  |                              |
|---|--|--|--|--|--|--|------------------------------|
| fassaadi soojustuse sisse paigldav plasttoru (jm/m <sup>2</sup> ) | katuse soojustuse sisse paigaldav plasttoru (jm/m <sup>2</sup> ) | katuse soojustuse sisse paigaldav plekktorustik (jm/m <sup>2</sup> ) | katusel nähtav torustik (jm/m <sup>2</sup> ) | fassaadi soojustuse sisse paigldav plasttoru (jm)        | katuse soojustuse sisse paigaldav plasttoru (jm) | katuse soojustuse sisse paigaldav plekktorustik (jm) | katusel nähtav torustik (jm) |

**Joonis 3.16** Hoone pindalade ja ventilatsiooni torustiku seosed.

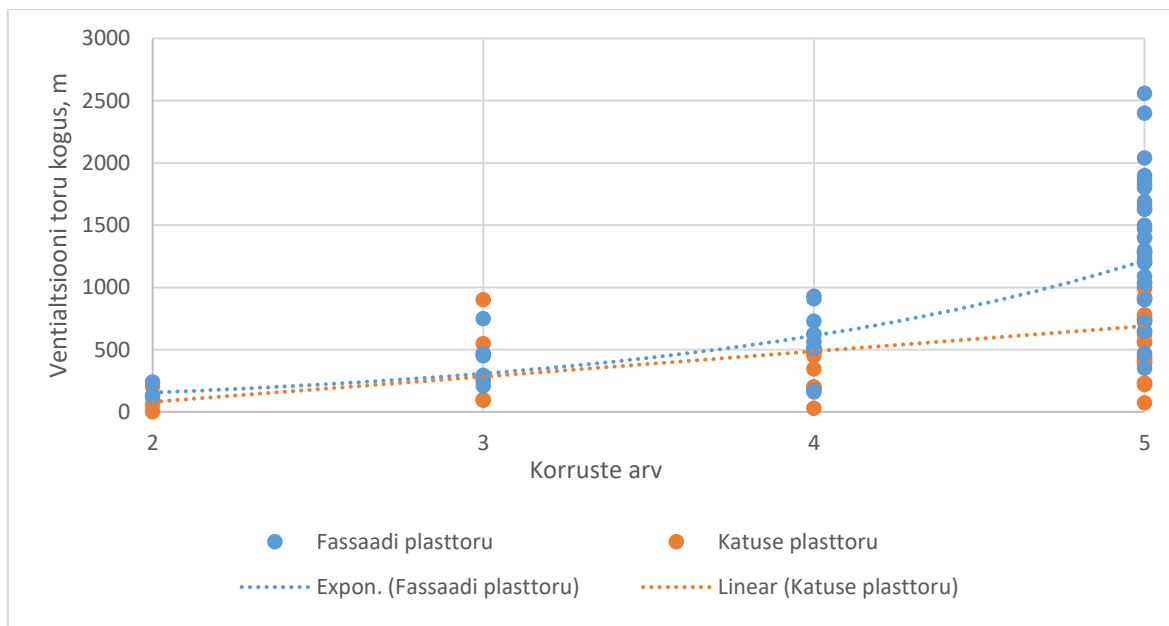
Täpsemate ventilatsioonitegurite väärtuse saamiseks ühe trepikoda ja korruse kohta, mis on kasutusel arvutusmudelil, tehti põhjalik statistiline analüüs, et tuletada maksimaalselt täpsed väärtused. Jooniselt on näha, et mehaanilise ventilatsiooni puhul kulub umbes kaks korda rohkem toru kui väljatõmbe soojuspumba puhul, kuna soojuspumbal on puudu sissepuhke torustik fassaadi ja katuse soojustuses. B224 ja C223-C224 andmed on toodud lisana ning ei pruugi olla korrektsed antud töö kontekstis, kuna analüüsis oli üsna väike kogus lahendatud Invento OÜ poolt tüüpprojekte. Illustratiivselt on näha, millised tulid erinevad ventilatsioonitorude kogused meetrites iga ventilatsiooni lahenduse ja korterelamu tüübi puhul Joonis 3.17.



**Joonis 3.17** Erinevate ventilatsiooni torude kogused ühe trepikoda ja korruse kohta.

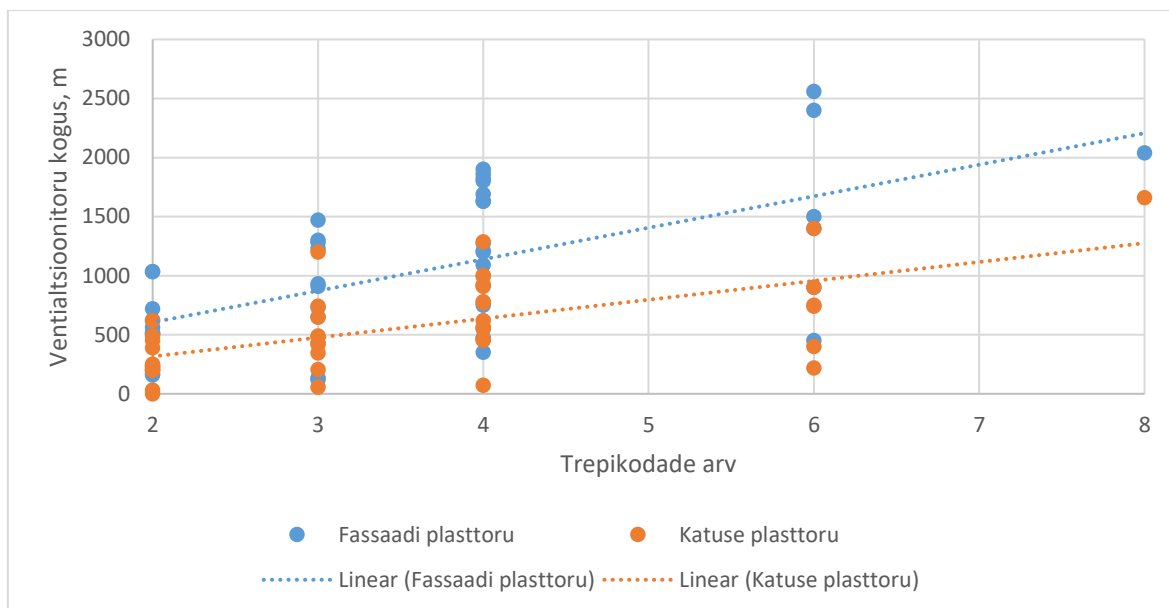
Arvutusmudelil kasutatakse keskmisi väärtusi ühe trepikoda ja korruse kohta, mis olid tuletatud A213-A214, B213-B214, C111-C114, C211-C214 tulemustest. Kuna tulemused iga tüübi puhul on sarnased, võib järeldada, et korterelamu tüüp ehk

välisseina liik ei mõjuta ventilatsioonitorude kogust. Arvutusmudel is mõjutab ventilatsioonitorude kogust peamiselt ventilatsiooni lahenduse valik, hoone trepikodade ja korruste arv. Järgnevalt on toodud graafik, mis näitab, et fassaadi ja katuse plasttorude kogus kasvab koos hoone korruste arvu suurenemisega. Fassaadi plasttorude kogus suureneb eksponentsiaalselt, mis viitab kiiremale kasvule kõrgemate korruste puhul, samas kui katuse plasttorude kogus suureneb lineaarsemalt, mis tähendab stabiilsemat kasvu korruste arvu suurendades. Tulemused on nähtavad Joonis 3.18.



**Joonis 3.18** Fassaadi ja katuse plasttoru seos korruste arvuga.

Järgmine graafik näitab, et mõlema tüüpi ventilatsioonitorude kogus kasvab koos hoone trepikodade arvu suurenemisega. Mõlemal juhul on kasv lineaarne, mis tähendab, et iga täiendab trepikoda lisab proportsionaalselt juurde torude kogust. Tulemused on näidatud Joonis 3.19.



**Joonis 3.19** Fassaadi ja katuse plasttoru seos trepikodade arvuga.

Erinevad ventilatsioonitorude kogused ühe trepikoja ja korruse kohta korrutatakse trepikodade ja korruste arvuga ning saavutatakse ligikaudne ventilatsioonitorude kogus. Tuletatud keskmised väärtused on varustatud 20% varuga, et kompenseerida projekteerija käekirja, ehitusel tekitatud vigu ning muid tegureid, mis võivad torude kogust vähendada. 20% varu on valitud, sest see on tasakaalustatud kompromiss: see on piisavalt suur, et arvestada tavaliste projektimuudatuste ja ehitusvigadega, kuid mitte liiga suur, et tekitada ülemäärast kulutust materjalidele. Väiksem varu, näiteks 10%, ei pruugi pakkuda piisavat paindlikkust reaalsete ehitusolude jaoks, samas kui suurem varu, näiteks 30%, võib põhjustada ressursside raiskamist ja eelarve ületamist. Tuletatud keskmised arvud arvutusmudeli on visuaalselt nähtavad Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Keskmised väärtused ventilatsioonitorude koguse määramiseks ühe trepikoja ja korruse kohta.

| Projektijärgsed keskmised tulemused ühe trepikoja ja korruse kohta |  |  |  |                              |
|--|--|--|--|------------------------------|
| Ventilatsiooni lahendus  | fassaadi soojustuse sisse paigaldav plasttoru (jm) | katuse soojustuse sisse paigaldav plasttoru (jm) | katuse soojustuse sisse paigaldav plekktorustik (jm) | katusel nähtav torustik (jm) |
| Mehaaniline ventilatsioon  | 89.709   | 185.513  | 53.421   | 16.474                       |
| Väljatõmbe soojuspump  | 29.084   | 83.250   | 33.417   | 0.917                        |



### 3.2.5 Soojussõlme koormused

Hoone üks olulisemaid tehnosüsteemide komponente on soojussõlm, mis toodab sooja vett iga süsteemi jaoks. Arendatud arvutusmudel suudab arvutada sooja tarbevee, radiaatorkütte ning ventilatsioonikütte koormused. Sisendit saab arvutusmehhanism hoone geomeetriast (laius, pikkus, kõrgus), korterite koguarvust ning piirdetarindite soojuslähivustest. Piirdetarindite soojuslähivused peavad vastama arhitektuursele renoveerimisprojektile, kuna sealt tulevad uued välisseina, katuslae, põrand, akende ning välisuste soojuslähivuse väärtused. Arvutusmudel arvutab kõik vajalikud soojussõlme koormused nii mehaanilise ventilatsiooni lahenduse korral kui ka väljatõmbe soojuspumba puhul. Erinevus kahe ventilatsiooni lahenduse vahel seisneb selles, et väljatõmbe soojuspumba puhul on radiaatorküte koormus suurem, kuna korteri sisse tuleb välisõhu temperatuur ning ventilatsiooniküte on üldse puudu.

Radiaatorküte koormus on võrdne hoone soojuskaoga, mis tähendab, et on liidetud kokku järgmised arvutatud väärtused: põrand soojuskadu, välisseinte soojuskadu, katuslae soojuskadu, avatäidete soojuskadu ning ventilatsioonist tulenev soojuskadu. Järgnevalt on toodud valem 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ja 3.5.

$$\Phi_{põrand} = \Delta T \times R_{põrand} \times (a \times b), W \quad (3.1)$$

$$\Phi_{välissein} = \Delta T \times R_{välissein} \times (2 \times ((a \times h) + (b \times h))), W \quad (3.2)$$

$$\Phi_{katus} = \Delta T \times R_{katus} \times (a \times b), W \quad (3.3)$$

$$\Phi_{avatäide} = \Delta T \times R_{avatäide} \times (2 \times 0,3 \times ((a \times h) + (b \times h))), W \quad (3.4)$$

$$\Phi_{vent} = (R_{õhk} \times (a \times b)) + (\Delta T_{vent} \times q \times c), W \quad (3.5)$$

Kus  $\Phi$  – soojuserikadu W

$a$  – hoone pikkus m

$b$  – hoone laius m

$h$  – hoone kõrgus m

$\Delta T$  – välis- ja siseõhu temperatuuride vahe °C

$\Delta T_{vent}$  – sissepuhke- ja siseõhu temperatuuride vahe °C

$q$  – ventilatsiooni õhuvooluhulk l/s

$R$  – piirdetarindi soojusjuhtivus m<sup>2</sup>K/W

$c$  – õhu tihedus kg/m<sup>3</sup>

Väga suurt rolli mängib radiaatorkütte koormuse arvutamisel hoone asukoht, kuna välisõhu temperatuur võib erinevates piirkondades varieeruda alates -19 °C (Kärdla) kuni -25 °C (Jõgeva, Tartu, Võru). Seda määrab valemite  $\Delta T$ , mis on siseõhu ja välisõhu temperatuuride vahe.

Ventilatsiooni soojuskaotuse arvutamisel on oluline valida korrektne temperatuuride vahe ja arvutatud õhuvooluhulk, mida määrab ventilatsiooni lahenduse valik. Mehaanilise ventilatsiooni puhul tuleb soojem õhk korteri sisse ja temperatuuride vahe ehk  $\Delta T$  on madalam võrreldes väljatõmbe soojuspumba puhul. Mehaanilise ventilatsiooni korral on  $\Delta T_{vent} = 10$  °C, aga väljatõmbe soojuspumba korral on  $\Delta T_{vent} = 45$  °C.

Ventilatsiooniküte arvutamisel on üks võtmenäitajast ventilatsiooni kogu õhuvooluhulk ning teised tegurid nagu õhu tihedus, õhu erisoojus ning  $\Delta T_{vent, sulatus}$ . Arvutusmudel on kasutatud valem 3.7 ventilatsiooniküte arvutamisel:

$$\Phi_{ventküte} = 1,2 \times 1,005 \times q \times \Delta T_{vent, sulatus}, W \quad (3.7)$$

Kus

$q$  – ventilatsiooni õhuvooluhulk l/s

$\Delta T_{vent, sulatus}$  – sissepuhke õhu ja soojusvaheti õhu temperatuuri vahe °C

Sooja tarbevee soojusvaheti arvutusliku võimsuse saab arvutada valem 3.8 kaudu, mida kasutatakse ainult Eesti kortermajades (korteris üks vannituba ja üks köök):

$$\Phi_{STV} = 30 + 15 \times \sqrt{2 \times n} + 0,2 \times n, W \quad (3.8)$$

Kus

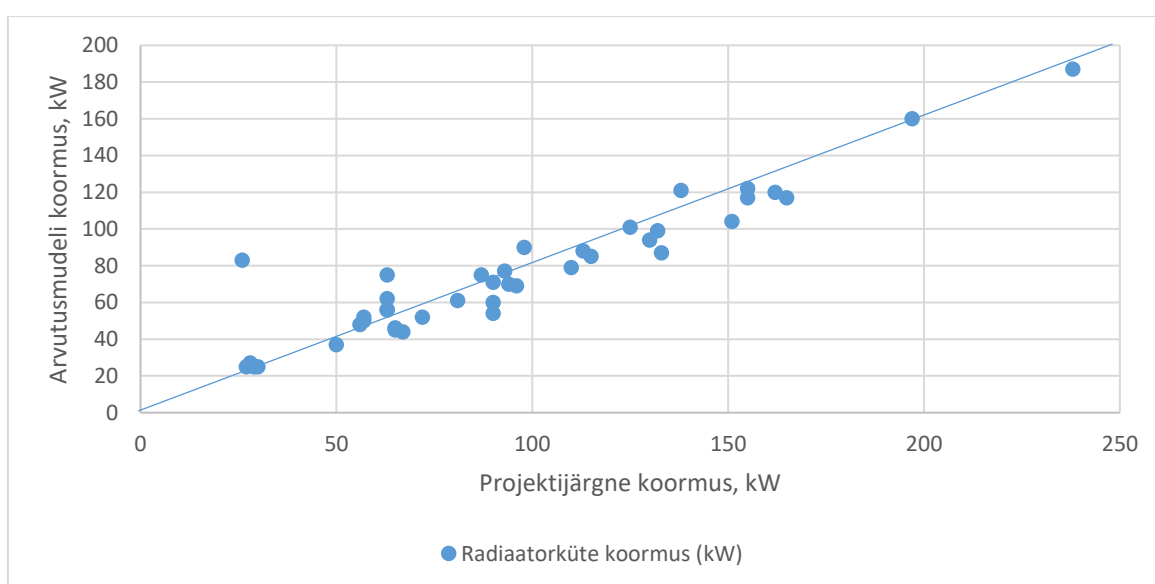
$n$  – korterite arv tk

Usaldusväarsuse kontrollimiseks võrreldi projektijärgse ja arvutusmudeli radiaatorkütte koormuste absoluutset erinevust. Arvutusmudel kasutab arvutamisel soojusläbivusi, mis on toodud Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Arvutusmudeli piirdetarindite soojusläbivused

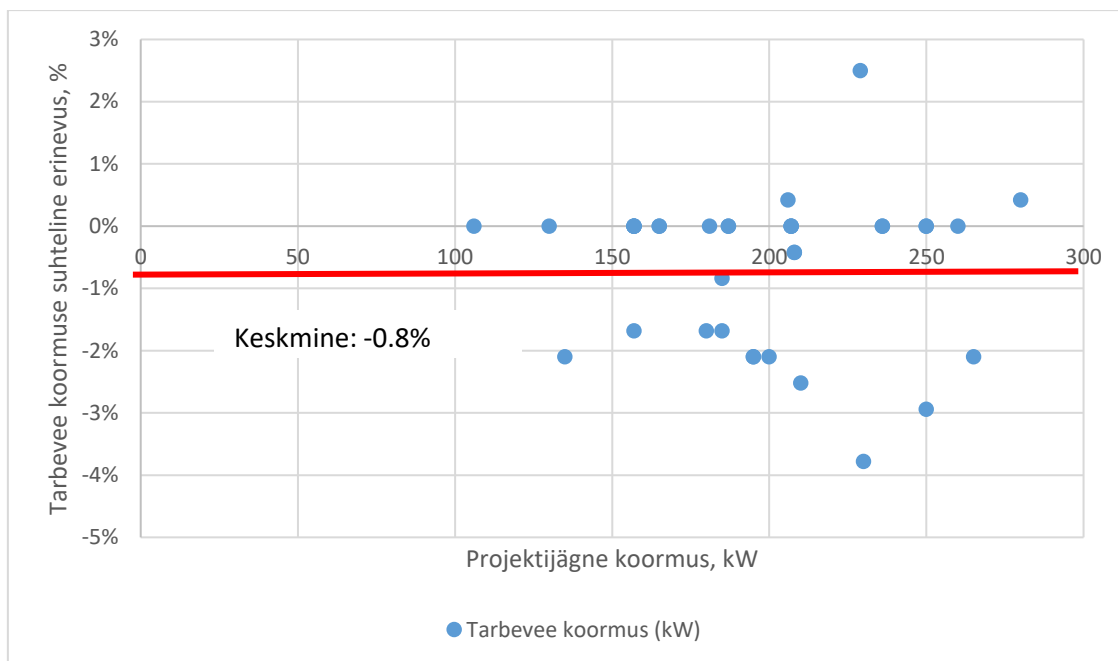
| Piirdetarindid   | Väärtus | Ühik                  |
|------------------|---------|-----------------------|
| Välissein        | 0.16    | W/(m <sup>2</sup> *K) |
| Katuslagi        | 0.10    | W/(m <sup>2</sup> *K) |
| Pinnasel põranda | 0.35    | W/(m <sup>2</sup> *K) |
| Välisuks         | 1.2     | W/(m <sup>2</sup> *K) |
| Aken             | 1.2     | W/(m <sup>2</sup> *K) |

Järgmisena on toodud absoluutse erinevuse graafik. Üldine trend punktide vahel on lineaarne, kuid on märgata mõningast hajuvust diagonaaljoone ümber, mis viitab erinevustele, et mõned andmepunktid on projekteeritud koormustest madalamad või kõrgemad. Kuna projektijärgetes andmetes olid kasutatud piirdetarindite soojuslääbivused arhitektuursetest projektidest, tähendab see, et kõikidel hoonetel on erinevad soojuslääbivuste väärtused. Arvutusmudelis kasutati keskmisi soojuslääbivusi koormuste arvutamiseks, kuna see arvutusmudel arvutab varajases staadiumis, ei mängi see olulist rolli, aga selleks, et mudel korralikult töötaks, on vaja sisestada korrektsed soojuslääbivused. Arvutusmudel on projektijärgete ennustamisel täpne, täpsemalt vaata Joonis 3.20.



**Joonis 3.20** Projektijärgse ja arvutusmudeli radiaatorküte koormuse absoluutne erinevus.

Järgneval graafikul on kujutatud projekteeritud ja arvutusmudeli tarbevee koormuse suhteline erinevus. Enamik andmepunkte paiknevad vahemikus -2% kuni 1% Y-teljel, mis viitab sellele, et projekteeritud ja arvutusmudeli tarbevee koormuste vahelised erinevused on valdavalt väiksemad kui 2%. On ka mõned andmepunktid, mis näitavad suhtelist erinevust, ulatudes kuni 3% või alla -3%. Need punktid võivad viidata olulistele kõrvalekalletele arvutusmudelis või projekteerimises. Keskmine vahe on -0,8%, mis võib olla seotud sellega, et paljud projekteerijad ümmardavad koormused, et varu oleks sees. Arvutusmudel sellise varuga ei arvesta ning ei ümmarda. Arvutusmudel on üldiselt täpne, kuna enamik erinevusi projekteeritud väärtustest jäävad väikesteks. See viitab sellele, et mudel toimib hästi projekteeritud tarbevee koormuste hindamisel. Kõik tulemused on näidatud Joonis 3.21.



**Joonis 3.21** Projektijärgse ja arvutusmodeli tarbevee koormuse suhteline erinevus.

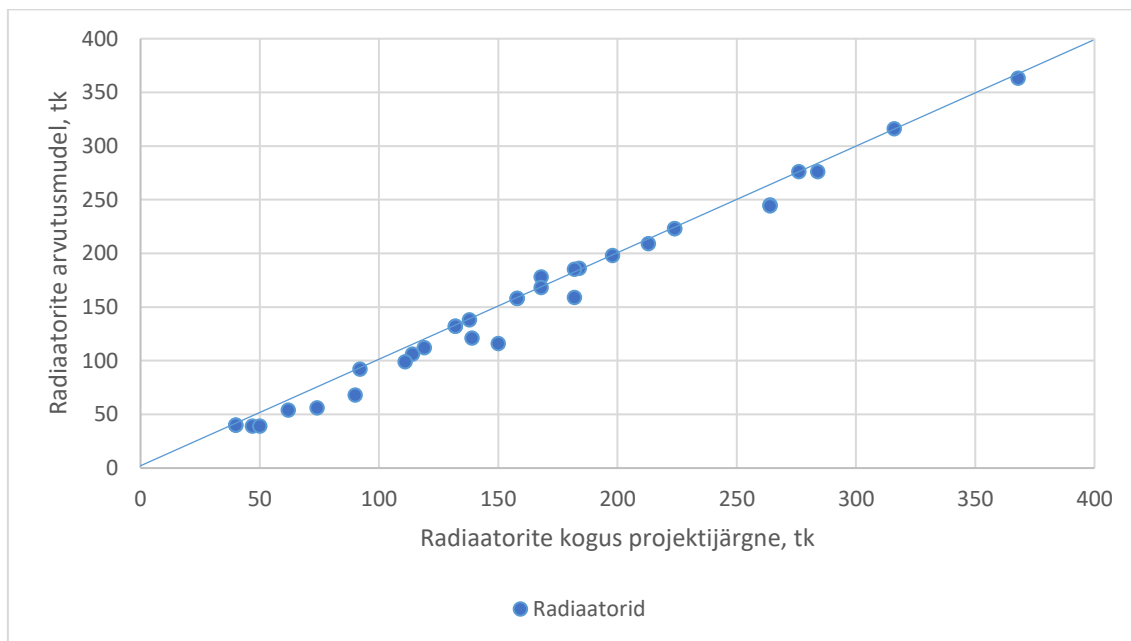
### 3.2.6 Küte- ja ventilatsioonisüsteemi spetsifikatsiooni elemendid

Arvutusmodel genereerib on küte- ja ventilatsioonisüsteemi spetsifikatsioonid, kus on loetletud põhiseadmete komponendid. Spetsifikatsioonid on koostatud mõlema ventilatsiooni lahenduse puhul, ehk mehaanilise ja väljatõmbe soojuspumba korral. Erinevus seisneb selles, et väljatõmbe soojuspumba lahenduses puuduvad sissepuhke plafoonid, kuid kütte seadmete loetelus lisatakse radiaatori värsket õhu elementideid.

