

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutuse analüüs

Uuringu lõpparuanne

**Alo Mikola**  
**Anti Hamburg**  
**Jarek Kurnitski**  
**Targo Kalamees**

**Tallinn 2017**

## **Eessõna**

Käesolev uurimistöö aruanne võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli liginullenergia uurimigrühmas ajavahemikul oktoober 2016 kuni aprill 2017 läbiviidud uuringu „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutuse analüüs“ tulemused. Uurimistöö on tehtud Sihtasutuse KredEx tellimusel.

Tallinna Tehnikaülikoolist osalesid uurimistöös Targo Kalamees (vastutav täitja), Alo Mikola, Anti Hamburg ja Jarek Kurnitski ning magistrandid Aivo Vassar, Janek Karits, Reet Maidre ja Kairi Randjärv.

Täname uurimistöö rahastajaid ja uuritud elamute elanikke, korteriühistute esimehi ning haldureid panuse eest uurimistöö õnnestumisse. Täname Eesti Ilmateenistust väliskliima andmete ja tehnovõrkude valdajaid uuritud elamute energiaandmete eest. Suur tänu Akukon Oy Eesti filiaalile ja Marko Ründvale akustiliste mõõtmiste võrdlusmõõtmiste ja konsultatsiooni eest.

Tallinnas, aprill 2017

Uuringu teostajad

# Sisukord

<b>1</b>	<b>Kokkuvõte</b>	<b>4</b>
1.1.1	Arvutuslikud energiamärgised	5
1.1.1.1	Möödetud energiakasutus	6
1.1.2	Soojuslik mugavus	7
1.1.3	Siseõhu CO <sub>2</sub> -sisaldus	9
1.1.4	Korterite ventilatsioon	10
1.1.5	Korterite müratase	11
1.1.6	Ventilatsioonisüsteemide toimivus	12
1.1.7	Korterelamute elanike ankeetküsitluse analüüs	13
<b>2</b>	<b>Rekonstrueeritud korterelamute energiatõhusus</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Meetodid</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Tulemused</b>	<b>14</b>
2.2.1	Hoone energiakasutus enne rekonstrueerimist	14
2.2.2	Hoone energiakasutus pärast rekonstrueerimist	16
2.2.3	Energiatõhususe saavutamine	18
<b>3</b>	<b>Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Meetodid</b>	<b>20</b>
3.2.1	Möötmised	20
3.2.2	Hindamiskriteeriumid	21
<b>3.3</b>	<b>Tulemused</b>	<b>22</b>
3.3.1	Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites	22
3.3.2	Magamistubade siseõhu süsihappegaasi kontsentratsioon	25
3.3.3	Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	27
3.3.4	Ventilatsioonisüsteemide mürataseme möötmistulemused	30
<b>4</b>	<b>Ventilatsioonisüsteemide toimivus</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Ventilatsiooni sissepuhkeõhu temperatuurid</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Soojustagasti jäätumist vältivad lahendused</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Ventilatsiooni toimivus hoonetes</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Akna-välisseina liitekohta soojuslik olukord</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Meetodid</b>	<b>41</b>
5.2.1	Möötmised	41
5.2.2	Külmasilla kriitilisuse hindamine	41
<b>5.3</b>	<b>Tulemused</b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Akna välisseina liitekohtade projektlahenduste tähelepanekud</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Piirdetarindid</b>	<b>46</b>
<b>6.1</b>	<b>Piirdetarindite projektlahendused</b>	<b>46</b>
<b>6.2</b>	<b>Piirdetarindite arvutuste lähteandmete ja arvutustulemuste esitamine</b>	<b>48</b>
6.2.1	Materjalide soojuserijuhtivus	48
6.2.2	Piirdetarindite soojusläbivus	48
6.2.3	Akna, ukse, luugi vms soojusläbivus	49
6.2.4	Piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivuse ja soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojusläbivused	50
<b>7</b>	<b>Korterelamute elanike ankeetküsitluse analüüs</b>	<b>51</b>

# 1 Kokkuvõte

Uuringu käigus võeti vaatluse alla 20.03.2015. a määruse MTM nr 23 toetusmeetme alusel rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutus. Uuringu ajal tehti kolme talvekuu vältel soojus- ja elektrienergia monitooring, mõõdeti ventilatsiooni toimivust ja siseõhu temperatuuri ning korraldati rekonstrueeritud korterelamute elanikele küsitlus rekonstrueerimistööde kohta.

Mõõtmised tehti korterelamutes (Tabel 1.1), kus oli rekonstrueeritud küttesüsteem, ehitatud välja uus mehaaniline ventilatsioonisüsteem ning lisasoojustatud välised piirdetarindid.

Tabel 1.1 Uuritavate hoonete valim

Hoone kood	Hoone asukoht	Korterite arv	Suletud netopindala m <sup>2</sup>	Välisseina soojustus	Ventilatsioon (sp = sissepuhe, vt = väljatõmme)	Akna asukoht seinas (Joonis 5.1)
Rekonstrueerimistööde maksumusest 25% toetust saanud hooned						
1.1	Tartu	27	1 665	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
1.2	Harjumaa	18	1 673	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
1.3	Harjumaa	18	1 592	Krohvitud soojustus (MW)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
Rekonstrueerimistööde maksumusest 40% toetust saanud hooned						
2.1	Tartumaa	12	1 029	Krohvitud soojustus (MW +EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Välisseina välispinnas
2.2	Tartumaa	18	1 490	Krohvitud soojustus (MW+EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.3	Tartumaa	18	1 508	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.4	Tartumaa	24	1 370	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.5	Tartumaa	18	1 306	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.6	Tartumaa	18	1 306	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.7	Tartu	18	1 180	Krohvitud soojustus (MW +EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.8	Tallinn	18	886	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.9	Harjumaa	12	903	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Algses asukohas
2.10	Tartu	55	3 378	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Välisseina tasapinnas
2.11	Tallinn	32	1 505	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Välisseina välispinnas
2.12	Tallinn	50	3 904	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Algses asukohas

### 1.1.1 Arvutuslikud energiamärgised

Viiteistkümnest hoonest kolmeteistkümnes oli arvutuslik energiamärgis tehtud tasuta tarkvaraga BV<sup>2</sup>. Ka kahe korterelamu puhul oli kasutatud ühetsoonilist arvutusmudelit, kuid teisi programme. Ühe tsooniga arvutusmudel on problemaatiline, kuna kõikides kortermajades oli kütteta kelder ja eri ilmakaarde avanevad aknad, mis tuleks mudelis arvesse võtta erinevate tsoonidega. Ühe tsooniga mudelit kasutades tuleb keldrilae soojuslähivus arvutada vastavalt standardile (EVS-EN ISO 13370:2008), mille arvutuskäik on suhteliselt keeruline ja on vaja palju lähteandmeid. Selline arvutusviis võis osutada tegijatele üle jõu käivaks, sest kõigi hoonete keldrilae soojuslähivus oli märgisel teistsugune kui kontrollarvutustes saadud tulemused. Ühe hoone puhul oli jäänud pöranda soojuslähivus sootuks arvestamata.

Soojuskadude osas tekitas teise olulise küsimuse vanade vahetamata akende soojuslähivuse arvestamine ning uute ja vanade akende kaalutud keskmise soojuslähivuse leidmine. Ühe hoone kontrollarvutus näitas, et põhiprojekti ja teostusprojekti aknad erinesid nii soojuslähivuse, päikesekiirguse teguri ( $g$ ) arvutustelt kui avatäidete mõõtmelt, mis ligikaudselt 10% ulatuses mõjutas kütteenergiakulu arvutuse tulemust. Edaspidi oleks vaja nõuda, et projektides on kirjeldatud, milline on vanade akende soojuslähivus ning nende osakaal kaalutud keskmise leidmisel. Ülejäänud piirdetarindite kontrollarvutused näitasid, et üldiselt oli renoveeritavate hoonete katuse ning välisseinakonstruktsioon märgise arvutustes suurusjärguna õigesti arvatud. Siiski tekitas osal juhtudel kahtlust olemasoleva konstruktsiooni soojuslähivuse hindamine ning see, kas soojuslähivuse arvutamisel on arvestatud soojustuse paigaldamiseks kasutatavate ankrute, lisaroovidega ja muude soojustuste katkestustega. Lisaks akna ja seina liitekohta joonsoojuslähivuse kriteeriumile tuleb nõuda ka temperatuuriindeksi kriteeriumi täitmist ( $f_{Rsi} \geq 0,8$ ). Edaspidi oleks vaja nõuda, et projektides on esitatud piirdetarindite soojuslähivuse arvutuste lähteandmed ja arvutustulemused (vt ptk 6.2 lk 48).

Piirdetarindi liitekohtade joonsoojuslähivuste arvutuste kontrollimisel tuleb tõdeda, et mitmel juhul polnud need määruse kohaselt läbi arvatud. Lähtunud oli peamiselt määruse tabelväärtustest. Paaris hoones ei andnud akna ja välisseina liitekohta ning välisseina ja katuse liitekohta joonsoojuslähivus selgelt välja arvutustes kasutatud väärtust. Akende liitumisel välisseinaga oli kasutatud madalamaid väärtusi kui määruse tabelväärtus, kuid projektides puudusid nende kohta tehtud arvutused, mille tõttu ei ole kasutatud väärtused usaldusväärsed.

Energiamärgiste lähteandmetes oli suur vastuolu ventilatsiooni lähteandmete esitamises ning lähteandmete alusel ventilaatorite poolt kasutatud elektrienergia arvutustulemuste vahel. Osa hoonete puhul tuli algandmetes toodud õhuhulga ning ventilaatorite elektrilise erivõimsuse kasutamisel elektrienergia erikasutus oluliselt suurem, kui tulemuste lehel oli esitatud.

Arvutustulemuste analüüsis osutus küttenenergia kasutus liialt optimistlikuks. Kontrollarvutused näitasid, et ruumide küttenenergia arvutamisel oli vabasoojuste mõju üle hinnatud (tüüpiline BV<sup>2</sup> probleem) ning saadud oluliselt väiksemaid tulemusi kui kontrollarvutuste poolt näidatud summaarne ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamise energiavajadus. Hinnanguliselt peaks ventilatsiooni soojustagastusega hoonetes (toetusmääruste kohaste piiretega) küttenenergia erikulu ligikaudne alumine piirväärtus olema 48 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (ilma soojustagastusega alla 80 kWh/(m<sup>2</sup>·a)), sellest madalamate tulemuste saamisel tuleks ekspertiisides erilist tähelepanu pöörata.

Energiamärgise arvutamisel tehtud vigade tõttu ei kuulu osad hooned rekonstrueerimisprojekti kasutatud lahendustega C-energiatõhususklassi. Kontrollarvutused andsid valede lähteandmete ja vabasoojuste kasutamise tõttu kuni 20 kWh/(m<sup>2</sup>·a)-ühikut suurema energiatõhususarvu (välja arvatud üks hoone, mille märgis oli täiesti valesti koostatud). Kuna C- ja D-klassi piirväärtused erinevad 30 ühikut (vastavalt 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ja 180 kWh/(m<sup>2</sup>·a)), siis arvutuste alusel C-energiatõhususklassi hoone osutus tihti D-energiatõhususklassi hooneks.

Kontrollarvutused näitasid, et väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemiga hoonetel on raske ilma olulise taastuvenergia tootmiseta saavutada C-energiatõhususklassi (eeldatud soojuspumba

COP on liiga optimistlikult suur). Juhul kui puudub päikesepaneelide süsteem, siis selliste majade ekspertiisides tuleks energiaarvutusi eriti hoolikalt kontrollida.

Ekspertiiside tegemise lihtsustamiseks võib välja tuua järgmised tingimused, mis on vajalikud C-energiatõhususeklassi saavutamiseks.

1. Välisseinte soojusläbivus peab olema  $\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  või väiksem, mis tähendab lisasoojustust  $\geq 200 \text{ mm}$  ( $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ).
2. Katuse soojusläbivus peab olema  $\leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  või väiksem (lisasoojustus  $\geq 300 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ).
3. Keldrilaie soojusläbivus standardi EVS-EN ISO 13370:2008 arvutuste alusel peab olema  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  või väiksem, mis on saavutatav, kui keldriseinte soojustuse paksus on sama mis välisseintel.
4. Akende kaalutud kogusoojusläbivus on  $1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  või väiksem.
5. Akna väljatõstmisest loobumine peab olema põhjendatud detailse tehnoloogilise teostatavusega, kuna reaalse ehitamise käigus ei ole võimalik aknaid soojustuse tasapinda tõstmata saavutada toetusmääruses nõutud väiksemat või võrdset välisseina liitekohta joonsoojusläbivust kui  $\Psi \leq 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  ja  $f_{Rsi} \geq 0,80$ .
6. Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus SFP peab olema väiksem kui  $1,8 \text{ W}/(\text{l/s})$  ning soojustagasti temperatuuri suhtarv suurem kui 75%.
7. Väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoonetes peab päikesepaneelidega tootma vähemalt  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  elektrienergiat.
8. Esitatud peavad olema arvutuste lähteandmed ja tulemused: piirdetarindite soojusläbivus  $U$ ,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivus  $\Psi$ ,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , temperatuurindeks  $f_{Rsi}$ , ventilatsioonisüsteemi erivõimsus ja müratase.

Eelnevates tingimustes toodud väärtused erinevad mõningal määral toetuse meetme määruse komponendipõhistest miinimumnõuetest, mis näitab, et energiatõhususarvu nõue osutub paljudel juhtudel määravaks.

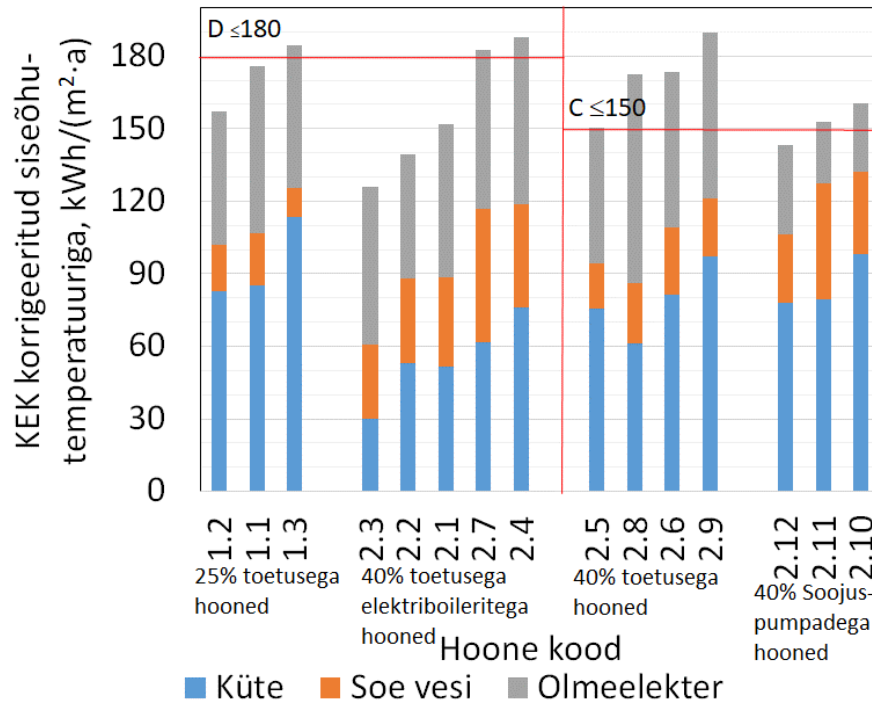
### 1.1.1.1 Mõõdetud energiakasutus

Mõõdetud energiakasutus osutus enamikus hoonetes arvutuslikust energiakasutusest suuremaks (täpsemalt energiatõhususe arvutamise peatükis). Kuna tarbevee soojendamine ning olmeelekter olid enamikul hoonetel kas sarnased või väiksemad standardkasutusest, siis peamine erinevus tulenes kütteenergiast.

Vahe tulenes peamiselt kolmest asjaolust:

1. Hoone soojuskaod olid tegelikkuses suuremad kui arvutustes eeldatud. Piirdetarindite soojusläbivuse ja tarindite liitekohtade joonsoojusläbivuse arvutused olid tegemata ja/või arvutustes ja nende lähteandmetes esines vigu.
2. Vabasoojused olid arvestatud liiga suurena.
3. Korterelamute keskmine sisetemperatuur oli kõrgem kui standardkasutuse järgne  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Olenevalt hoone soojustusest võib ühe kraadi ruumitemperatuuri tõstmise mõju olla 7...15% kütteenergiast. Arvutusliku ja tegeliku energiakasutuse võrdlemiseks korrigeeriti ruumitemperatuure, eeldades, et sisetemperatuuri muutuse üks kraad vastab 10%-le. Tulemused graafikul (Joonis 1.1) näitavad, et enamik 40% rekonstrueerimistoetust saanud hoonetest ei vastanud C-klassi nõuetele. Seevastu hooned, millele kehtisid D-klassi nõuded, vastasid selle klassi nõuetele ning märkimisväärseid kõrvalekaldeid ei esinenud. Joonisel on arvestatud soojuspumba poolt kasutatud elektrienergia vastavalt kütte ja sooja tarbevee hulka. Olmeelekter sisaldab ka ventilatsiooniseadme elektrienergia kasutuse ning hoonete 2.11 ja 2.12 puhul on maha lahutatud päikesepaneelidega toodetud kaalutud elektrienergia hulk.



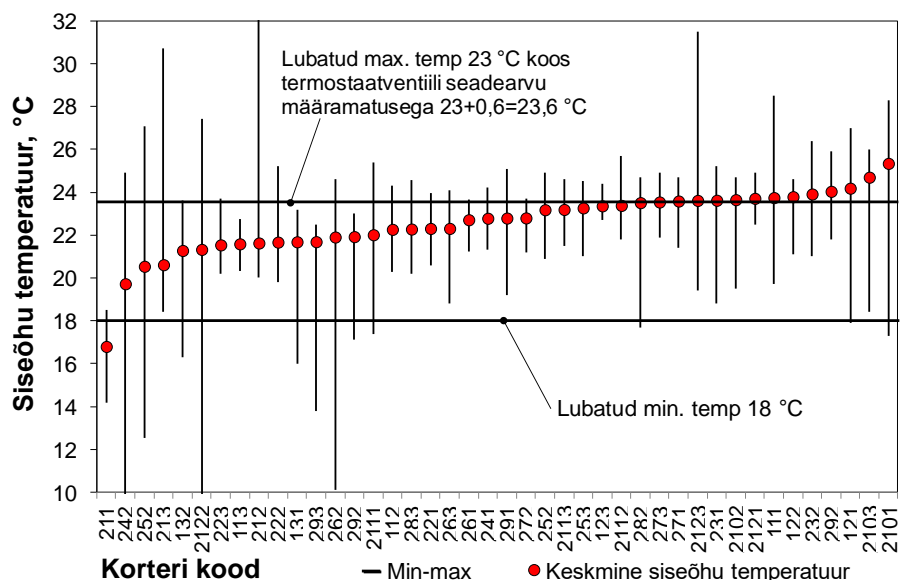
Joonis 1.1 Korrigeeritud siseõhu temperatuuriga korterelamute kaalutud energiaerikasutus (KEK)

Siseõhu temperatuuriga korrigeeritud tarnitud kütteenenergia kasutus oli sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsiooniga hoonetes peamiselt 45 kuni 85 kWh/(m<sup>2</sup>·a) vahel ning väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoonetes 85 ning 120 kWh/(m<sup>2</sup>·a) vahel. Kui arvestada, et kütmiseks ja tarbevee soojendamiseks kasutatakse kaugkütet, hoone elektrikasutus on standardkasutuse kohane ja tsentraalse ventilatsiooniagregaadi elektrienergia eritarve on 1,8 W/(l/s) õhuvahetuse 0,5 l/(s·m<sup>2</sup>) juures, siis C-energiatõhususklassi nõuetele vastamiseks ei saa summaarne kütteks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks kuluv kütteenenergia kasutus olla suurem kui 52 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

### 1.1.2 Soojuslik mugavus

Uuritud hoonete magamistubade siseõhu temperatuuride mõõtmised viidi läbi kütteperioodil vahemikus 24.11.2016 kuni 13.03.2017. Vastavalt toetuse taotlemise tingimustele peab sisetemperatuuri olema võimalik reguleerida vahemikus 18–23 °C. Kuna radiaatori termostaatventiilile on tootjad andnud lubatud määramatuse ±0,6 °C, siis lähtuti ülemise piirväärtuse puhul temperatuurist 23,6 °C (EEI ≤ 0,6 °C). Kõigi korterite mõõdetud siseõhu temperatuuride keskvaartused ning minimaalsed ja maksimaalsed mõõtetulemused on toodud Joonis 1.2. Keskmised siseõhu temperatuurid olid 71%l mõõdetud korteritest vahemikus 18,0–23,6 °C. Siseõhu temperatuur oli ettenähtud vahemikus 18,0–23,6 °C:

- kõikide korterite magamistubade keskmisena 72% mõõteperioodi ajast;
- soojustagastusega sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi (SP/VT) korral 74% ajast;
- väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi (VTSP) korral 46% ajast;
- mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni puhul 58% ajast.



Joonis 1.2 Korteri siseõhu temperatuuri jaotus perioodil 24.11.2016 – 13.03.2017

Tulemustest selgub, et mõnes korteris oli siseõhu temperatuur, olenemata radiaatorite termostaatventiilidele paigaldatud piirajatest, üle lubatud piirmäära (23,6 °C). Temperatuuriületuse peamise põhjusena võib välja tuua soojussõlmes seadistatud liiga kõrge temperatuuriga küttegaafiku, küttesüsteemi soojuskandjas oleva õhu ning mõõteperioodiaegse vabasoojuse mõjud. Kohapealse radiaatorküttesüsteemi ülevaatus näitas, et piirajatega radiaatori termostaatide abil on võimalik sisetemperatuuri rekonstrueerimistoetuse tingimustes etteantud vahemikus reguleerida, kuid uute süsteemide puhul tuleb hoonetes kütteperioodi alguses küttesüsteemi temperatuurigaafik täppisreguleerida ning süsteemid õhutada. Nende tegevuste tulemusel suureneb ka radiaatorküttesüsteemide termostaatventiilide reguleerimistäpsus.

Keskmine suhteline õhuniiskus korterites varieerub kütteperioodil vahemikus 25% kuni 40% ja hetkelised väärtused olid 10% kuni 70%ni. Kõikide korterite keskmine siseõhu suhteline niiskus oli vaadeldaval perioodil 31%. Soojustagastusega sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral on perioodi keskmine suhtelise niiskuse tase 31%, soojustagastusega väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi korral 29% ja soojustagastuseta mehaanilise väljatõmbe korral 34%.

Mõõtmiste alusel kuuluvad rekonstrueeritud korterelamud niiskusklassi 3. Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni korral oli niiskuslisa statistiliselt oluliselt väiksem võrreldes korteritega, kus on soojuspumbaga väljatõmbeventilatsioon ja soojustagastuseta väljatõmbeventilatsioon.

Kokkuvõtlikult võib teha järelduse, et tervikrenoveeritud hoonete siseõhu temperatuur vastab üldjuhul kehtestatud nõuetele. Temperatuure on võimalik vastavalt soovile termostaatventiilide abil reguleerida ning temperatuuripüsivusega hoonetes probleeme ei esine. Uuringust ilmnes, et mõnede korterite puhul oli kütteperioodi alguses jäänud küttegaafiku täppisreguleerimine tegemata ja seetõttu tõusis sisetemperatuur teatud perioodidel osas korterites üle seatud piirtaseme. Korteri suhtelise niiskuse tasemed on talveperioodile iseloomulikud ning uuritud hoonetes liigniiskusega probleeme ei esinenud. Piirdetarindite projekteerimisel tuleb arvestada 3. niiskusklassi kliimakoormustega.

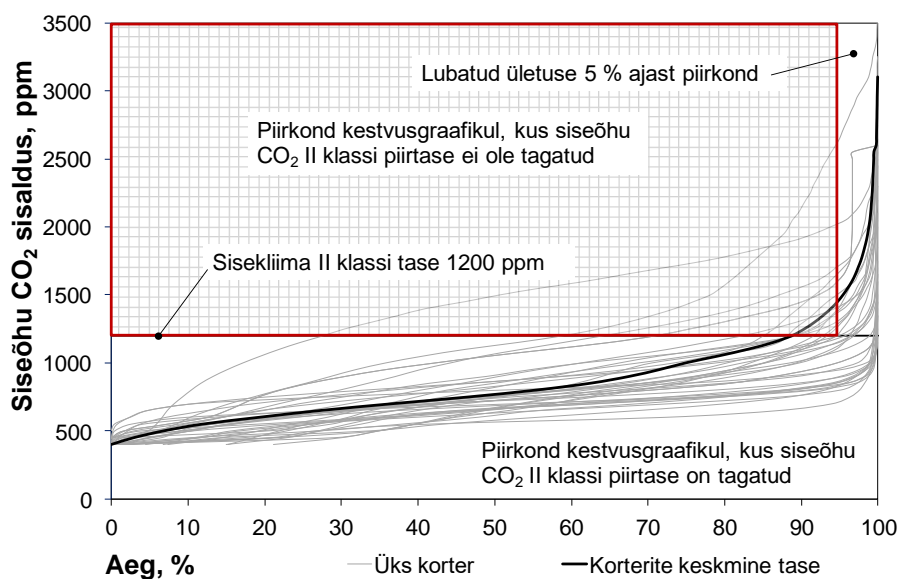


### 1.1.3 Siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus

Siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldust mõõdeti korterite magamistubades. Süsihappegaasi mõõtmisandmetest on esitatud vaid kasutusaja kohased tulemused (inimesed on korteris). Kõikide mõõdetud korterite siseõhu keskmine CO<sub>2</sub>-sisaldus kasutusajal oli 837 ppm-i. Uuringu käigus mõõdetud magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotus on toodud Joonis 3.5. Joonisel on kujutatud kõigi mõõdetud magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotus koos hoonete keskmise siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotusega. Joonis kirjeldab siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse kumulatiivset jaotust, st seda, et mõõteperiood on toodud suhtelise ajana kogu mõõteintervalli pikkusest. Joonis 3.5 on markeeritud nii kestvusgraafiku piirkond, kus siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus ei ole tagatud (markeeritud punase raamjoonega) kui ka ala, kus see on tagatud. Olgu märgitud, et magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse piirväärtuseks on kasutatud standardi EVS-EN 15251 II sisekliimaklassi piirmäära 1200 ppm-i. Selleks et teada, mitu protsenti ajast on huvipakkuva korteri või kesktaseme siseõhu CO<sub>2</sub> sisaldus tagatud, tuleb liikuda horisontaalselt mööda piirnormati taset kuni vastava magamistoa CO<sub>2</sub> kõverani ning sealt tulla vertikaalselt alla ajateljeni. Ajateljelt on võimalik vastav suhteline aeg välja lugeda.

Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus vastas sisekliima II klassile (1200 ppm) 89% kasutusperioodi ajast. Vastavad väärtused ventilatsioonisüsteemide kaupa:

- soojustagastusega tsentraalse SP/VT-süsteemi korral 90% kasutusajast,
- soojustagastusega VTSP-süsteemi korral 88% kasutusajast,
- soojustagastuseta mehaanilise VT-ventilatsioonisüsteemi korral 86% kasutusajast.



Joonis 1.3 Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse kumulatiivne jaotus korterite kasutuse ajal

Keskmine CO<sub>2</sub>-sisaldus erinevat tüüpi ventilatsioonisüsteemide kaupa:

- mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni korral 850 ppm-i,
- väljatõmbe ventilatsiooniga ja soojuspumbaga soojustagastuse süsteemi korral 764 ppm-i,
- soojustagastuseta mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni korral 878 ppm-i.

Kõikide kirjeldatud ventilatsioonisüsteemide renoveerimislahenduste puhul saavutati siseõhu CO<sub>2</sub> kontsentratsioon, mis on sarnane Eesti uute kortermajade uuringus saavutatud magamistubade keskmise tasemega. Lisaks on analüüsitud meetme alusel renoveeritud hoonete puhul saavutatud oluliselt nõrgem/väiksem magamistubade siseõhu keskmine kontsentratsioon kui eelmise toetusmeetme alusel renoveeritud hoonetes, kus magamistubade keskmine CO<sub>2</sub> -sisaldus oli 1022 ppm-i.

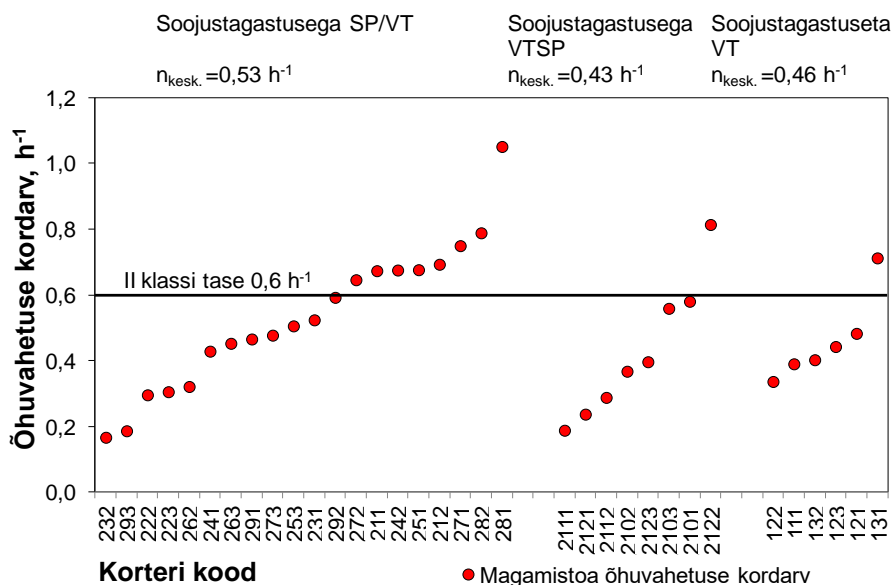
### 1.1.4 Korterite ventilatsioon

Üheks toetuse saamise tingimuseks on toetuse saajatel kohustus esitada standardis EVS-EN 12599:2012 toodud metoodikale tuginev ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulkade mõõdistamise protokoll. Kõigi uuringus vaadeldud korterite puhul oli see protokoll esitatud ning mõõdistushetkel vastas õhuvahetus projekteeritule vastavalt standardi EVS-EN 12599:2012 toodud mõõtmismetoodikale. Uuringu käigus vaadati esitatud mõõdistusprotokollid üle ning kontrolliti nende vastavust hetkeolukorrale. Saab teha järelduse, et lõppelementide seadearvud vastasid üldjuhul tegelikkusele ning korterites, kus hilisema ülevaatuse käigus tuvastati erinevused, olid need põhjustatud eksploatatsiooni käigus kinni keeratud plafoonide tõttu. Käesoleva uuringu käigus tehtud mõõtmised keskenduvad ventilatsioonisüsteemi hetkeolukorra ja toimivuse hindamisele ning seetõttu on õhuvooluhulgad mõõdetud süsteemide eksploatatsioonis kasutatavas režiimis. Lihtsustatult tähendab see seda, et kui hoone ventilatsioonisüsteem on kasutusajal näiteks poolel kiirusel, siis mõõtmised toimusid sellel režiimil.

Hindamaks korterite üldõhuvahetust on mõõdetud õhuvooluhulkade ning korterite ruumalade kaudu välja arvatud õhuvahetuse kordarvud (Joonis 1.4). Kõikide korterite keskmine õhuvahetuse kordarv oli  $0,57 \text{ h}^{-1}$ . Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemide korral oli keskmine õhuvahetuse kordarv  $0,73 \text{ h}^{-1}$ , soojuspumpsüsteemi korral  $0,32 \text{ h}^{-1}$  ja mehaanilise VT-süsteemi puhul  $0,32 \text{ h}^{-1}$ . Kõigi korterite õhuvahetus pindalaühiku kohta oli  $0,40 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ . Ventilatsioonisüsteemide tüüpide kaupa tagab

- soojustagastusega SP/VT-ventilatsioon keskmine õhuvahetuse  $0,51 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ ,
- soojustagastusega VTSP-süsteem õhuvahetuse  $0,22 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$  ja
- soojustagastuseta VT-ventilatsioon samuti õhuvahetuse  $0,22 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ .

Seega olid SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul ruumide mõõdetud õhuvooluhulgad teiste süsteemide õhuvooluhulkadest üle kahe korra suuremad. Peamine põhjus, miks väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi ja mehaanilise väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral eksploatatsiooni käigus õhuvooluhulgad vähenevad, seisnes selles, et vanad ehituslikud lõõrid ei ole ilma täiendava tihendamiseta õhutihedad ning parandusmeetmeid šahtide tihendamiseks ei ole rakendatud. Kuna sellisel juhul on vajalike õhuvooluhulkade saavutamiseks tarvis ventilaatori pöördeid tõsta, suurendab see oluliselt süsteemide mürataset ja energiatarbimist. Parim moodus ehituslike lõõride tihendamiseks on uute ventilatsioonikanalite paigaldamine vanadesse šahtidesse või hoone fassaadile soojustuse sisse.



Joonis 1.4 Korteri õhuvahetuse kordarvud

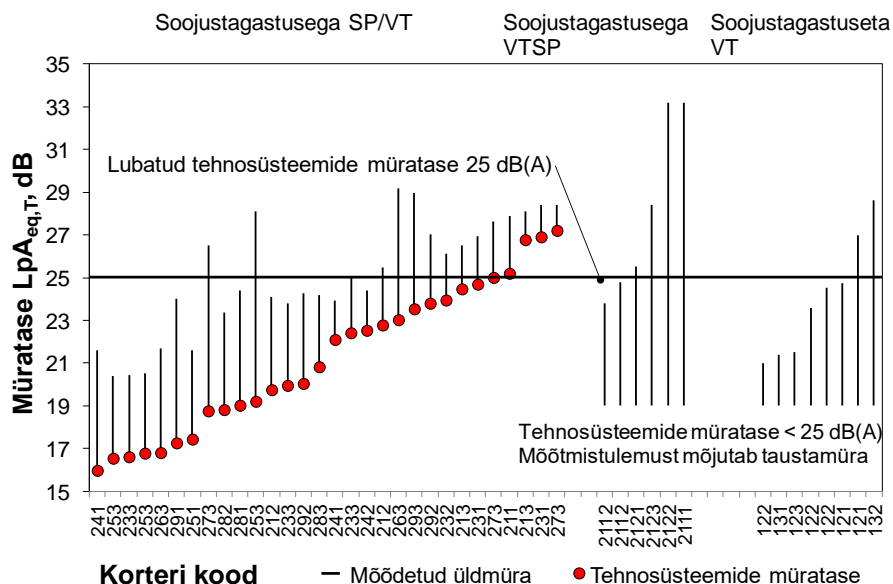
Kuna toetuse andmise tingimustes on õhuvahetuse tagamise osas ära toodud väljatõmbeõhu vooluhulgad vannitoast, WC-st ja köögist, analüüsiti ka nende nõuete täitmist. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul on keskmine mõõdetud õhuvooluhulk vannitoast 11,3 l/s, WC-st 10,8 l/s ja köögist 9,8 l/s, mis on lähedased väärtused esitatud nõuetele. Soojustagastusega VTSP-süsteemi korral on keskmine väljatõmbe õhuvooluhulk vannitoast 8,0, WC-st 3,3 ja köögist 3,0 l/s. Soojustagastuseta VT-süsteemide korral on keskmine väljatõmme vannitoast 5,5 l/s, WC-st 4,7 l/s ja köögist 5,2 l/s. Ka väljatõmbeõhu vooluhulkade võrdluses paistavad silma soojustagastusega SP/VT-süsteemi eelised nii soojustagastuseta VTSP- kui ka soojustagastuseta VT-süsteemi ees.

Soojustagastusega SP/VT-süsteemi puhul mõõdeti sissepuhke õhuvooluhulgad elu- ja magamistubades. Vastavalt toetuse taotlemise tingimustele peab elu- ja magamistubades olema tagatud õhuvahetus 10 l/s. Kõigi mõõdetud elu- ja magamistubade keskmine sissepuhke õhuvooluhulk oli 9 l/s. Arvestades õhuvooluhulkade mõõtemääramatust, vastas õhuvahetus toodud piirväärtusele 61% korteritest. Seda suurust võib pidada märkimisväärselt heaks tulemuseks. Korterite keskmist sissepuhke õhuvooluhulka vähendasid mõningal määral mõõtetulemused viies korteris, kus plafoonid olid kas kinni keeratud või kinni teibitud. Korterite magamistubade keskmine õhuvahetus inimese kohta oli 6 l/(s·in). Nagu ka CO<sub>2</sub> mõõtetulemustest selgus, tagab selline õhuvahetus hea siseõhu kvaliteedi.

### 1.1.5 Korterite müratase

Vastavalt toetuse taotluse tingimustele ei tohtinud magamis- ja elutubade tehnosüsteemide ekvivalentsed müratasemed  $L_{pA_{eq,T}}$  ületada 25 dB(A).

Kõikide soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbesüsteemidega hoonete mõõdetud elu- ja magamistubade keskmine A-filtriga korrigeeritud tehnosüsteemide ekvivalentsete müratasemete keskvärtus oli 21 dB(A). Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi korral ei olnud tehnosüsteemide mürataset võimalik mõõta suurema korterite üldmüra tõttu, mille keskvärtus oli 28 dB(A), ja mehaanilise väljatõmbesüsteemiga hoonetes 24 dB(A). Minimaalne mõõdetud tehnosüsteemide ekvivalentne müratase oli 16 dB(A) ja maksimaalne mõõdetud müratase oli 27 dB(A). Elu- ja magamistubade müratasemete mõõtmistulemused erinevate ventilatsioonisüsteemide korral on esitatud Joonis 1.5.



Joonis 1.5 Korterite elu- ja magamistubades tehtud müramõõtmiste tulemused (üldmüra, tehnosüsteemide müra) erinevat tüüpi ventilatsioonisüsteemide korral

Tehnosüsteemide lubatud ekvivalentne müratase ei olnud tagatud 17%-l (5 tuba) mõõdetud elu- või magamistubadest. Kõik elu- või magamistoad, kus lubatud tase ei olnud tagatud, olid fassaaditaguse sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiga hoonetes. Nii väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi kui ka soojustagastuseta mehaanilise

väljatõmbesüsteemi korral esines ruumides kõrgemat üldmürataset, kuid seda ei olnud põhjustanud tehnosüsteemid. Üldjuhul oli nendes korterites mõõtmiste ajal kõrgema mürataseme põhjuseks eelkõige kõrge taustamüra, mis tulenes peamiselt väliskeskkonna mõjudest.

Kokkuvõtlikult saab teha järelduse, et toetuse tingimustes toodud elu- ja magamistubade nõue (< 25dB(A)) on õigustatud ning kõrgem müratase on häiriv.

### 1.1.6 Ventilatsioonisüsteemide toimivus

Sissepuhkeõhu temperatuuride analüüsimisel selgub, et temperatuurid varieeruvad vahemikus 5 °C kuni 25 °C. Madalad temperatuurid olid põhjustatud nii vastuvoolu plaatsoojustagastite jääumisest kui ka järelküttekalorifeeride puudumisest. Uuringus oli ka üks hoone, kus sissepuhkeõhu temperatuur oli terve kütteperioodi vältel üle 20 °C ning välisõhu temperatuuri tõustes > 0 °C tõusis sissepuhkeõhu temperatuur üle 25 °C. Korter paikneb hoones, kus tsentraalse ventilatsiooniagregaadi elektrilise eelküttekalorifeeri juhtimine toimub ebaefektiivselt.

Soojustagasti temperatuuride analüüsimisel selgus, et ilma kalorifeerideta vastuvoolu plaatsoojustagasti toimimine alates välisõhu temperatuurist –5 °C on jääumise seisukohast problemaatiline. Seega tuleb sissepuhkeõhu temperatuuri tagamiseks külmal perioodil lisada ventilatsiooniagregaadi koosseisu järelküttekalorifeer. Soojustagastite töö analüüs näitas, et elektrilise eelsoojenduskalorifeeri kasutamine on ebaefektiivne võimalus jääumisprobleemi lahendamiseks. Kõige optimaalsem lahendus on sektsioonide kaupa plaatsoojustagastite sulatamise või sellele tehnoloogiliselt samaväärse jääumise vältimise lahenduse kasutamine. Järelküttekalorifeeride paigaldamine on vältimatu ning sealjuures on kõige energiaefektiivsem kasutada soojuskandja vee (kui seade paikneb külmas ruumis või katusel siis vesilahuse) baasil järelküttekalorifeeridega ventilatsiooniagregaate.