Küte spetsifikatsioon koosneb järgmistest elementidest: radiaatorid, värsket õhu elementideid (väljatõmbe soojuspump), radiaatori eelseadega ventiil, termostaatpea, radiaatori- ja ventilatsioonikütte torustik. Radiaatorite kogus arvutatakse vastavalt korterite tubade arvule, kuna igasse tuppa paigaldatakse radiaator, välja arvatud WC ja vannituba. Radiaatorite eelseadega ventiilid ning termostaatpead vastavad radiaatorite kogusele. Näiteks, kui korter on kolmetoaline, milles on 3 tuba ja 1 köök, siis korteris on kokku 4 radiaatorit, 4 eelseadega ventiili ning 4 termostaatpead. Kui ventilatsiooni lahendus on väljatõmbe soojuspumbaga, lisanduvad igale radiaatorile värsket õhu elementideid, välja arvatud köögis. Radiaatorite koguse arvutamiseks kasutab arvutusmodel Lisa 3.2.

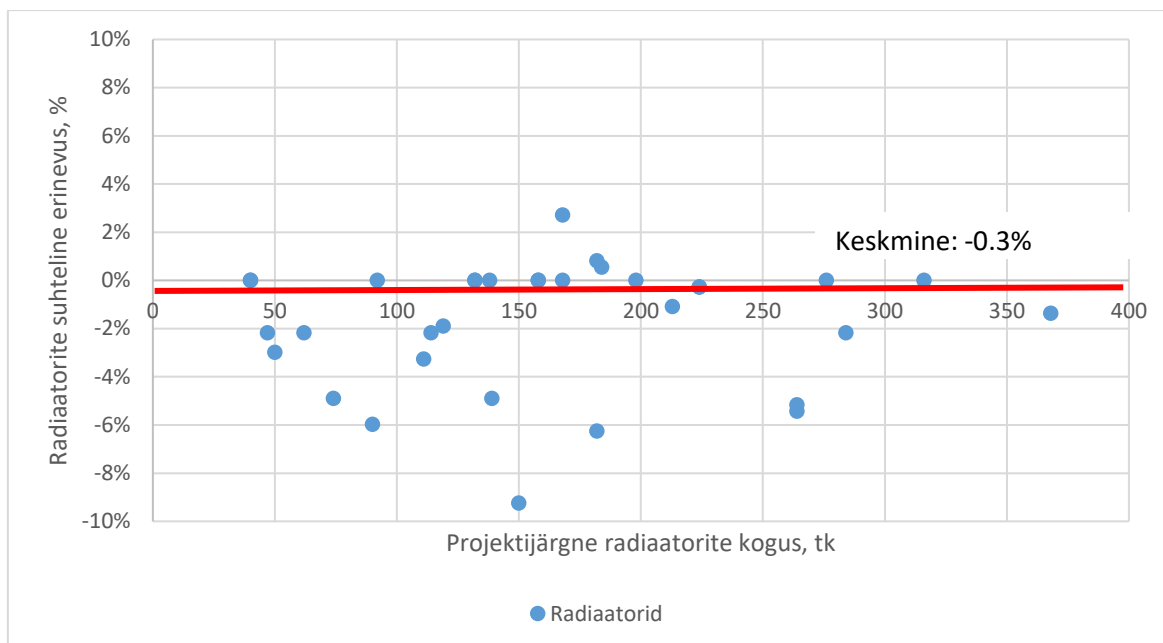
Radiaatorite koguse seoses on lineaarne trend, mis näitab, et arvutusmodel on usaldusväärne. Nagu teistes graafikutes, on ka radiaatorite suuremate koguste korral arvutusmodeli ja projektijärgsete väärtuste vahelised erinevused suuremad, mis võib viidata vajadusele täpsemateks arvutusteks.

Sellel graafikul on toodud absoluutne erinevus projektijärgsete ja arvutusmodeli väärtuse vahel, täpsemalt on tulemused näha Joonis 3.22.



**Joonis 3.22** Projektijärgse ja arvutusmodeli radiaatorite koguse absoluutne erinevus.

Suhteline erinevus projektijärgse ja arvutusmodeli vahel jääb vahemikku -9% kuni 3%, mis viitab sellele, et radiaatorite arvutus on üldiselt usaldusväärne, kuna vahemik on kuni 10%. Keskmise erinevus on -0,3%, mis tähendab, et arvutusmodel alahindab tulemusi. Suuremad allahinnatud punktid, mis on kuni -10%, tulenevad sellest, et mõnedes projektides olid radiaatorid osaliselt vahetatud või nurga korterites oli paigaldatud 2 radiaatorit nurga tupp. Sellega arvutusmodel ei arvesta, kuna tegemist on mudeliga, mis annab varajases staadiumis koguseid. Suuremate projekteeritud radiaatorite koguste (üle 150 tk) korral on arvutusmodeli ja projektijärgsete väärtuste vahelised erinevused väiksemad, mis näitab mudeli suuremat täpsust suuremate koguste puhul. Väiksemate radiaatorite koguste (alla 100 tk) juures on aga suurem varieeruvus, mis võib viidata vajadusele täpsemateks arvutusteks või mudeli kalibreerimiseks selles vahemikus. Tulemused on näidatud Joonis 3.23.



**Joonis 3.23** Projektijärgse ja arvutusmodeli radiaatorite koguse suhteline erinevus.

Trepikodadesse paigaldatakse samuti radiaatorid esimesel korrusel, kuid tavaliselt ei ole radiaatorid varustatud termostaatpeaga, kuna inimesed võivad seda lõhkuda ja iseseisvalt reguleerida. Lahendusena paigaldatakse vandaalikindlad termostaatpea võtmega, kuid arendatud arvutusmudel arvestab olukorraga, et trepikojas ei ole termostaatpea. Siiski lisatakse radiaator ja eelseadega ventiil spetsifikatsiooni. Radiaatori- ja ventilatsioonikütte torustik arvutatakse sarnaselt ventilatsioonitorudega, ehk arvutusmudelis on keskmised toru kogused meetrites ühe trepikoja ja korruse kohta, mis tulenevad statistilisest analüüsist vaata Lisa 2.3. Radiaatori- ja ventilatsioonikütte torude kogused on esitatud Tabel 3.3.

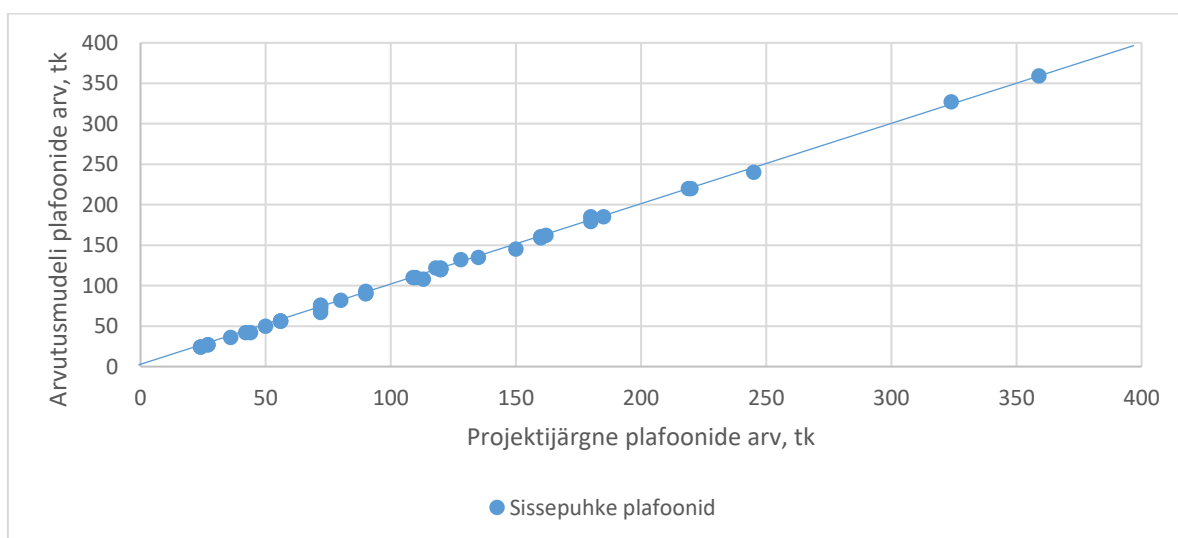
**Tabel 3.3** Keskmised väärtused ventilatsiooni torude määramiseks ühe trepikoja ja korruse kohta.

| Keskmised küttetoru kogused ühe trepikoja ja korruse kohta |                             |                                  |
|--|-----------------------------|----------------------------------|
| Ventilatsiooni lahendus                                    | Radiaatorküte torustik (jm) | Ventilatsiooniküte torustik (jm) |
| Mehaaniline ventilatsioon                                  | 87.5                        | 8.4                              |
| Väljatõmbe soojuspump                                      | 87.5                        | 0                                |

Ventilatsiooni spetsifikatsioon koosneb järgmistest elementidest: väljatõmbe ja sissepuhke plafoonid, tuletõkkeklapp, puhastusluu, värskeõhuklappid, fassaadi plasttorustik, katuse plasttorustik, korteri sisene torustik, katuse soojustus asuv terasplekkitorustik ning välisõhus asuv terasplekkitorustik. Arvutusmudelis kasutatavad

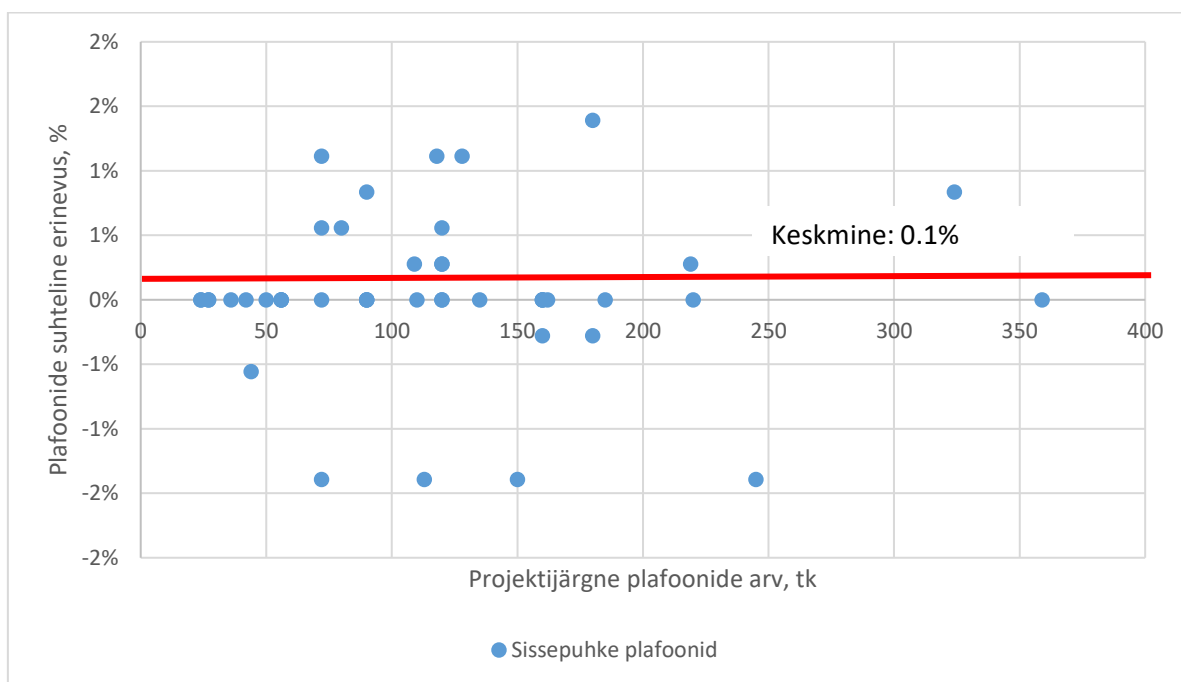
väärtused spetsifikatsiooni genereerimiseks on toodud Lisa 3.4. Plafoonide kogused arvutatakse vastavalt tubade arvule, kus iga eluruumi kohta paigaldatakse sissepuhke plafoon ning vannitoas, köögis ja WC-s on oma eraldi plafoonid. Näiteks, kui korter on kolmetoaline, milles on kolm tuba, üks köök, üks WC ja üks pesuruum, siis korteris on kokku kolm sissepuhke plafooni ja kolm väljatõmbe plafooni. Korterite sees olevate torude kogused arvutatakse vastavalt toa suurusele, kusjuures ühetoalises toas on 0,3 m toru, kahetoalises 0,6 m toru ja nii edasi. Tuletõkkeklapid paigaldatakse iga plafooniga samasse ruumi, välja arvatud pesuruumis või WC-s, kuna seal on üks magistraal ja arvutusmudel arvestab sellega, et kahe plafooni jaoks on pandud üks tuletõkkeklapp. Sellele samale tuletõkkeklapile, mis on vannitoas kulub ka puhastusluuk tuletõkkeklapi hoolduseks ja teenindamiseks. Kui ventilatsiooni lahendus on väljatõmbe soojuspumbaga, siis sissepuhke plafoonid puuduvad ning korterite torude, tuletõkkeklappide ja puhastusluukide kogus väheneb vastavalt. Trepikodades on samuti arvestatud ventilatsiooniga ning ühe trepikoja kohta on üks väljatõmbeplafoon ja kaks värskõhuklappi. Kelder ei ole mehaaniliselt ventileeritud, seega arvestab arvutusmudel, et ühe trepikoja jaoks on vajalik neli värskõhuklappi keldris.

Järgmisena on toodud graafik, mis kujutab sissepuhke plafoonide koguse projektijärgsete väärtuste ja arvutusmudelis saadud väärtuste absoluutset erinevust. Andmepunktide vaheline üldine lineaarne trend näitab, et arvutusmudel on projektijärgsete koguste ennustamisel üldiselt täpne. Näiteks, kui projektijärgne kogus on 100 plafooni, siis arvutusmudelis arvatud kogus jääb keskmiselt vahemikku 95 kuni 105 plafooni. Arvutusmudel on kõige täpsem väiksemate koguste korral (alla 100 plafooni), kus erinevus jääb alla 5%. Täpsemalt on tulemused näha Joonis 3.24.



**Joonis 3.24** Projektijärgse ja arvutusmudeli sissepuhke plafoonide absoluutne erinevus.

Järgmiseks võib uurida sissepuhke plafoonide koguste projektijärgsete väärtuste ja arvutusmudelil saadud väärtuste suhtelist erinevust. Andmepunktide vaheline üldine trend näitab, et arvutusmudel on projektijärgsete koguste ennustamisel üldiselt täpne. Keskmise suhteline erinevus projektijärgsete ja arvutusmudelil saadud väärtuste vahel on ligikaudu -2% kuni 2%. Keskmise erinevus on 0.3%, mis võib tuleneda projekteeerija veast, ehitaja erisoovist või keldri ventileerimisega seotud erisustest. Keldriga antud arvutusmudel ei arvesta. Täpsemalt on tulemused näha Joonis 3.25.



**Joonis 3.25** Projektijärgse ja arvutusmudeli sissepuhke plafoonide suhteline erinevus.

### 3.2.7 Küte- ja ventilatsioonisüsteemi elementide maksumus ja CO<sub>2</sub>

Arvutusmudel arvutab kütte- ja ventilatsioonisüsteemide spetsifikatsioonide elementide maksumust ning tuletab eeldatava eritööde maksumuse, sealhulgas paigaldustööd, survepesu, tasakaalustamine ja nii edasi. Antud lõputöö raames on kütte- ja ventilatsioonisüsteemide elementide maksumus pakutud lisana ja see pole prioriteetne tulemus. Arvutuskäik koosneb tavalisest korrutamisest, kus elementide kogus korrutatakse elemendi hinnaga. Elementide maksumused on võetud internetist ning hinnad on pärit Eesti turult. Arvutusmudel arvutab maksumust ilma käibemaksuta ning hinnad on esitatud Lisa 3.5.

CO<sub>2</sub> jalajälje arvutamine käesoleva lõputöö raames on mõeldud varajase tulemuse saamiseks, seega on arvutusmudelil esitatud lihtne arvutus. Arvutusmudeli Exceli failis on olemas leht "CO<sub>2</sub>", kus on toodud kõik vajalikud GWP (globaalse soojenemise



potentsiaal) või heitmetegurid iga elemendi jaoks, mis on toodud kütte- ja ventilatsioonisüsteemi spetsifikatsioonides. Antud arvutusmudel oli arvestatud kogu A1-A3 heitmeteguriga, mis tähendab kogu tootmisetapi CO<sub>2</sub>. Iga kütte- ja ventilatsioonisüsteemi elemendi kohta oli leitud vastav materjal, kaal (kg) ühe elemendi või ühe toru meetri kohta. Kogu CO<sub>2</sub> väärtus on arvatud väga lihtsalt - tuleb korrutada kogu elementide kaal vastava heitmeteguriga. Arvutusmudel arvutab CO<sub>2</sub> väärtused mõlema kütte- ja ventilatsiooni lahenduse korral. Täpsemalt vaata Lisa 3.6, kus on toodud kõik materjalid, kaalud ja heitmetegurid iga elemendi kohta. Kütte CO<sub>2</sub> arvutamisel tuleb märkida seda, et CO<sub>2</sub> kogused mõlema lahenduse puhul on üsna sarnased, kuid mehaanilise ventilatsiooni puhul lisandub ventilatsiooniküte torustik ja väljatõmbe soojuspumba korral mängivad rolli radiaatorite värske õhu elemendid. Näide kütte CO<sub>2</sub> arvutamisest 5-korruselisel korterelamul, milles on 4 trepikoda ja 80 korterit kokku on toodud Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Kütte CO<sub>2</sub> väärtuste tulemus ühel korterelamul (5 korrust, 4 trepikoda, 80 korterit).

| Kütte CO <sub>2</sub> väärtused |             |                       |                       |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Näitajad                        | Mehaaniline | Väljatõmbe soojuspump | Ühik                  |
| Radiaatorid                     | 9926        | 9926                  | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Värske õhu elemendid            | 0           | 704                   | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Eelseadega ventiilid            | 99          | 99                    | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Termostaatpead                  | 99          | 99                    | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Torustik radiaatorküte          | 1115        | 1115                  | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Torustik ventilatsiooniküte     | 686         | 0                     | CO <sub>2</sub><br>Kg |
| Kogu                            | 11924       | 11942                 | CO <sub>2</sub><br>Kg |

Järgnevalt on toodud sarnane arvutus sarnasele hoonele, kuid tegemist on mehaanilise ventilatsiooniga ja väljatõmbe soojuspumbaga. Visuaalselt on tulemused nähtavad Tabel 3.5. Nagu näha, kulub enamus CO<sub>2</sub> kogusest ventilatsioonitorudele. Kuna väljatõmbe soojuspumbal on vähem torustikku, on ka CO<sub>2</sub> tulemus kaks korda väiksem.

**Tabel 3.5** Ventilatsiooni CO2 väärtuste tulemus ühel korterelamul (5 korrust, 4 trepikoda, 80 korterit).

| Ventilatsiooni CO2 väärtused    |             |                       |        |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|--------|
| Näitajad                        | Mehaaniline | Väljatõmbe soojuspump | Ühik   |
| Väljatõmbe plafoonid            | 115         | 118                   | CO2 Kg |
| Sissepuhke plafoonid            | 118         | 0                     | CO2 Kg |
| Korteri sisene torustik         | 1592        | 1263                  | CO2 Kg |
| Tuletõkkeklappid                | 163         | 54                    | CO2 Kg |
| Puhastusluugid                  | 83          | 83                    | CO2 Kg |
| Värskeõhuklappid                | 30          | 30                    | CO2 Kg |
| HDPE fassaadi torustik          | 2623        | 850                   | CO2 Kg |
| HDPE katuse torustik            | 992         | 445                   | CO2 Kg |
| Terasplekk torustik soojustuses | 2108        | 1319                  | CO2 Kg |
| Terasplekk torustik õhus        | 3110        | 173                   | CO2 Kg |
| Kogu                            | 10935       | 4336                  | CO2 Kg |

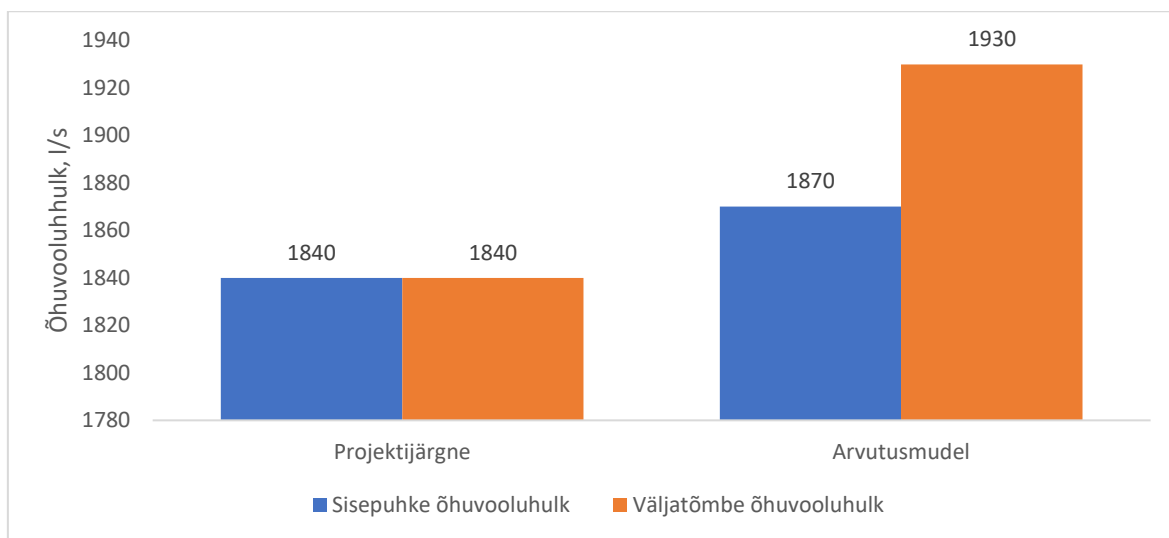
### 3.3 Arvutusmudeli tulemuste testimine ja arendamine

Arvutusmudeli tulemuste testimise ja arendamise käigus keskenduti arvutusmudeli usaldusväärsuse tagamisele ning selle täpsuse parandamisele. Selleks vaadeldi mitmeid pilootprojekte, kus arvutusmudelit rakendati ja testiti erinevat tüüpi hoonetes. Pilootprojektid andsid võimaluse kontrollida arvutusmudeli täpsust erinevate hoonetüüpide jaoks ning võrrelda mudeli ennustusi projektijärgsete tulemustega. Lisaks võimaldasid need projektid tuvastada arvutusmudeli kitsaskohti ja parandada selle täpsust ning kasutatavust. Objektide koondtabelist valiti neli pilootprojekti, mille aadressid on Tööstuse 85, Valdeku 118A, Akadeemia 6 ja Kuuma 4. Hoone geomeetria ning korterite, korruste ja trepikodade arv on võetud ehitisregistrist ja sisestatud arvutusmudeli "lähteandmed" lehel vastavatesse lahtritesse.

#### 3.3.1 Piloot 1 – Tööstuse 85, Tallinn

Tööstuse 85, Tallinn korterelamu on kasutusele võetud aastal 1962. Hoones on 4 trepikoda ja 5 maapealseid korruseid. Seda hoonete valiti pilootprojektina, kuna selle kohta on olemas projektijärgsed andmed ning selles hoones oli projekteeritud mehaanilise sissepuhkega ventilatsioonisüsteem. Hoone pikkus on 73,8 meetrit, laius

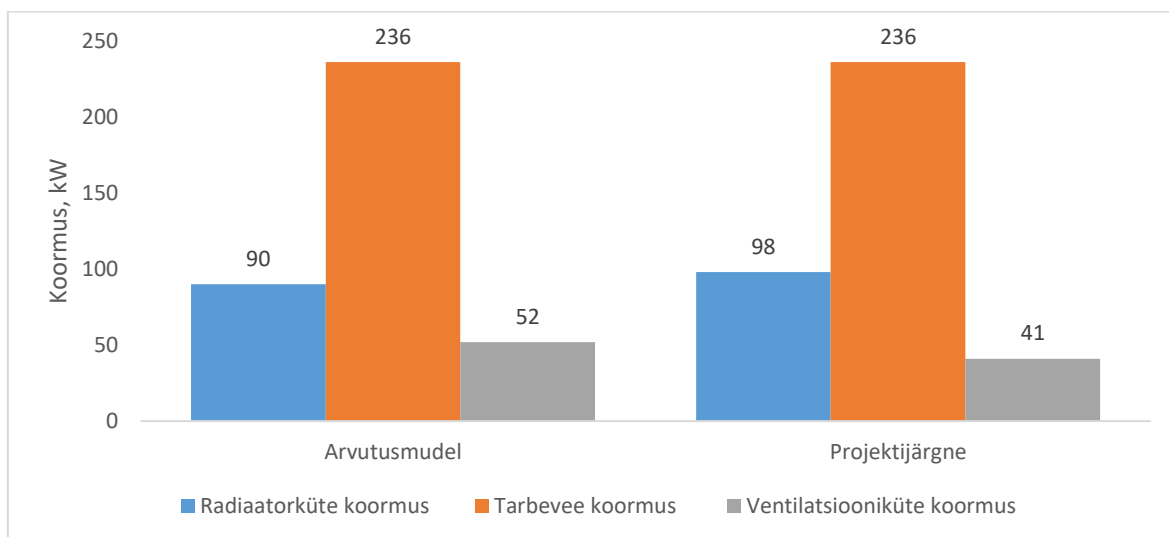
12,3 meetrit ning kõrgus 15 meetrit. Hoones on kokku 80 korterit, millest ühetoalisi on 10 tk, kahetoalisi 60 tk ja kolmetoalisi 10 tk. Hoone vastab tüüpprojektile B213, mille ehitusfüüsikalised näitajad on olemas kirjanduse ülevaates. Hoones teostati kütte ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine. Olemasoleva küttesüsteemi asemele paigaldati kaasaegne nõuetele vastav kahetoru küttesüsteem koos kaasaegsete külgühendusega terasplekk plaatradiaatoritega. Ruumipõhise soojusväljastuse reguleerimiseks ja mõõtmiseks ning tsirkulatsiooni tagamiseks läbi küttekeha, varustati iga küttekeha - eelseadistusega radiaatoriventil koos termostaatventiiliga (18-23°C). Elamusse on ette nähtud mehaaniline soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, mis lõpeb katusel asuva ventilatsiooniseadmega. Siirdeõhu liikumine on tagatud läbi uksealuse pilu või siirdeõhurestiga. Esimesena võib vaadata sissepuhke ja väljatõmbe vooluhulkade seosed projektijärgsete ning arvutusmudeli andmete vahel, tulemused on näha Joonis 3.26.



**Joonis 3.26** Tööstuse 85, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmudeli õhuvooluhulkade tulemused.

Jooniselt on näha, et projektijärgne sissepuhke õhuvooluhulk on 30 l/s ehk 1,2% madalam ning projektijärgne väljatõmbe õhuvooluhulk on 90 l/s ehk 4,7% madalam võrreldes arvutusmudeli tulemusega. Projektijärgne kütte- ja ventilatsiooniprojekt oli tehtud aastal 2018 ning tol ajal ei olnud nõutud mehaaniline väljatõmbe ventilatsiooni trepikojas, seega väljatõmbe vooluhulga vahel tekib vahe. Kui lahutada arvutusmudeli väljatõmbe vooluhulgast trepikodade vooluhulgad, siis vahe on ka 30 l/s ehk 1,2% võrreldes projektijärgsete andmetega. 30 l/s või 1,2% vahe tuleb sellest, et mõnedel kolmetoalistel korteritel oli valesti pandud vooluhulk, näiteks paar korterites oli õhuvahetus järgmine: 33 l/s sissepuhke ja 30 l/s väljatõmbe. Need väärtused ei ole tasakaalus, vaadates jooniseid, saab teha järeldust, et see projekteerija näpuviga kuna teistes kolmetoalistes korterites on vooluhulk tasakaalus.

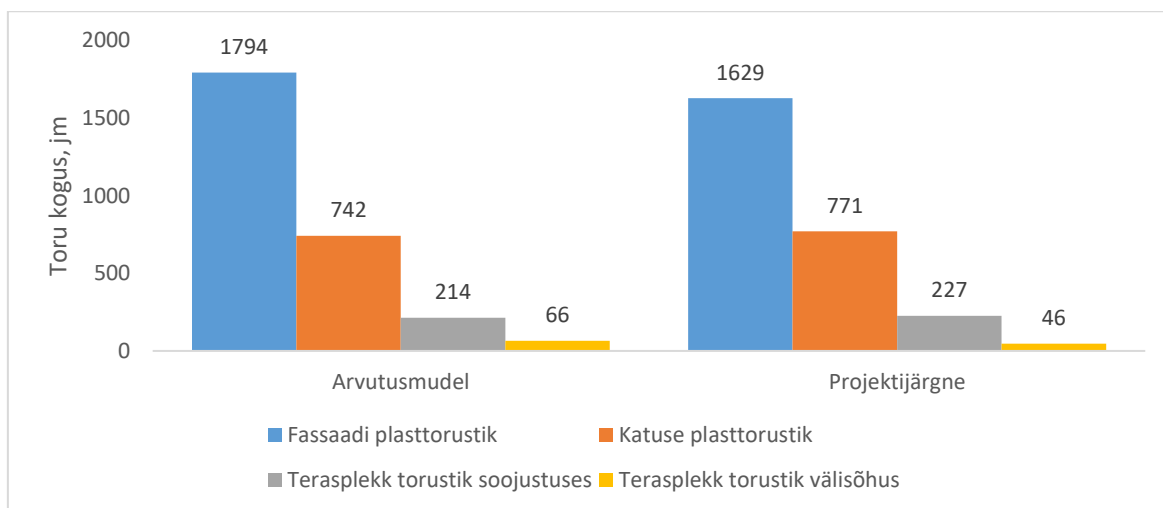
Soojussõlme koormused on üks põhilistest lahenduse kirjeldatavatest andmetest. Uuritava pilootprojekti projektijärgsete ja arvutusmodeli soojussõlme koormuste tulemustel, selgus, et tarbevesi on arvestatud 100% täpsusega, kuna tegemist on valemiga, mis arvutab koormust korterite arvu kaudu. Arvutusmodeli radiaatorküte koormus on 8,2% madalam võrreldes projektijärgse tulemusega ning see on eeldatavasti seotud geomeetriaga ning ventilatsiooni voluhulga vahest. Arvutusmodeli ventilatsiooniküte koormus on 26% suurem võrreldes projektijärgse tulemusega, see vahe on ka seotud projektijärgse voluhulga veaga. Oluline on ka see, et ventilatsiooniküte koormus on väga seotud  $\Delta T_{vent,sulatus}$  ehk temperatuuri valiti sissepuhke temperatuurina ja milline temperatuur on lõpuks soojusvaheti sees  $-21^{\circ}\text{C}$  juures. Temperatuur soojusvaheti sees väga sõltub välisõhu temperatuurist, seadme suurusest, mudelist, kasutegurist ja nii edasi, aga selle töö raames sellele ei pöördu suurt tähelepanu. Projektijärgsete ja arvutusmodeli tulemuste vahe on toodud Joonis 3.27.



**Joonis 3.27** Tööstuse 85, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmodeli soojussõlme koormuste tulemused.

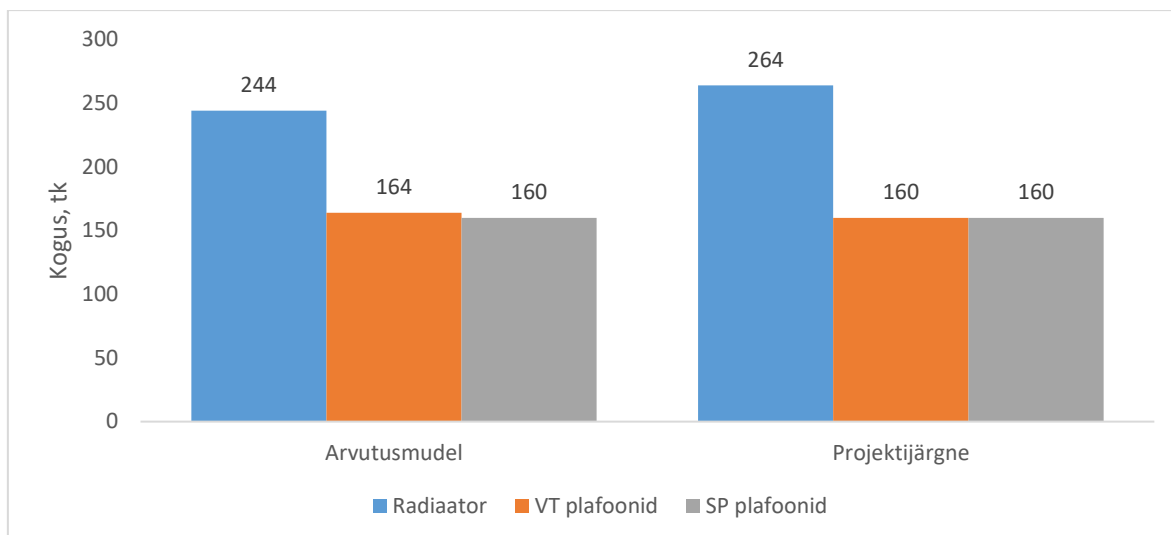
Ventilatsiooni torud, mis olid arvutusmodelis tuletatud ühe trepikoja ja ühe korruse kohta andsid hea tulemust võrreldes projektijärgsete andmetega. Arvutusmodeli fassaadi plasttorustiku kogus on 10,1% suurem võrreldes projektijärgsete andmetega. Katuse plasttorustik on arvutusmodelis 3,8% madalam võrreldes ventilatsiooniprojekti spetsifikatsiooniga, katuse soojustuse sees asuv plekktorustiku kogus on 5,7% madalam võrreldes projektijärgsete andmetega. Välisõhus asuvad torud, seal hulgas need, mis tulevad ventilatsiooni seadmest välja ning ristumise vältimiseks torude kogus on arvutusmodeli 30% suurem võrreldes projektijärgsete andmetega. Kui vaadata koguse

mõttes, siis tegemist on ainult 20 m vahega. Torude vahed on suuremad iga hoone geomeetria täpsusest, mille järgi olid tuletatud konstantsed toru kogused fassaadi 1 m<sup>2</sup> kohta, samuti tuleb alati hoida meeles, et projektide autorid on inimesed, kes võivad ka teha vigu nagu oli tehtud vooluhulga arvutamisel. Ventilatsiooni torude koguste võrdlus on esitatud Joonis 3.28.



**Joonis 3.28** Tööstuse 85, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmudeli ventilatsiooni toru koguse tulemus.

Järgnev graafik kujutab projektijärgse ja arvutusmudeli tulemusi radiaatorite, VT plafoonide (väljatõmbe plafoonid) ja SP plafoonide (sissepuhke plafoonid) osas. Graafiku eesmärk on illustreerida erinevusi arvutusmudeli ja projektijärgsete väärtuste vahel, et hinnata arvutusmudeli täpsust ja usaldusväärsust. Graafik näitab, et arvutusmudel alahindab radiaatorite kogust umbes 7.6% võrra, sissepuhke plafoonide puhul on arvutusmudel väga täpne, ning väljatõmbe plafoonide puhul on erinevus umbes 2.5%. Radiaatoritel tuleb erinevus sellepärast, kuna selles projektis olid pandud kortermaja nurgaruumides 2 radiaatorit, aga arvutusmudel arvestab ainult ühe radiaatoriga. Ühe korruse kohta erinevus tuleb 4 radiaatorid, terve maja kohta 20 tk, kui arvutusmudel arvestaks sellega, et nurgaruumides on radiaatorid, siis tulemus oleks väga täpne. Väljatõmbe plafoonide korral on olukord selline, et antud projektis ei olnud projekteeritud mehaaniline ventilatsiooni trepikodades. Tulemused on näha Joonis 3.29.

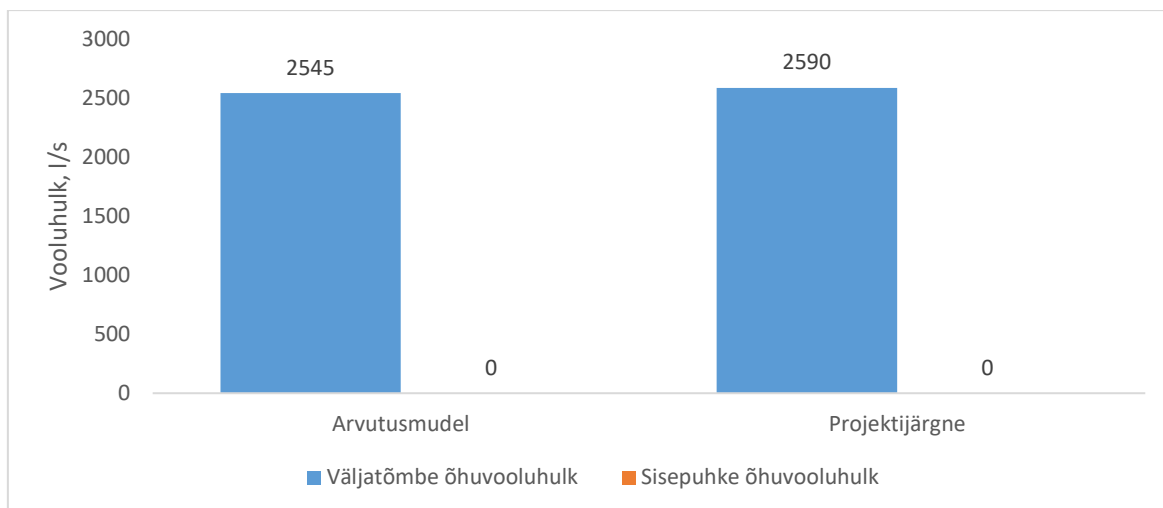


**Joonis 3.29** Tööstuse 85, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmudeli radiaatorite ja SP/VT plafoonide tulemused.

### 3.3.2 Piloot 2 – Valdeku 118a, Tallinn

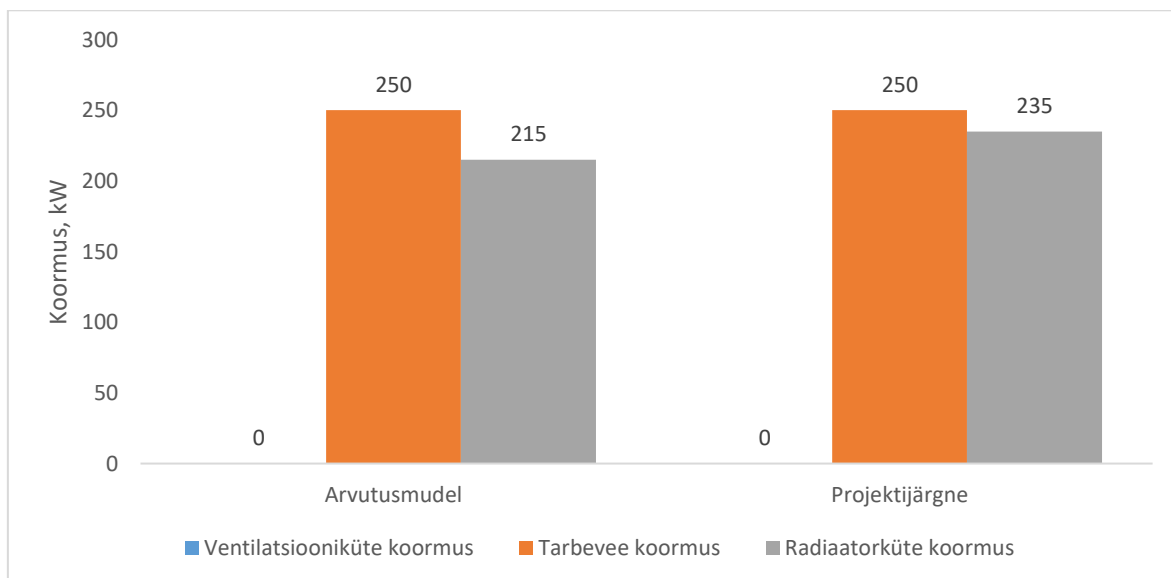
Valdeku 118a, Tallinn korterelamu on kasutusele võetud aastal 1967. Hoones on 6 trepikoda ja 5 maapealseid korruseid. Hoone pikkus on 92,4 meetrit, laius 12,2 meetrit ning kõrgus 15,6 meetrit. Hoones on kokku 90 korterit, millest ühetoalisi 5 tk, kahetoalisi 50 tk, kolmetoalisi 25 tk ja neljatoalisi 10 tk. Hoone vastab tüüpprojektile B213, mille ehitusfüüsikalised näitajad on olemas kirjanduse ülevaates. Hoones teostati küte ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine. Antud hoones projekteeriti väljatõmbe soojuspumbaga ventilatsioonisüsteem ning seetõttu on ka radiaatori küttesüsteem varustatud värskes õhu elementidega.

Järgnev graafik kujutab väljatõmbe õhuvooluhulcade võrdlust arvutusmudeli ja projektijärgsete väärtustega. Graafiku eesmärk on illustreerida erinevusi nende väärtuste vahel, et hinnata arvutusmudeli täpsust ja usaldusväärsust õhuvooluhulga hindamisel. Arvutusmudeli ja projektijärgsete väärtuste vahel on erinevus 45 l/s, mis moodustab ligikaudu 1.74%. See näitab, et arvutusmudel on väljatõmbe õhuvooluhulga hindamisel antud piloot projektis väga täpne. Sissepuhke on 0 l/s, kuna tegemist on väljatõmbe soojuspumba lahendusega, tulemused on nähtavad Joonis 3.30.



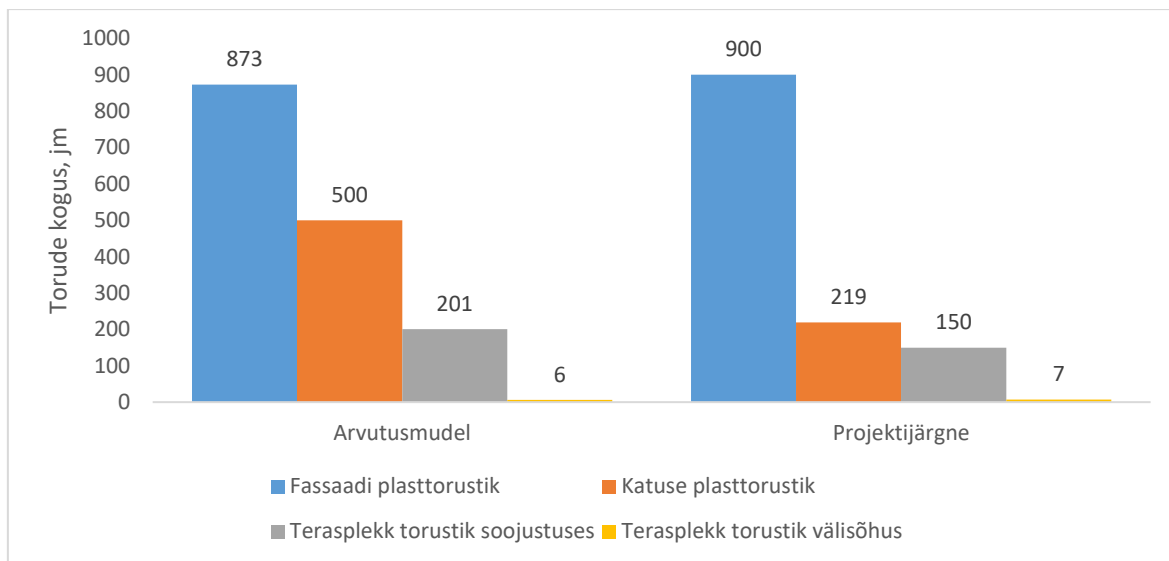
**Joonis 3.30** Valdeku 118a, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmodeli õhuvooluhulkade tulemused.

Antud hoone puhul vaadeldi ka soojussõlme koormused. Graafiku andmed näitavad, et arvutusmodell on täpne tarbevee koormuse hindamisel, kus ei esine erinevust projektijärgsete väärtustega. Radiaatorkütte koormuse osas on erinevus 8.51%, mis viitab sellele, et arvutusmodell alahindab koormust. Arvutusmodell alandab sellepärast, kuna ei ole täpselt teada millised piirdetarindi soojuslääbivused tulevad. Ventilatsioonikütte koormuse kohta puuduvad andmed, kuna väljatõmbe soojuspumba lahendusel ei ole ventilatsioonikütet. Tulemused on näidatud Joonis 3.31.



**Joonis 3.31** Valdeku 118a, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmodeli soojussõlme koormuste tulemused.

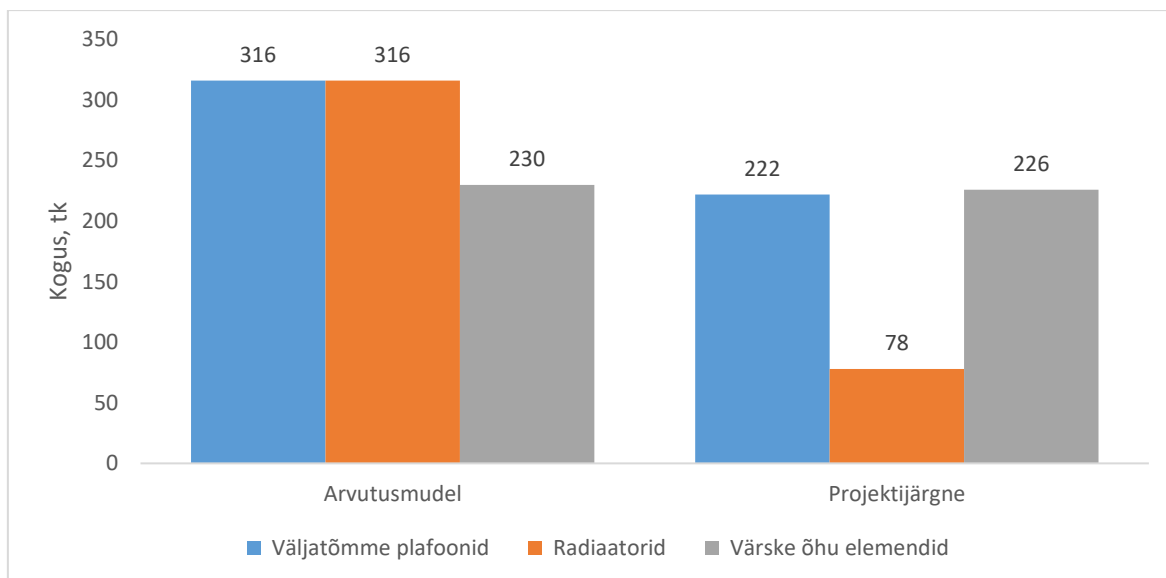
Ventilatsiooni toru tulemuste võrdlemisel graafiku andmed näitavad, et arvutusmodel on täpne fassaadi plasttorustiku hindamisel, kus erinevus on vaid ligikaudu 3.00%. Katuse plasttorustiku osas on arvutusmodel oluliselt ebatäpne, ülehinnates kogust umbes 128.31%, kuid hea on see, et viga tuleb arvutusmodelis ehk tegelikkus arvestatakse kahekordse varuga. Terasplekk torustiku soojustuses osas on erinevus 34.00%, mis viitab samuti ülehindamisele. Terasplekk torustiku välisõhus osas on erinevus ligikaudu 14.29%, mis näitab suhtelist täpsust, kuid vajab kerget täpsustamist. Tulemused on illustreeritud Joonis 3.32.



**Joonis 3.32** Valdeku 118a, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmodeli ventilatsiooni toru koguse tulemus.

Viimasena vaadeldi plafoonide, radiaatorite ning värske õhu elementide koguseid. Graafiku andmed näitavad, et arvutusmodel on täpne värske õhu elementide hindamisel, kus erinevus on vaid ligikaudu 1.77%. Väljatõmbe plafoonide osas on erinevus 42.34%, mis viitab sellele, et arvutusmodel ülehindab nende kogust. Vahe tuleb sellest, et projektis ei ole projekteeritud ventilatsioon üldalades ning enamik WC ja vannitubasid on lahendatud ühe plafooniga, kuid arvutusmodel arvestab kahe plafooniga. Radiaatorite osas on erinevus märkimisväärne, ulatudes umbes 305.13%-ni, mis näitab, et arvutusmodel oluliselt ülehindab nende kogust. Selline tulemus radiaatorite osas tuleneb sellest, et projekteeritud kütte projektis olid radiaatorid osaliselt vahetatud, aga arvutusmodel arvestab sellega, et hoones vahetatakse kõik radiaatorid. Kontrollimisel selgus, et arvutusmodeli radiaatorite kogus oleks võrdne projektijärgse kogemusega, kui projektis oleksid vahetatud kõik radiaatorid. Spetsifikatsioonide tulemused väljatõmbe soojuspumba korral on nähtavad Joonis 3.33.