Võrreldes eelmisel toetusperioodil kasutatud lahendustega on ventilatsiooni toimivus muutunud oluliselt paremaks. See väljub eelkõige õhuvooluhulga ja CO<sub>2</sub> mõõtmistulemustes, aga ka süsteemide ehituskvaliteedis. Kasutatud lahenduste puhul ei ole enam toimunud massilist õhuvooluhulkade vähendamist. Eriti paistab see silma fassaaditaguste õhukanalitega soojustagastusega SP/VT-süsteemi puhul, kus paljudes korterites olid mõõdetud õhuvooluhulgad projekteeritule lähedased. Kui õhuvooluhulkasid ei ole massiliselt vähendatud, tähendab see seda, et süsteemid suudavad ka projekteeritud režiimil tagada eluruumides hea sisekliima.

Projektdokumentatsiooni ülevaatusel ilmnisid järgmised probleemkohad, millele ekspertiisides tuleks tähelepanu pöörata.

- Soojustagastusega SP/VT-süsteemi puhul oli mitmes korteris probleem sellega, et elu- või magamistoas tekitab seinapealne sissepuhkeplafoon tuuletõmbust. Enamasti oli see seotud asjaoluga, et seinale olid pandud tavalised sissepuhkeplafoonid, millel pole õhujoa suunajaid. Probleemi saab lahendada seinapealseks paigalduseks mõeldud õhujaotajatega, mis suunavad õhujoa üles.
- Mõningatel juhtudel olid sissepuhke õhujaotajad paigaldatud välisseina alumisse ossa radiaatori kõrvale või akna alla. Sissepuhke õhujaoturid tuleks paigaldada ruumi ülemisse ossa.
- Paljudes vaadeldud objektide ventilatsiooni põhiprojektides olid mürasummutid summutuskarakteristikute tasemel spetsifitseerimata ja summutitena oli kasutatud ilma lisaelementideta ümarsummuteid.
- Vastuvoolu plaatsoojustagastite jääumise vältimise põhimõte oli paljudes projektides jäänud selgitamata. Uuringust selgus, et tegelikult on soojustagastite jääumine suur probleem ja projekteerimisel tuleb jääumise vältimise põhimõte välja tuua.
- Sissepuhkeõhu temperatuuri tagamiseks ka talveperioodil tuleb seadmetele projekteerida järelküttekalorifeerid.
- Ventilatsioonisüsteemi tasakaalustamiseks tuleks torustikule paigaldada reguleerklapid. Lõppelementide tasemel õhuvooluhulkade reguleerimine võib tekitada ruumides müraprobleeme.

### **1.1.7 Korterehamute elanike ankeetküsitluse analüüs**

Küsitlusankeetidest selgus, et inimesed on väga rahul rekonstrueerimisega. Kõige rohkem on elanikud rahul elukeskkonna paranemisega, eraldi toodi välja hoone välisilme paranemist ning siseõhu temperatuuriga rahulolu. Samuti tunnetati ka ventilatsiooni paranemist. Mõningast ebamugavust põhjustas ventilatsioonilahendus, kus jahedam sissepuhkeõhk inimestele ruumis peale puhus, ning osade viimistlustööde lõppkvaliteet, mis igapäevaselt inimestele silma hakkab (nt remontimata trepikojad). Elanikud arvasid, et isegi kui renoveerimise järgsed igakuised kommunaalkulud jäid samaks või veidi tõusid, ei vähenda see elukeskkonna kvaliteedi tõusu väärtust. Elanikega suheldes jäi kõlama see, et ka kulude suurenemise korral ei muudaks nad enda otsust renoveerida, kuna elukeskkonna kvaliteet ja sisekliima mugavus kaalub suurema rahakulu üles. Kokkuvõtvalt võib pidada küsitluse tulemuste põhjal rekonstrueerimise tulemusi läbivalt positiivseteks.

## 2 Rekonstrueeritud korterelamute energiatõhusus

### 2.1 Meetodid

Korterelamute renoveerimiseelse energiatõhususe analüüsiks on kasutatud

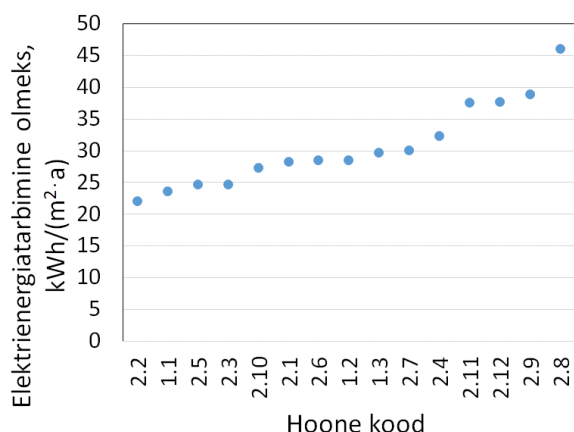
- hoonete energiatarbimise infot energiaaudititest ning
- renoveerimiseelse olukorra energiamärgiseid.

Hoonete energiatõhususe eesmärkväärtuste kohane analüüs tugineb ehitusprojektidele ning nende järgi koostatud arvutuslikele energiamärgistele. Rekonstrueerimiseelse olukorra analüüs tugineb enamikel hoonete energiaauditest saadud tarbimisandmetele. Renoveerimisjärgse olukorra energiakasutuse info analüüs tugineb korteriühistute ning haldusettevõtete edastatud võrguettevõtjalt saadud infole ning kohapeal teostatud uuringutele.

### 2.2 Tulemused

#### 2.2.1 Hoone energiakasutus enne rekonstrueerimist

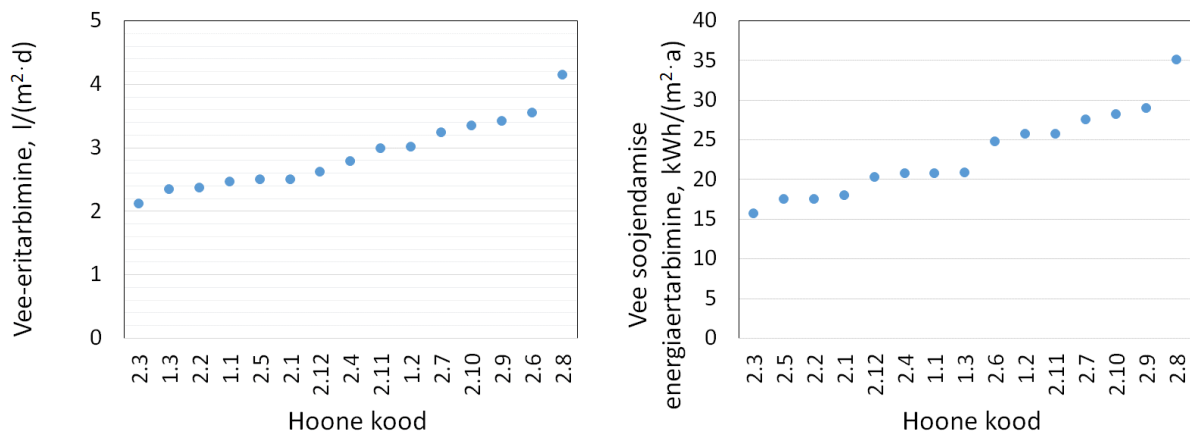
Hoone rekonstrueerimiseelse elektrikasutuse analüüsis on välja toodud hoone valgustusele ning elektriseadmetele kulutatud elektri erikulud. Tarbimisandmete võrreldavuse huvides on välja jäetud korterelamute elektrienergia kulud kütteks ja tarbevee valmistamiseks, nii nagu energიაaudiitor on auditites kulusid hinnanguliselt jaotanud.



Joonis 2.1 Elamu aasta keskmine valgustuse ja elektriseadmete elektrierikasutus köetava pindala ruutmeetri kohta

Elektrierikasutus korterelamutes enne renoveerimist oli vahemikus 22 kuni 46 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ehk keskmiselt 31 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Joonis 2.1). Võttes aluseks määruse „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, on korterelamute valgustusele ja elektriseadmetele kulutatav standardkasutuse kohane elektrierikasutus ilma pumpadele ja ventilaatoritele kuluva elektriga 30 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Enamiku elektritarbimisest moodustab korterite seadmete ja valgustuse elektrikulu.

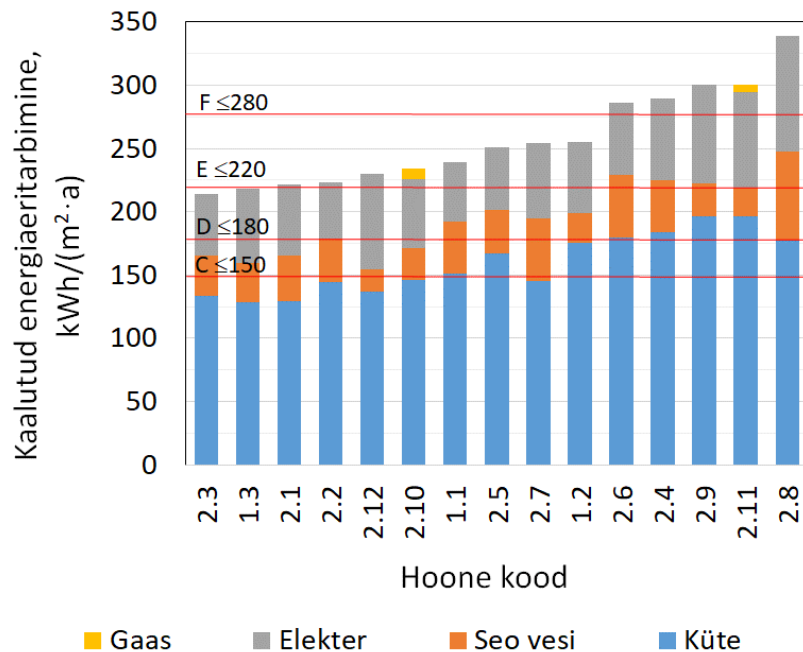
Hoonete renoveerimiseelne vee-erikasutus köetava pindala kohta ööpäevas oli vahemikus 2,1 kuni 4,1 l/(m<sup>2</sup>·d) ehk keskmiselt 2,9 l/(m<sup>2</sup>·d). Vee soojendamise energiaeritarve oli vahemikus 15,5 kuni 35,0 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (keskmiselt 23,1 kWh/(m<sup>2</sup>·a)) (Joonis 2.2).



Joonis 2.2 Aasta keskmine vee-erikasutus (vasakul) ja vee soojendamise energiaerikasutus (paremal) uuritud elamutes

Renoveerimiseelselt domineeris korterelamute kaalutud energiakasutuses kõige enam kütteenergia kasutus, jäädes olenevalt hoonest vahemikku 52 kuni 68%. Kaalutud kütteenergia erikasutus oli hoonetes enne renoveerimist vahemikus 129 kuni 197 kWh/(m²·a) (tarnitud energia erikasutus 130 kuni 218 kWh/(m²·a)) (Joonis 2.3).

Enne renoveerimist soojendati hoonetes 1.1, 2.1 kuni 2.8 tarbevett elektriga. Hoones 2.7 kasutati soojavee valmistamiseks osaliselt gaasi. Hoones 1.3 toodeti pool soojast tarbeveest korterite elektriboileritega ning pool kaugkütte soojusvahetiga. Hoonetes 2.1 kuni 2.6 kasutati osaliselt ka elektrit kütmiseks (arvestatud kütteenergiakasutuse sisse).



Joonis 2.3 Kaalutud energiaerikasutus enne hoone renoveerimist

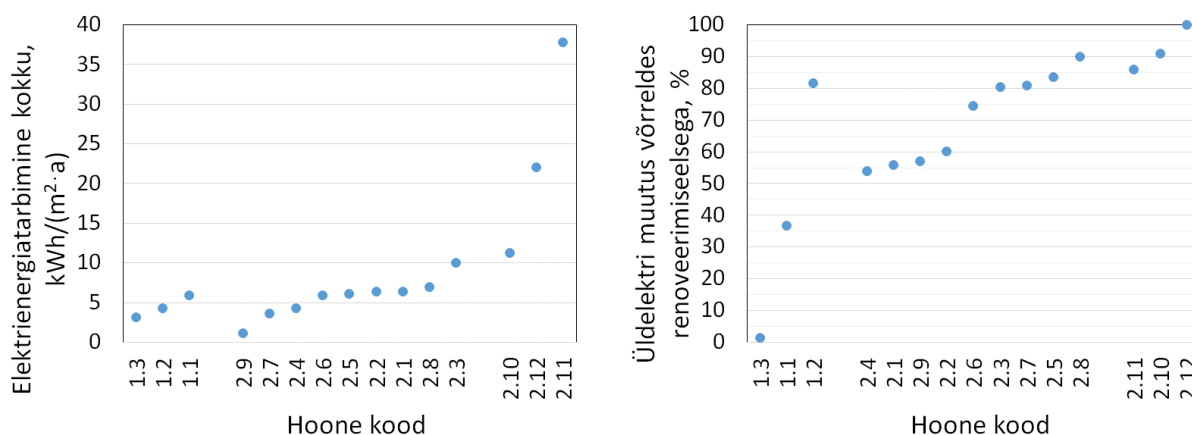
## 2.2.2 Hoone energiakasutus pärast rekonstrueerimist

Rekonstrueerimisjärgne analüüs põhineb enne ja pärast rekonstrueerimist tehtud energiakasutuse mõõtmisandmete võrdlusel. Enamikus hoonetes olid kätte saadavad renoveerimisjärgsed energiakasutuse andmed, kuid hoone 2.11 kohta ei olnud aasta terviklikke energiakuluandmeid, mistõttu on aprillikuu andmete analüüsis lähtutud oktoobrikuistest energiatarbimise andmetest.

Kui võrrelda renoveerimisjärgselt hoone valgustusele ja elektriseadmete kuluvat elektrienergia hulka, siis kõige suurem muutus on toimunud korterelamute nn üldelektri erikasutuses. Hoonetesse 1.1 kuni 1.3 on paigaldatud väljatõmbeventilaatorid ning nendes hoonetes on üldelektri erikasutus keskmiselt 4,4 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Hooned 2.1 kuni 2.9 on varustatud tsentraalse soojustagastiga ventilatsiooniagregaatidega ning nende keskmine üldelektri energiaerikasutus on 6,1 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Joonis 2.4).

Kõige suurem muutus üldelektri energiaeritarbimises on toimunud väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemidega korterelamutes (2.10, 2.11, 2.12), kus elektrienergiat kasutatakse soojuspumbaga soojusenergia tootmiseks kütteks ja tarbevee soojendamiseks. Hoonetele 2.11 ja 2.12 on elektritootmiseks paigaldatud ka päikesepaneelid, millest toodetud elektrienergia on üldelektri tarbimisest maha lahutatud. Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemide üldelektri eritarbimisega eristub teistest hoone 2.3, kus ventilatsiooniseadmele on paigaldatud elektriline järelsoojendus, mis automaatika vea tõttu oli ekslikult sisse lülitatud ligikaudselt kaks kuud.

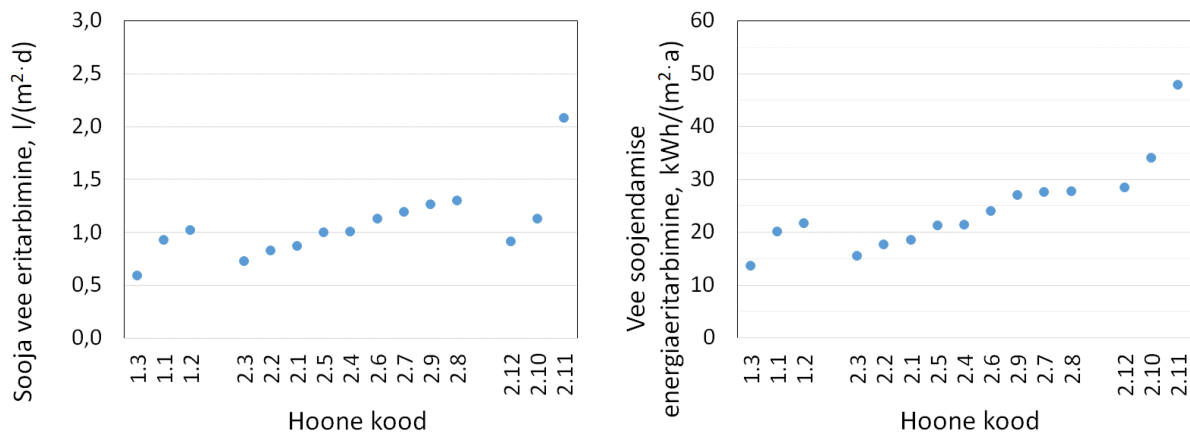
Korterite elektrienergia kulu seadmetele ning valgustusele on jäänud üldiselt renoveerimiseelsele tasemele.



Joonis 2.4 Elamu üldelektri erikasutus pärast rekonstrueerimist (vasak) ja üldelektri erikasutuse muutus võrreldes rekonsrueerimiseelsega (paremal)

Renoveerimisjärgselt on sooja vee kulu keskmiselt 1,1 l/(m<sup>2</sup>·d) ning vee soojendamise energiaeritarve 24 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Joonis 2.5), mis on võrreldav renoveerimiseelsega. Kui üldiselt on hoonetes, võrreldes standardkasutusega, sooja tarbevee soojendamiseks kuluv energiahulk väiksem, siis hoones 2.11 on see seoses elanike tihedama asustusega suurem.

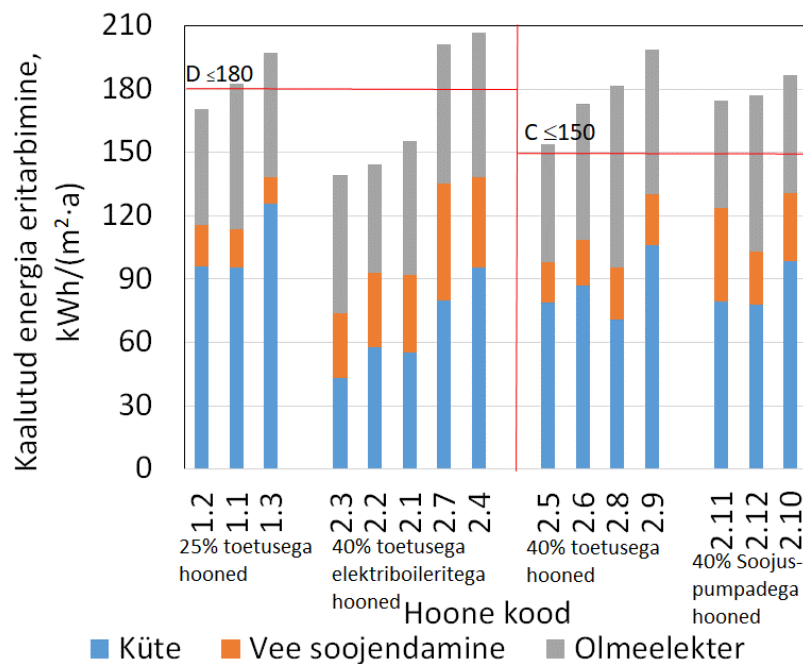




Joonis 2.5 Elamu aasta keskmine sooja vee eritarbimine (vasakul) ja vee soojendamise energiaeritarbimine (paremal)

Pärast renoveerimist oli 25% toetust saanud korterelamute kaalutud energiaerikasutus 183 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Toetuse saanud hoonetele oli eesmärgiks seatud energiaerikasutus 180 kWh/(m<sup>2</sup>·a), millele vastasid hoone 1.2 näitajad.

Korterelamutes, kus 40% toetuse tingimused lubasid elektriboilerite kasutamise korral pärast renoveerimist hoone kuulumise endiselt D-energiatõhususklassi (hooned 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 ja 2.7) ehk nende energiatõhususarv ei tohiks renoveerimisjärgselt olla suurem kui 180 kWh/(m<sup>2</sup>·a), jäid kaalutud energiaeritarbimised vahemikku 134 kuni 207 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Ülejäänud 40% toetuse saanud korterelamute kaalutud energiaerikasutus pidi olema pärast renoveerimist kas 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a) või väiksem (C-energiatõhususklassi), kuid sellist tulemust ei saavutatud üheski hoones (Joonis 2.6).