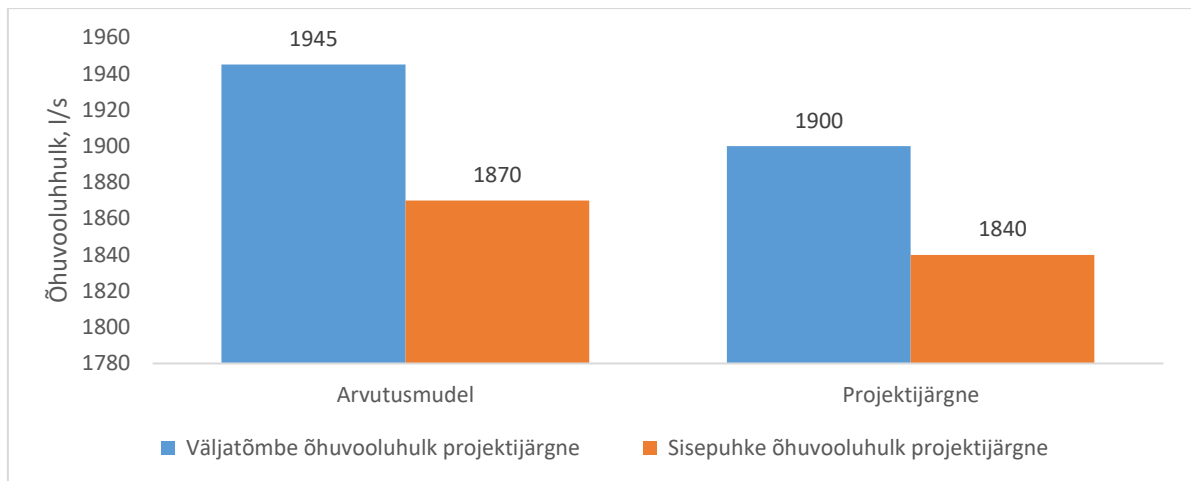




**Joonis 3.33** Valdeku 118a, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmudeli radiaatorite, värskeõhu elementide ja VT plafoonide tulemused.

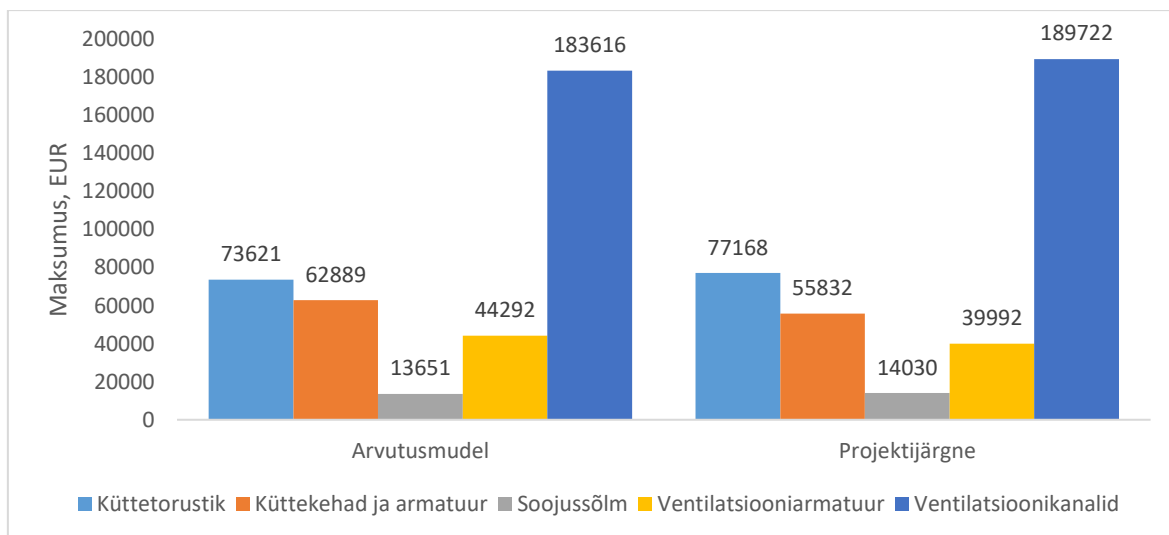
### 3.3.3 Piloot 3 – Akadeemia tee 6, Tallinn

Akadeemia tee 6, Tallinn korterelamu on kasutusele võetud aastal 1963. Hoones on 4 trepikoda ja 5 maapealseid korruseid. Hoone pikkus on 72,8 meetrit, laius 11,7 meetrit ning kõrgus 15,6 meetrit. Hoones on kokku 80 korterit, millest ühetoalisi 10 tk, kahetoalisi 60 tk ja kolmetoalisi 10 tk. Hoone vastab tüüprojeektile B213, mille ehitusfüüsikalised näitajad on olemas kirjanduse ülevaates. Hoones teostati küte ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine. Antud hoones projekteeriti soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem ning kahetoru kütesüsteem. Järgmine graafik näitab, et arvutusmudel on usaldusväärne nii väljatõmbe kui ka sissepuhke õhuvooluhulga hindamisel vaadates Akadeemia tee 6 pilootprojekti. Väljatõmbe õhuvooluhulga osas on erinevus ligikaudu 2.37%, samas kui sissepuhke õhuvooluhulga osas on erinevus ligikaudu 1.63%. Kokkuvõttes võib järeldada, et arvutusmudel on täpne ja usaldusväärne tööriist varajases staadiumis tulemuste genereerimiseks. Tulemused on visuaalselt esitatud Joonis 3.34.



**Joonis 3.34** Akadeemia tee 6, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmodellide õhuvoolumulkade tulemused.

Järgnev graafik kujutab võrreldavat analüüsi arvutusmodellide ja projektijärgsete tulemustega. Graafikul on esitatud erinevate komponentide (küttesüsteemi ja ventilatsioonisüsteemi) maksumused, võimaldades hinnata arvutusmodellide täpsust ja usaldusväärsust projektijärgsete väärtuste suhtes. Arvutusmodell on kõige täpsem soojussõlme maksumuse osas, kus erinevus on vaid umbes 2.70%. Ventilatsioonikanalite puhul on erinevus samuti suhteliselt väike, umbes 3.22%. Küttesüsteemi osas on erinevus veidi suurem, ulatudes 4.60%-ni. Ventilatsiooniarmatuuri puhul on erinevus umbes 10.75%. Suurim erinevus on kütteseadmete ja armatuuri maksumuse osas, kus erinevus ulatub umbes 12.64%-ni. Kokkuvõttes on arvutusmodell väga täpne ventilatsioonisüsteemi maksumuse osas, kus erinevus on vaid umbes 0.79%. Küttesüsteemi puhul on erinevus veidi suurem, kuid siiski väiksem kui 3%, olles umbes 2.13%. See näitab, et arvutusmodell on usaldusväärne, kuid mõningate kategooriate puhul võib vaja minna täpsustamist. Tulemused on visuaalselt esitatud Joonis 3.35.

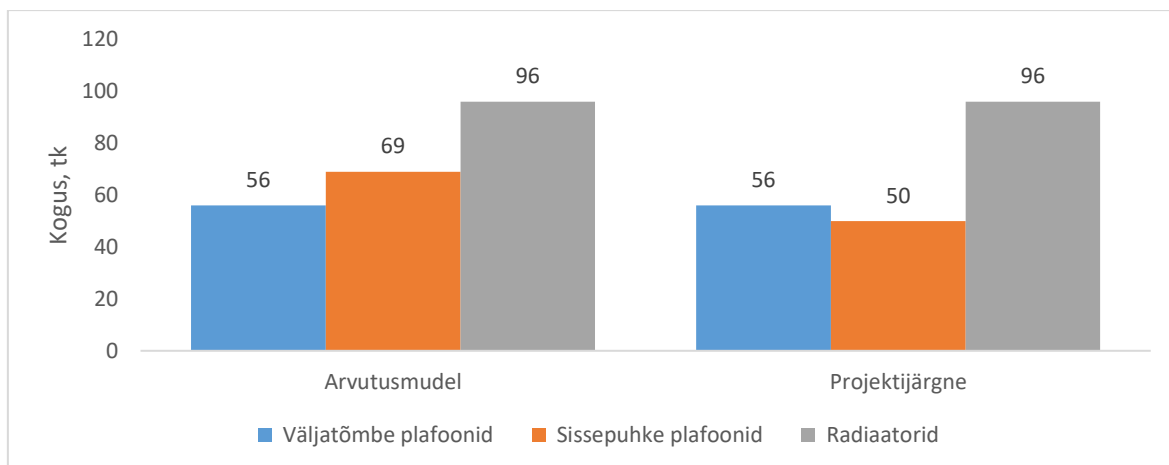


**Joonis 3.35** Akadeemia tee 6, Tallinn projektijärgsed ja arvutusmudeli küte ja ventilatsiooni maksumused.

### 3.3.4 Piloot 4 – Kuuma 4, Saue

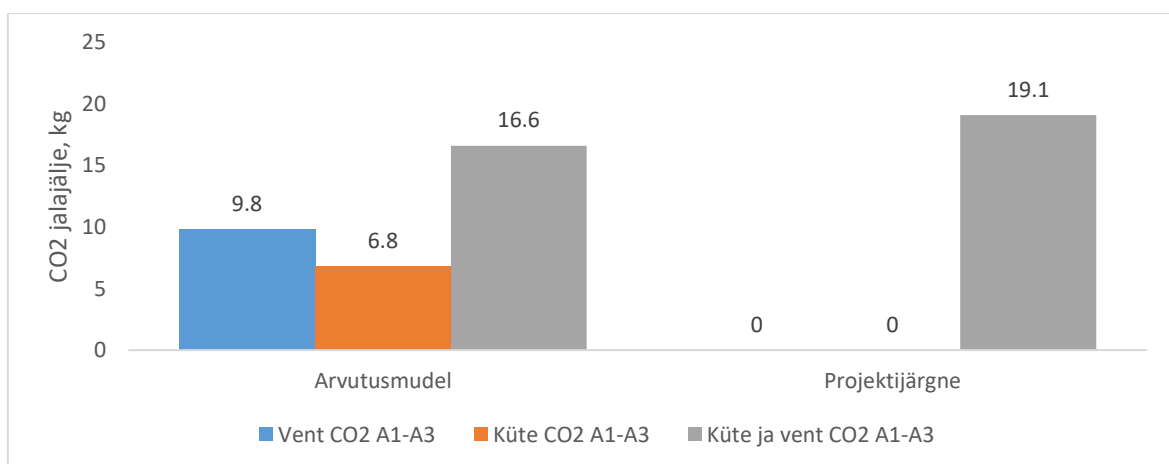
Kuuma 4, Saue korterelamu on kasutusele võetud aastal 1986. Hoones on 4 trepikoda ja 3 maapealseid korruseid. Hoone pikkus on 72,0 meetrit, laius 12,0 meetrit ning kõrgus 10,7 meetrit. Hoones on kokku 24 korterit, millest ühetoalisi 4 tk, kahetoalisi 2 tk, kolmetoalisi 12 tk ning neljatoalisi 6 tk. Hoone vastab tüüpprojektile A214, mille ehitusfüüsikalised näitajad on olemas kirjanduse ülevaates. Hoones teostati küte ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine. Antud hoones projekteeriti soojustagastusega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem ning kahetoru kütesüsteem. Antud peatükis vaadatakse täpsemalt CO<sub>2</sub> jalajälje arvutamist, kuna antud lõputöö raames projektijärgne tulemus CO<sub>2</sub> kohta on ainult hoones Kuuma 4, Saue [45].

Järgnev graafik kujutab väljatõmbe plafoonide, sissepuhke plafoonide ja radiaatorite projektijärgsete väärtuste ja arvutusmudelis saadud väärtuste võrdlust. Graafiku andmed näitavad, et arvutusmudel on täpne väljatõmbe plafoonide ja radiaatorite osas, kus ei esine erinevust projektijärgsete väärtustega. Sissepuhke plafoonide osas on erinevus märkimisväärne, ulatudes 38%-ni, mis viitab sellele, et arvutusmudel ülehindab nende kogust. Kokkuvõttes võib järeldada, et arvutusmudel on üldiselt täpne, kuid sissepuhke plafoonide osas vajab täpsustamist. Tulemused on saadaval Joonis 3.36.



**Joonis 3.36** Kuuma 4, Saue projektijärgsed ja arvutusmudeli radiaatorite ning SP/VT plafoonide kogused.

Allolev graafik kujutab ventilatsiooni ja küttesüsteemide CO<sub>2</sub> jalajälge (A1-A3 etapid) võrreldes arvutusmudeli ja projektijärgsete väärtustega. Graafiku eesmärk on illustreerida erinevusi nende väärtuste vahel, et hinnata arvutusmudeli täpsust ja usaldusväärsust CO<sub>2</sub> emissioonide hindamisel. Graafiku andmed näitavad, et arvutusmudel ja projektijärgsed väärtused erinevad oluliselt ventilatsiooni ja küttesüsteemide CO<sub>2</sub> jalajälje hindamisel, kuna Kumma 4 kohta ei olnud eraldi toodud välja CO<sub>2</sub> väärtused eraldi küte ja ventilatsiooni kohta. Ventilatsiooni ja küttesüsteemide individuaalset CO<sub>2</sub> jalajälge projektijärgsetes tulemustes ei ole arvestatud, kuid kogumõju hindamisel on erinevus ligikaudu 13.09%. Kokkuvõttes saab järeldada, et arvutusmudel annab CO<sub>2</sub> emissioonide kohta realistlikuma pildi, kuid võrreldavust projektijärgsete väärtustega pole võimalik täielikult hinnata, kuna projektijärgsed väärtused puuduvad üksikute komponentide puhul. Tulemused on saadaval Joonis 3.37.



**Joonis 3.37** Kuuma 4, Saue projektijärgsed ja arvutusmudeli radiaatorite ning SP/VT plafoonide kogused.

## 4 ARUTELU

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli arendada tüüpkorterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis plaanimise arvutusmudel. Töö keskendus kivikonstruktsiooniga korterelamute tehnosüsteemide võtmenäitajate määratlemisele ja nende alusel arvutusmudeli koostamisele. Eesmärk oli pakkuda lahendusi, mis toetaksid hoonefondi või piirkonna tasemel renoveerimise strateegiate väljatöötamist ja automatiseeritud tööriistade arendamist.

Töö algas kirjanduse ülevaatega, kus keskenduti renoveerimise olulisusele, Eesti kivikonstruktsiooniga korterelamute tüpoloogiale ning kütte ja ventilatsiooni süsteemidele. Teoreetiline osa andis aluse, millele tuginedes töötati välja arvutusmudel. Arvutusmudeli arendamise käigus tehti järgmised sammud:

- 1) Kivikonstruktsiooniga korterelamute võtmenäitajate kaardistamine.
- 2) Tehnosüsteemide andmete integreerimine Ehitisregistrisse.
- 3) Arvutusmudeli kontseptsiooni väljatöötamine ja selle testimine pilootprojektidega.

Pilootprojektideks valiti neli erinevat korterelamut Tallinnas ja Saue linnas, et testida mudeli toimivust erinevates keskkondades ja hoonetüüpide puhul. Testimisel keskenduti nii kütte kui ventilatsiooni lahenduste efektiivsusele ja sobivusele. Lõputöö tulemused näitavad, et arendatud arvutusmudel suudab edukalt toetada varajases staadiumis renoveerimisprojektide planeerimist. Mudel võimaldab:

- 1) Täpselt määrata kütte ja ventilatsiooni süsteemide võtmenäitajad vastavalt hoone tüübile.
- 2) Integreerida renoveerimisprojektidesse vajalikud tehnosüsteemide andmed automaatselt.
- 3) Pakkuda erinevaid alternatiivseid lahendusi vastavalt hoone spetsiifikale ja energiavajadustele.

Pilootprojektide tulemused kinnitasid mudeli usaldusväärsust ja täpsust. Näiteks, Tööstuse 85 ja Valdeku 118a korterelamute puhul saavutati märkimisväärne energiatarbimise vähenemine ja sisekliima parenemine. Lõputöö tulemused näitavad, et loodud arvutusmudel on praktiline ja tõhus vahend renoveerimisprojektide varajases staadiumis planeerimiseks. Mudel lihtsustab tehnosüsteemide valikuprotsessi ja aitab

saavutada energiatõhususe eesmäärke. Töö käigus ilmnisid ka mõned piirangud, mis vajaksid edasist uurimist:

- 1) Mudeli täiendamine, et hõlmata ka teisi ehitistüüpe ja erinevaid kliimatingimusi.
- 2) Täiendavate andmete kogumine ja analüüs, et veelgi parandada mudeli täpsust ja usaldusväärsust.
- 3) Tulevikus võiks kaaluda mudeli integreerimist laiemate linnaplaneerimise tööriistadega, et pakkuda terviklikke lahendusi suuremates renoveerimisprojektides.

Kokkuvõtteks võib öelda, et magistritöö saavutab oma eesmärgid, pakkudes väärtuslikke lahendusi ja suuniseid korterelamute renoveerimise protsesside täiustamiseks. Edasine uurimistöö ja arendustegevus võiks keskenduda mudeli laiendamisele ja kohandamisele, et pakkuda veelgi laiemat kasu renoveerimisprojektide planeerimisel ja teostamisel.

## KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärk oli arendada varajase staadiumi arvutusmudel, mis võimaldab kavandada ja hinnata tüüpkorterelamute, eriti kivikonstruktsiooniga korterelamute, kütte- ja ventilatsioonilahendusi. Eesmärk oli pakkuda tööriista, mis aitaks ehitus konsultantidel teha informeeritud otsuseid renoveerimisprojektide varajases staadiumis, tagades optimaalse energiatõhususe ja siseõhu kvaliteedi. Eesmärgi saavutamiseks viidi läbi põhjalik analüüs ja arendusprotsess, mis hõlmas järgmisi etappe:

- 1) Taksonoomia määratlemine: Analüüsiti tüüpkorterelamute erinevaid kütte- ja ventilatsioonilahendusi ning nende aluseid.
- 2) Arvutusmudeli arendamine: Arendati arvutusmudel, mis suudab hinnata erinevaid kütte- ja ventilatsioonilahendusi varajases projekteerimisstaadiumis.
- 3) Pilootprojektide testimine: Mudelit testiti mitmes pilootprojektis, et kontrollida selle täpsust ja usaldusväärsust.
- 4) CO<sub>2</sub> jalajälje arvutamine: Integreeriti mudelisse CO<sub>2</sub> arvutamise funktsionaalsus, et hinnata erinevate lahenduste keskkonnamõju.

Järgnevalt on esitatud vastused sissejuhatuses esitatud küsimustele.

Esimese küsimuse vastuseks on, et tüüpsete kivikonstruktsiooniga korterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste taksonoomia hõlmab kahte peamist lahendust: mehaaniline ventilatsioon ja väljatõmbe soojuspumbaga ventilatsioon. Taksonoomia alused põhinevad hoone geomeetrial, korterite arvul, korruste arvul ja kasutatavatel materjalidel. Need lahendused määravad erinevate komponentide, nagu radiaatorid, ventilatsioonitorustik ja tuletõkkeklapid, kogused ja paigutuse.

Teise küsimuse vastuseks on, et arvutatav mudel peab olema võimeline hindama erinevaid kütte ja ventilatsiooni lahendusi, võttes arvesse hoone geomeetriat ja kasutatavaid materjale. Mudel peab sisaldama komponentide spetsifikatsioone, paigaldustööde maksumust ning CO<sub>2</sub> jalajälge. Mudel kasutab lihtsaid korrutamistehteid, et määrata elementide kogused ja maksumused, ning integreerib heitmetegurid keskkonnamõjude hindamiseks.

Kolmanda küsimuse vastuseks on, et arvutusmodeli usaldusväärsus ja täpsus erinevate hoonete puhul on üldiselt kõrge, nagu näitasid pilootprojektide tulemused. Keskmine suhteline erinevus projektijärgsete ja mudeli ennustuste vahel jäi vahemikku -2% kuni 2%.

Arvutusmudel toimib üldiselt hästi ja on usaldusväärne tööriist tüüpikorterelamute kütte- ja ventilatsioonilahenduste varajases staadiumis hindamiseks. Mudel näitas suuremat täpsust suuremate radiaatorite koguste korral, samas kui väiksemate koguste puhul esines suuremat varieeruvust. CO<sub>2</sub> jalajälje arvutused kinnitasid, et mehaanilise ventilatsiooni lahendused võivad olla keskkonnasõbralikumad võrreldes väljatõmbe soojuspumbaga lahendustega. Mudeli edasine arendamine ja kalibreerimine erinevate hoonete jaoks suurendaks veelgi selle täpsust ja kasutusvõimalusi.

Arvutusmudelit võiks edasi arendada mitmel viisil, et suurendada selle täpsust ja kasutusvõimalusi erinevate hoonetüüpide puhul. Üheks arendussuunaks on mudeli laiendamine, et arvestada ka iga projektijärgse eripäraga nagu kaks radiaatorit nurga ruumis, ühine WC ja vannituba ja nii edasi. Kuna see võib oluliselt mõjutada kogu hoone ventilatsiooni tulemusnäitajaid ja CO<sub>2</sub> jalajälge. Lisaks võiks mudelisse integreerida täpsemad projekteerimismetoodikad, mis arvestaksid erinevate hoonete erisustega, näiteks eri tüüpi radiaatorite ja ventilatsioonisüsteemide paigaldamise variandid. Mudeli kalibreerimine suurema hulga pilootprojektide põhjal aitaks tuvastada ja korrigeerida võimalikke kõrvalekaldeid ning parandada mudeli täpsust. Samuti võiks arendada kasutajaliidest, et muuta mudel intuiitsemaks ja hõlpsamini kasutatavaks erinevatele kasutajagruppidele, sealhulgas projekteerijatele ja tehnilistele konsultantidele. Arvutusmodeli täiustamine, et see hõlmaks ka taastuvenergia lahendusi ja nende integreerimist hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemidesse, võiks pakkuda veelgi keskkonnasõbralikumaid ja energiatõhusamaid lahendusi. Lisaks võiks arendada mudeli võimekust simuleerida erinevaid stsenaariumeid ja nende mõjusid hoone energiatarbimisele ja CO<sub>2</sub> jalajäljele, et pakkuda optimaalseid lahendusi konkreetsetele projektidele.



## SUMMARY

The aim of this thesis was to develop an early-stage computational model that enables the design and evaluation of heating and ventilation solutions for typical apartment buildings, particularly those with stone structures. The goal was to provide a tool to help construction consultants make informed decisions in the early stages of renovation projects, ensuring optimal energy efficiency and indoor air quality. To achieve this goal, a thorough analysis and development process was conducted, which included the following stages:

- 1) Defining the taxonomy: Various heating and ventilation solutions for typical apartment buildings were analyzed, along with their foundations.
- 2) Developing the computational model: A computational model was developed that can evaluate different heating and ventilation solutions in the early design stage.
- 3) Testing in pilot projects: The model was tested in several pilot projects to verify its accuracy and reliability.
- 4) Calculating the CO<sub>2</sub> footprint: Functionality for calculating the CO<sub>2</sub> footprint was integrated into the model to assess the environmental impact of different solutions.

The following are the answers to the questions presented in the introduction section.

The answer for the first question is that, the taxonomy of heating and ventilation solutions for typical stone structure apartment buildings includes two main solutions: mechanical ventilation and exhaust air heat pump ventilation. The foundations of this taxonomy are based on the building's geometry, the number of apartments, the number of floors, and the materials used. These solutions determine the quantities and placements of various components, such as radiators, ventilation ducts, and fire dampers.

The answer for the second question is that, the computational model must be capable of evaluating different heating and ventilation solutions, considering the building's geometry and materials used. The model must include component specifications, installation costs, and the CO<sub>2</sub> footprint. The model uses simple multiplication operations to determine the quantities and costs of elements and integrates emission factors for environmental impact assessment.

The answer for the third question is that, the reliability and accuracy of the computational model for different buildings are generally high, as indicated by the

results of the pilot projects. The average relative difference between post-project and model predictions ranged from -2% to 2%.

The computational model generally works well and is a reliable tool for evaluating heating and ventilation solutions in the early stages of typical apartment buildings. The model showed greater accuracy with larger quantities of radiators, while there was greater variability with smaller quantities. CO<sub>2</sub> footprint calculations confirmed that mechanical ventilation solutions could be more environmentally friendly compared to exhaust air heat pump solutions. Further development and calibration of the model for different buildings would increase its accuracy and usability.

The computational model could be further developed in several ways to enhance its accuracy and usability for different building types. One direction for development is to extend the model to account for specific project characteristics, such as two radiators in a corner room or combined WC and bathroom, as these can significantly affect the overall building's ventilation performance and CO<sub>2</sub> footprint. Additionally, more precise design methodologies could be integrated into the model to consider the specifics of different buildings, including variations in radiator types and ventilation system installations.

Calibration of the model based on a larger number of pilot projects would help identify and correct potential discrepancies and improve the model's accuracy. Developing a more intuitive user interface would make the model easier to use for different user groups, including designers and technical consultants. Furthermore, the model could be enhanced to include renewable energy solutions and their integration into the building's heating and ventilation systems, offering even more environmentally friendly and energy-efficient solutions. The model's capability to simulate different scenarios and their impacts on the building's energy consumption and CO<sub>2</sub> footprint could also be developed, providing optimal solutions for specific projects.