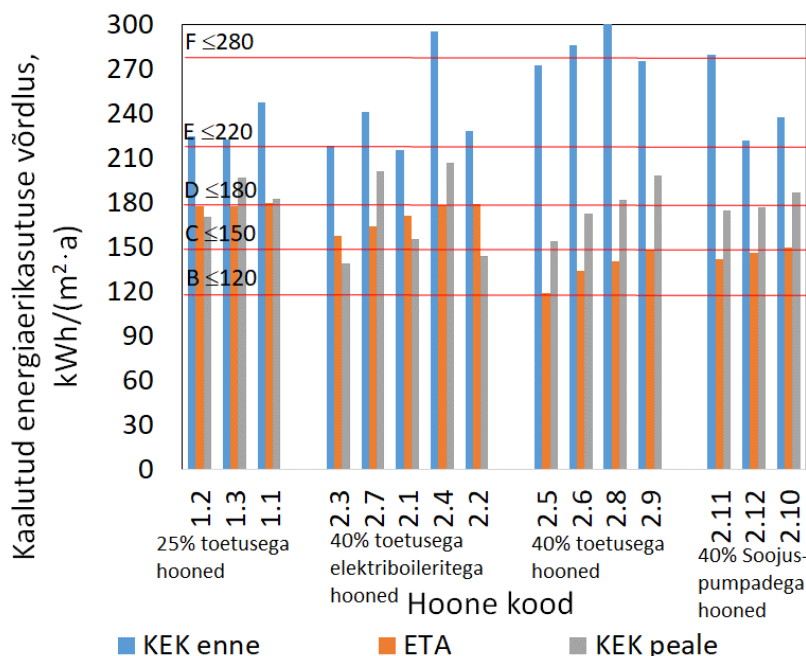


Joonis 2.6 Kaalutud energiaerikasutus pärast hoonete renoveerimist

Kokku saavutati energiatõhususe eesmärk neljas korterelamuse standardkasutusest väiksema tarbevee-erikasutuse tõttu.

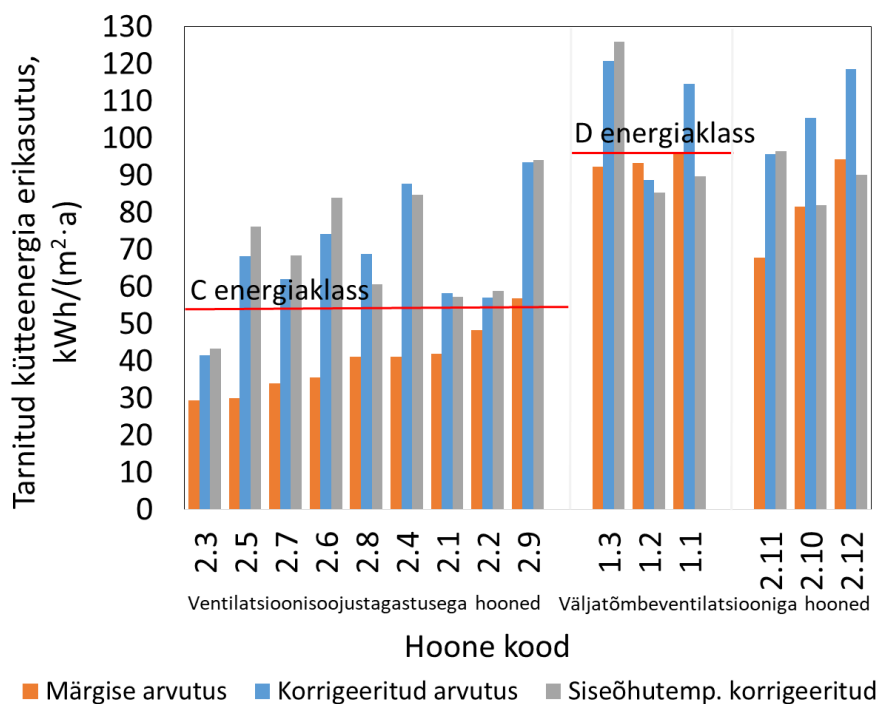
## 2.2.3 Energiatõhususe saavutamine

Võrreldes omavahel projekti järgi arvatud energiatõhususarvu renoveerimisjärgsete ning renoveerimiseelsete mõõtmisandmete alusel kaalutud energiaerikasutustega näeme, et renoveerimisega on kõigis hoonetes vähenenud kaalutud primaarenergia kulu ligikaudselt 30%. Kui võrrelda omavahel arvutuslikku energiaeritarbimist renoveerimiseelse kaalutud energiaerikasutusega, siis eesmärgiks oli kõigis hoonetes saavutada keskmiselt 36% kokkuhoid, ehk keskmiselt jäi eesmärgist puudu 6% (Joonis 2.7).



Joonis 2.7 Projekteerimise järgselt arvatud energiatõhususarvu võrdlus renoveerimisjärgsete ning renoveerimiseelsete mõõtmisandmete alusel kaalutud energiaerikasutusega

Hoonete energiatõhususe saavutamisel oli kõige suuremaks probleemiks kütteenergia kulu. Graafikul (Joonis 2.8) on esitatud võrdlus, energiamärgise arvutaja, märgise lähteandmete korrigeerimise järgi teostatud arvutuse ning arvutuslikule siseõhu temperatuurile viidud baasaastale taandatud mõõdetud kütteenegiakulu arvutus. Kõige suurem erinevus ilmneb soojustagastusega ventilatsiooniga hoonete märgises arvutatud ning korrigeeritud arvutuste vahel, mis näitab suurusjärgus arvutusviga. Korrigeeritud arvutused on tehtud hoonetel lihtsustatult, kasutades kõikide hoonete puhul baasaastas 2900 kraadpäeva, mis tähendab, et kütteperioodil on vabasoojusest tingitud temperatuuritõus umbes 7,5 kraadi. Kuna tegu on lihtsustatud lähenemisega ning projektide alusel on need täpsustatud ning peamised piirdetarindite soojuserikadude arvutamiste ebatäpsused ei ole täpse arvutustulemusega, kuid võimaldavad hinnata ligikaudselt suurusjärku. Hoonetes, kus oli ainult väljatõmbeventilatsioon, kasutati kontrollarvutustes 3250 kraadpäeva (utiliseeritud vabasoojustest kütteperioodil temperatuuritõus umbes 6 kraadi). Võrreldes saadud tulemusi baasaastale taandatud mõõdetud kütteenegi erikuludega, millest on maha lahutatud ka kõrgem siseõhu temperatuur kui 21 °C, ühe kraadi erinevusest tingitud hinnanguliselt 10% kütteenegi kulu suurenemine, näeme, et üle arvutatud kulud langevad mõõdetud kuludega paremini kokku kui märgisel saadud kulud.



Joonis 2.8 Märgisel arvutatud, märgise lähteandmete parandamisel üle arvutatud ja mõõtmisandmete alusel arvutuslikule siseõhu temperatuurile korrigeeritud tarnitud kütteenergiakulude võrdlus (koos ventilatsiooniõhu soojendamise)

Graafikul on piirina toodud soojustagastusega ventilatsiooniga hoonetes hinnanguline kütteenergia kulu piir, millega oleks võimalik kaugküttega ja kaugküttele tarbevee soojendamiseks saada energiatõhususe klassi C, kui ventilatsiooniseadme elektrienergia erikulu (SFP) on hinnanguliselt 1,8 kW/(m<sup>3</sup>·s). Märgise arvutused on kõik peale ühe antud piiridesse ära mahtunud (ühel märgisel oli ventilaatorite elektrienergia eritarbimisel kasutatud 0,76 kW/(m<sup>3</sup>·s), mis selgelt viitab asjaolule, et soovitud on hoone kuulumine C-energiatõhusklassi. Samas on selgelt optimistlikult hinnatud ka olemasolevate avatäidete soojuslähivusi, mis otsustati vahetamata jätta. Teiste hoonete puhul on lisaks avatäidetele ka valesi hinnatud keldrilae soojuslähivust.

Võrreldes omavahel soojustagastusega ventilatsiooniga hooned ainult väljatõmbeventilaatoriga varustatud kortermajadega, siis viimastel tuleks kütteenergiakulud korrigeerida ka mõõdetud õhuvooluhulkadele, mis olid projektijärgsetest ligikaudselt poole väiksemad. Selle põhjal saab väita, et kütteks tarnitud soojusenergiaerikasutus oleks vaadeldavates hoonetes ligikaudselt sama, mis saadi korrigeeritud arvutuse andmetega.

Kui mõõdetud kütteenergiakulud korrigeerida arvutuslikule siseõhu temperatuurile 21 °C ning ülejäänud energiakuuandmed võtta standardkasutuse järgsed, oleks C-energiatõhususe klassi võimalik saavutada vaid hoones 2.3.

## 3 Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima

### 3.1 Sissejuhatus

Elamu sisekliima on kompleksne mõiste. Sisekliima hõlmab õhku ja tähtsamaid õhukeskkonna näitajaid. Hea sisekliima vähendab haigusi, tagab mugavustunde ja soodustab tööjõudlust. Sisekliima määravad järgmised tegurid: õhutemperatuur, kiirguspindade temperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumise kiirus, õhu puhtus, müratase ja valgustatus. Mõju avaldavad ka näiteks inimese liikumise aktiivsus, riietus, sugu ja vanus. Optimaalsetest näitajatest kõrvalekalded halvendavad inimeste enesetunnet, mis on seda ilmsem, mida suurem on kõrvalekalle. Kestvad ja suured kõrvalekalded kahjustavad inimese tervist.

Kuna inimesed veedavad kuni 90% oma elust siseruumides, tuleb sisekliima tagamisele pöörata kõrgendatud tähelepanu. Arvutused on näidanud, et halva sisekliima poolt põhjustatud kulutused on suuremad kui kütte- ja ventilatsioonisüsteemide käigus hoidmiseks kuluva energia maksumus. Arvukatest uuringutest selgub, et halb sisekliima on seotud „haige hoone sündroomi”, hingamisteede haiguste, allergia ja astma sümptomite ning töövõime langusega.

### 3.2 Meetodid

#### 3.2.1 Mõõtmised

Siseõhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja CO<sub>2</sub> mõõtmisel kasutati EVIKON E6226 mõõteseadet (temp –10 kuni +50°C; RH 0 kuni 100%; CO<sub>2</sub> 0 kuni 10 000 ppm, ±2,5% skaala väärtusest).

Ventilatsiooni väljatõmbe õhuvooluhulga ja sanitaarruumide ning köögi õhuvooluhulkade hindamiseks kasutati õhuvooluhulga mõõtureid Testo 435 koos mõõtelehtriga Testo 410. Testo 435 puhul kasutati õhu liikumise kiiruse mõõtmiseks kuumtraat-anemomeetri sondi (õhu liikumise kiirus 0–20 m/s, mõõtetäpsus ±0,03+5% m/s). Ventilatsiooni lõppelementide rõhulangu mõõtmisel kasutati diferentsiaalmanomeetrit Testo 510 (mõõtepiirkond 0–100 hPa, ± (0,1 hPa+1,5% lugemist)).

Õhuvooluhulgad korterite ventilatsiooni lõppelementides mõõdeti sisekliima andurite paigaldamise ja mahavõtmisega samal ajal. Seega tehti igas korteris õhuvooluhulga mõõtmised vähemalt kahel korral. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul mõõdeti nii sissepuhke- kui ka väljatõmbelementide õhuvooluhulgad. Väljatõmbeventilatsiooni korral mõõdeti õhuvooluhulgad korterite väljatõmbelementides. Värskeõhuklappides ja värskeõhuradiaatorites õhuvooluhulga mõõtmisi üldjuhul ei tehtud. Lõppelementide jaoks kasutati õhuvooluhulga mõõtmisel diferentsiaalmanomeetrit ning plafoonide k-arvud määrati vastavalt õhujaotajate asenditele. Lisaks mõõdeti õhuvooluhulka ka lõppelementides, kasutades Testo 435 mõõtelehtrit. Iga mõõtmise puhul leiti õhuvooluhulk kahe meetodiga leitud väärtuste aritmeetilise keskmise teel.

Soojustagastusega SP/VT-süsteemi puhul mõõdeti uuringus osalenud hoonetest vähemalt ühes korteris ruumidesse sissepuhkeõhu temperatuuri. Selleks kasutati Onset Hobo U12-006 ja U12-013 logereid koos TMC6-HD väliste temperatuurianduritega. Andurid paigutati läbi sissepuhkeplafoonide ventilatsioonikanali sisemusse.

Soojustagastite jäätumise uurimisel kasutati Onset Hobo UX100-014M, U12-006 ja U12-013 logereid koos K-termopaariga (mõõtepiirkond 0–1250 °C, täpsus ±0,75% lugemist) ning TMC6-HD (mõõtepiirkond –40...+100 °C, mõõtetäpsus ±0,15 °C) anduritega ning T-VER-PXU-L diferentsiaalmanomeetreid.

### 3.2.2 Hindamiskriteeriumid

Uuringu aruandes lähtutakse sisekliima parameetrite hindamisel toetuse tingimustes kehtestatud nõuetest ja Eesti standardi EVS-EN-15251 sisekliima klassi II (tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile) kohastest kriteeriumitest, mida tuleb rakendada uutes ja renoveeritud hoonetes.

Suure hulga inimeste prognoositavat temperatuuritunnetust nimetatakse soojusliku mugavustunde indeksiks (PMV, *predicted mean vote*). Kerge kehalise aktiivsuse (< 1,2 met) korral on neutraalne (PMV = 0) temperatuur talvel 21 °C (riietus~1 clo) ja suvel (riietus~0,5 clo) 25,5 °C (EVS-EN 15251:2007). Erinevate sisekliima parameetritega rahulolematute inimeste protsentuaalne hulk avaldatakse PPD (*predicted percent dissatisfied*) indeksina.

Soovitusliku sisetemperatuuri vahemiku leidmisel on võimalik lähtuda erinevatest standarditest ja määrustest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast köetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla 18 °C. Lubatav temperatuuri ülempiir tuleb määrata Eestis kasutatavate sisekliima normide alusel. Eestis kasutatavatest sisekliima normidest on eluhoonete soovituslik sisetemperatuur määratud hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardis EVS-EN 15251. Toetuse tingimustes kehtestatud nõuetes on kirjas, et korterelamu keskküttesüsteem tuleb rekonstrueerida vähemalt korteripõhiselt reguleeritavana ja radiaatoritele tuleb paigaldada piirajatega varustatud termostaatventiilid, mis võimaldaks reguleerida ruumi temperatuuri vahemikus 18–23 °C. Siseõhu temperatuuri hindamisel lähtumegi eelkõige nõuetes toodud temperatuurivahemikust, kuid et radiaatorite termostaatventiilidel on tänu hüstereesile, veetemperatuuride erinevusele projekteeritud, rõhuvahe erinevusele projekteeritud ning ventiili sulgemisaja veale temperatuuri tagamisel ka teatud määramatus, siis lähtume ülemise piirväärtuse puhul temperatuurist 23,6 °C (EEI ≤0,6 °C).

Külmas kliimas võib madal välisõhu niiskussisaldus kombineeritult ülekütmisega põhjustada siseõhu suhtelise niiskuse määra langemist allapoole aktsepteeritud taset. See aga põhjustab mitmeid „haige hoone sündroomiga” seondatavaid terviseprobleeme nagu silmade ja suu limaskestade ning naha kuivamist. Uuringute tulemused näitavad, et kaebuste vältimiseks ei tohiks siseõhu suhteline niiskus langeda alla 20%. Vastavalt toetuse taotluse tingimustele ei ole suhtelise niiskuse tasemetele piirnorme seatud.

Energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) lubab lühiajalisi kõrvalekaldeid ettenähtud sisekliima näitajatest. Sisekliima klassidega määratud piirsuurusi on lubatud ületada 3% või 5% hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas. Sealjuures tuleb tähele panna, et isegi kui pikemaajalise perioodi jooksul ei ületata parameetreid üle lubatud kõrvalekalde, tuleb sisekliima parameetrid tagada ka päeva ning nädala jooksul.

Tabel 3.1 II sisekliimaklassi kriteeriumid

Omadus	Kriteerium
Keha soojuslik seisund	PMV $-0,5 < PMV < + 0,5$ PPD < 10%
Temperatuurivahemik kütteks	18,0–23,0 °C
Siseõhu CO <sub>2</sub> kontsentratsioon elu- ja magamistubades (välisõhu tasemel 400 ppm)	1200 ppm

Vastavalt Eestis eluruumidele esitatavatele nõuetele (VV määrus nr 38) peab neis olema ventilatsioon, mis tagab inimese elutegevuseks vajaliku õhuvooluhulga ja õhuvahetuse. Ruumide projekteerimisel määratakse õhuvahetus kas vastavate normarvude või ohtlike ainete eraldumise järgi. Elu- ja üldkasutatavates hoonetes võib õhuvahetuse määramisel

lähtuda ruumide ventilatsiooni normatiivruudest (inimese kohta, põrandapinna kohta, õhuvahetuse kordsuse järgi). Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) annab eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulga sisekliimaklassi järgi (ventilatsiooni projekteerimisnorm EVS 845-1 soovib magamistoa õhuvooluhulgaks võtta 0,7 l/(s·m<sup>2</sup>) või 6 l/s inimese kohta). Sel perioodil, kui ruume ei kasutata, võib neis ventilatsiooni õhuvooluhulka vähendada. Minimaalseks õhuvooluhulgaks nähakse ette standardis EVS-EN 15251 loomuliku ventilatsiooniga eluruumides 0,05–0,1 l/(s·m<sup>2</sup>), mis 2,5 m kõrguse ruumi korral tähendab õhuvahetuse kordsust 0,07–0,15 h<sup>-1</sup>. Sellest lähtuvalt keskenduti uuringus õhuvahetuse toimimise puhul põhiliselt kasutusaegsetele andmetele.

Uuringus kasutatakse õhuvahetuse hindamisel toetuse taotlemise tingimustes toodud piirväärtuseid:

- Korterites peab olema pidev ventilatsioon õhuvahetuskordsusega vähemalt 0,5 h<sup>-1</sup>;
- Sissepuhke või -võetavad välisõhu vooluhulgad peavad olema vähemalt 10 l/s magamis- ja elutubades müratasemel mitte üle 25 dB(A);
- Väljatõmbe õhuvooluhulgad ühetoaliste korterite pesuruumis peavad olema vähemalt 10 l/s ja köögis 6 l/s, kahetoaliste korterite pesuruumis vähemalt 15 l/s ja köögis 8 l/s, kolme- ja enamatoaliste korterite WC-s vähemalt 10 l/s, pesuruumis 15 l/s ja köögis 8 l/s.

### 3.3 Tulemused

#### 3.3.1 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites

Siseõhu temperatuure uuritud hoonetes mõõdeti kütteperioodil vahemikus 24.11.2016 kuni 13.03.2017. Vastava perioodi kõikide korterite sisetemperatuuri jaotus on esitatud Joonis 3.1, kus on eraldi välja toodud kõikide korterite mõõteperioodi siseõhu temperatuuri keskäärtused ning mõõteperioodi minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride vahemik. Kõikide korterite mõõteperioodi keskmine temperatuur oli 22,6 °C. Minimaalne hetkeline sisetemperatuur oli 8,5 °C ja maksimaalne 33,2 °C.

Sisetemperatuuri vastavus korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimustele on esitatud protsendina ajast, kui sisetemperatuur oli väljaspool vahemikku 18,0–23,6 °C. Vastavad arvatud keskmised siseõhu temperatuurid olid vahemikus 18,0–23,6 °C 71%-l mõõdetud korteritest. Siseõhu temperatuur oli ettenähtud vahemikus 18,0–23,6 °C:

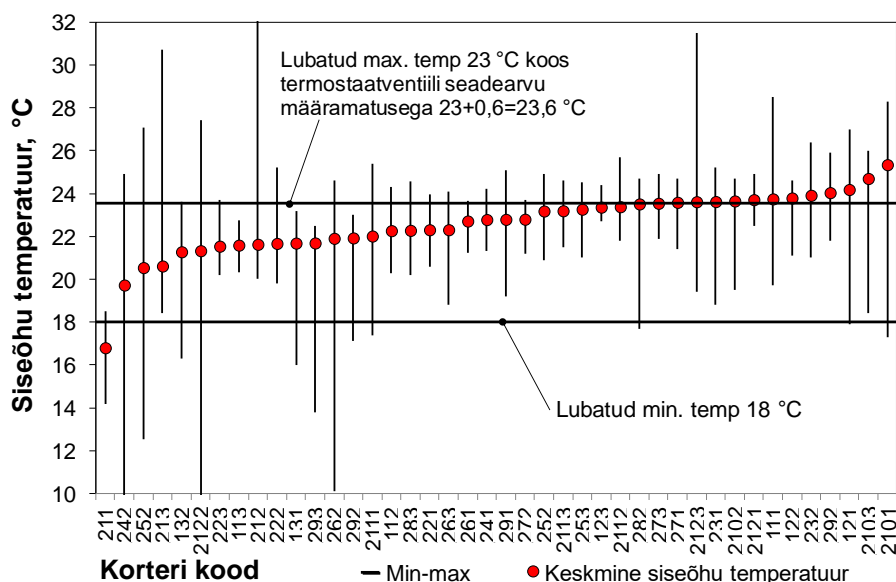
- kõikide korterite magamistubade keskmisena 72% mõõteperioodi ajast,
- soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral 74% ajast,
- väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi korral 46% ajast,
- mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni puhul 58% ajast.

Võttes aluseks kogu mõõteperioodi aja ning arvestades standardis EVS:EN 15251:2007 lubatud 5% ületust, vastas siseõhu temperatuur vahemikule 18,0–23,6 °C 35% uuritud korteritest. Seega selgub tulemustest, et paljudes korterites oli siseõhu temperatuur olenemata radiaatorite termostaatventiilidele paigaldatud piirajatest üle lubatud piirmäära, 23,6 °C. Temperatuuriületuse peamise põhjusena võib välja tuua soojussõlmes seadistatud liiga kõrge temperatuuriga küttegaafiku, küttesüsteemi soojuskandjas oleva õhu ning mõõteperioodiaegse vabasoojuse mõjud. Kohapealse radiaatorküttesüsteemi ülevaatuse tulemusena võib öelda, et piirajatega radiaatori termostaatide abil on võimalik sisetemperatuuri toetuse tingimustes etteantud vahemikus reguleerida, kuid uute süsteemide puhul tuleb hoonetes kütteperioodi alguses täppisreguleerida küttesüsteemi temperatuurigaafik ning süsteemid õhutada. Nende tegevuste tulemusel suureneb mõningal määral ka radiaatorküttesüsteemide termostaatventiilide reguleerimistäpsus.

Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul on kõikide mõõdetud korterite siseõhu temperatuuri aritmeetiline keskmine 22,3 °C. Arvestades standardis EVS:EN 15251:2007 lubatud 5% ületust, on SP/VT ventilatsioonisüsteemiga hoonetes 95% ajast tagatud minimaalne temperatuur 19,4 °C ja maksimaalne temperatuur 25,0 °C. Soojustagastusega väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoonete siseõhu temperatuuride keskäärtus on 23,3 °C. Arvestades standardis lubatud 5% ületust, on soojustagastusega

VTSP-ga hoonetes 95% ajast tagatud minimaalne temperatuur 20,8 °C ja maksimaalne temperatuur 26,6 °C. Soojustagastuseta VT-süsteemiga hoonete keskmine siseõhu temperatuur on 22,7 °C. Arvestades lubatud 5% minimaalse ja maksimaalse temperatuuri ületusega, on 95% korterites tagatud minimaalne siseõhu temperatuur 20,2 °C ja maksimaalne siseõhu temperatuur 24,8 °C. Selgub, et erinevate ventilatsioonisüsteemide puhul on sisetemperatuuride vahel mõningad erinevused. Eriti paistab silma, et nii soojustagastusega väljatõmbeõhu soojuspumba kui ka mehaanilise väljatõmbesüsteemi puhul on keskmine siseõhu temperatuur kõrgem kui soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi korral. Sellest lähtuvalt võib püstitada hüpoteesi, kas mehaanilise väljatõmbesüsteemi puhul (nii väljatõmbeõhu soojuspump kui ka mehaaniline VT) on vajalik kõrgema sisetemperatuuri abil kompenseerida värskõhuklappidest või värskõhu radiaatoritest ruumi jõudva külma õhuvoolu poolt tekitatud soojusliku mugavuse langust.

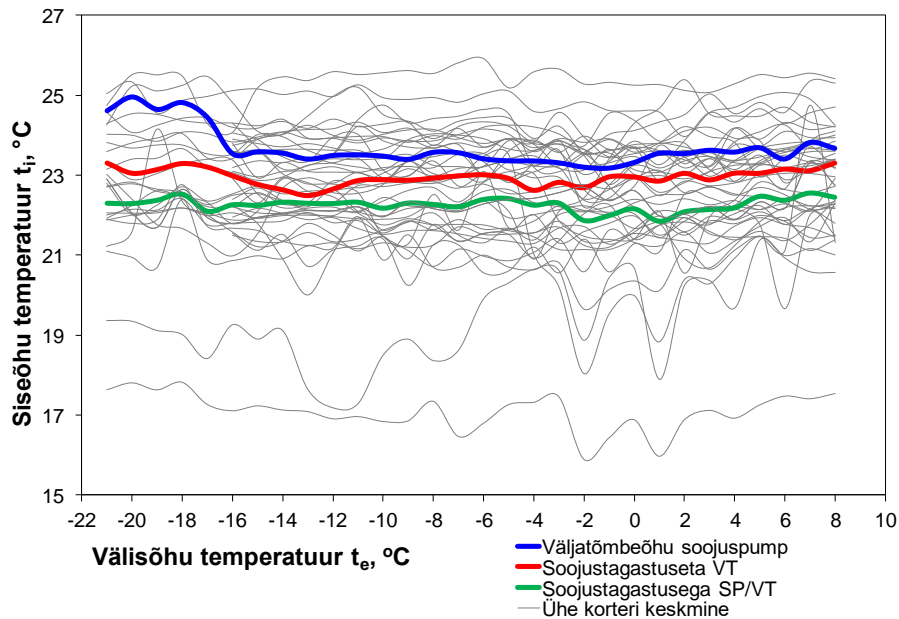
Selleks, et püstitatud hüpoteesi kehtivust kontrollida, on võrreldud siseõhu temperatuuri sõltuvust ventilatsioonisüsteemi põhimõttest ning arvatud t-testi abil mõõtetulemuste keskväärtuste p-väärtused. Vastavalt t-testi tulemustele ei ole erinevate ventilatsioonisüsteemide puhul mõõdetud kütteperioodi aegsed keskmised siseõhu temperatuurid statistiliselt erinevad. Seega võib teha järelduse, et sisetemperatuuri mõõtmistulemuste põhjal ei õnnestunud püstitatud hüpoteesi kehtivust tõestada.



Joonis 3.1 Korteri siseõhu temperatuuri jaotus perioodil 24.11.2016–13.03.2017

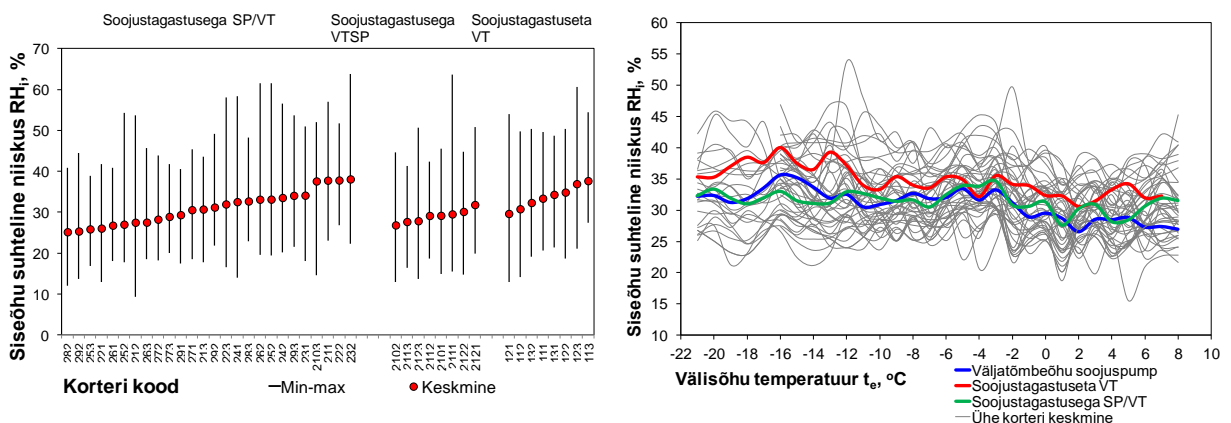
Analüüsiks detailsemalt korterite radiaatorküttesüsteemide toimivust vaadeldi sisetemperatuuride sõltuvust ka välistemperatuurist. Kõikide korterite sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist perioodil 24.11.2016–13.03.2017 on esitatud Joonis 3.2. Küttesüsteemide töös püsiva temperatuuri hoidmisel üldjuhul probleeme ei esine. Küll aga tasub mainimist, et kahes korteris olid siseõhu temperatuurid kütteperioodil stabiilselt alla 20 °C, mis viitavad siiski vigadele süsteemi töös. Ühes korteris oli probleemi lahenduseks mittetöötava termostaatventiili asendamine uuega, mis uuringu lõpus ka ära tehti. Sellest lähtuvalt tõusis sisetemperatuur ruumis normaalsele tasemele. Teises madala temperatuuriga korteris on samuti probleemi teadvustatud, kuid lõpliku põhjuse otsimine alles käib. Analüüsides korterite siseõhu temperatuure erinevate ventilatsioonisüsteemide kaupa, võib välja tuua huvitava asjaolu, et nii väljatõmbeõhu soojuspumba kui ka soojustagastuseta väljatõmbesüsteemi puhul on siseõhu temperatuur alates välisõhutemperatuurist –15 °C oluliselt kõrgem. Ka see tendents viitab eelnevalt vaadeldud protsessile, kus tuuletõmbusest tingitud soojusliku mugavuse kompenseerimiseks tõstetakse mõningal määral siseõhu temperatuuri. Soojustagastusega SP/VT-süsteemi korral jääb aga sisetemperatuur ka külmal perioodil stabiilseks. Seega on selle süsteemi puhul sissepuhkeõhu temperatuuri mõju soojuslikule mugavusele väiksem kui soojustagastusega VTSP- ja soojustagastuseta VT-süsteemi korral.





Joonis 3.2 Korterite siseõhu temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist perioodil 1.12.2016–28.02.2017

Lisaks siseõhu temperatuurile mõõdeti uuringu käigus ka siseõhu suhtelist niiskust. Mõõtmised tehti kütteperioodil vahemikus 24.11.2016–13.03.2017. Kõikide vaadeldud korterite siseõhu suhtelise niiskuse jaotus koos minimaalsete ja maksimaalsete mõõdetud tasemetega on toodud Joonis 3.3 vasakul. Keskmise suhteline õhuniiskus korterites varieerub kütteperioodil vahemikus 25% kuni 40% ja hetkelised maksimumväärtused ulatuvad 10%st kuni 70%ni. Kõikide korterite keskmine siseõhu suhteline niiskus oli vaadeldud perioodil 31%. Suhtelise niiskuse tasemeid analüüsiti ka lähtuvalt välisõhu temperatuurist (Joonis 3.3 paremal). Lisaks vaadeldi erinevate ventilatsioonisüsteemide mõju suhtelise niiskuse tasemele. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi korral on perioodi keskmine suhtelise niiskuse tase 31%, soojustagastusega VTSP korral 29% ja soojustagastuseta mehaanilise väljatõmbe korral 34%. Võib välja tuua, et erinevate süsteemide toimimise ja suhtelise niiskuse vaheline seos vaadeldavate mõõtmistulemuste baasil ei selgu ja on vaja analüüsida seda niiskuslisa abil, mis on selleks sobivam meetod.



Joonis 3.3 Korterite siseõhu suhtelise niiskuse mõõtmistulemuste jaotus (vasakul) ja suhtelise niiskuse sõltuvus välisõhu temperatuurist (paremal) perioodil 24.11.2016–13.03.2017

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust ning sõltub ruumide ventileeritavusest ning niiskustootlusest ruumides:

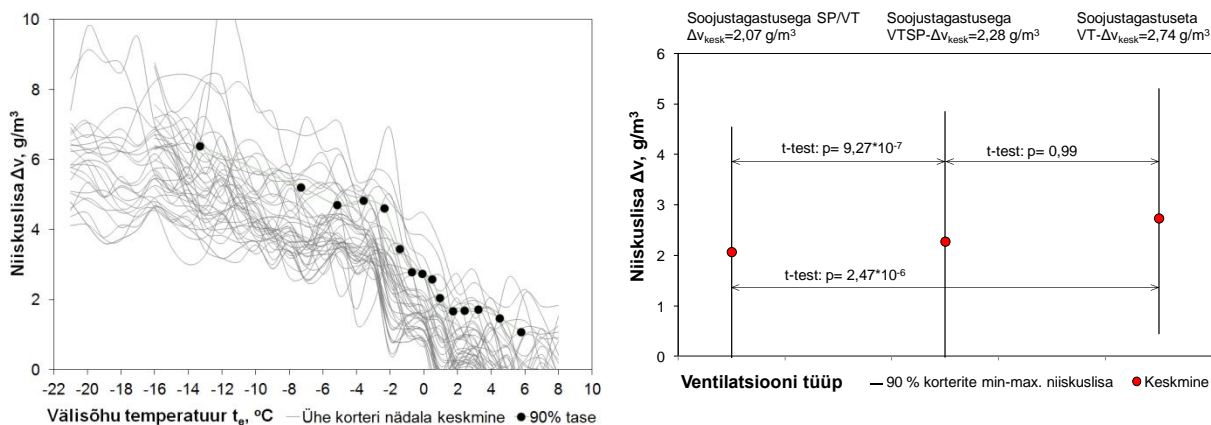


$$\Delta v = \frac{G}{L} = v_i - v_e, \text{ g/m}^3 \quad (3.1)$$

kus  $v_i$  – siseõhu veeaurusisaldus,  $\text{g/m}^3$ ;  $v_e$  – välisõhu veeaurusisaldus,  $\text{g/m}^3$ ,  
 $G$  – niiskustoodang,  $\text{g/h}$ ;  $L$  – ventilatsiooni õhuvooluhulk,  $\text{m}^3/\text{h}$

Analüüsi käigus jaotati iga korteri niiskulisa mõõtetulemused vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvatati niiskulisa nädala keskmine keskvärtus ja arvutussuurus 90% tasemel, mis loeti selle korteri niiskukoormuseks. Korterite siseõhu niiskulisa arvutussuuruste sõltuvus välisõhu temperatuurist on toodud Joonis 3.4 vasakul. Selgub, et vaadeldud hoonetes on niiskulisa väärtused sarnased varasemates Eesti vanade tellis- ja paneelkorterimajade uuringutes arvatatud väärtustega.

Lisaks analüüsiti ka erinevat tüüpi ventilatsioonisüsteemide mõju siseõhu niiskussisaldusele (Joonis 3.4 paremal). Erinevat tüüpi ventilatsioonisüsteemidega hoonete õhuvahetuse ja niiskulisade seose statistiliseks analüüsiks on kasutatud t-testi. Soojustagastusega SP/VT-ventilatsiooni korral on ruumide niiskukoormus statistiliselt oluliselt väiksem võrreldes korteritega, kus on soojuspumbaga väljatõmbeventilatsioon ( $p < 9,27 \cdot 10^{-7}$ ) ja soojustagastuseta VT-ventilatsioon ( $p < 2,47 \cdot 10^{-6}$ ). Olgu mainitud, et statistiliselt oluline on erinevus juhul, kui  $p \leq 0,05$ . Siit saab järeldada, et soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemiga korterites toimib ventilatsioon niiskuse eelmaldamiseks korrektelt.



Joonis 3.4 Korterite siseõhu niiskulisa arvutussuuruse sõltuvus välistemperatuurist perioodil 24.11.2016–13.03.2017 (vasakul). Erineva ventilatsioonisüsteemiga korterite niiskulisa keskvärtuse võrdlus (paremal)

### 3.3.2 Magamistubade siseõhu süsihappegaasi kontsentratsioon

Siseõhu  $\text{CO}_2$ -sisaldust mõõdeti igas uuringus olnud hoones vähemalt kahes korteris. Mõõtmistulemuste salvestusintervall oli 15 minutit. Süsihappegaasi mõõtmisandmetest on esitatud vaid kasutusaja kohased tulemused (inimesed on korteris). Kõikide mõõdetud korterite siseõhu keskmine  $\text{CO}_2$ -sisaldus kasutusajal oli 837 ppm-i. Analüüsides erinevat tüüpi ventilatsiooni renoveerimislahendusi, siis  $\text{CO}_2$ -sisaldus oli:

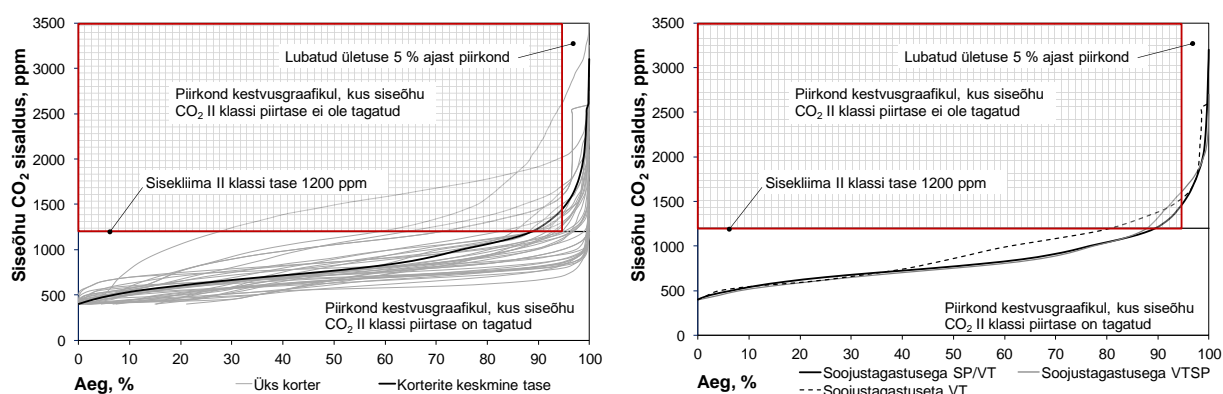
- mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni korral 850 ppm-i,
- väljatõmbeventilatsiooniga ja soojuspumbaga soojustagastuse süsteemi korral 764 ppm-i,
- soojustagastuseta mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni korral 878 ppm-i.

Kõikide kirjeldatud ventilatsiooni renoveerimislahenduste puhul saavutati siseõhu  $\text{CO}_2$  kontsentratsioon, mis on sarnane Eesti uute kortermajade uuringus saavutatud magamistubade keskmise tasemega (kasutusaja magamistubade keskmine tase 822 ppm-i). Lisaks on analüüsitud meetme alusel renoveeritud hoonetes saavutatud oluliselt madalam magamistubade siseõhu keskmine kontsentratsioon kui eelmise toetusmeetme alusel renoveeritud hoonetes, kus magamistubade keskmine tase oli 1022 ppm-i.

Kõikide mõõdetud magamistubade siseõhu  $\text{CO}_2$ -sisaldus vastab sisekliima II klassile (1200 ppm) 89% kasutusperioodi ajast. Uuringu käigus mõõdetud korterite magamistubade

siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotus on toodud Joonis 3.5, kus on kujutatud kõigi mõõdetud magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotus koos hoonete keskmise CO<sub>2</sub>-sisalduse jaotusega. Jooniselt on näha siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduse kumulatiivset jaotust, st et mõõteperiood on toodud suhtelise ajana kogu mõõteintervalli pikkusest. Samuti on Joonis 3.5 toodud nii kestvusgraafiku piirkond, kus siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus ei ole tagatud (markeeritud punase raamjoonega) kui ka eraldi piirkond, kus see on tagatud. Olgu märgitud, et magamistubade CO<sub>2</sub>-taseme piirväärtuseks on kasutatud II sisekliimaklassi piirmäära 1200 ppm-i. Selleks, et teada, mitu protsenti ajast on huvipakkuva korteri või kesktaseme siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus tagatud, tuleb liikuda horisontaalselt mööda piirnormati taset kuni vastava magamistuba CO<sub>2</sub> kõverani ning sealt tulla vertikaalselt alla ajateljeni. Ajateljelt on võimalik vastav suhteline aeg välja lugeda. Lisaks on eraldi välja toodud ka erinevate ventilatsioonisüsteemidega magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> kestvuskõverad (Joonis 3.5 paremal). Standardi EVS-EN 15251 II klassi piirväärtusele (1200 ppm) vastab

- soojustagastusega tsentraalse SP/VT-süsteemi korral 90% kasutusajast,
- soojustagastusega VTSP-süsteemi korral 88% kasutusajast,
- soojustagastuseta mehaanilise VT-ventilatsiooni korral 86% kasutusajast.