In conclusion, the developed computational model provides an efficient and reliable tool for early-stage planning and evaluation of heating and ventilation solutions in stone structure apartment buildings. It enables construction consultants to make informed decisions, thereby improving the energy efficiency and indoor air quality of buildings. Further developments and enhancements of the model will help improve its accuracy and expand its usability, including the integration of environmentally friendly and renewable energy solutions.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia. (2020). Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut. [https://www.ekyl.ee/wp-content/uploads/Hoonete-rekonstrueerimise-pikaajaline-strateegia-l%c3%b5ppraport\\_2020-06-02.pdf](https://www.ekyl.ee/wp-content/uploads/Hoonete-rekonstrueerimise-pikaajaline-strateegia-l%c3%b5ppraport_2020-06-02.pdf)
- [2] Tham, S., Thompson, R., Landeg, O., Murray, K. A., Waite, T. (2020). Indoor temperature and health: a global systematic review. DOI: 10.1016/j.puhe.2019.09.005
- [3] Liginullenergia eluhooned rida- ja korterelamud. (2017). Kredex. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut, 97. [https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia\\_eluhooned\\_Rida\\_ja\\_korterelamu\\_juhend.pdf](https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf)
- [4] Fabbri, K., Tarabusi, V. (2014). Top-down and Bottom-up Methodologies for Energy Building Performance Evaluation at meso-scale Level – A Literature Review, 283–299. [https://www.researchgate.net/publication/306365032\\_Top-down\\_and\\_Bottom-up\\_Methodologies\\_for\\_Energy\\_Building\\_Performance\\_Evaluation\\_at\\_meso-scale\\_Level\\_-\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/306365032_Top-down_and_Bottom-up_Methodologies_for_Energy_Building_Performance_Evaluation_at_meso-scale_Level_-_A_Literature_Review)
- [5] Swan, L. G., Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, 1819–1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- [6] Hirvonen, J., Jokisalo, J., Heljo, J., Kosonen, R. (2018) Towards the EU emissions targets of 2050: optimal energy renovation measures of Finnish apartment buildings. *International Journal of Sustainable Energy* 38(7):1-24. DOI:10.1080/14786451.2018.1559164
- [7] Michalak, P. (2021). Annual Energy Performance of an Air Handling Unit with a Cross-Flow Heat Exchanger. <https://doi.org/10.3390/en14061519>
- [8] COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2019/786. (2019). *Official Journal of the European Union*. <http://data.europa.eu/eli/reco/2019/786/oj>

[9] Thomsen, K. E., Rose, J., Mørck, O., Jensen, S. Ø., Østergaard, I., Knudsen, H. N., Bergsøe, N. C. (2016). Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.049>

[10] Balaras, C., Droutsas, P., Argiriou, A. A., Asimakopoulos, D. N. (2000). Potential for energy conservation in apartment buildings. 31(2):143-154. DOI:10.1016/S0378-7788(99)00028-6

[11] Kuusk, K., Kalamees, T., Maivel, M. (2014). Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.026>

[12] Holsteijn, R. V., William, L. (2021). New approach in Ventilation Performance Metrics. *REHVA Journal. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations*. 64–69. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/new-approach-in-ventilation-performance-metrics>

[13] Cholewa, T., Balaras, C., Kurnitski, J., Mazzarella, L., Siuta-Olcha, A., Dascalaki, E., Kosonen, R., Lungu, C., Todorovic, M. S., Nastase, I., Jolas, C., Çakan, M. (2022). Energy Efficient Renovation of Existing Buildings for HVAC professionals- REHVA European Guidebook no.32. *Publisher: REHVA Office, 40 Rue Washington, 1050 Brussels – Belgium* ISBN: ISBN 978-2-930521-31-2. [https://www.researchgate.net/publication/360929518\\_Energy\\_Efficient\\_Renovation\\_of\\_Existing\\_Buildings\\_for\\_HVAC\\_professionals-\\_REHVA\\_European\\_Guidebook\\_no32](https://www.researchgate.net/publication/360929518_Energy_Efficient_Renovation_of_Existing_Buildings_for_HVAC_professionals-_REHVA_European_Guidebook_no32)

[14] Kostka, M., Szulgowska-Zgrzywa, M. (2017). Change-over natural and mechanical ventilation system energy consumption in single-family buildings. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200086>

[15] Mikola, A. (2022). Ventilation Performance in Deep Renovation of Multifamily Apartment Buildings. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut. <https://digikogu.taltech.ee/et/item/55e3f98e-1a11-498e-98c5-3068a231e2d5>

[16] Iliste, E. (2022). Ehitisregistri andmete alusel elamupiirkonna energiatõhususe hindamise alused. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut. <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/db8623c0-7686-4c0e-9cca-c076543344a6>

- [17] Mikola, A., Simson, R., Kurnitski, J. (2019). The Impact of Air Pressure Conditions on the Performance of Single Room Ventilation Units in Multi-Story Buildings. <https://doi.org/10.3390/en12132633>
- [18] Mikola, A., Kõiv, T. A., Kalamees, T. (2013). Quality of ventilation systems in residential buildings : status and perspectives in Estonia. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut. <https://ws.lib.ttu.ee/digibase/et/Publ/Item/9fe235e9-8d23-4725-bee0-126c04455902>
- [19] Földváry, V., Bekö, G., Langer, S., Arrhenius, K., Petráš, D. (2017). Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.009>
- [20] Abdrazakov, F. K., Povarov, A. V. (2019). Research efficiency of natural ventilation system of apartment building. *Journal: bulletin of belgorod state technological university named after. V. G. Shukhov Volume 4 № 7*. DOI:10.34031/article\_5d35d0b78284d1.97759530
- [21] Ferdyn-Grygierek, J., Baranowski, A., Blaszcok, M., Kaczmarczyk, J. (2019). Thermal Diagnostics of Natural Ventilation in Buildings: An Integrated Approach. <https://doi.org/10.3390/en12234556>
- [22] Kravchenko, I., Kosonen, R., Kilpeläinen, S. (2020). Performance Analysis of the Demand-Based Ventilation in a Nordic Apartment Building. DOI:10.3390/app11010176
- [23] Mørck, O. C. (2017). Energy saving concept development for the MORE-CONNECT pilot energy renovation of apartment blocks in Denmark. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.139>
- [24] Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused ja kord. (RT I, 09.04.2019, 6; § 8. Toetatavad tegevused; § 14. Toetusega saavutatav tulemus). <https://www.riigiteataja.ee/akt/109042019006?leiaKehtiv>

- [25] Kalamees, T., Ilomets, S., Liias, R., Raado, L. M., Kuusk, K., Maivel, M., Ründva, M., Klõšeiko, P., Liho, E., Paap, L., Mikola, A., Seinre, E., Lill, I., Soekov, E., Paadam, K., Ojamaä, L., Kallavus, U., Mikli, L., Kõiv, T. A. (2012). Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord – ajavahemikul 1990–2010 kasutusele võetud korterelamud. Kredex. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut. <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Eesti%20aluasemefondi%20ehitustehniline%20seisukord%20%E2%80%93%20aja%20vahemikul%201990%20%E2%80%932010%20kasutusele%20v%C3%B5etud%20korterelamud.pdf>
- [26] Volkova, A., Latõšov, E., Lepiksaar, K., Siirde, A. (2020). Planning of district heating regions in Estonia. *International interdisciplinary journal in Sustainable Energy Planning and Management*. DOI: <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3490>
- [27] Lund, H., Duic, N., Østergaard, P. A., Mathiesen, B. V. (2016). Smart energy systems and 4th generation district heating. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.105>
- [28] Sneum, D. M., Sandberg, E. (2016). Economic incentives for flexible district heating in the Nordic countries. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. DOI: <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2018.16.3>
- [29] Kontu, K., Vimpari, J., Penttinen, P., Junnila, S. (2020). Individual ground source heat pumps: Can district heating compete with real estate owners' return expectations? <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101982>
- [30] Reino, A., Harm, M., Hamburg, A. (2017). The impact of building renovation with heat pumps to competitiveness of district heating: Estonian district heating pricing system needs more flexibility. DOI:10.1109/RTUCON.2017.8124791
- [31] Lauka, D., Gusca, J., Blumberga, D. (2015). Heat Pumps Integration Trends in District Heating Networks of the Baltic States. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.140>
- [32] Thalfeldt, M., Kurnitski, J., Latõšov, E. (2018). Exhaust air heat pump connection schemes and balanced heat recovery ventilation effect on district heat energy use and return temperature. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.033>

- [33] Thalfeldt, M., Kurnitski, J. (2016). Olemasolevate hoonete sisekliima hindamise juhend. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut.  
[https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/juhendid/Olemasolevate\\_hoonete\\_sisekliima\\_hindamise\\_juhend\\_2016.pdf](https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/juhendid/Olemasolevate_hoonete_sisekliima_hindamise_juhend_2016.pdf)
- [34] Hoonete sisekliima ja õhustuse nõuded. (2015). Eesti Kütte-Ventilatsiooniinseneride Ühendus.  
[https://ekvy.ee/attachments/article/17/Hoonete%20sisekliima%20ja%20%C3%B5hustuse%20n%C3%B5uded\\_t%C3%B6%C3%B6versioon.pdf](https://ekvy.ee/attachments/article/17/Hoonete%20sisekliima%20ja%20%C3%B5hustuse%20n%C3%B5uded_t%C3%B6%C3%B6versioon.pdf)
- [35] Eesti Standard. (2014). EVS-EN 12828:2012+A1:2014. Hoonete küttesüsteemid. Vesiküttesüsteemide projekteerimine; 13–14.  
<https://www.evs.ee/et/evs-en-12828-2012-a1-2014-consolidated>
- [36] Eesti Standard. (2022). EVS 844:2022. Hoonete kütte projekteerimine; 9–25.  
<https://www.evs.ee/et/evs-844-2022>
- [37] Kõiv, T. A., Aivar Rant, A. (2013). Hoonete küte; 40–55.
- [38] Eesti Standard. (2017). EVS-EN 12831-1:2017. Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 1: Space heating load, Module M3-3; 27–30.  
<https://www.evs.ee/en/evs-en-12831-1-2017>
- [39] Mikola, A., Hamburg, A., Kuusk, K., Kalamees, T., Voll, H., Kurnitski, J. (2022). The impact of the technical requirements of the renovation grant on the ventilation and indoor air quality in apartment buildings.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108698>
- [40] Eesti Standard. (2019). EVS-EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6.  
<https://www.evs.ee/en/evs-en-16798-1-2019>

[41] Iliste, E., Lomp, S., Pikas, E., Arumägi, E., Hallik, J., Öiger, K., Kisel, E., Liiv, I., Kalamees, T. (2023). Heat loss characteristics of typology-based apartment building external walls for a digital twin-based renovation strategy tool. Tallinna Tehnikaülikool ehituse ja arhitektuuri instituut.

[https://prod-aaudxp-cms-001-app.azurewebsites.net/media/mcnb1ywu/117\\_nsb2023\\_scientificpaper\\_camera-ready.pdf](https://prod-aaudxp-cms-001-app.azurewebsites.net/media/mcnb1ywu/117_nsb2023_scientificpaper_camera-ready.pdf)

[42] Ašmanov, S., Vesselov, D. (2020). Männi 11 küte projekti osa.

[43] Eesti Standart. (2022). EVS 906:2018. Mitmeeluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017; 7–37.

<https://www.evs.ee/et/evs-906-2018>

[44] Kalamees, T., Kertsmik, K. A., Kurnitski, J., Lylykangas, K., Oviir, A., Pasanen, P., Tikka, S. (2021). Uuring ehituse süsinikujalajälje hindamisprintsipiide rakendamiseks Eestis. LÕPPARUANNE.

[45] Kertsmik, K. A., Kuusk, K., Lylykangas, K., Kalamees, T. (2023). Evaluation of renovation strategies: cost-optimal, CO2e optimal, or total energy optimal?

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112995>



**LISAD**

### Lisa 3.1 Õhuvooluhulkade tabel korteri kaupa mõlema ventilatsiooni lahenduse puhul

| Lahenduse kirjeldavad andmed   | Mehaaniline vent | Väljatõmbe soojuspump |
|--------------------------------|------------------|-----------------------|
| Köögi õhuvooluhulk (1t) VT     | 6                | 6                     |
| Köögi õhuvooluhulk (2t) VT     | 8                | 8                     |
| Köögi õhuvooluhulk (3t) VT     | 8                | 8                     |
| Köögi õhuvooluhulk (4t) VT     | 15               | 15                    |
| Pesuruumi õhuvooluhulk (1t) VT | 10               | 10                    |
| Pesuruumi õhuvooluhulk (2t) VT | 15               | 15                    |
| Pesuruumi õhuvooluhulk (3t) VT | 15               | 15                    |
| Pesuruumi õhuvooluhulk (4t) VT | 15               | 15                    |
| WC õhuvooluhulk (1t) VT        | 0                | 0                     |
| WC õhuvooluhulk (2t) VT        | 0                | 0                     |
| WC õhuvooluhulk (3t) VT        | 10               | 10                    |
| WC õhuvooluhulk (4t) VT        | 10               | 10                    |
| Elurumi õhuvooluhulk (1t) SP   | 16               | 0                     |
| Elurumi õhuvooluhulk (2t) SP   | 11.5             | 0                     |
| Elurumi õhuvooluhulk (3t) SP   | 11               | 0                     |
| Elurumi õhuvooluhulk (4t) SP   | 10               | 0                     |
| SP õhuvooluhulk (1t)           | 16               | 0                     |
| SP õhuvooluhulk (2t)           | 23               | 0                     |
| SP õhuvooluhulk (3t)           | 33               | 0                     |
| SP õhuvooluhulk (4t)           | 40               | 0                     |
| VT õhuvoolulk (1t)             | 16               | 16                    |
| VT õhuvoolulk (2t)             | 23               | 23                    |
| VT õhuvoolulk (3t)             | 33               | 33                    |
| VT õhuvoolulk (4t)             | 40               | 40                    |

### Lisa 3.2 Väärtused radiaatorite ja armatuuri spetsifikatsiooni genereerimiseks

| Küte radiaatorid              |                  |                       |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|
| Lahenduse kirjeldavad andmed  | Mehaaniline vent | Väljatõmbe soojuspump |
| rad/1t krt                    | 2                | 2                     |
| rad/2t krt                    | 3                | 3                     |
| rad/3t krt                    | 4                | 4                     |
| rad/trepikoda                 | 1                | 1                     |
| eelseadega ventiil/rad 1t krt | 2                | 2                     |
| eelseadega ventiil/rad 2t krt | 3                | 3                     |
| eelseadega ventiil/rad 3t krt | 4                | 4                     |
| termostaatpea/rad 1t krt      | 2                | 2                     |
| termostaatpea/rad 2t krt      | 3                | 3                     |
| termostaatpea/rad 3t krt      | 4                | 4                     |
| värske õhu element/rad 1t krt | 0                | 1                     |
| värske õhu element/rad 2t krt | 0                | 2                     |
| värske õhu element/rad 3t krt | 0                | 3                     |



### Lisa 3.3 Kortermajade statistiline analüüs

| Projektiüksused tulemused lähe treppide ja korruze kohta |   |   |                              | Arvutusmudeli koormused ja õhuvoolulohk |                               |                              |                       |                                  |                        | Arvutusmudeli spetsifikatsioon võrreldes projektiga |                                     |                                       |                     |                      |             | Arvutusmudeli CO2                 |                   |                 |                   |                 |                        | Arvutusmudeli maksumus |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
|--|---|---|------------------------------|---|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------------|---|
| Fassaadi soojustus sisse paigaldav plaatoru (j/m)        | Katuse soojustus sisse paigaldav plaatoru (j/m) | Katuse soojustus sisse paigaldav plekkkorruze tik (j/m) | katuse nõlvat torustik (j/m) | Sisepuhke õhuvoolulohk (l/s)            | Väljalõmbe õhuvoolulohk (l/s) | Radiatori kiite koormus (kW) | Tarbevee koormus (kW) | Ventilatsioonikiite koormus (kW) | HDPE fassaadi torustik | HDPE katuse torustik                                | Terasplekk vent. torustik soojustus | Terasplekk vent. torustik viilistõhus | Sisepuhke plofoonid | Väljalõmme plofoonid | Radiatori d | Värske õhu elemendid (soojuspump) | Küte kokku (SPVT) | Küte kokku (SP) | Vent kokku (SPVT) | Vent kokku (SP) | Kõik vent torud (SPVT) | Kõik vent torud (SP)   | Küte EUR (SPVT) | Küte EUR (SP) | Vent EUR (SPVT) | Vent EUR (SP) | Kõik vent torud (SPVT) | Kõik vent torud (SP) |   |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000                        |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000                        |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 160.000  | 187.500   | 85.000  | 26.250                       | 2452                                    | 2542                          | 117                          | 250                   | 68                               | 2631                   | 1113  | 321                                 | 39                                    | 220                 | 184                  | 315         | 0                                 | 15769             | 0               | 15745             | 0               | 15107                  | 0                      | 200973          | 0             | 322196          | 0             | 272110                 | 0                    |   |
| 170.667  | 185.000   | 63.750  | 43.750                       | 2455                                    | 2545                          | 117                          | 250                   | 68                               | 2631                   | 1113  | 321                                 | 39                                    | 220                 | 186                  | 316         | 0                                 | 15811             | 0               | 15764             | 0               | 15123                  | 0                      | 201226          | 0             | 322427          | 0             | 272175                 | 0                    |   |
| 124.330  | 415.000   | 100.000   | 5.750                        | 2790                                    | 2910                          | 160                          | 281                   | 78                               | 3588                   | 1484  | 427                                 | 132                                   | 240                 | 238                  | 363         | 0                                 | 18660             | 0               | 20740             | 0               | 19376                  | 0                      | 253556          | 0             | 420575          | 0             | 362128                 | 0                    |   |
| 46.535   | 115.000   | 37.500  | 1.500                        | 846                                     | 906                           | 52                           | 165                   | 24                               | 1077                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 76                  | 72                   | 112         | 0                                 | 5726              | 0               | 8747              | 0               | 8500                   | 0                      | 76816           | 0             | 165215          | 0             | 146521                 | 0                    |   |
| 57.632   | 54.750  | 37.500  | 1.750                        | 0                                       | 2545                          | 215                          | 250                   | 0                                | 873                    | 500   | 201                                 | 6                                     | 0                   | 186                  | 316         | 230                               | 0                 | 15764           | 0                 | 5935            | 0                      | 5602                   | 0               | 222218        | 0               | 107507        | 0                      | 30264                | 0 |
| 123.243  | 112.500   | 72.500  | 3.000                        | 1413                                    | 1473                          | 90                           | 207                   | 40                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 120                 | 124                  | 184         | 0                                 | 3434              | 0               | 10417             | 0               | 10027                  | 0                      | 127410          | 0             | 210865          | 0             | 181225                 | 0                    |   |
| 108.600  | 192.750   | 56.750  | 11.500                       | 1870                                    | 1930                          | 90                           | 236                   | 52                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 160                 | 164                  | 244         | 0                                 | 11924             | 0               | 10935             | 0               | 10425                  | 0                      | 142577          | 0             | 221616          | 0             | 182855                 | 0                    |   |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000                        |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000                        |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 32.877   | 0.000   | 39.750  | 6.250                        | 408                                     | 438                           | 27                           | 118                   | 12                               | 359                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 36                  | 34                   | 54          | 0                                 | 2600              | 0               | 4074              | 0               | 3956                   | 0                      | 23804           | 0             | 73958           | 0             | 64344                  | 0                    |   |
| 45.455   | 300.000   | 5.250   | 13.500                       | 1080                                    | 1125                          | 60                           | 181                   | 30                               | 1346                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 33                  | 30                   | 138         | 0                                 | 7075              | 0               | 7813              | 0               | 7520                   | 0                      | 39557           | 0             | 153143          | 0             | 135319                 | 0                    |   |
| 43.636   | 37.500  | 23.750  | 15.750                       | 740                                     | 740                           | 48                           | 172                   | 20                               | 837                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 50                  | 82                   | 92          | 0                                 | 4717              | 0               | 5364              | 0               | 5151                   | 0                      | 63705           | 0             | 106211          | 0             | 31174                  | 0                    |   |
| 73.268   | 162.500   | 34.500  | 27.000                       | 1235                                    | 1280                          | 54                           | 181                   | 35                               | 1346                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 110                 | 93                   | 158         | 0                                 | 7905              | 0               | 7882              | 0               | 7562                   | 0                      | 100613          | 0             | 161214          | 0             | 136088                 | 0                    |   |
| 72.667   | 230.000   | 58.500  | 3.750                        | 1450                                    | 1450                          | 74                           | 207                   | 40                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 121                 | 124                  | 185         | 0                                 | 3475              | 0               | 10421             | 0               | 10023                  | 0                      | 127663          | 0             | 211018          | 0             | 181234                 | 0                    |   |
| 68.182   | 137.500   | 83.750  | 3.000                        | 869                                     | 929                           | 70                           | 187                   | 24                               | 1077                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 62                  | 100                  | 114         | 0                                 | 5909              | 0               | 8340              | 0               | 8669                   | 0                      | 77322           | 0             | 166455          | 0             | 147212                 | 0                    |   |
| 114.458  | 230.000   | 71.500  | 3.750                        | 1774                                    | 1834                          | 101                          | 207                   | 50                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 160                 | 122                  | 223         | 0                                 | 11011             | 0               | 10533             | 0               | 10092                  | 0                      | 137016          | 0             | 216101          | 0             | 181489                 | 0                    |   |
| 75.625   | 250.000   | 55.500  | 3.000                        | 1440                                    | 1500                          | 79                           | 207                   | 40                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 120                 | 124                  | 184         | 0                                 | 3434              | 0               | 10417             | 0               | 10027                  | 0                      | 127410          | 0             | 210865          | 0             | 181225                 | 0                    |   |
| 78.043   | 185.000   | 42.000  | 24.000                       | 1235                                    | 1280                          | 75                           | 181                   | 35                               | 1346                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 110                 | 93                   | 158         | 0                                 | 7905              | 0               | 7882              | 0               | 7562                   | 0                      | 100613          | 0             | 161214          | 0             | 136088                 | 0                    |   |
| 82.550   | 107.500   | 32.250  | 36.750                       | 1335                                    | 1380                          | 69                           | 181                   | 37                               | 1346                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 120                 | 93                   | 168         | 0                                 | 8320              | 0               | 7917              | 0               | 7582                   | 0                      | 103141          | 0             | 162746          | 0             | 136172                 | 0                    |   |
| 120.000  | 250.000   | 54.750  | 42.000                       | 1773                                    | 1833                          | 94                           | 207                   | 50                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 159                 | 124                  | 223         | 0                                 | 11052             | 0               | 10552             | 0               | 10108                  | 0                      | 137268          | 0             | 216841          | 0             | 181554                 | 0                    |   |
| 82.323   | 139.500   | 38.000  | 35.750                       | 1420                                    | 1480                          | 87                           | 207                   | 40                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 121                 | 124                  | 185         | 0                                 | 3475              | 0               | 10421             | 0               | 10023                  | 0                      | 127663          | 0             | 211018          | 0             | 181234                 | 0                    |   |
| 75.349   | 227.500   | 60.000  | 4.250                        | 1457                                    | 1517                          | 77                           | 207                   | 41                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 122                 | 124                  | 186         | 0                                 | 3517              | 0               | 10424             | 0               | 10031                  | 0                      | 127915          | 0             | 211171          | 0             | 181242                 | 0                    |   |
| 29.560   | 195.000   | 27.750  | 1.000                        | 0                                       | 1470                          | 138                          | 207                   | 0                                | 582                    | 333   | 134                                 | 4                                     | 0                   | 124                  | 184         | 120                               | 0                 | 3276            | 0                 | 3957            | 0                      | 3735                   | 0               | 134282        | 0               | 71672         | 0                      | 60176                | 0 |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.000                        |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 0.000  | 0.000   | 0.000   | 47.250                       |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |
| 54.564   | 82.500  | 48.750  | 16.750                       | 1890                                    | 1920                          | 99                           | 225                   | 53                               | 1615                   | 371   | 107                                 | 33                                    | 162                 | 146                  | 236         | 0                                 | 11413             | 0               | 7406              | 0               | 6935                   | 0                      | 132439          | 0             | 163517          | 0             | 126935                 | 0                    |   |
| 112.245  | 67.500  | 48.000  | 30.000                       | 3813                                    | 3858                          | 187                          | 315                   | 106                              | 2422                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 327                 | 293                  | 475         | 0                                 | 22140             | 0               | 12101             | 0               | 11161                  | 0                      | 229336          | 0             | 266636          | 0             | 193501                 | 0                    |   |
| 60.811   | 227.500   | 76.500  | 0.000                        | 0                                       | 6210                          | 552                          | 385                   | 0                                | 1571                   | 500   | 201                                 | 6                                     | 0                   | 438                  | 765         | 564                               | 0                 | 37241           | 0                 | 9343            | 0                      | 8612                   | 0               | 482661        | 0               | 164143        | 0                      | 127239               | 0 |
| 50.676   | 63.750  | 77.000  | 16.000                       | 4025                                    | 4085                          | 190                          | 314                   | 112                              | 3230                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 359                 | 292                  | 507         | 0                                 | 24277             | 0               | 14934             | 0               | 13944                  | 0                      | 273846          | 0             | 332337          | 0             | 254165                 | 0                    |   |
| 23.148   | 23.750  | 18.000  | 4.000                        | 306                                     | 321                           | 25                           | 106                   | 9                                | 263                    | 186   | 53                                  | 16                                    | 27                  | 25                   | 40          | 0                                 | 1929              | 0               | 2275              | 0               | 2191                   | 0                      | 22237           | 0             | 43376           | 0             | 36390                  | 0                    |   |
| 11.486   | 7.500   | 28.500  | 10.250                       | 510                                     | 540                           | 44                           | 139                   | 15                               | 718                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 42                  | 50                   | 68          | 0                                 | 3541              | 0               | 4770              | 0               | 4619                   | 0                      | 49540           | 0             | 93100           | 0             | 81856                  | 0                    |   |
| 27.736   | 24.750  | 10.000  | 10.750                       | 306                                     | 321                           | 25                           | 106                   | 9                                | 263                    | 186   | 53                                  | 16                                    | 27                  | 25                   | 40          | 0                                 | 1929              | 0               | 2275              | 0               | 2191                   | 0                      | 22237           | 0             | 43376           | 0             | 36390                  | 0                    |   |
| 15.722   | 141.250   | 96.000  | 10.750                       | 1650                                    | 1690                          | 121                          | 207                   | 46                               | 1794                   | 742   | 214                                 | 66                                    | 145                 | 124                  | 209         | 0                                 | 10471             | 0               | 10504             | 0               | 10079                  | 0                      | 133129          | 0             | 214636          | 0             | 181436                 | 0                    |   |
| 11.594   | 112.500   | 8.250   | 10.500                       | 0                                       | 825                           | 78                           | 155                   | 0                                | 233                    | 167   | 67                                  | 2                                     | 0                   | 64                   | 102         | 63                                | 0                 | 4381            | 0                 | 1912            | 0                      | 1798                   | 0               | 65507         | 0               | 33597         | 0                      | 27694                | 0 |
| 39.474   | 225.000   | 9.000   | 25.250                       | 863                                     | 953                           | 61                           | 165                   | 24                               | 1615                   | 1113  | 321                                 | 39                                    | 74                  | 78                   | 116         | 0                                 | 6431              | 0               | 12663             | 0               | 12397                  | 0                      | 102079          | 0             | 238453          | 0             | 218332                 | 0                    |   |
| 59.236   | 120.000   | 33.750  | 21.750                       | 1224                                    | 1269                          | 75                           | 187                   | 34                               | 1077                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 108                 | 99                   | 153         | 0                                 | 7677              | 0               | 7539              | 0               | 7211                   | 0                      | 88718           | 0             | 143319          | 0             | 123983                 | 0                    |   |
| 34.694   | 50.000  | 25.500  | 4.500                        | 680                                     | 710                           | 45                           | 157                   | 19                               | 718                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 56                  | 66                   | 90          | 0                                 | 4454              | 0               | 4370              | 0               | 4777                   | 0                      | 55101           | 0             | 37094           | 0             | 82521                  | 0                    |   |
| 61.486   | 122.500   | 33.000  | 27.000                       | 1224                                    | 1269                          | 71                           | 187                   | 34                               | 1077                   | 557   | 160                                 | 43                                    | 108                 | 99                   | 153         | 0                                 | 7677              | 0               | 7539              | 0               | 7211                   | 0                      | 88718           | 0             | 143319          | 0             | 123983                 | 0                    |   |
| 16.265   | 51.250  | 12.750  | 3.750                        | 282                                     | 327                           | 25                           | 106                   | 8                                | 538                    | 557   | 160                                 | 43                                    | 24                  | 27                   | 39          | 0                                 | 2157              | 0               | 5779              | 0               | 5684                   | 0                      | 34089           | 0             | 103567          | 0             | 36387                  | 0                    |   |
| 40.784   | 122.500   | 21.000  | 13.000                       | 760                                     | 790                           | 52                           | 153                   | 22                               | 718                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 67                  | 62                   | 93          | 0                                 | 4827              | 0               | 4371              | 0               | 4766                   | 0                      | 57376           | 0             | 38318           | 0             | 82484                  | 0                    |   |
| 33.333   | 50.000  | 25.500  | 4.500                        | 680                                     | 710                           | 46                           | 157                   | 19                               | 718                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 56                  | 66                   | 90          | 0                                 | 4454              | 0               | 4370              | 0               | 4775                   | 0                      | 55101           | 0             | 37094           | 0             | 82521                  | 0                    |   |
| 33.333   | 50.000  | 25.500  | 4.500                        | 680                                     | 710                           | 46                           | 157                   | 19                               | 718                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 56                  | 66                   | 90          | 0                                 | 4454              | 0               | 4370              | 0               | 4775                   | 0                      | 55101           | 0             | 37094           | 0             | 82521                  | 0                    |   |
| 0.000  | 0.000   | 30.750  | 8.000                        | 0                                       | 1077                          | 129                          | 181                   | 0                                | 262                    | 83  | 33                                  | 1                                     | 0                   | 31                   | 136         | 30                                | 0                 | 6541            | 0                 | 1728            | 0                      | 1577                   | 0               | 81909         | 0               | 23239         | 0                      | 21744                | 0 |
| 13.000   | 70.000  | 52.500  | 18.750                       | 0                                       | 1709                          | 215                          | 200                   | 0                                | 814                    | 333   | 134                                 | 4                                     | 0                   | 116                  | 209         | 160                               | 0                 | 11105           | 0                 | 4354            | 0                      | 4212                   | 0               | 170936        | 0               | 80625         | 0                      | 69753                | 0 |
| 18.750   | 32.500  | 12.500  | 21.250                       | 0                                       | 790                           | 84                           | 148                   | 0                                | 407                    | 167   | 67                                  | 2                                     | 0                   | 58                   | 37          | 70                                | 0                 | 5268            | 0                 | 2298            | 0                      | 2095                   | 0               | 82241         | 0               | 40312         | 0                      | 34877                | 0 |
| 84.848   | 350.000   | 55.000  | 40.000                       | 2135                                    | 2225                          | 120                          | 243                   | 60                               | 2631                   | 1113  | 321                                 | 39                                    | 185                 | 176                  | 276         | 0                                 | 14151             | 0               | 15548             | 0               | 14972                  | 0                      | 191115          | 0             | 315908          | 0             | 271557                 | 0                    |   |
| 21.212   | 18.000  | 15.750  | 13.250                       | 0                                       | 1490                          | 144                          | 149                   | 0                                | 582                    | 333   | 134                                 | 4                                     | 0                   | 114                  | 184         | 130                               | 0                 | 9322            | 0                 | 3862            | 0                      | 3656                   | 0               | 136327        | 0               | 70533         | 0                      | 59877                | 0 |
| 62.727   | 57.750  | 21.250  | 18.750                       | 1029                                    | 1059                          | 56                           | 172                   | 23                               | 897                    | 371   | 107                                 | 33                                    | 30                  | 82                   | 132         | 0                                 | 6377              | 0               | 5502              | 0               | 5233                   | 0                      | 73816           | 0             | 112340          | 0             | 39152                  | 0                    |   |
| 62.727   | 57.750  | 21.250  | 18.750</                     |   |                               |                              |                       |                                  |                        |   |                                     |                                       |                     |                      |             |                                   |                   |                 |                   |                 |                        |                        |                 |               |                 |               |                        |                      |   |