Joonis 3.5 Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> taseme kumulatiivne jaotus korterite kasutusajal (vasakul). Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> taseme kumulatiivne jaotus vastavalt ventilatsioonisüsteemidele (paremal)

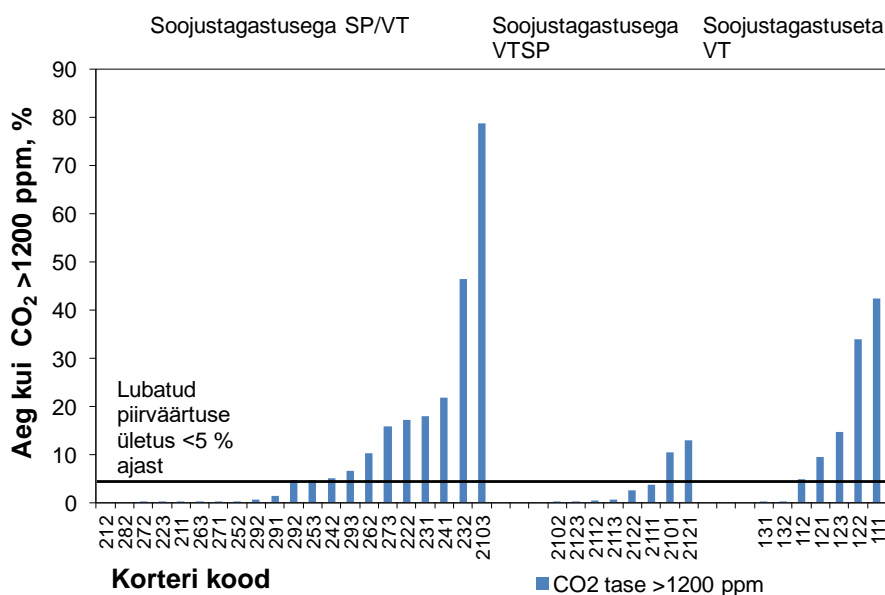
Vaadeldes magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldust erinevate ventilatsioonisüsteemide puhul vastavalt standardi EVS-EN 15251 klauslile, võib määratud piirsuursi ületada 3% või 5% hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas. Kõikides mõõdetud magamistubades vastas siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus II sisekliimaklassi nõuetele 58% korterites. Lisaks toob Joonis 3.5 välja ka CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni ületused protsendina korterite kasutusajast. Standardi EVS-EN 15251 II klassi piirväärtusele (1200 ppm) lubatud 5% ületusega vastab

- soojustagastusega tsentraalse SP/VT-süsteemi korral 57% magamistubadest,
- soojustagastusega VTSP-süsteemi korral 75% magamistubadest,
- soojustagastuseta mehaanilise VT-ventilatsiooni korral 43% magamistubadest.

Soojustagastusega SP/VT ja väljatõmbeõhu soojuspumbaga korterite siseõhu CO<sub>2</sub> taseme statistilist erinevust iseloomustab p-väärtus 0,32, SP/VT-süsteemi ja soojustagastuseta väljatõmbeventilatsiooni erinevust p-väärtus 0,78 ning väljatõmbeõhu soojuspumba ja soojustagastuseta väljatõmbeventilatsiooni erinevust p-väärtus 0,23. Statistiliselt oluline oleks erinevus juhul, kui  $p \leq 0,05$ . Seega selgub ventilatsioonisüsteemide renoveerimislahenduste võrdlemisel, et statistiliselt olulist erinevust siseõhu CO<sub>2</sub>-sisalduses ei olnud.

Kui võrrelda uuritud magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> mõõtmistulemusi 1992.–2010. aastal ehitatud uute kortermajade vastavate mõõtmistulemustega, siis selgub, et renoveeritud hoonetes vastas II klassile 67% magamistubadest, ehk siis tervikrenoveeritud korterelamutes on siseõhu kvaliteet sarnane uutest korterelamutes oleva siseõhu kvaliteediga. Kuna siseõhu CO<sub>2</sub>-sisaldus uuritud korterites on tagatud ligemale 90% kasutusajast, siis võib korterite õhuvahetust pidada heaks, mis tähendab seda, et üldiselt toimivad väljaehitatud

ventilatsioonisüsteemid korrektselt ning eksploatatsiooni käigus ei ole magamistubade õhuvahetust oluliselt määral vähendatud.



Joonis 3.6 Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> tase korterite kasutusajal

### 3.3.3 Ventilatsiooni õhuvooluhulgad

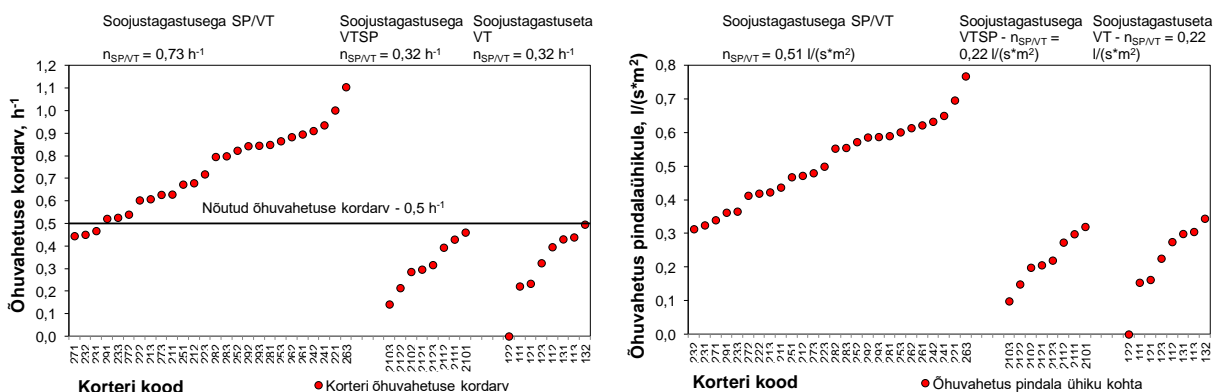
Üheks toetuse saamise tingimuseks on standardis EVS-EN 12599:2012 toodud meetodikale tugineva ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulkade mõõdistamise protokollit esitamine. Kõigi uuringus vaadeldud korterite puhul oli see protokoll esitatud ning mõõdistushetkel vastas õhuvahetus projekteeeritule. Uuringu käigus vaadati esitatud mõõdistusprotokollid üle ning kontrolliti nende vastavust hetkeolukorrale. Saab teha järelduse, et lõppelementide seadearvud vastasid üldjuhul tegelikkusele ning korterites, kus hilisema ülevaatuse käigus tuvastati erinevused, olid need põhjustatud eksploatatsiooni käigus kinni keeratud plafoonide tõttu. Käesoleva uuringu käigus teostatud mõõtmised keskenduvad ventilatsioonisüsteemi hetkeolukorra ja toimivuse hindamisele ning seetõttu on uuringu raames tehtud õhuvooluhulkade mõõtmised süsteemide eksploatatsioonis kasutatavas režiimis. Lihtsustatult tähendab see seda, et kui hoone ventilatsioonisüsteem on kasutusajal näiteks pool kiirusel, siis mõõtmised toimusid sellel režiimil.

Hindamiseks korterite üldõhuvahetust on mõõdetud õhuvooluhulkade ning korterite ruumalade kaudu välja arvatud õhuvahetuse kordarvud (Joonis 3.7 vasakul). Kõikide korterite keskmine õhuvahetuse kordarv on 0,57. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemide korral on keskmine õhuvahetuse kordarv 0,73 h<sup>-1</sup>, soojuspumpsüsteemi korral 0,32 h<sup>-1</sup> ja mehaanilise VT-süsteemi puhul 0,32 h<sup>-1</sup>. Toetuse taotlemise tingimustes kehtestatud korterite õhuvahetuse kordarvu piirväärtusele vastab

- kõigist mõõdetud korteritest 55%,
- soojustagastusega tsentraalse SP/VT-süsteemiga korteritest 88%,
- soojustagastusega VTSP-süsteemiga korteritest 0%,
- soojustagastuseta mehaanilise VT-ventilatsiooni süsteemiga korteritest 0%.

Analüüsi ka mõõdetud korterite õhuvahetust pindalaühiku kohta (Joonis 3.7 paremal). Selgub, et kõikide mõõdetud korterite õhuvahetus pindalaühiku kohta on 0,40 l/(s·m<sup>2</sup>). Ventilatsioonisüsteemide tüüpide kaupa tagab soojustagastusega SP/VT-ventilatsioon keskmine õhuvahetuse 0,51 l/(s·m<sup>2</sup>), soojustagastusega VTSP-süsteem õhuvahetuse 0,22 l/(s·m<sup>2</sup>) ja soojustagastuseta VT-ventilatsioon samuti õhuvahetuse 0,22 l/(s·m<sup>2</sup>). Korterite üldõhuvahetuses saavutatud tulemust saab soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul pidada väga heaks. Nii õhuvahetuse kordarvu kui ka õhuvahetuse väärtuse pindala kohta saab väita, et SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul on ruumide mõõdetud õhuvahetus üle kahe korra suurem. Sellest lähtuvalt saab teha üldistuse, et soojustagastusega SP/VT-

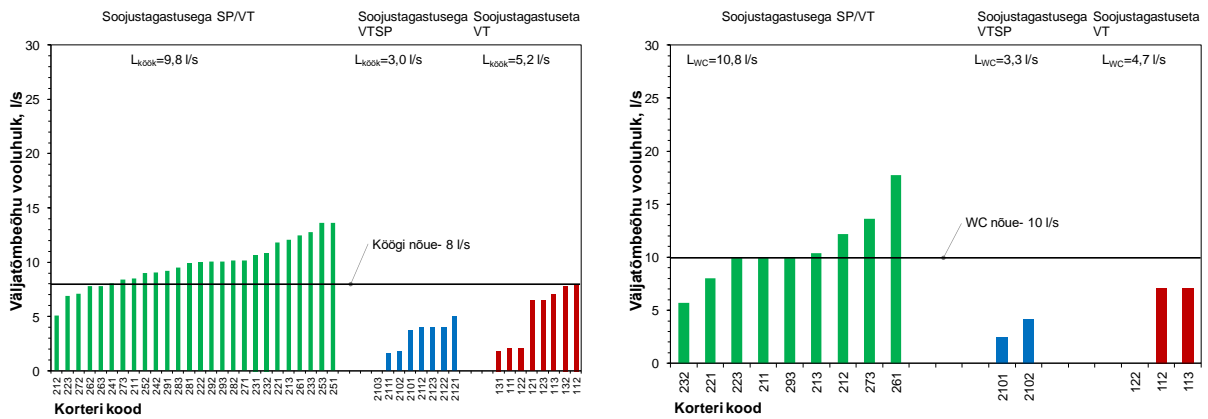
süsteemide õhuvooluhulkasid vähendatakse eksploatatsiooni käigus oluliselt vähem kui ülejäänud vaadeldud süsteemide korral.



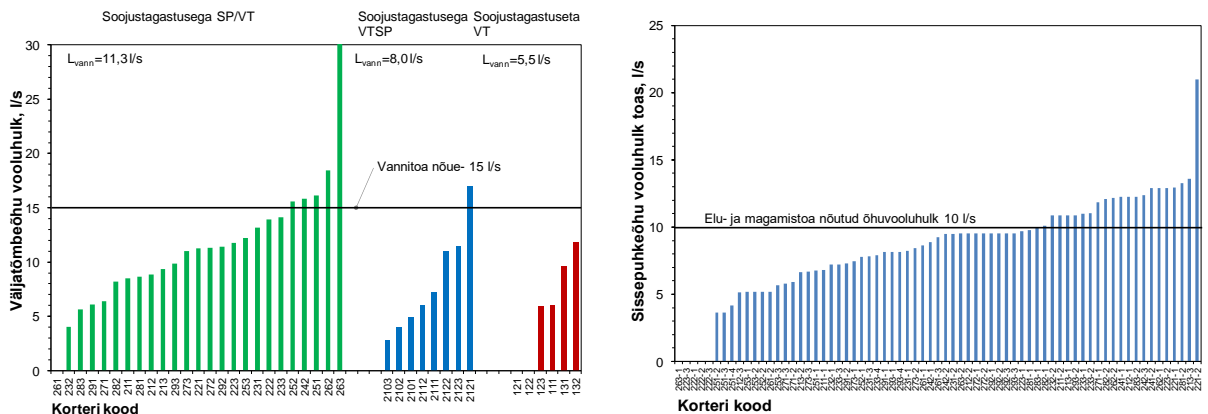
Joonis 3.7 Korteri õhuvahetuse kordarvud (vasakul) ja õhuvahetus pindalaühiku kohta (paremal)

Kuna toetuse andmise tingimustes on õhuvahetuse tagamise kohta ära toodud ka väljatõmbeõhu vooluhulgad vannitoast, WC-st ja köögist, analüüsiti ka nende nõuete täitmist. Juhul kui korteris on vannituba ja WC kokku ehitatud, siis on sealsed õhuvooluhulga mõõdistustulemused toodud vannituba all. Õhuvooluhulkade mõõtetulemusi kajastavad Joonis 3.8 ja Joonis 3.9 (vasakul). Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul on keskmine mõõdetud õhuvooluhulk vannitoast 11,3 l/s, WC-st 10,8 l/s ja köögist 9,8 l/s. Soojustagastusega VTSP-süsteemi korral on keskmine väljatõmbe õhuvooluhulk vannitoast 8,0, WC-st 3,3 ja köögist 3,0 l/s. Soojustagastuseta VT-süsteemide korral on keskmine väljatõmme vannitoast 5,5 l/s, WC-st 4,7 l/s ja köögist 5,2 l/s. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi korral vastas projektväärtustele 20% vannitubadest, 6% WC-dest ja 34% köökidest. Soojustagastusega VTSP-süsteemi korral vastas normväärtusele 13% vannitubadest, ükski WC ega köök nõuetele ei vastanud. Soojustagastuseta VT-süsteemi puhul ei vastanud projekteeritud õhuvahetuse normväärtusele ükski vannituba, WC ega köök. Korteri põhiselt vaadeldes oli soojustagastusega VT/SP-süsteemi puhul mõõdetud korterite keskmine väljatõmbeõhu vooluhulk 22,9 l/s, soojustagastusega VTSP-süsteemil 10,8 l/s ja soojustagastuseta VT-süsteemi puhul 11,2 l/s.

Soojustagastusega SP/VT süsteemi puhul mõõdeti ära ka sissepuhke õhuvooluhulgad elu- ja magamistubades. Saadud tulemused on toodud Joonis 3.9 paremal. Vastavalt toetuse taotlemise tingimustele peab elu- ja magamistubades olema tagatud õhuvahetus 10 l/s. Kõigi mõõdetud elu- ja magamistubade keskmine sissepuhke õhuvooluhulk oli 9 l/s. Arvestades õhuvooluhulkade mõõtemääramatust, vastas õhuvahetus toodud piirväärtusele 61% korteritest. Seda suurust võib pidada märkimisväärselt heaks tulemuseks. Korteri keskmine sissepuhke õhuvooluhulka vähendasid mõningal määral viie korteri tulemused, kus plafoonid olid kas kinni keeratud või kinni teibitud. Korteri magamistubades oli võimalik mõõta sissepuhke õhuvooluhulka ka inimese kohta. Keskmine õhuvahetus inimese kohta oli 6 l/(s·in.). Seda tulemust võib samuti pidada heaks, kuid leidis ka magamistubades, kus sissepuhke õhujao turid olid samuti kinni teibitud.



Joonis 3.8 Korterite väljatõmbeõhu vooluhulgad köögist (vasakul) ja WC-st (paremal)



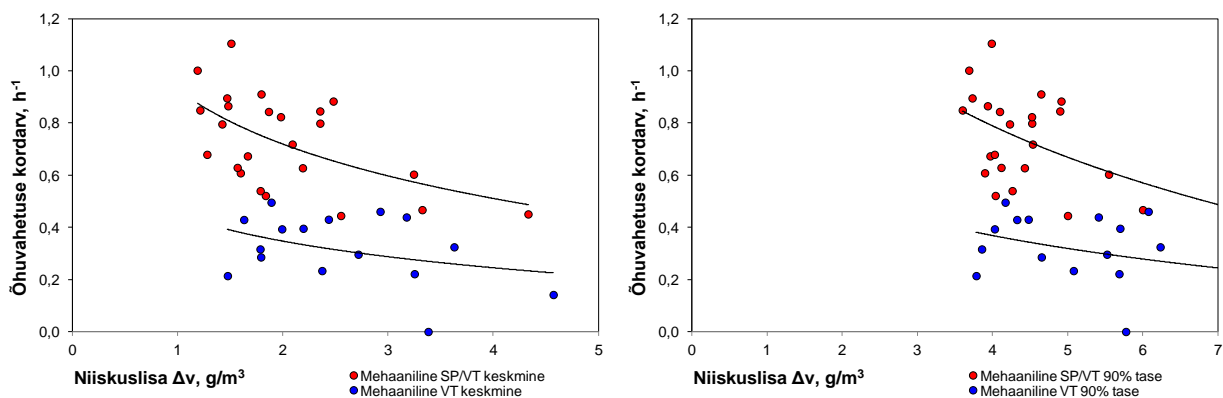
Joonis 3.9 Korterite väljatõmbeõhu vooluhulgad vannitoast (vasakul); soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi sissepuhke õhuvooluhulgad elu- ja magamistubades (paremal)

Analüüsitud hoonete puhul on põhjused, miks õhuvooluhulkasid on eksploatatsiooni käigus mehaanilise väljatõmbesüsteemiga hoonetes vähendatud, järgmised:

- õhuvooluhulkade vähendamine seoses tuuletõmbusest tingitud soojusliku mugavuse vähenemisega;
- vanad ehituslikud lõõrid ei ole sageli õhutihedad ning parandusmeetmeid šahtide tihendamiseks ei ole rakendatud (ehituslike šahtide tihendamine või uue ventilatsioonikanali paigaldamine vanadesse šahtidesse);
- väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
- ventilatsiooni müra.

Õhuvahetuse intensiivsusel on siseruumide niiskuskooormusele oluline mõju. Korterite suurema õhuvahetuse kordarvu korral eemaldatakse ruumidest seal tekivad niiskuseraldised oluliselt intensiivsemalt kui väiksema õhuvahetuse korral. Iseloomustamiseks õhuvahetuse ja niiskuslisa seost, toob Joonis 3.10 välja soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi ja mehaanilise VT ventilatsioonisüsteemiga korterite keskmised ning 90% kriitilised niiskuslisa väärtused. Samuti on joonisele lisatud vastavate korterite niiskuslisa korrelatsioonikõverad. Kuna vastavate niiskuslisa korrelatsioonid on nõrgad, saab välja tuua vaid üldise trendi, et õhuvahetuse kordarvu suurenedes niiskuslisa väärtused vähenevad. See seaduspärasus kehtib nii mõlema võrreldava ventilatsioonisüsteemi kui ka niiskuslisa keskväärtuste ja 90% kriitiliste tasemete kohta.



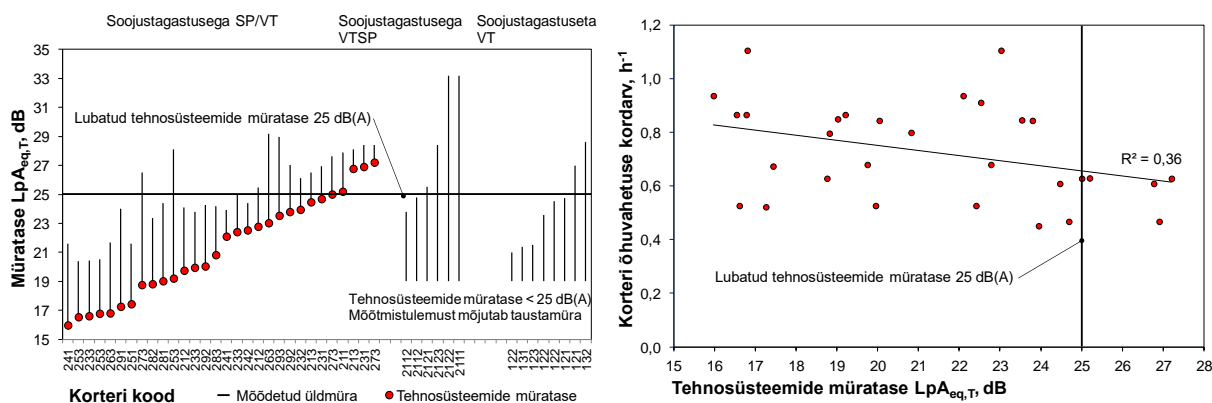


Joonis 3.10 Õhuvahetuse kordarvu ja niiskuslisa keskmiste tasemete vaheline seos (vasakul); õhuvahetuse kordarvu ja niiskuslisa 90% kriitiliste tasemete vaheline seos (paremal)

### 3.3.4 Ventilatsioonisüsteemide mürataseme mõõtmistulemused

Projektlahenduste müra normtasemed olid kehtestatud sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a määrusega nr 42 "Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid". Määruse mõistes on tehnoseadmeteks hoonete tehnosüsteemid (vee-, kanalisatsiooni-, kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusadmed, liftid) ning müratekitavad seadmed sama hoone või läheduses asuvate hoonete tootmis- ja teenindusruumides, kaubandus- ja tööstusettevõtetes. Elamutes on müra normtasemed  $L_{pA,eq,T}$  kehtestatud statsionaarsetele püsiva või muutuva tasemega müraallikatele. Tehnosüsteemidest põhjustatud müra normtasemed elu- ja magamisruumides kehtestatakse ööpäevaringselt ning ülejäänud ruumides vastavalt ruumi kasutamise otstarbele. Vastavalt toetuse taotluse tingimustele ei tohtinud magamis- ja elutubade tehnosüsteemide ekvivalentset müratasemed  $L_{pA,eq,T}$  ületada 25 dB(A).

Kõikide soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe süsteemidega hoonete mõõdetud elu- ja magamistubade keskmised A-filtriga korrigeeritud tehnosüsteemide ekvivalentsete müratasemete keskvärtus oli 21,3 dB(A), keskmine ekvivalentne üldmüra 25,1 dB(A) ja taustamüra väärtus 22,3 dB(A). Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi korral oli vaadeldud hoonetes mõõdetud korterite üldmüra keskvärtus 28,2 dB(A) ja mehaanilise väljatõmbesüsteemiga hoonetes 24,0 dB(A). Minimaalne mõõdetud tehnosüsteemide ekvivalentne müratase oli 16 dB(A) ja maksimaalne mõõdetud müratase oli 27,2 dB(A). Elu- ja magamistubade müratasemete mõõtmistulemused erinevate ventilatsioonisüsteemide korral on toodud Joonis 3.11 vasakul.



Joonis 3.11 Korterite elu- ja magamistubades tehtud müramõõtmiste tulemused (üldmüra, tehnosüsteemide müra) erinevat tüüpi ventilatsioonisüsteemide korral (vasakul); korterite tehnosüsteemide ekvivalentse mürataseme ja õhuvahetuse kordarvu seos (paremal)

Nii väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemiga hoonetes kui ka soojustagastuseta väljatõmbeventilatsiooniga hoonetes mõjutab tehnosüsteemide müratasemete mõõtmisi taustamüra, mistõttu on nende süsteemide korral välja toodud vaid üldmüra väärtus. Peamine põhjus, miks taustamüra ruumides domineeris, oli asjaolu, et nende süsteemide puhul ei paiknenud elu- või magamistubades ventilatsioonisüsteemi lõppelemente. Sellest lähtuvalt ei tekkinud mehaanilise väljatõmbesüsteemiga korterite elu- ja magamistubades üldjuhul ka tehnosüsteemide lubatud ekvivalentse mürataseme (<25 dB(A)) tagamisega probleeme.

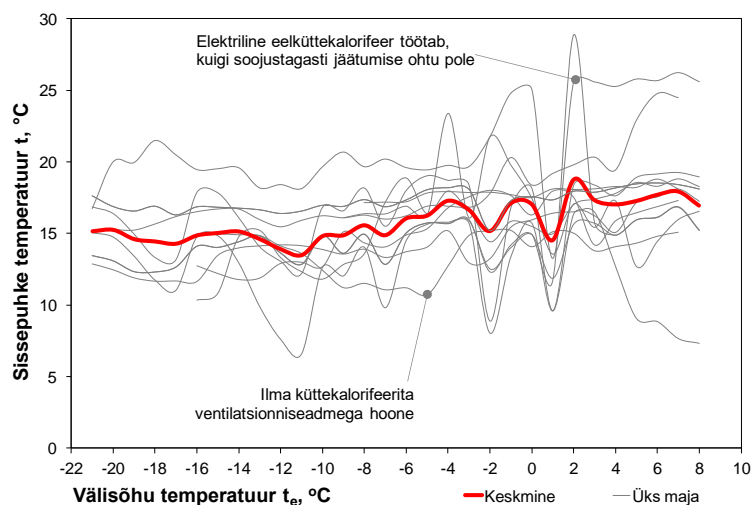
Tehnosüsteemide lubatud ekvivalentne mürataseme ei olnud tagatud 17%-l (5 tuba) mõõdetud elu- või magamistubadest. Kõik elu- või magamistoad, kus lubatud tase ei olnud tagatud, olid fassaaditaguse sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiga hoonetes. Nii väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi kui ka soojustagastuseta mehaanilise väljatõmbesüsteemi korral esines ruumides lubatust kõrgemat üldmürataset, kuid see ei olnud põhjustatud tehnosüsteemide poolt. Üldjuhul oli nendes korterites mõõtmiste ajal kõrgema mürataseme põhjuseks eelkõige kõrge taustamüra, mis tulenes peamiselt väliskeskkonna mõjudest. Lisaks tasub siinkohal tähele panna ka asjaolu, et õhuvooluhulkade mõõtmistulemuste kohaselt oli nii soojustagastusega VTSP-süsteemi kui ka soojustagastuseta VTSP-süsteemi õhuvooluhulgad lõppelementides umbes kaks korda väiksemad kui soojustagastusega SP/VT süsteemi korral.

Mida suurem on konkreetse ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulk, seda suurem on ka ventilatsioonisüsteemi poolt ruumi tekitatav mürataseme. Sellest lähtuvalt vaatleme SP/VT ventilatsioonisüsteemide puhul tehnosüsteemide ekvivalentse mürataseme sõltuvust korteri õhuvahetusest (Joonis 3.11 paremal). Jooniselt selgub, et korteri õhuvooluhulga ja tehnosüsteemide mõõdetud ekvivalentmürataseme vahel otsest sõltuvust ei ole. Hinnates tehnosüsteemide mürataseme ja korterite õhuvahetuse kordarvu vahelist sõltuvust lineaarse regressiooni kaudu, saab järeldada, et mõõtetulemustevaheline korrelatsioon on nõrk. Samas näitab joonisel olev trend, et kõrgema mürataseme puhul üritavad inimesed plafoonide kinnikeeramise ja eelkõige seadme töökiiruse vähendamise abil mürataset vähendada. See aga toob omakorda kaasa ka väiksema õhuvahetuse korterites. Juhul, kui väljaehitatud ventilatsioonisüsteemi mürataseme inimesi ei häiri (< 25 dB(A)), siis ei ole vajadust ka õhuvahetust vähendada.

## 4 Ventilatsioonisüsteemide toimivus

### 4.1 Ventilatsiooni sissepuhkeõhu temperatuurid

Sissepuhkeõhu temperatuuri mõõtmiste eesmärk oli hinnata ventilatsioonisüsteemi toimivust ja soojustagastite jäätmise mõju sissepuhkeõhu temperatuuridele. Nimetatud küsimusi saab kõige paremini hinnata, vaadeldes ruumi sissepuhkeõhu temperatuuride sõltuvust välisõhu temperatuurist (Joonis 4.1). Analüüsimisel selgub, et sissepuhkeõhu temperatuurid varieeruvad vahemikus 5 °C kuni 25 °C. Madalad temperatuurid on põhjustatud vastuvoolu plaatsoojustagastite jäätmisest. See probleem puudutab hooneid, kus ventilatsiooniagregaatidel kas puudub küttekalorifeer või ei ole seda tööle rakendatud. Joonis 4.1 nähtub, et sissepuhkeõhu temperatuur on teatud perioodidel < 10 °C kolmes korteris. Kõikides neis hoonetes kasutatakse soojustagasti jäätmise vältimiseks elektrilist küttekalorifeeri. Järelikult on vaadeldaval juhul tegu seadme seiskumisega, soojustagasti jäätmisega või mõne muu veaga seadme töös. Joonisel on eraldi välja toodud ka ilma küttekalorifeerita seadme sissepuhkeõhu temperatuuri jaotus. Mõõdetud õhujaoitus jäi temperatuur vahemikku 10–15 °C. Kõikide hoonete keskmine sissepuhkeõhu temperatuur on vahemikus 15–16 °C. Samas on ka üks hoone, kus sissepuhkeõhu temperatuur on terve kütteperioodi vältel üle 20 °C ning välisõhu temperatuuri tõustes > 0 °C tõuseb sissepuhkeõhu temperatuur üle 25 °C. Korter paikneb hoones, kus tsentraalse ventilatsiooniagregaadi elektrilise eelküttekalorifeeri juhtimine toimub ebaefektiivselt. Elektrikalorifeer soojendab sissepuhkeõhku ka siis, kui seda tegelikult vaja poleks. Selle hoone ventilatsiooniseade on hea näide sellest, et elektrilise küttekalorifeeri kasutamine võib vigase juhtautomaatika ning vale seadistuse korral suurendada oluliselt hoone elektrienergia tarbimist.



Joonis 4.1 Ventilatsiooni sissepuhkeõhu temperatuurid elu- või magamistubade õhujaoitajates

### 4.2 Soojustagasti jäätmist vältivad lahendused

Soojustagasti saab jääda juhul, kui niiske väljatõmbeõhk puutub kokku soojustagasti pinnaga, mille temperatuur on madalam väljatõmbeõhu küllastustemperatuurist. Õhus sisalduv veeaur kondenseerub soojustagasti pinnale ning kui soojustagasti pinnatemperatuur on alla külmumistemperatuuri, hakkab kondenseerunud vesi soojustagastis jäätuma. Soojustagasti väljatõmbeõhu poolel tekkinud jää vähendab soojustagasti efektiivsust, tekitab väljatõmbeõhu poolele märgatava õhuvooluhulga vähenemise ja suurendab soojustagasti õhutakistust. Kui jäätmisvastaseid meetmeid õigel ajal kasutusele ei võeta, siis ummistab jää soojustagasti lühikese aja jooksul. Peamised soojustagasti jäätmist soodustavad tingimused on madal välisõhu temperatuur, väljatõmbeõhu kõrge niiskussisaldus, välisõhu suurem õhuvooluhulk võrreldes väljatõmbeõhu vooluhulgaga ning kõrge soojustagasti



temperatuuri suhtarv. Kõrge temperatuuri suhtarvuga soojustagasti puhul on vee väljakondeseerumise kiirus suurem ning ka soojustagasti pind jahedam. Lisaks sõltub soojustagasti jäätumine ka soojustagasti paigutusest ventilatsiooniseadmes ja soojustagasti pinna omadustest.

Kondenseerunud vee jäätumise vältimiseks on välja töötatud mitmeid tehnoloogilisi lahendusi:

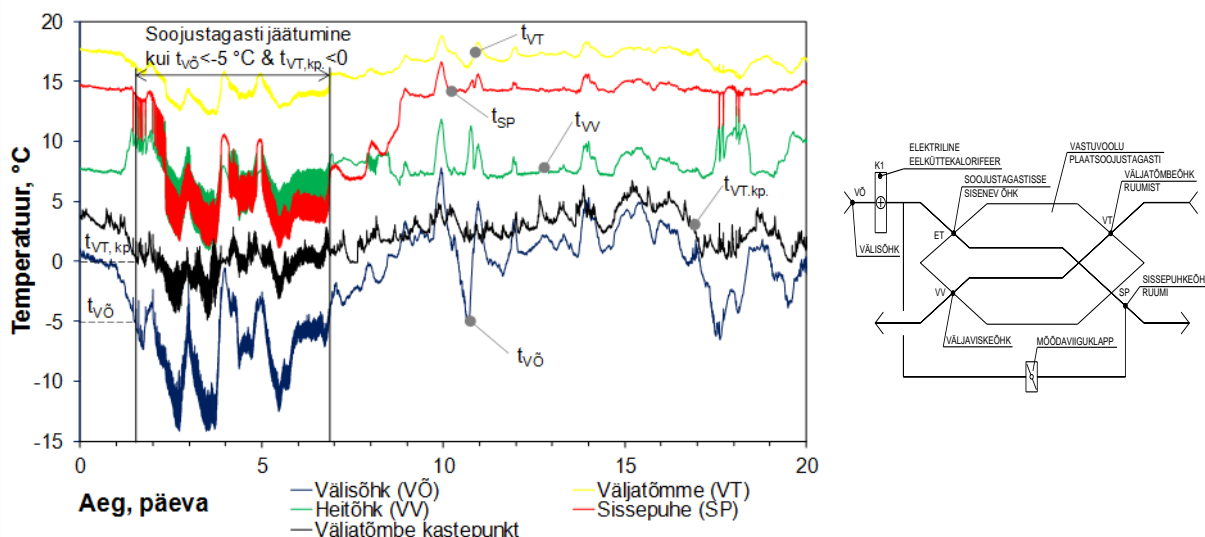
- Sissepuhke õhuvooluhulga vähendamine/peatamine – kui soojustagasti läheb sulatusrežiimi, siis väljatõmme töötab edasi, kuid sissepuhke väheneb ja välisõhuklapp osaliselt sulgub. Sellises olukorras tekib hoonesse alarõhk, infiltratsioon suureneb ja sissepuhke vähenemisel ei ole tagatud vajalik õhuvahetus.
- Sissepuhke ümberjuhtimine – juhul kui tekib risk soojustagasti jäätumiseks, siis osa sissepuhkeõhust suunatakse ümber eelküttekalorifeerile, kus õhku soojendatakse.
- Välisõhu eelsoojendamine konstantse temperatuurini – enne soojustagastit soojendatakse välisõhk elektrilise kalorifeeriga. Seda ei ole majanduslikult kasulik teha külma ja pika talve korral.
- Välisõhu eelsoojendamine muutuva temperatuurini – meetod on sarnane eelmisega, kuid välisõhk soojendatakse täpselt sellisele temperatuurile, et oleks välistatud soojustagasti jäätumine. See strateegia on efektiivsem kui konstantsele temperatuurile soojendamine.
- Soojusvaheti pinna katmine hüdrofoobse/hüdrofiilse materjaliga – võrreldes tavalise soojustagastiga tekib hüdrofoobse või hüdrofiilse pinnaga kaetud soojustagastis jäätumine hiljem, jääkristallid paiknevad hõredamalt ja nad ei kasva nii kõrgeks.
- Soojustagasti disain ja paigutus – kuna kondenseerunud vesi on peamine põhjus jäätumiseks, siis peavad soojustagastid ehituslikult küljest tagama kondensaadi äravoolu enne selle jäätumist. Kui paigaldada väljatõmbeõhu osa ülespoole, siis on kondensaadi äravool tõhusam.
- Sissepuhkeõhu juhtimine möödaviiguga soojustagastist mööda – soe sissepuhkeõhk sulatab tekkinud jää ära ning soojustagasti saab tavarežiimi tagasi pöörduda. Samas on vajalik ka eel- või järelküttekalorifeer valida vastavalt sulatusrežiimi temperatuuriparameetritele. Seega peab seadmele valitud kalorifeer olema valitud varuga.

Mõned soojustagastite tootjad kasutavad jäätumise vältimiseks ka sektsioonsulatust. Härmatisest hoidumiseks on plaatsoojusvaheti jagatud sektsioonideks. Iga sektsioon on varustatud klapi ja ajamiga, mida juhib komplektis olev automaatika. Härmatise sulatamise vajaduse korral sulgeb automaatika järjest ükshaaval sulatusklappe. Osal soojustagastitel avaneb sektsioonsulatuse ajaks ka möödaviiguklapp. Pärast sulatustsükli pöördub seade tavarežiimi tagasi. Uus sulatustsükkel aktiveeritakse vastavalt vajadusele. Selle lahenduse puhul ei vähene sissepuhkeõhu vooluhulk ruumidesse ning ka kalorifeeri küttevõimsus on väiksem kui möödaviiguklapiga lahenduse puhul.

Soojustagastite jäätumise tuvastamiseks tehti perioodil jaanuar kuni märts soojustagastite sissepuhke, väljatõmbe, õhuvõtu ja väljaviske poolel õhutemperatuuri, suhtelise niiskuse ja õhuvooluhulkade mõõtmised. Mõõtmistulemuste salvestusintervalliks valiti 1 minut. Mõõtmistulemuste alusel arvutati välja soojustagasti temperatuuri suhtarvud, sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade suhted ja väljaviskeõhu kastepunkti temperatuur.

Uuritud kortermajades oli tsentraalsete sissepuhke-väljatõmbesüsteemide puhul kaks erinevat tüüpi vastuvoolu plaatsoojustagastiga agregaat. Esimese grupi moodustasid ventilatsiooniagregaadid, millel eel- või järelküttekalorifeer puudus. Teise grupi kuulusid seadmed, millel oli elektriline eelsoojenduskalorifeer. Esimese grupi puhul toimus soojustagasti jäätumise vältimine ning jää sulatamine sissepuhkeõhu vooluhulga vähendamise kaudu. Ilma soojenduskalorifeerita vastuvoolu plaatsoojustagastiga ventilatsiooniseadmega ei ole võimalik tagada võrdseid sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkasid. Selleks, et vastuvooluplaadile tekkinud jääd sulatada, on vaja kas suurendada väljatõmbeõhu vooluhulka või vähendada sissepuhkeõhu vooluhulka. Nende lahenduste tulemusel suureneb aga õhuleke läbi piirdetarindite.

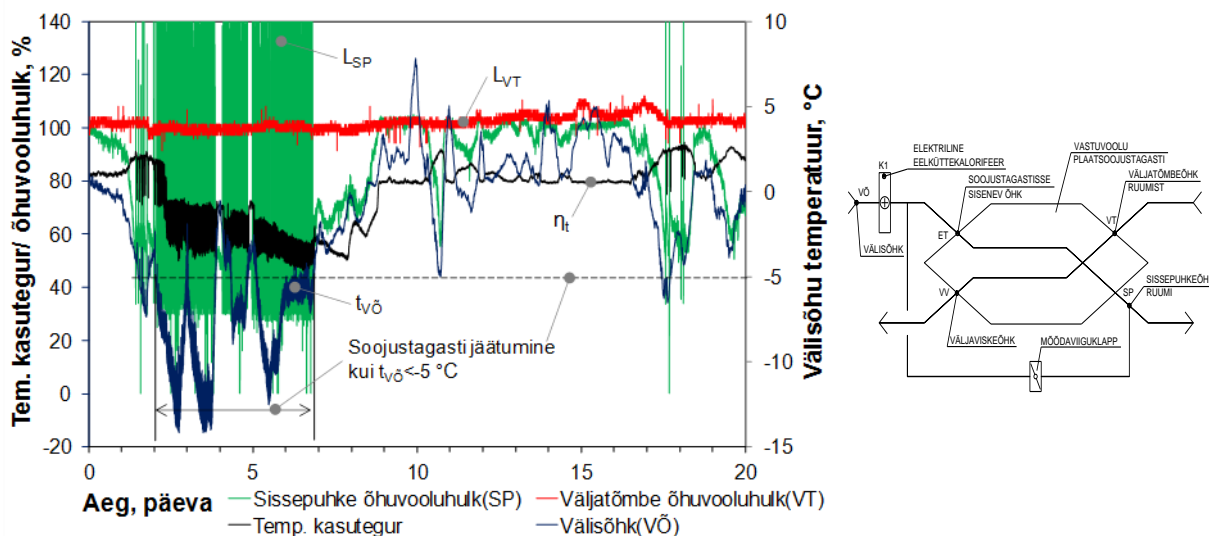
Ilma küttekalorifeerita ventilatsiooniseadme soojustagasti toimimist iseloomustab Joonis 4.2. Viidatud joonisel on ära toodud soojustagasti toimimine 20 päeva vältel välisõhu temperatuuride vahemikus  $-15\text{ °C}$  kuni  $+7\text{ °C}$ . Joonisel on välja toodud välisõhu temperatuur ( $t_{v\delta}$ ), sissepuhkeõhu temperatuur (SP), väljatõmbeõhu temperatuur enne soojustagastit (VT), väljaviskeõhu temperatuur pärast soojustagastit (VV) ja soojustagastisse siseneva väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuur ( $t_{VT, kp.}$ ). Kuna seadmel kalorifeerid puuduvad, siis on välisõhu temperatuur ( $t_{v\delta}$ ) võrdne temperatuuriga enne soojustagastit ( $t_{ET}$ ) ja sissepuhkeõhu temperatuur pärast soojustagastit ( $t_{SP}$ ) on võrdne seadmest ventilatsioonikanalitesse väljuva sissepuhkeõhu temperatuuriga. Selle seadme puhul on soojustagasti jäätumiskaitse lahendatud sissepuhkeõhu vooluhulga vähendamisega. Sellest hoolimata on näha, et alates välisõhu temperatuurist  $-5\text{ °C}$  langeb seadmest tuleva sissepuhkeõhu temperatuur märgatavalt. Samuti ilmneb joonisel, et jäätumisoht sõltub otseselt väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuurist. Jäätumisoht tekib juhul, kui kastepunkti temperatuur langeb külmumispiiri ( $0\text{ °C}$ ) lähedusse. Kuna plaatsoojustagasti pinnatemperatuur ei ole üle terve soojustagasti ühtlane, siis teatud tingimustes ning väga kõrge temperatuuri suhtarvu (uuritava seadmel 0,87) korral algab jäätmisrežiim temperatuurivahemikus 0 kuni  $-5\text{ °C}$ . Jäätmise puhul mängib olulist rolli ka väljatõmbeõhu niiskussisaldus, mis määrab koos temperatuuriparameetriga ära väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuuri.