### Lisa 3.4 Lähteandmete tabel ventilatsiooni spetsifikatsiooni tuletamiseks

| Lahenduse kirjeldavad andmed | Vent             |                       |
|------------------------------|------------------|-----------------------|
|                              | Mehaaniline vent | Väljatõmbe soojuspump |
| plafoon SP/1t krt            | 1                | 0                     |
| plafoon SP/2t krt            | 2                | 0                     |
| plafoon SP/3t krt            | 3                | 0                     |
| plafoon SP/4t krt            | 4                | 0                     |
| plafoon SP/trepikoda         | 0                | 0                     |
| plafoon VT/1t krt            | 2                | 2                     |
| plafoon VT/2t krt            | 2                | 2                     |
| plafoon VT/3t krt            | 2                | 2                     |
| plafoon VT/4t krt            | 2                | 2                     |
| plafoon VT/trepikoda         | 1                | 1                     |
| SP/VT plafoonid/1t krt       | 3                | 2                     |
| SP/VT plafoonid/2t krt       | 4                | 2                     |
| SP/VT plafoonid/3t krt       | 5                | 2                     |
| SP/VT plafoonid/4t krt       | 6                | 2                     |
| plafoon vt köök/1t krt       | 1                | 1                     |
| plafoon vt köök/2t krt       | 1                | 1                     |
| plafoon vt köök/3t krt       | 1                | 1                     |
| plafoon vt köök/4t krt       | 1                | 1                     |
| plafoon vt pesuruum/1t krt   | 1                | 1                     |
| plafoon vt pesuruum/2t krt   | 1                | 1                     |
| plafoon vt pesuruum/3t krt   | 1                | 1                     |
| plafoon vt pesuruum/4t krt   | 1                | 1                     |
| torustik SP/1t krt           | 0.3              | 0                     |
| torustik SP/2t krt           | 0.6              | 0                     |
| torustik SP/3t krt           | 0.9              | 0                     |
| torustik SP/4t krt           | 1                | 0                     |
| torustik VT/1t krt           | 2                | 2                     |
| torustik VT/2t krt           | 2                | 2                     |
| torustik VT/3t krt           | 2                | 2                     |
| torustik VT/4t krt           | 2                | 2                     |
| TTK/1t krt                   | 2                | 1                     |
| TTK/2t krt                   | 3                | 1                     |
| TTK/3t krt                   | 4                | 1                     |
| TTK/4t krt                   | 5                | 1                     |
| Puhastusluuk TTK/1t krt      | 1                | 1                     |
| Puhastusluuk TTK/2t krt      | 1                | 1                     |
| Puhastusluuk TTK/3t krt      | 1                | 1                     |
| Puhastusluuk TTK/4t krt      | 1                | 1                     |
| VÕK keldris/trepikoda        | 4                | 4                     |
| VÕK keldris/tehnoruum        | 2                | 2                     |
| VÕK trepikojas/trepikoda     | 2                | 2                     |

**Lisa 3.5 Küte ja ventilatsiooni elementide maksumus ilma käibemaksuta**

| Hinnad                 | EUR  |
|------------------------|------|
| Eelseadega ventiil RA- | 20.7 |
| Termostaatpea RAW      | 10.3 |
| V. õhu el. AIR 11      | 92.2 |
| V. õhu el. AIR 21      | 92.2 |
| V. õhu el. AIR 22      | 92.2 |
| Radiaator keskmine     | 90.0 |
| SP plafoon KTS-125     | 15.3 |
| VT plafoon KSO-100     | 9.0  |
| VT plafoon KSO-125     | 9.2  |
| TTK PKI-C 125          | 45.0 |
| PL 125                 | 6.3  |
| VÕK Fresh 80           | 38.0 |
| Toru rad. Küte         | 3.5  |
| Toru vent. Küte        | 9.67 |
| Vent. toru sisene      | 5.3  |
| HDPE 138x51            | 8.61 |
| HDPE 90                | 6.5  |
| Vent. toru soojustus   | 30   |
| Vent. toru väljas      | 100  |

**Lisa 3.6 Arvutusmodeli lähteandmete tabel CO2 koguste  
arvutamiseks**

| Toode                     | Materjal         | Kaal (kg) per m | Kogu kaal<br>(mehaaniline) | Kogu kaal<br>(soojuspump) | Heitmetegur |
|---------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|-------------|
| Eelseadega ventiil        | Galvanized steel | 0.24            | 58                         | 58                        | 1.70        |
| Termostaatpea             | PE               | 0.13            | 32                         | 32                        | 3.11        |
| Värske õhu element        | tsingitudplekk   | 2.00            | 0                          | 320                       | 2.20        |
| Raadiaatorid              | lehtterasplaat   | 22.60           | 5514                       | 5514                      | 1.80        |
| Väljatõmbe plafoonid      | tsingitudplekk   | 0.40            | 64                         | 66                        | 1.80        |
| Sissepuhke plafoonid      | tsingitudplekk   | 0.40            | 66                         | 0                         | 1.80        |
| Tuletõkkeklapp            | Galvanized steel | 0.40            | 96                         | 32                        | 1.70        |
| Puhastuluuk               | Metall           | 0.80            | 64                         | 64                        | 1.30        |
| Värskeõhuklapid           | tsingitudplekk   | 0.56            | 13                         | 13                        | 2.20        |
| Torustik radiaatorküte    | Terasplekk       | 0.49            | 858                        | 858                       | 1.30        |
| Torustik vent. küte       | Terastoru        | 3.14            | 528                        | 0                         | 1.30        |
| Korteri sisene torustik   | Galvanized steel | 1.60            | 371                        | 294                       | 4.29        |
| HDPE fassaadi torustik    | PE               | 0.47            | 843                        | 273                       | 3.11        |
| HDPE katuse torustik      | PE               | 0.43            | 319                        | 143                       | 3.11        |
| Terasplekk torustik sooju | Galvanized steel | 2.30            | 491                        | 307                       | 4.29        |
| Terasplekk torustik hoon  | Galvanized steel | 11.00           | 725                        | 40                        | 4.29        |



### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Üldine                    |                     |           |          |            | - ite       |           |         |           | Ventilatsioon   |             |            |               |             |                 |              |               |
|---------------------------|---------------------|-----------|----------|------------|-------------|-----------|---------|-----------|-----------------|-------------|------------|---------------|-------------|-----------------|--------------|---------------|
| Objekt                    | EHR kood            | Trepikoda | Korruzed | Korterid   | Koormus     | Radiaator | Graafik | Ettevõtja | SP tüüp         | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat   | Köögi VT    | Sansõlme VT     | Torud lööris | Katus/pööning |
| Tartu mnt 27A, Elva       | 104033500           | 2         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | oneosade    | -               | -            | -             |
| Uus-Tatari 16, Tallinn    | 101013100           | 3         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Sõpruse pst 5, Tartu      | 104017267           | 5         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | vesi-vesi       | -           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | katus         |
| Ravila 30a, Tartu         | 104025876           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | igas korteris | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Kirde 10, Elva            | 104030648           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | katus         |
| Õuna 4, Elva              | 104032586           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Õuna 5, Elva              | 104032610           | 2         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Räabise 2, Aksi           | 104012153           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | pööning       |
| Riia mnt 57, Viljandi     | 112017162           | 1         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Nurme 3, Rapla            | 103017206           | 3         | 5        |            |             | Compact   | 65-45   |           | -               | -           | -          | igas korteris | löörid      | -               | -            | katus         |
| Elamu nr 28, Orgita küla  | 103011165           | 4         | 3        |            |             | Compact   | 55-45   |           | vesi-vesi       | -           | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Uus 9, Põlva              | 110009774           | 4         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | vesi-vesi       | -           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | katus         |
| Kalda 60, Tallinn         | 101012251           | 2         | 7        |            |             | Compact   | 70-50   |           | vesi-vesi       | -           | -          | -             | löörid      | +               | -            | katus         |
| Riia 28, Viljandi         | 112017009           | 4         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | vesi-vesi       | -           | -          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Ehitajate tee 58, Tallinn | 101020684           | 2         | 5        |            |             | Air       | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Lõuna põik 1, Kohila      | 103008637           | 4         | 2        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Pärnu mnt 548, Tallinn    | 101023187           | 2         | 2        |            |             | Compact   | 50-40   |           | õhk-vesi        | -           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | katus         |
| Aida 11, Tartu            | 104027064           | 3         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | +          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Tähe 56A, Tartu           | 104034486           | 2         | 4        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | 2+          | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Anne 32, Tartu            | 104017430           | 8         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Vasula tee 9, Kõrveküla   | 104028136           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Mõisa tee 10, Peri        | 110008156           | 4         | 3        |            |             | Compact   | 55-45   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | pööning       |
| Kreutzvaldi 13, Rakvere   | 108010337           | 1         | 3        |            |             | Compact   | 55-45   |           | õhk-vesi        | -           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | katus         |
| Ilmatsalu 18, Tartu       | 104016961           | 2         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Männi 15, Kambja          | 104025856           | 2         | 5        |            |             | Compact   | 65-45   |           | -               | -           | +          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Võlille tee 11, Haage     | 104035907           | 2         | 3        |            |             | Compact   | 50-40   |           | maa SP          | -           | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Pärnasalu 32, Saue        | 116033588           | 2         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Riia mnt 67, Viljandi     | 112017143           | 3         | 3        |            |             | Compact   | 55-45   |           | vesi-vesi+maaSP | -           | -          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Tähe 56, Tartu            | 104038001           | 2         | 4        |            |             | -         | -       |           | -               | 2+          | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Mõisavahe 29, Tartu       | 104017973           | 3         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | fassaad     | löörid          | -            | katus         |
| Tiigi 8, Tartu            | 104030524           | 3         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Riia 7, Tartu             | 104031174           | 3         | 4        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | koridoris     | -           | -               | -            | pööning       |
| Kase 2, Tabasalu          | 116001534           | 4         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Kaunase pst 2, Tartu      | 104018261           | 2         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Viljandi mnt 70, Rääni    | 104021648           | 2         | 4        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | -             |
| Õpetaja 2, Tartu          | 104025259           | 1         | 3        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | fassaad     | -               | -            | agr. keldris  |
| Vasara 6, Keila           | 116006532           | 4         | 5        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | +               | -            | katus         |
| Aardla 21, Tartu          | 104024363           | 3         | 4        |            |             | Compact   | 70-50   |           | -               | +           | -          | -             | löörid      | -               | -            | pööning       |
| Kesk 3, Adavere           | 114009586           | 3         | 3        |            |             | Al-ribi   | 75-55   |           | -               | -           | -          | -             | -           | -               | -            | katus         |
| Ilmatsalu tee 37, Rahinge | 104036387           | 2         | 2        | 12         | 28          | Compact   | 55-45   |           | -               | maa SP      | -          | -             | -           | -               | -            | katus         |
| Vase 1a ja 1b, Viljandi   | 112019763/112019763 | 2         | 3        | 18         | 106         | Compact   | 60-40   |           | -               | -           | -          | +             | löörid      | -               | -            | katus         |
| Pikk 94, Tartu            | 104017960           | 3         | 5        | 60         | 145         | Compact   | 70-50   |           | Fortum          | -           | -          | -             | -           | -               | -            | katus         |
| Põllu, Raplamaa           | ?                   | 2         | 3        | -          | -           | -         | -       |           | -               | -           | -          | -             | õhk-õhk     | -               | -            | pööning       |
| Sõpruse pst 212, Tallinn  | 101018842           | 6         | 5        | 89         | 240         | Compact   | 70-50   |           | Uhiltas         | -           | -          | -             | ventilaator | löörid          | -            | katus         |
| Ringtee 10, Tõrvandi      | 104030765           | 4         | 5        | 60         | 124         | Compact   | 55-45   |           | Olme            | -           | +          | -             | -           | fassaad         | löörid       | katus         |
| Kalda tee 4, Tartu        | 104017432           | -         | -        | 119        | -           | -         | -       |           | -               | -           | 2+         | -             | -           | löörid          | -            | katus         |
| Aasa 7, Paide             | 107007327           | 2         | 3        | 12         | -           | -         | 70-50   |           | -               | -           | +          | -             | -           | löörid          | -            | katus         |
| Väike kaar 43, Tartu      | 104018655           | 1         | 5        | 64         | 32          | Compact   | 70-50   |           | Fortum          | -           | +          | -             | -           | koridor         | -            | katus         |
| Välja 2, Kose-Uuemõisa    | 116008555           | 4         | 3        | 24         | 75          | Compact   | 65-45   |           | Kose Vesi       | -           | 2+         | -             | -           | löörid          | -            | katus         |
| Haagevälja 1, Haage       | 104033327           | 4         | 3        | 36         | 75          | Compact   | 55-45   |           | -               | maa SP      | +          | -             | -           | fassaad         | löörid       | katus         |
| Nooruse 13, Elva          | 104035428           | 3+1+2+2   | 4+5+5+4  | 36+15+30+2 | 30+38+65+52 | Compact   | 70-50   |           | Elva Soojus     | -           | 3+         | -             | -           | fassaad         | löörid       | katus         |
| KVVK Narva mnt 149, Tartu | 104030981           | 4         | 4+5      | 29         | 80          | Compact   | 70-50   |           | Fortum          | -           | +          | -             | -           | fassaad+koridor | -            | pööning       |
| KVVK Kalda tee 30, Tartu  | 104017974           | 7         | 5        | 83         | 220         | Compact   | 70-50   |           | Fortum          | -           | -          | 2+            | -           | löörid          | -            | katus         |

### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Objekt                    | Üldine                 |           |           |          | Küte    |           |         |                | Ventilatsioon      |               |            |             |          |                            |              |               |         |
|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|---------|----------------|--------------------|---------------|------------|-------------|----------|----------------------------|--------------|---------------|---------|
|                           | EHR kood               | Trepikoda | Korruised | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja      | SP tüüp            | SV agregaat   | Kalorifeer | VT agregaat | Köögi VT | Sansõlme VT                | Torud lööris | Katuspööning  |         |
| KVVK Kalda tee 30, Tartu  | 104017374              | 7         | 5         | 83       | 220     | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | 2+            | -          | -           | -        | löörid                     | -            | katus         |         |
| Tallinna mnt 47, Rapla    | 109017081              | 3         | 5         | 45       | 90      | Compact   | 65-45   | Utilitas       | -                  | +             | -          | -           | -        | löörid                     | +            | katus         |         |
| Kuuse 22, Laagri          | 116033623              | 3         | 5         | 30       | 110     | Compact   | 70-50   | Adven          | -                  | igas korteris | -          | -           | -        | -                          | -            | katus         |         |
| Aia 2, Rõngu              | 104034877              | 3         | 3         | 18       | 53      | Compact   | 55-45   | N.R. Energy    | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | pööning       |         |
| Ilmatsalu 48, Tartu       | 104018081              | 1         | 3         | 36       | 70      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | 25         | -           | -        | löörid                     | -            | katus         |         |
| Pihlaka 8, Põlva          | 110009215              | 4         | 3         | 24       | 72      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -                  | +             | -          | -           | -        | löörid                     | -            | pööning       |         |
| Mõisavahe 64, Tartu       | 104018966              | 2         | 5         | 40       | 56      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Herne 56, Tartu           | 104036639              | 1         | 3         | -        | -       | -         | -       | -              | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad+koridor            | -            | pööning       |         |
| Pargi põik 4, Viimsi      | 116022478              | 3         | 3         | -        | -       | -         | -       | -              | -                  | -             | -          | -           | +        | löörid                     | -            | katus         |         |
| Uus 67, Tartu             | 104017291              | 6         | 5         | 85       | 162     | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Kesk 38, Põlva            | 110009773              | 4         | 5         | 55       | 170     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | vesi-vesi          | -             | -          | -           | +        | fassaad                    | löörid       | -             | katus   |
| Kodu 1a ja 1b, Kose       | 116009227 ja 116009228 | 2+2       | 3+3       | 15       | 35      | Compact   | 65-45   | Kose Vesi      | -                  | 2+            | -          | -           | -        | löörid                     | -            | pööning       |         |
| Linda 7, Tartu            | 104014251              | 1         | 3         | -        | -       | -         | -       | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad+koridor            | -            | pööning       |         |
| Ilmatsalu 8, Tartu        | 104034582              | 1         | 3         | 12       | 40      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | pööning |
| Lao 2a, Tartu             | 104023618              | 2         | 3         | 21       | 43      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | pööning       |         |
| Silli 19, Tallinn         | 101018087              | 4         | 5         | -        | -       | -         | -       | Utilitas       | -                  | -             | -          | -           | -        | -                          | -            | katus         |         |
| Voki 4, Sihva             | 111031353              | 3         | 2         | 60       | 12      | Compact   | 55-45   | -              | maa SP + vesi-vesi | -             | -          | -           | +        | fassaad                    | löörid       | +             | pööning |
| KV Pärna 2, Tartu         | 104034863              | 2         | 5         | 24       | 63      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| Aasa 3, Põlva             | 110010051              | 4         | 3         | 30       | 67      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | pööning |
| Kruusamäe 32, Tartu       | 104017888              | 3         | 2         | 12       | 44      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | löörid                     | +            | katus         |         |
| Kirsi 6, Tallinn          | 101020816              | 2         | 3         | 72       | -       | Compact   | 55-45   | Utilitas       | -                  | +             | 45         | -           | -        | trepikoda, löörid, fassaad | -            | katus         |         |
| Kirsi 8, Tallinn          | 101021129              | 4         | 3         | 144      | -       | Compact   | 55-45   | Utilitas       | -                  | +             | 45         | -           | -        | trepikoda, löörid, fassaad | -            | katus         |         |
| Sõpruse pst 6, Tallinn    | 101013120              | 2         | 4         | 30       | 93      | Air       | 70-50   | Utilitas       | vesi-vesi          | -             | -          | +           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | pööning |
| Kitse 18a, Pärnu          | 103015794              | 5         | 3         | 36       | 81      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | pööning |
| Pikk 52, Tartu            | 104030892              | 4         | 5         | 80       | 151     | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| Kalevi 10, Tartu          | 104016993              | 2         | 4         | 31       | 52      | Compact   | 55-45   | Fortum         | -                  | +             | 17         | -           | -        | fassaad                    | -            | pööning       |         |
| Valga 32, Tõrva           | 111028077              | 3         | 2         | 12       | 26      | Compact   | 70-50   | -              | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | pööning       |         |
| Pihlaka 6, Põlva          | 110010061              | 2         | 3         | 12       | 50      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | pööning       |         |
| Pärna 6, Tartu            | 104033448              | 2         | 5         | 40       | 63      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| Tammsaare 2, Tartu        | 104017454              | 4         | 5         | 60       | 138     | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | 42         | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | katus   |
| Nõva 1, Tartu             | 104019098              | 3         | 5         | 45       | 90      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | 32         | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| KVVK Ravila 52, Tartu     | 104028314              | 2         | 5         | 30       | 65      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Uustee 1, Lustivere       | 114009630              | 2         | 3         | 12       | 35      | Compact   | 70-50   | -              | -                  | +             | -          | -           | -        | löörid                     | +            | pööning       |         |
| Kummeli 1, Tartu          | 104029072              | 3         | 2+3       | 15       | 50      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | 12         | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| Lao 1, Nõo                | 104031128              | 3         | 3         | 24       | 132     | Compact   | 60-40   | SW Energia     | -                  | -             | -          | ventilaator | -        | löörid                     | -            | katus         |         |
| Kesk 40, Põlva            | 110009948              | 6         | 5         | 90       | -       | Compact   | 60-50   | -              | -                  | 2+            | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | katus   |
| Jaama 24b, Põlva          | 110009951              | 3         | 3         | 18       | 33      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| KV Aia 5, Kose-Uuemõisa   | 116008552              | 5         | 3         | 30       | 106     | Compact   | 65-45   | Kose Vesi      | -                  | 2+            | -          | -           | -        | löörid                     | +            | pööning       |         |
| Päri tee 18, Päri         | 112020476              | 3         | 2         | 12       | 40      | Compact   | 55-35   | SW Energia     | -                  | +             | 10         | -           | -        | fassaad                    | -            | katus         |         |
| Narva mnt 153, Tartu      | 104040670              | 2         | 2         | 12       | 34      | Compact   | 70-50   | Fortum         | -                  | +             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | pööning |
| Tiigi 4, Saku             | 116019836              | 4         | 5         | 60       | 160     | Air       | 65-45   | Saku Maja      | maa SP + vesi-vesi | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Põllu 1, Saku             | 116018973              | 4         | 5         | 60       | 165     | Compact   | 70-50   | Saku Maja      | maa SP + vesi-vesi | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Suur-Kaare 43, Viljandi   | 112016735              | 4         | 5         | 55       | 110     | Compact   | 60-40   | Esro           | -                  | +             | 35         | -           | -        | trepikoda, fassaad         | -            | katus         |         |
| Posti 7, Rakvere          | 108007668              | 4         | 5         | 60       | 193     | Air       | 70-50   | Rakvere Soojus | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | katus   |
| Piia mnt 26, Viljandi     | 108007668              | 4         | 5         | 60       | 193     | Compact   | 70-50   | Esro           | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Piia mnt 36, Viljandi     | 112017023              | 4         | 5         | 60       | 193     | Compact   | 60-40   | Esro           | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Piia mnt 40, Viljandi     | 112017116              | 4         | 5         | 60       | 193     | Compact   | 60-40   | Esro           | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Männimäe tee 29, Viljandi | 112023303              | 3         | 5         | 45       | 140     | Compact   | 70-50   | Esro           | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | +             | katus   |
| Suur-Kaare 39, Viljandi   | 112016510              | 6         | 5         | 85       | 155     | Compact   | 60-40   | Esro           | -                  | +             | 52         | -           | -        | trepikoda, fassaad         | -            | katus         |         |
| Kauge 24, Viljandi        | 112017180              | 2         | 4         | 24       | 85      | Compact   | 70-50   | Esro           | vesi-vesi          | -             | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | katus   |
| Vase 11, Tallinn          | 101020889              | 1         | 5         | 10       | 50      | Air       | 70-50   | Utilitas       | -                  | -             | -          | ventilaator | -        | löörid                     | -            | katus+pööning |         |
| Filtri tee 8, Tallinn     | 101012237              | 3         | 5         | 60       | 115     | Compact   | 70-50   | -              | -                  | 3+            | -          | -           | -        | fassaad                    | löörid       | -             | pööning |
| Välja 6, Rapla            | 109016951              | 3         | 4         | 47       | 139     | Air       | 62-42   | Utilitas       | -                  | -             | -          | ventilaator | -        | löörid                     | -            | pööning       |         |

### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Objekt                           | Üldine    |           |          |          | Küte    |           |         |                | Ventilatsioon |             |            |               |                          |                |              |               |
|----------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|---------|----------------|---------------|-------------|------------|---------------|--------------------------|----------------|--------------|---------------|
|                                  | EHR koode | Trepikoda | Korrused | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja      | SP tüüp       | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat   | Köögi VT                 | Sansõlme VT    | Torud lööris | Katus/pööning |
| Lennuki 3, Viljandi              | 112017045 | 2+1       | 5        | 45       | 97      | Compact   | 60-40   | Esro           | -             | 2+          | 32         | -             | fassaad                  | löörid         | -            | katus         |
| Koidu 5, Elva                    | 104034607 | 2         | 2+3      | 10       | 33      | Compact   | 70-50   | -              | -             | +           | el 7.5     | -             | fassaad                  | -              | -            | katus         |
| Turu 3, Tartu                    | 104016935 |           |          |          |         |           |         | Fortum         |               |             |            |               |                          |                |              |               |
| Pepleri 10, Tartu                | 104031176 | 3         | 4        | 49       | 63      | Compact   | 55-45   | Fortum         | -             | 3+          | 36         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Tartu 45, Võru                   | 113021229 | 1         | 9        | 45       | 135     | Compact   | 70-50   | Danpower       | vesi-vesi     | -           | -          | -             | löörid                   | +              | +            | katus+pööning |
| Pihlaka 11, Põlva                | 110009972 | 5         | 5        | 75       | 153     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -             | 2+          | 54         | -             | fassaad                  | löörid         | -            | katus         |
| Sõpruse pst 173, Tallinn         | 101011132 | 6         | 5        | 89       | 235     | Air       | 70-50   | Utilitas       | vesi-vesi     | -           | -          | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Ravila 47, Tartu                 | 104017980 | 2+2+2     | 3        | 72       | 94      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 3+          | -          | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Uus 63, Tartu                    | 104017981 | 4         | 5        | 60       | 125     | Compact   | 70-50   | Fortum         | -             | +           | 43         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Sõbra 48, Tartu                  | 104026216 | 2         | 5        | 66       | 94      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 40         | -             | fassaad                  | trepikoda      | -            | katus         |
| Vabaduse 5, Rakvere              | 108012101 | 4         | 5        | 60       | 193     | Air       | 70-50   | Rakvere Soojus | vesi-vesi     | -           | -          | -             | fassaad                  | löörid         | -            | katus         |
| Rahu tee 2, Lustivere            | 114009641 | 3         | 2        | 12       | 42      | Compact   | 65-55   | -              | -             | +           | 10         | -             | löörid                   | +              | +            | katus         |
| Ritsu 25, Linna küla             | 120294839 | 4         | 3        | 36       | 65      | Compact   | 55-45   | -              | -             | +           | -          | -             | fassaad                  | löörid         | +            | pööning       |
| Aleksandri 3, Tartu              | 104016899 | 2         | 4        | 32       | 57      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 20         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | pööning       |
| Ilmatsalu 47, Rahinge            | 104036976 | 2         | 2        | 12       | 28      | Compact   | 55-45   | -              | maa SP        | -           | -          | -             | fas+löörid               | löörid         | +            | pööning       |
| Pärna tee 4, Kõrveküla           | 104027341 | 4         | 3        | 24       | 105     | Air       | 70-50   | -              | -             | -           | -          | igas korteris | löörid                   | -              | -            | pööning       |
| Piia 8, Tartu                    | 104034096 | 3         | 5        | 30       | 90      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 30.5       | -             | fassaad                  | püstik WC taga | -            | katus+pööning |
| Tulika 64, Tallinn               | 101020625 |           |          |          |         |           |         | Utilitas       | -             |             |            |               |                          |                |              |               |
| Sütiste tee 36, Tallinn          | 101014408 | 6         | 5        | 89       | 248     | Air       | 70-50   | Utilitas       | -             | 6+          | 60         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Jahu 8, Tallinn                  | 101010755 | 2         | 4        | 24       | 57      | Compact   | 60-40   | Utilitas       | -             | +           | el 13      | -             | fassaad                  | fas+löörid     | +            | pööning       |
| Tiigi 7, Tartu                   | 104033072 | 2         | 4        | 32       | 65      | Compact   | 55-45   | Fortum         | -             | 2+          | 17         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Pepleri 3, Tartu                 | 104033237 | 2         | 4        | 32       | 47      | Compact   | 50-40   | Fortum         | -             | 2+          | 17         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Nurme 2, Rapla                   | 109017217 | 4         | 5        | 60       | 110     | Compact   | 60-40   | Utilitas       | -             | +           | 35         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Erala keskus 4, Erala            | 104012269 | 4         | 2        | 16       | 72      | Compact   | 70-50   | -              | -             | -           | -          | igas korteris | -                        | -              | -            | katus         |
| Pepleri 12, Tartu                | 104016885 | 3         | 4        | 48       | 90      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 36         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Aleksandri 1, Tartu              | 104016878 | 3         | 4        | 48       | 80      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 3+          | 30         | -             | fassaad                  | fas+löörid     | +            | pööning       |
| Tiigi 8, Tartu                   | 104030524 | 3         | 5        | 60       | 94      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 3+          | 36         | -             | fassaad                  | fas+löörid     | +            | pööning       |
| Piia 34, Viljandi                | 112017099 | 3         | 5        | 45       | 87      | Compact   | 65-45   | Esro           | -             | +           | 30         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Kalevi 71, Tartu                 | 104036188 | 2         | 4        | 17       | 50      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | -          | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Aardla 116, Tartu                | 104018468 | 3         | 5        | 45       | 94      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 30         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Lutsu 16, Tartu                  | 104031923 | 2         | 4        | 32       | 45      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 3+          | 19         | -             | fassaad                  | fas+löörid     | +            | pööning       |
| Kalda 64, Tallinn                | 101015202 | 4         | 7        | 56       | 190     | Air       | 70-50   | -              | vesi-vesi     | -           | -          | -             | fassaad+löörid+trepikoda | +              | +            | katus+pööning |
| Lääne 7, Tartu                   | 104018503 | 4         | 5        | 60       | 105     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | -           | -          | -             | -                        | -              | -            | katus         |
| Uus 60, Tartu                    | 104030650 | 4         | 5        | 80       | 98      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 35         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Èha 12, Elva                     | 104029935 | 3         | 2        | 12       | 29      | Compact   | 65-45   | Elva Soojus    | -             | +           | el         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Uus 7, Põlva                     | 110009771 | 2         | 4        | 32       | 61      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -             | 2+          | 20         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Lina 2, Põlva                    | 110010052 | 4         | 2        | 16       | 48      | Compact   | 55-45   | Põlva soojus   | -             | +           | 12.7       | -             | fassaad                  | -              | -            | katus         |
| Männi 3, Roiu                    | 104002317 | 3         | 4        | 36       | 75      | Compact   | 60-50   | -              | -             | +           | 24         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Turu 3, Tartu                    | 104016939 | 2         | 4        | 32       | 57      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 20         | -             | fassaad                  | fas+löörid     | +            | pööning       |
| Piiri 18, Põlva                  | 110009977 | 4         | 5        | 60       | 125     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -             | +           | 41         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Piiri 8, Põlva                   | 110009929 | 4         | 3        | 30       | 80      | Compact   | 55-45   | Põlva soojus   | -             | -           | -          | -             | -                        | -              | -            | katus         |
| Tõnissoni 13, Tartu              | 104031412 | 3         | 4        | 44       | 75      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 24         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| J. Kuiperjanovi 2, Tartu         | 104033956 | 3         | 4        | 44       | 63      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 23         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Origata keskus 30, 30a, Märjamaa | 109011126 | 2+2       | 3+3      | 12+12    | 81      | Compact   | 55-45   | N.R. Energy    | -             | 2+          | 17         | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |
| Mõisavahe 28, Tartu              | 104030428 | 2         | 5        | 30       | 63      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 20         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Mäe 2, Põlva                     | 110009895 | 2         | 3        | 30       | 94      | Compact   | 65-45   | Põlva soojus   | -             | +           | 23         | -             | fassaad                  | -              | -            | katus         |
| Uus 6, Põlva                     | 104006196 | 3         | 5        | 45       | 94      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -             | +           | 30         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Ravila 44, Tartu                 | 104034235 | 2         | 5        | 40       | 53      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | +           | 17         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Heki 2, Ülenurme                 | 104033153 | 4         | 3        | 24       | 64      | Compact   | 55-45   | Fortum         | -             | +           | 20         | -             | fassaad                  | löörid         | -            | katus         |
| Ehituse 8, Jüri                  | 116017784 | 2         | 3        | 18       | 37      | Compact   | 70-50   | Elveso         | -             | +           | el 8.8     | -             | fassaad                  | löörid         | +            | katus         |
| Aleksandri 5, Tartu              | 104017104 | 2         | 4        | 32       | 53      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -             | 2+          | 20         | -             | fassaad                  | löörid         | +            | pööning       |
| Ringtee 4, Põltsamaa             | 114012124 | 2+2       | 2+2      | 8        | 23      | Compact   | 55-45   | Adven          | -             | +           | -          | -             | fassaad                  | -              | -            | pööning       |

### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Objekt                      | Üldine    |           |          |          | - ite   |           |         |              | Ventilatsioon |             |            |               |                        |                |              |               |
|-----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|---------|--------------|---------------|-------------|------------|---------------|------------------------|----------------|--------------|---------------|
|                             | EHR kood  | Trepikoda | Korrused | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja    | SP tüüp       | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat   | Köögi VT               | Sansõlme VT    | Torud lõõris | Katus/pööning |
| Ringtee 5, Põltsamaa        | 114012136 | 2+2       | 2+2      | 8        | 23      | Compact   | 55-45   | Adven        | -             | +           | -          | -             | fassaad                | -              | -            | pööning       |
| Anne 2, Tartu               | 104017253 | 6         | 5        | 90       | 165     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 60         | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Anne 87, Tartu              | 104019230 | 4         | 5        | 60       | 125     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 41         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Kirde 12, Elva              | 104030649 | 3         | 3        | 18       | 54      | Compact   | 70-50   | Elva Soojus  | -             | +           | 14         | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Kuperjanovi 4, Tartu        | 104031913 | 3         | 4        | 44       | 75      | Compact   | 55-45   | Fortum       | -             | 2+          | 24         | -             | fassaad                | -              | -            | pööning       |
| Kaunase pst 17, Tartu       | 104017952 | 4         | 5        | 60       | 125     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 41         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Purde 39, Tartu             | 104018094 | 6         | 5        | 120      | 140     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | 2+          | 55         | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Ulus 65, Tartu              | 104017216 | 8         | 5        | 115      | 197     | Compact   | 60-40   | Fortum       | -             | 2+          | 69         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Ringtee 13, Tõrvandi        | 104026371 | 2         | 5        | 40       | 54      | Compact   | 57-37   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Ringtee 4, Tõrvandi         | 104036185 | 3         | 4        | 36       | 68      | Al-ribi   | 55-45   | SW Energia   | -             | +           | 19,6       | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Anne 30, Tartu              | 104017296 | 8         | 5        | 115      | 224     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | -           | -          | igas korteris | -                      | -              | -            | katus         |
| Pihlaka 1, Pääri            | 112005220 | 3         | 3        | 18       | 48      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 13         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | pööning       |
| Riia mnt 7, Viljandi        | 112017172 | 3         | 5        | 45       | 95      | Compact   | 60-40   | Esro         | -             | +           | 32         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Aasa 4, Põlva               | 110009995 | 4         | 5        | 60       | 268     | -         | 70-50   | -            | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | katus         |
| Õnne 24, Tartu              | 104035651 | 1         | 3        | 12       | 27      | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | el 9,0     | -             | fassaad+pööning        | -              | -            | pööning       |
| Ehitaja 4, Tõrva            | 111033575 | 3         | 4        | 24       | 64      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 18         | -             | fassaad+katus          | -              | -            | katus         |
| Observatooriumi 5, Tõravere | 104033996 | 1         | 6        | 35       | 65      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 22,6       | -             | fassaad+šahitrepikojas | -              | -            | katus         |
| Pikk 100, Tartu             | 104017951 | 4         | 5        | 60       | 130     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 44         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kivi 2, Nõo                 | 104031662 | 3         | 4        | 36       | 77      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 27         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Nooruse 8, Puhja            | 104009727 | 4         | 3        | 36       | 72      | Compact   | 60-40   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad                | lõõrid+VKšahit | -            | katus         |
| Nooruse 10, Puhja           | 104009726 | 4         | 3        | 36       | 72      | Compact   | 60-40   | SW Energia   | -             | +           | 21,3       | -             | fassaad                | lõõrid+VKšahit | -            | katus         |
| Nooruse 12, Puhja           | 104009468 | 4         | 3        | 36       | 72      | Compact   | 60-40   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad                | lõõrid+VKšahit | -            | katus         |
| Nooruse 14, Puhja           | 104009725 | 4         | 3        | 36       | 72      | Compact   | 60-40   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad                | lõõrid+VKšahit | -            | katus         |
| Kreutzwaldi 17A, Rakvere    | 108012199 | 2         | 3        | 12       | 38      | Compact   | 55-45   | -            | -             | +           | 7,7        | -             | fassaad+pööning        | -              | -            | pööning       |
| Puiste 114A, Tartu          | 104023184 | 2         | 3        | 27       | 125     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 12         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kalda tee 40, Tartu         | 104019297 | 2         | 5        | 40       | 60      | Compact   | 55-45   | Fortum       | -             | +           | 17,6       | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Valdeku 118a, Tallinn       | 101043034 | 6         | 5        | 90       | 235     | Air       | 70-50   | Utilitas     | 2xvesi-vesi   | -           | -          | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Ristiku 62, Tallinn         | 101020053 | 4         | 5        | 65       | 170     | Air       | 65-45   | Utilitas     | 2xvesi-vesi   | -           | -          | -             | fassaad+fassaad        | -              | +            | katus         |
| Luha 9, Keila               | 116006437 | 4         | 5        | 60       | 96      | Al-ribi   | 70-60   | Utilitas     | -             | +           | 35         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Männimäe tee 35, Viljandi   | 112017114 | 6         | 5        | 75       | -       | Compact   | 65-45   | Esro         | -             | -           | -          | igas korteris | -                      | -              | -            | katus         |
| Lao 1, Tartu                | 104026600 | 1         | 3        | 7        | 25      | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | el         | -             | lõõrid                 | -              | +            | pööning       |
| Mammaste tee 9, Põlva       | 110008190 | 2         | 3        | 12       | 50      | Malm      | 70-50   | -            | -             | -           | -          | igas korteris | lõõrid                 | -              | -            | pööning       |
| Nurme 4, Rapla              | 109017243 | 3         | 5        | 45       | 120     | Compact   | 60-40   | Utilitas     | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | katus         |
| Allika 2, Keila             | 116006459 | 4         | 5        | 60       | 107     | Compact   | 60-40   | Utilitas     | -             | +           | 37         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| KVVK Allika 2, Keila        | -         | 4         | 5        | 60       | 145     | Compact   | 70-50   | Utilitas     | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | katus         |
| Pargi 3, Vasula             | 104012212 | 2         | 3        | 16       | 50      | Compact   | 70-50   | -            | -             | -           | -          | igas korteris | -                      | -              | -            | katus         |
| Riia 10, Tartu              | 104017012 | 6         | 5        | 95       | 185     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 75         | -             | fassaad                | -              | -            | pööning       |
| Vabaduse pst 2, Tartu       | 104027744 | 2         | 4        | 36       | 120     | Compact   | 70-45   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | pööning       |
| Kärkna 2, Kärkna            | -         | 3         | 3        | 18       | 44      | Compact   | 65-45   | -            | -             | +           | 12,8       | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Keldrikaela tee 4, Mammaste | 110008212 | 3         | 2        | 12       | 54      | Compact   | 70-50   | Põlva Soojus | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | -             |
| Voika 4, Nõo                | 104029734 | 4         | 3        | 24       | 67      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | el 18,9    | -             | fassaad                | -              | -            | katus         |
| Viljandi tee 36, Puhja      | 104029325 | 2         | 4        | 36       | 80      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 25         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Alasi 32, Tartu             | 104018165 | 2         | 5        | 74       | 110     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 37         | -             | lõõrid                 | -              | +            | katus         |
| Redise 6, Laagri            | 116020198 | 4         | 5        | 60       | 133     | Air       | 60-40   | -            | vesi-vesi     | -           | -          | -             | lõõrid                 | -              | -            | katus         |
| Raekoja plats 11, Tartu     | 104032414 | 2         | 4        | 18+äri   | 99      | Malm      | 65-45   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | pööning       |
| Kreutzwaldi 53, Võru        | 113021330 | 1         | 9        | 36       | 137     | Compact   | 70-50   | Danpower     | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | katus         |
| Aleksandri 12, Tartu        | 104016950 | 3         | 5        | 60       | 92      | Compact   | 50-40   | Fortum       | -             | 3+          | 36         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kalda tee 6, Tartu          | 104017464 | 8         | 5        | 119      | 220     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | -             |
| Kesk-Ameerika 3, Tallinn    | 101021165 | 3         | 4        | 44       | -       | -         | 75-50   | Utilitas     | -             | -           | -          | igas korteris | -                      | -              | -            | pööning       |
| Anne 73, Tartu              | 104017560 | 5         | 5        | 75       | 125     | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | 2+          | 41         | -             | fassaad                | lõõrid         | +            | katus         |
| Kopli 12, Ötsepää           | 111023453 | 3         | 3        | 18       | -       | -         | -       | -            | -             | -           | -          | ventilaator   | -                      | lõõrid         | -            | katus         |
| Mäe 9, Põlva                | 110003115 | 3         | 4        | 36       | 71      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus | -             | -           | -          | -             | -                      | -              | -            | -             |

### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Üldine                          |           |           |         | - te     |         |           |         | Ventilatsioon  |             |             |            |             |                |                 |              |               |
|---------------------------------|-----------|-----------|---------|----------|---------|-----------|---------|----------------|-------------|-------------|------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|
| Objekt                          | EHR kood  | Trepikoda | Korused | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja      | SP tüüp     | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat | Köögi VT       | Sansõlme VT     | Torud lööris | Katus/pööning |
| Võidu 53, Rakvere               | 108012204 | 5         | 5       | 75       | 127     | Compact   | 70-50   | Rakvere Soojus | -           | +           | 43         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Ravila 48, Tartu                | 104018238 | 3         | 5       | 45       | 179     | Compact   | 80-60   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Loosi 3, Tõrva                  | 111032245 | 3         | 2       | 12       | 28      | Compact   | 55-45   | -              | maa SP      | +           | el. 7,0    | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Tiigi 21, Tartu                 | 104029558 | 2         | 3       | 24       | 41      | Compact   | 55-40   | Fortum         | -           | 2+          | 14,4       | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Tiigi 23, Tartu                 | 104030297 | 2         | 3       | 24       | 41      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | 2+          | 14,4       | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Sõpruse 20, Viiratsi            | 112013608 | 2         | 5       | 30       | 62      | Compact   | 65-45   | Adven          | -           | +           | 21         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Kotka 8, Tallinn                | 101015341 | 3         | 4       | 48       | -       | -         | -       | -              | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Toome tee 5, Loo                | 116003427 | 4         | 5       | 45       | -       | -         | -       | -              | -           | +           | -          | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Näituse 13, Tartu               | 104033171 | 2         | 4       | 16       | 46      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | 2+          | 11         | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Jaama 22, Põlva                 | 110009937 | 2         | 3       | 16       | 39      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Riia 40a, Viljandi              | 112017117 | 3         | 5       | 45       | 92      | Compact   | 70-50   | Esro           | -           | +           | 31         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Tammsaare tee 74, Tallinn       | 101019002 | 8         | 5       | 119      | 192     | Compact   | 70-50   | Utilitas       | -           | 4+          | 65         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Kuuse 41, Laagri                | 116020981 | 3         | 5       | 45       | 170     | Air       | 70-47   | -              | 2kvesi-vesi | -           | -          | -           | fassaad        | -               | -            | katus         |
| Kuuse 43, Laagri                | 116020982 | 3         | 5       | 50       | 167     | Air       | 70-47   | -              | 2kvesi-vesi | -           | -          | -           | fassaad        | -               | -            | katus         |
| Välja 5, Kose-Uuemõisa          | 116008553 | 3         | 3       | 26       | 48      | Compact   | 65-45   | Kose Vesi      | -           | +           | 14         | -           | fassaad        | fassaad+löörid  | +            | pööning       |
| Narva mnt 151, Tartu            | 104030525 | 3         | 2       | 16       | 45      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | +           | +          | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Paju 3, Lääne                   | 104012309 | 3         | 3       | 24       | 60      | Compact   | 60-40   | Tartu vald     | -           | +           | 21,2       | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Põhja pst 31, Tartu             | 104030307 | 4         | 5       | 75       | 110     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | +           | 42         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Ringtee 11, Tõrvandi            | 104023653 | 2         | 5       | 30       | 63      | Compact   | 55-35   | SW Energia     | -           | +           | 21         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Sireli 2, Põlva                 | 110009975 | 3         | 3       | 18       | 57      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | katus         |
| Põllu 2, Haljala, Lääne-Virumaa | 108025850 | 3         | 3       | 18       | 56      | Compact   | 55-35   | Haljala soojus | -           | +           | 15,1       | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Oraviku ukt. 9, Melliste küla   | 104026228 | 2         | 3       | 12       | 34      | Compact   | 55-35   | SW Energia     | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Pikk 32, Tartu                  | 104018597 | 2         | 5       | 30       | -       | -         | -       | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Heki 4, Ülenurme                | 104028487 | 4         | 3       | 24       | 64      | Compact   | 55-35   | SW Energia     | -           | +           | 20         | -           | fassaad        | löörid          | -            | katus         |
| Tööstuse 85, Tallinn            | 101019752 | 4         | 5       | 80       | 98      | Compact   | 70-50   | Utilitas       | -           | 2+          | 41         | -           | fassaad        | -               | -            | katus         |
| Riia mnt 81, Viljandi           | 112017159 | 2         | 4       | 16       | 105     | Compact   | 60-40   | Esro           | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Riia mnt 81a, Viljandi          | 112017160 | 2         | 3       | 12       | -       | Compact   | 60-40   | Esro           | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Jaama 53a, Põlva                | 110009968 | 4         | 5       | 45       | 144     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -           | 2+          | 36         | -           | püstik WC taga | -               | -            | katus         |
| Tiigi 9, Tartu                  | 104037210 | 2         | 4       | 32       | 65      | Compact   | 55-40   | Fortum         | -           | +           | 19,2       | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Tiigi 13, Tartu                 | 104030706 | 2         | 4       | 32       | 65      | Compact   | 55-40   | Fortum         | -           | +           | 19,2       | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Tähe 15, Tartu                  | 104016942 | 6         | 4       | 96       | 273     | Air       | 60-40   | Fortum         | 3kvesi-vesi | -           | -          | -           | -              | löörid          | +            | pööning       |
| Aleksandri 7, Tartu             | 104017004 | 2         | 4       | 32       | 71      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Turu 7, Tartu                   | 104016936 | 3         | 5       | 60       | 120     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | 3+          | 40         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Pepleri 5, Tartu                | 104031573 | 3         | 4       | 28       | -       | -         | -       | Fortum         | -           | +           | -          | -           | fassaad        | fassaad+lae all | -            | pööning       |
| Riia 9, Tartu                   | 104016861 | 7         | 5       | 70       | 149     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | 2+          | 47         | -           | fassaad        | -               | -            | pööning       |
| Väikepaju 2, Lääne              | 104034379 | 1         | 5       | 15       | 48      | Compact   | 70-50   | -              | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Ehitajate tee 72, Tallinn       | 101020103 | 4         | 5       | -        | -       | -         | -       | Utilitas       | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | katus         |
| Uus 5, Tartu                    | 104017890 | 4         | 5       | 60       | 160     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | katus         |
| Narva mnt 149, Tartu            | 104030981 | 4         | 4       | 33       | 153     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Näituse 9, Tartu                | 104036641 | 1         | 3       | 9        | 60      | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Gonsiori 36, Tallinn            | 101011165 | 4         | 4       | 51       | -       | Compact   | -       | Utilitas       | -           | 2+          | 28         | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Ehitajate tee 7, Viiratsi       | 112013584 | 4         | 4       | 48       | 87      | Compact   | 65-45   | Adven          | -           | +           | 35         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Kaare põik 1, Kaitu             | 109002473 | 2         | 3       | 12       | 31      | Compact   | 55-35   | -              | -           | +           | 7,5        | -           | fassaad+lagi   | -               | -            | pööning       |
| Piiri 12, Põlva                 | 110009933 | 4         | 5       | 60       | 125     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -           | 2+          | 50         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Pihlaka 22, Põlva               | 10010060  | 4         | 5       | 60       | 125     | Compact   | 70-50   | Põlva soojus   | -           | +           | 54         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Luhatn 25, Võru                 | 113021397 | 2         | 5       | 30       | 63      | Compact   | 60-40   | Danpower       | -           | +           | 21         | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |
| Mäe 4, Sõmeru                   | 108013722 | 3         | 3       | 26       | 57      | Compact   | 65-45   | Adven          | -           | +           | 18         | -           | fassaad        | fas+löörid      | +            | pööning       |
| Aasa 5, Sõmeru                  | 108014470 | 2         | 3       | 12       | 35      | Compact   | 65-45   | Adven          | -           | +           | 13         | -           | fassaad        | löörid          | +            | pööning       |
| Aardla 21, Tartu                | 104024363 | 3         | 5       | 45       | 140     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | -             |
| Tiigi 15, Tartu                 | 104030980 | 3         | 5       | 44       | 115     | Compact   | 65-45   | Fortum         | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | pööning       |
| Riia mnt 32, Viljandi           | 112017005 | 2         | 5       | 30       | 87      | Compact   | 60-40   | Esro           | -           | -           | -          | -           | -              | -               | -            | katus         |
| Kalda tee 38, Tartu             | 104030359 | 2         | 5       | 40       | -       | Compact   | -       | Fortum         | -           | +           | 20,7       | -           | fassaad        | löörid          | +            | katus         |

### Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Objekt                        | Üldine    |           |         |          | - te    |           |         |              | Ventilatsioon |             |            |               |                  |                |              |               |
|-------------------------------|-----------|-----------|---------|----------|---------|-----------|---------|--------------|---------------|-------------|------------|---------------|------------------|----------------|--------------|---------------|
|                               | EHR kood  | Trepikoda | Korused | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja    | SP tüüp       | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat   | Köögi VT         | Sansõlme VT    | Torud lõõris | Katus/pööning |
| Vabriku 38, Põlva             | 110009872 | 3         | 3       | 27       | 47      | Compact   | 55-35   | Põlva soojus | -             | +           | 18,5       | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kivila 21, Tallinn            | 101014186 | 6         | 9       | 216      | 628     | Air       | 70-50   | Utilitas     | 4xvesi-vesi   | -           | -          | -             | fassaad+lõõrid   | -              | +            | katus         |
| Riia mnt 32a, Viljandi        | 112017006 | 4         | 5       | 60       | 140     | Compact   | 60-40   | Esro         | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Raua 2, Tartu                 | 104018744 | 3         | 5       | 45       | 92      | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 35         | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Kaunase pst 15, Tartu         | 104017867 | 3         | 5       | 45       | 92      | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | +           | 34,3       | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Ringtee 9, Tartu              | 104018444 | 2         | 5       | 30       | 115     | Compact   | 70-50   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Sangla tn 29, Tartu           | 104034964 | 3         | 4       | 36       | 88      | Compact   | 65-45   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Lüva 2, Jõgeva                | 114003542 | 3         | 4       | 36       | 125     | Compact   | 70-50   | Utilitas     | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Mäe 8, Alu                    | 102014913 | 3         | 3       | 21       | 54      | Compact   | 57-37   | SW Energia   | -             | +           | 18         | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Mäe 13, Põlva                 | 110009782 | 3         | 4       | 36       | 53      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus | -             | -           | 25         | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Sõpruse pst 235, Tallinn      | 101018240 | 6         | 5       | 90       | 235     | Air       | 65-45   | Utilitas     | -             | -           | -          | ventilaator   | -                | lõõrid         | -            | katus         |
| Männi 5, Roiu                 | 104002315 | 3         | 3       | 24       | 100     | Compact   | 70-50   | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Männi 9, Kambja               | 104036135 | 2         | 5       | 30       | 68      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Staadioni tn 1, Aruküla       | 116032374 | 3         | 3       | 18       | 123     | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | 15         | -             | fassaad+lõõrid   | -              | +            | pööning       |
| Staadioni tn 7, Aruküla       | 116017127 | 3         | 3       | 18       | 123     | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | 15         | -             | fassaad+lõõrid   | -              | +            | pööning       |
| Staadioni tn 9, Aruküla       | 116017128 | 4         | 3       | 24       | 138     | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | 17         | -             | fassaad+lõõrid   | -              | +            | pööning       |
| E. Vilde tee 52, Tallinn      | 101039212 | 5         | 9       | 162      | 295     | Compact   | 70-50   | -            | -             | 2+          | 120        | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Nooruse 16, Puhja             | 104030530 | 4         | 3       | 30       | 68      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | +           | 21         | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Lääne 6, Viljandi             | 112016526 | 4+6       | 5       | 140      | -       | Air       | 60-40   | Esro         | -             | -           | -          | igas korteris | -                | -              | -            | katus         |
| Ringi 5, Maardu               | 116033568 | 4         | 5       | 48       | 91      | Compact   | 65-45   | Utilitas     | -             | +           | 33         | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Järve tee 6, Ilmatsalu        | 104030934 | 3         | 2       | 12       | -       | -         | -       | SW Energia   | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Aasa 3, Paide                 | 107007313 | 2         | 3       | 12       | 29      | Compact   | 60-40   | Enefit Green | -             | +           | 10,8       | -             | fassaad          | -              | -            | katus         |
| Sütiste tee 3, Tallinn        | 101012807 | 4         | 9       | 144      | 238     | Ol.olev   | 62-42   | Utilitas     | -             | 2+          | 100        | -             | trepikoda        | -              | -            | katus         |
| Aiandi tee 5, Luunja          | 104029892 | 4         | 5       | 60       | -       | -         | -       | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Mahlamäe tn 6, Rapla          | 109017058 | 4         | 5       | 55       | 95      | Compact   | 65-45   | Utilitas     | -             | 2+          | 42         | -             | fassaad          | -              | -            | pööning       |
| Kose mnt 34, Lehtmetsa        | 116000878 | 3         | 3       | 24       | 50      | Compact   | 55-45   | Nelko AV     | -             | +           | 19         | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Aia 4, Rõngu                  | 104035622 | 3         | 4       | 36       | 78      | Compact   | 65-45   | N.R. Energy  | -             | -           | 28         | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Lao tn 20, Põlva              | 110009961 | 5         | 3       | 30       | 105     | Compact   | 65-45   | Põlva soojus | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Sireli tn 3, Põlva            | 110009941 | 4         | 2       | 16       | 65      | Compact   | 65-45   | Põlva soojus | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Savi tn 2, Põlva              | 110009950 | 4         | 5       | 60       | 170     | Air       | 65-45   | Põlva soojus | -             | -           | -          | ventilaator   | -                | -              | -            | katus         |
| Eha 4, Kunda                  | 108004389 | 2         | 3       | 24       | 43      | Compact   | 65-45   | Adven        | -             | +           | 16         | -             | fassaad          | -              | -            | pööning       |
| Kesk tn 22, Ulila             | 104033258 | 3         | 3       | 18       | 63      | Compact   | 65-45   | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Aiavilja 7, Paide             | 107007116 | 2         | 4       | 32       | 83      | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Karja 5, Paide                | 107007168 | 3         | 4       | 48       | 113     | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Ehitajate 4, Paide            | 107007135 | 2         | 4       | 32       | 76      | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Jaama 24a, Põlva              | 110009939 | 2         | 3       | 18       | -       | Compact   | 70-50   | Põlva soojus | -             | +           | 13         | -             | fassaad          | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Võidu tn 1, Karksi-Nuia       | 117003306 | 3         | 3       | 18       | 55      | Compact   | 60-40   | Textuur AS   | -             | +           | 15         | -             | fassaad          | -              | -            | pööning       |
| Keskuse 1, Padise             | 116016009 | 2         | 3       | 12       | 39      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Keskuse 2, Padise             | 116015918 | 2         | 3       | 12       | 39      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Keskuse 3, Padise             | 116015936 | 2         | 3       | 12       | 39      | Compact   | 55-35   | SW Energia   | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Pihelbehe tn 14, Vaida alevik | 116018257 | 4         | 5       | 60       | -       | -         | -       | Elveso       | -             | +           | 41         | -             | fassaad          | lõõrid         | +            | katus         |
| Uus 58, Tartu                 | 104017227 | 4         | 5       | 55       | 136     | Compact   | 60-40   | Fortum       | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Rahu tee 8, Lustivere         | 114009626 | 3         | 2       | 12       | 58      | Compact   | 70-50   | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | katus         |
| Kure 11, Paide                | 107007279 | 3         | 3       | 18       | 64      | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Noorte 3, Maardu              | 116033677 | 2         | 2       | 12       | 30      | Compact   | 65-45   | Utilitas     | -             | +           | el. 9.0    | -             | trepikoda+korter | -              | -            | pööning       |
| Pargijäre, Rõuge              | 113009155 | 4         | 3       | 24       | 132     | Compact   | 70-50   | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | -             |
| Pärnu 48, Paide               | 107007494 | 2         | 3       | 18       | 49      | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Aiavilja 9, Paide             | 107007114 | 2         | 4       | 32       | 76      | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Suur-Aia 25, Paide            | 107007237 | 3         | 4       | 36       | 113     | Compact   | 65-45   | Enefit Green | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Erala 2, Erala                | 104030748 | 4         | 2       | 16       | 49      | Compact   | 70-50   | -            | -             | +           | 15         | -             | fassaad          | -              | -            | katus         |
| Endla tn 18b, Viljandi        | 112025137 | 2         | 2       | 8        | -       | -         | -       | -            | -             | -           | -          | -             | -                | -              | -            | pööning       |
| Kalda 23, Tabivere            | 114014879 | 3         | 2       | 12       | 94      | Compact   | 65-45   | -            | -             | -           | -          | ventilaator   | fassaad          | -              | -            | pööning       |



Lisa 3.7 Invento OÜ objektide koondtabel

| Objekt                         | Üldine    |           |          |          | Küte    |           |         |                 | Ventilatsioon |             |            |               |                |                |              |               |
|--------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|---------|-----------|---------|-----------------|---------------|-------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
|                                | EHR kood  | Trepikoda | Korrused | Korterid | Koormus | Radiaator | Graafik | Ettevõtja       | SP tüüp       | SV agregaat | Kalorifeer | VT agregaat   | Köögi VT       | Sansõlme VT    | Torud lõõris | Katus/pööning |
| Junkentali b, Tallinn          | 104022363 | 1         | 6        | 11       | 35      | Compact   | 65-45   | Utilitas        | -             | +           | 10         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Pärna 4, Tartu                 | 104027341 | 2         | 5        | 40       | 74      | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | +           | 27         | -             | fassaad        | fassaad        | -            | katus         |
| Tallinna mnt 28, Aruküla       | 116017123 | 2         | 2        | 8        | 28      | Compact   | 57-37   | SW Energia      | -             | +           | 6          | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kalevi 21, Tartu               | 104026937 | 1         | 2        | 6        | 23      | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | igas korteris | -              | -              | -            | pööning       |
| Ravila 46, Tartu               | 104025636 | 2         | 5        | 30       | 90      | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Jaama 6, Sindi                 | 103021840 | 2         | 3        | 24       | 47      | Compact   | 57-37   | SW Energia      | -             | +           | 15         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Ehitajate tn 1, Paide          | 107007147 | 3         | 4        | 48       | 113     | Compact   | 65-45   | Enefit Green    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Karja tn 12, Paide             | 107007238 | 8         | 5        | 115      | 275     | Compact   | 65-45   | Enefit Green    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Aasa tn 5, Paide               | 107007328 | 3         | 2        | 12       | 42      | Compact   | 65-45   | Enefit Green    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | -             |
| Rahu 12, Tartu                 | 104017005 | 3         | 4        | 48       | 112     | Air       | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | igas korteris | -              | -              | -            | pööning       |
| Astri tn 1, Sõmeru             | 108014479 | 4         | 3        | 24       | 97      | Compact   | 55-45   | -               | maa SP        | -           | +          | fassaad       | fassaad+lõõrid | +              | pööning      |               |
| Kaunase pst 34, Tartu          | 104017943 | 2         | 5        | 30       | 74      | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Võibki, Kärkna                 | 104027706 | 3         | 3        | 27       | 54      | Compact   | 70-50   | -               | -             | +           | 18         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Katuse, Väike-Rõsna            | 110017252 | 3         | 4        | 36       | 112     | Compact   | 70-50   | -               | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Aianditee 1, Lohkva küla       | 104027342 | 4         | 5        | 60       | 164     | Compact   | 60-40   | Fortum          | vesi-vesi     | -           | -          | -             | -              | lõõrid         | +            | katus         |
| Jaama 8a, Haapsalu             | 105003228 | 5         | 3+4      | 45       | 120     | Malm      | 65-45   | Utilitas        | -             | 2+          | 33         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | katus+pööning |
| Valuoja pst 13a, Viljandi      | 112016368 | 3         | 4        | 36       | 110     | Compact   | 60-40   | Esro            | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Jaama tn 61a, Põlva            | 110010065 | 4         | 2        | 16       | 31      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Narva mnt 1, Voka              | 102017545 | 1         | 3        | 9        | 31      | Compact   | 70-50   | -               | -             | +           | 8          | -             | fassaad        | -              | -            | katus         |
| Kivi 1, Nõo                    | 104030837 | 3         | 4        | 36       | 95      | Compact   | 55-35   | SW Energia      | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Tehnika 139, Tallinn           | 101027167 | 2         | 4        | 32       | 47      | Compact   | 60-40   | Utilitas        | -             | +           | 20         | -             | -              | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kaunase pst 20, Tartu          | 104017771 | 3         | 5        | 45       | 140     | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | ventilaator   | -              | lõõrid         | -            | katus         |
| Tiigi 11, Voka                 | 102017003 | 4         | 3        | 30       | -       | Compact   | 65-45   | -               | -             | +           | 20         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Turu 7, Tartu                  | 104016936 | 3         | 5        | 60       | -       | -         | -       | -               | -             | 3+          | -          | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Pikk 76, Tartu                 | 104018378 | 4         | 5        | 60       | 105     | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | 2+          | 40         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Pargi 24, Jõgeva               | 114003575 | 2         | 3        | 24       | 65      | Compact   | 65-45   | Utilitas        | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Vasara 13, Keila               | 116006496 | 2         | 3        | 38       | 64      | Compact   | 65-45   | Utilitas        | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Posti 14, Kohila               | 103008738 | 4         | 5        | 60       | 94      | Compact   | 57-37   | SW Energia      | -             | +           | 40         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Piiri 6, Põlva                 | 110009924 | 3         | 5        | 45       | 94      | Compact   | 70-50   | Põlva soojus    | -             | +           | 31         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Koidula 18, Türi               | 107010938 | 1         | 2        | 8        | 47      | Compact   | 70-50   | SW Energia      | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| F. R. Kreutzwaldi tn 38, Tartu | 104028351 | 2         | 4        | 14       | 30      | Compact   | 70-50   | -               | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Sõpruse 22, Viiratsi           | 112013609 | 2         | 5        | 30       | 62      | Compact   | -       | Adven           | -             | +           | 25         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Sõpruse pst 10, Tartu          | 104017439 | 8         | 5        | 110      | 356     | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Riia 16a, Viljandi             | 112016804 | 2         | 5        | 60       | 105     | Compact   | 62-42   | Esro            | -             | +           | 34         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | katus         |
| Karja 8, Võsu                  | 108023407 | 3         | 2        | 12       | 39      | Compact   | 55-45   | -               | õhk-vesi      | +           | 10         | -             | fassaad        | fassaad+lõõrid | +            | pööning       |
| Sakala 8, Viiratsi             | 112013607 | 2         | 3        | 18       | 42      | Compact   | 65-45   | Adven           | -             | +           | 12         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Lembitu pst 15, Tapa           | 108018642 | 4         | 5        | 55       | 150     | Air       | 57-37   | N.R. Energy     | vesi-vesi     | -           | -          | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Vainu 2, Paide                 | 107006931 | 1         | 2        | 8        | 40      | Compact   | 67-47   | Enefit Green    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Suur-Aia 2, Paide              | 107006934 | 2         | 2        | 12       | 53      | Compact   | 67-47   | Enefit Green    | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Raja 1, Vastse-Kuuste          | 110015247 | 3         | 2+3      | 15       | 44      | Compact   | 65-45   | Põlva soojus    | -             | 3+          | 15         | -             | fassaad        | -              | -            | pööning       |
| Pärnu mnt 12, Lelle            | 103005055 | 3         | 3        | 18       | 68      | Air       | 65-45   | -               | õhk-vesi      | -           | -          | +             | fassaad        | lõõrid         | +            | pööning       |
| Kitse 26, Pärnu                | 103016118 | 4         | 5        | 60       | 115     | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | +           | 48         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | katus         |
| Tuuliku 7, Tabivere            | 114014740 | 3         | 2        | 12       | 54      | Compact   | 65-45   | Tabivere Soojus | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Männi 11, Kambja               | 104030776 | 4         | 3        | 24       | 75      | Compact   | 57-37   | SW Energia      | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Loopargi tee 3, Loo            | 116003841 | 4         | 5        | 60       | 93      | Compact   | 65-45   | Adven           | -             | +           | 41         | -             | fassaad        | lõõrid         | +            | katus         |
| Pargi 11a, Jõgeva              | 114003310 | 2         | 4        | 36       | 93      | Al-ribi   | 70-50   | Utilitas        | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Põhja pst 2, Viljandi          | 112020801 | 2         | 4        | 32       | 65      | Compact   | 62-42   | Esro            | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Valuoja pst 15, Viljandi       | 112016504 | 3         | 4        | 48       | 98      | Compact   | 62-42   | Esro            | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Valuoja pst 15a, Viljandi      | 112016503 | 3         | 4        | 48       | 98      | Compact   | 62-42   | Esro            | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |
| Pärnu 130, Paide               | 107007272 | 3         | 3        | 18       | 48      | Compact   | 65-45   | Enefit Green    | -             | +           | 15,5       | -             | fassaad        | -              | -            | katus         |
| Kase 6, Kose-Uuemõisa          | 116008646 | 2         | 3        | 12       | 32      | Compact   | 65-45   | Kose Vesi       | -             | +           | 11         | -             | fassaad        | -              | -            | katus         |
| Tähe 8, Jõgeva                 | 114003600 | 4         | 5        | 60       | 150     | Compact   | 70-50   | Utilitas        | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | katus         |
| Viljandi mnt 72, Kambja        | 104026463 | 2         | 2        | 13       | 40      | Compact   | 60-40   | Fortum          | -             | -           | -          | -             | -              | -              | -            | pööning       |

### **Lisa 3.8 Tüüpkorterelamute kütte ja ventilatsiooni lahenduste varajases staadiumis plaanimise arvutusmudel**

Arvutusmudel on leitav Taltech teadusandmete repositooriumis. Mudel on leitav alloleval lingil:

<https://doi.org/10.48726/9qt35-0yx82>