Joonis 4.2 Ilma eelküttekalorifeerita vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuriparameetrid välisõhu temperatuuridel vahemikus  $-15\text{ °C}$  kuni  $+7\text{ °C}$

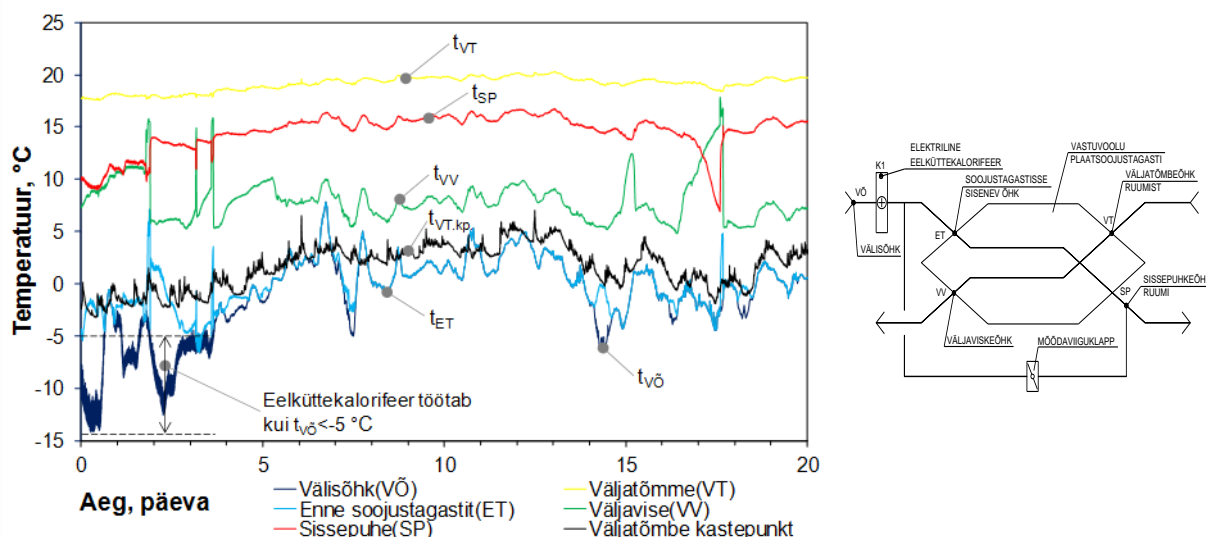
Soojustagasti temperatuuride analüüsimisel (Joonis 4.2) selgus, et ilma kalorifeerideta vastuvoolu plaatsoojustagasti toimimine alates välisõhu temperatuurist  $-5\text{ °C}$ , on jäätmise seisukohast igal juhul problemaatiline. Järgnevalt vaatleme uuritava soojustagasti jäätmisvastaseid meetmeid ning analüüsime neid täpsemalt. Joonis 4.3 on kujutatud seadme sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkasid ( $L_{SP}$  ja  $L_{VT}$ ) ning soojustagasti temperatuuri suhtarvu ( $\eta_t$ ) ja nende parameetrite sõltuvust välisõhu temperatuurist ( $t_{v\delta}$ ). Joonisel on toodud suhtelised õhuvooluhulgad, mille puhul 100% tähendab projektijärgset arvutuslikku õhuvooluhulka. Kui see väärtus on näiteks 50%, siis tagab ventilatsiooniseade projekteeritud sissepuhke või väljatõmbe õhuvooluhulgast vaid poole. Kui välisõhu temperatuur tõuseb üle  $0\text{ °C}$ , siis on sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad ligilähedased projekteeritule (100%). Välisõhu temperatuuri langedes alla  $0\text{ °C}$  hakkab sissepuhke õhuvooluhulk vähenema, kuni saavutab miinimumtaseme (ca 50% arvutuslikust õhuvooluhulgast). Temperatuuri tõustes hakkab sissepuhke õhuvooluhulk jällegi suurenema, kuni saavutab arvutusliku taseme ning sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad muutuvad ligikaudu võrdseks. Lisaks selgub joonisel ka asjaolu, et jäätmisrežiimi ajal lülitub sissepuhkeventilaator hetkeliselt maksimumkiirusele, saavutades õhuvooluhulga ca 140% maksimumist. Vaadeldes joonisel arvatud hetkelisi temperatuuri suhtarvusi, siis need jäävad tavarežiimis töötades vahemikku 0,8–0,9. Jäätmunud olekus ja jää sulatamise ajal on aga soojustagasti temperatuuri suhtarv oluliselt madalam, jäädes vahemikku 0,4–0,7. Lisaks

jäätmise aegsetele madalatele temperatuuri suhtarvudele, tuleb tähele panna ka asjaolu, et sissepuhke õhuvooluhulga vähendamisel muutub hoone alarõhuliseks ning suureneb infiltratsioon hoonesse läbi piirdetarindite.



Joonis 4.3 Ilma eelküttekalorifeerita vastuvoolu plaatsoojustagasti sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade ning temperatuurikasuteguri muutumine välisõhu temperatuuridel vahemikus  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Töö käigus vaadeldi detailsemalt ka eelküttekalorifeeriga ventilatsiooniseadmeid, mille puhul toimub jäätmise vältimine kahes etapis. Esmalt lülitub välisõhu temperatuuri langemisel alla  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sisse eelküttekalorifeer ning juhul kui eelküttekalorifeeri abist jääb jäätmise vältimiseks väheks, siis langetatakse ka sissepuhkeõhu vooluhulka. Kirjeldatud tüüpi vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuriparameetrite mõõtmistulemused on toodud Joonis 4.4.

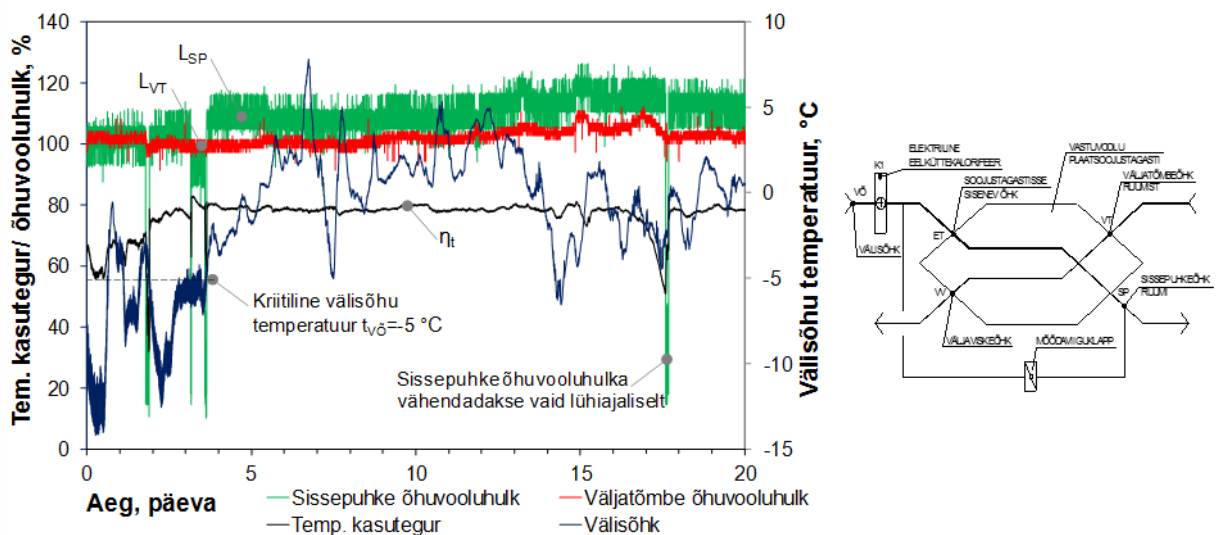


Joonis 4.4 Eelküttekalorifeeriga vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuriparameetrid välisõhu temperatuuridel  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Eraldi on välja toodud väljatõmbeõhu temperatuur enne soojustagastit ( $t_{VT}$ ), sissepuhkeõhu temperatuur pärast soojustagastit ( $t_{SP}$ ), väljavisketemperatuur ( $t_{VV}$ ), välisõhu temperatuur ( $t_{VÖ}$ ), õhutemperatuur pärast eelküttekalorifeeri, aga enne soojustagastit ( $t_{ET}$ ) ja väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuur ( $t_{VT.kp}$ ). Temperatuuriparameetrite analüüsimisel näeme, et antud lahenduse puhul ei lange sissepuhkeõhu temperatuur pärast soojustagastit oluliselt alla  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kuna vaadeldud eelküttekalorifeeri juhtimisühik toimib selle abil vaid jäätmise vältimine, siis on sissepuhkeõhu temperatuur hoonesse suhteliselt madal (ca  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ka temperatuurivahemikus  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  kuni  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lisapõhjuse madala sissepuhkeõhu

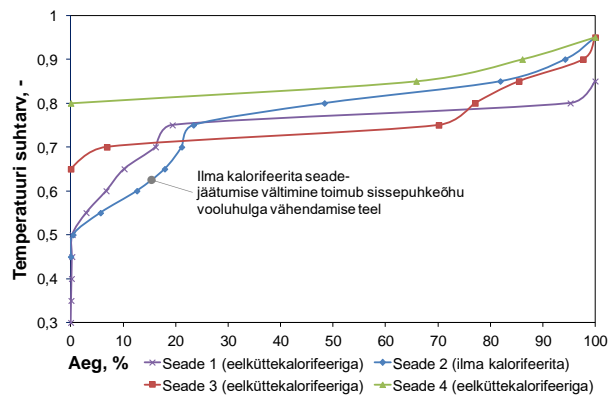
temperatuuri kujunemisel annab suhteliselt madal soojustagastisse jõudev väljatõmbeõhu temperatuur (ca 18 °C). Kokkuvõttes saab teha järelduse, et kirjeldatud viisil elektrilise eelküttekalorifeeri kasutamine aitab olulisel määral vältida vastuvoolu plaatsoojustagasti jäätumist. Samas väheneb soojustagasti temperatuuri suhtarv. Seega on eelküttekalorifeer põhimõtteliselt kasutatav jäätumise vältimiseks, kuid sissepuhkeõhu soojendamiseks tuleks siiski kasutada järelküttekalorifeeri.

Eelküttekalorifeeriga plaatsoojustagasti puhul analüüsiti ka soojustagasti jäätumise mõju seadme sissepuhkeõhu ja väljatõmbeõhu vooluhulkadele ( $L_{SP}$ ,  $L_{VT}$ ) ning soojustagasti temperatuuri suhtarvule ( $\eta_t$ ). Kui vaatlusperioodi algfaasis olid sissepuhkeõhu ja väljatõmbeõhu vooluhulgad tasakaalus ning ligilähedased projekteeritud arvutuslikule õhuvahetusele, siis perioodi lõpus (perioodi pikkus oli 20 päeva) on näha, et sissepuhkeõhu vooluhulk on väljatõmbeõhu vooluhulgast suurem. Tõenäoliselt on tegu seadme väljatõmbefiltrite mustumise mõjuga. Seadme töös esines jäätumise ajal lühiajaliselt ka perioode, kus sissepuhkeõhu vooluhulk langes oluliselt alla arvutusliku taseme. Samas olid need perioodid lühiajalised ning vooluhulkade vähenemise täpsemad põhjused jäävad selgusetuks. Soojustagasti temperatuuri suhtarv on tavarežiimis keskmiselt 0,8, kuid langeb jäätumise vältimise režiimis alla 0,6.



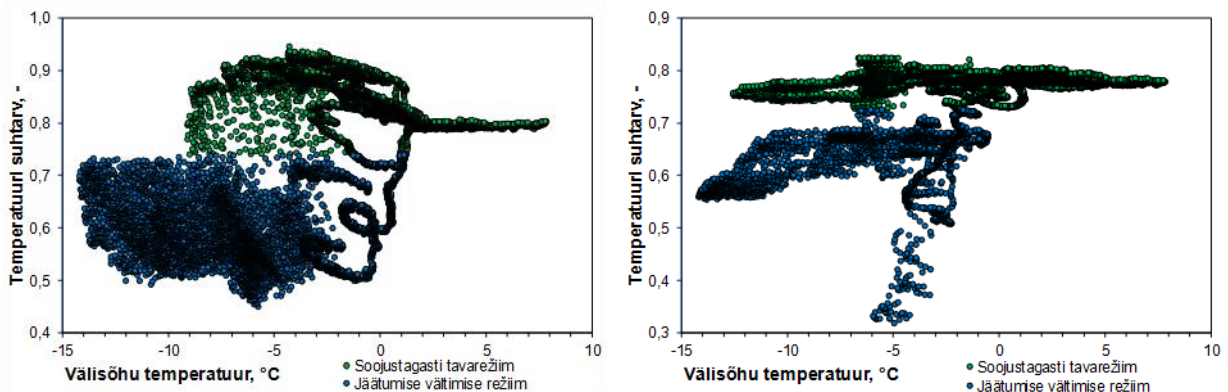
Joonis 4.5 Eelküttekalorifeeriga vastuvoolu plaatsoojustagasti sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade ning temperatuuri kasuteguri muutumine välisõhutemperatuuridel  $-15\text{ °C}$  kuni  $+7\text{ °C}$

Järgmisena vaadeldakse erinevate uuringus olnud ventilatsiooniagregaatide temperatuuri suhtarvude kestvuskõveraid (Joonis 4.6). Temperatuuri suhtarvud arutati soojustagastisse siseneva temperatuuri järgi, seega ei arvesta need eelküttekalorifeeris jäätumise vältimiseks kulunud elektrienergiat. Sõltuvalt välistemperatuurist vähendab eelküttekalorifeeri kasutamine näites toodud tehniliste andmetega soojustagasti temperatuuri suhtarvu kuni väärtuseni 0,5. Uuringu perioodil oli välisõhu keskmine temperatuur  $-1\text{ °C}$ . Selgub, et vastava perioodi temperatuuri suhtarvud varieeruvad sõltuvalt seadmest vahemikus 0,7–0,9. Soojustagastite jäätumise vältimise režiimil on temperatuuri suhtarvud vahemikus 0,5–0,7.



Joonis 4.6 Erinevate mõõdetud ventilatsioonigregaatide soojustagastite temperatuuri suhtarvude kestvuskõverad keskmisel välisõhu temperatuuril  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Eelnevast järeldub, et soojustagasti temperatuuri suhtarvu väärtus sõltub ka välisõhu temperatuurist ning seetõttu analüüsiti seda seost nii seadmete tavarežiimis kui ka jäätumise vältimise režiimis. Joonis 4.7 kirjeldabki ilma kalforifeerita (Joonis 4.7 vasakul) ja eelküttekalforifeeriga (Joonis 4.7 paremal) seadmete soojustagasti temperatuuri suhtarvude sõltuvust välisõhu temperatuurist. Eelküttekalforifeerita seade töötas jäätumise vältimise/jää sulatuse režiimis 30% mõõteperioodi ajast ning vastava perioodi keskmine temperatuuri suhtarv on 0,60. Tavarežiimis töötas seade järelikult 70% ajast ning selle perioodi keskmine temperatuuri suhtarv oli 0,85. Eelküttekalforifeeriga seade töötas jäätumise vältimise/jää sulatamise režiimis 12% seadme tööajast ning selle perioodi temperatuuri suhtarv oli 0,63. Tavarežiimis töötas seade 82% ajast ning selle perioodi keskmine temperatuuri suhtarvu väärtus oli 0,78.



Joonis 4.7 Vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuri suhtarvu sõltuvus välisõhu temperatuurist: ilma küttekalforifeerideta ventilatsiooniseade (vasakul) ja eelküttekalforifeeriga seade (paremal)

Seega on elektrilise eelsoojenduskalforifeeri kasutamine küll üks potentsiaalne võimalus seadme jäätumise lahendamiseks, kuid silmas tuleb pidada seda, et eelküttekalforifeeri kasutamise ajal langeb soojustagasti temperatuuri suhtarv. Joonis 4.5 toodud näite puhul juhiti elektrikalforifeeri väljundvõimsust jäätumise vältimiseks vajalikule reaalsele küttevajadusele. See moodus on võrreldes välisõhu temperatuuri järgi kalforifeeri töörežiimi juhtimisele efektiivsem. Uuringus oli ka hoone, kus elektrilise eelsoojenduskalforifeeri juhtimine toimus sisselülitus-väljalülitus põhimõttel ning väljundvõimsuse reguleerimine toimus vastavalt välisõhu temperatuurile. Sealjuures oli kontrollid seadistatud nii, et eelküte toimus kogu kütteperioodi vältel ning sissepuhkeõhu temperatuur hoonesse oli  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hoone elektrienergia tarbimisandmete analüüsist selgus, et hoone elektrikulu on selle asjaolu tõttu oluliselt suurem. Kui kasutada jäätumise vältimiseks elektrilisi eelküttekalforifeere, tuleb elektrikalforifeeri väljundvõimsust juhtida jäätumise vältimiseks vajalikule reaalsele küttevajadusele. Kui elektrikalforifeeri juhtimine toimub vastavalt välisõhu temperatuurile sisse/välja režiimis, suurendab see oluliselt hoone elektrienergia tarbimist ning langetab soojustagasti temperatuuri suhtarvu.

Soojustagastite jäätumise vältimiseks on kõige optimaalsem lahendus sektsioonide kaupa plaatsoojustagastite sulatamine või selle lahendusega tehnoloogiliselt samaväärse lahenduse kasutamine. Järelküttekalorifeeride paigaldamine on vältimatu ning sealjuures on kõige energiaefektiivsem kasutada vee baasil järelkütte kalorifeeridega ventilatsioonigregaatide. Juhul kui ventilatsiooniseade paikneb kütmata ruumis või välistingimustes, tuleb soojuskandjana kasutada näiteks etüleenglükooli vesilahust.

### 4.3 Ventilatsiooni toimivus hoonetes

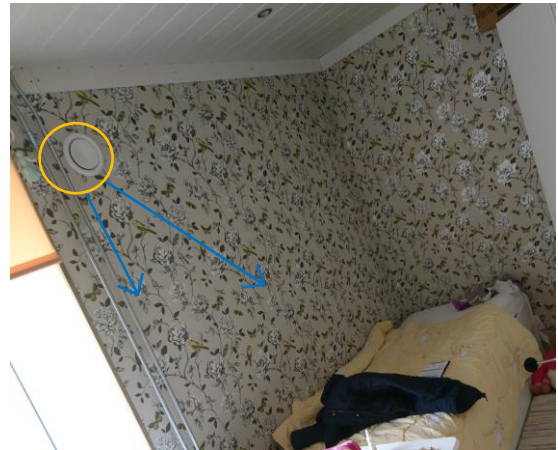
Ventilatsiooni toimivust ning erinevaid hoonetes kasutatud ventilatsiooni renoveerimise lahendusi analüüsid tuleb märkida, et võrreldes eelmisel toetusperioodil kasutatud lahendustega, on üldine olukord hoonetes muutunud oluliselt positiivsemaks. See väljendub eelkõige õhuvooluhulga ja CO<sub>2</sub> mõõtmistulemustes, aga ka süsteemide ehituskvaliteedis. Kasutatud lahenduste puhul ei ole enam toimunud massilist õhuvooluhulkade vähendamist. Eriti paistab see silma fassaaditaguste õhukanalitega soojustagastusega SP/VT-süsteemi puhul, kus paljudes korterites olid mõõdetud õhuvooluhulgad projekteeritule lähedased. Kui õhuvooluhulkasid ei ole massiliselt vähendatud, tähendab see seda, et süsteemid suudavad ka projekteeritud režiimil tagada eluruumides soojusliku mugavuse ja madala mürataseme.

Järgnevalt käsitletakse peamisi probleeme, mis ventilatsioonisüsteemide ülevaatuse käigus kõige enam silma jäid. Mitmes korteris elu- või magamistoas tekitas seinapealne sissepuhkeplafoon soojustagastusega SP/VT-süsteem puhul tuuletõmbust. Enamasti on probleem selles, et seinale on pandud tavalised sissepuhkeplafoonid, millel pole ka õhujoo suunajaid (Joonis 4.8). Kuna sissepuhkeplafoonidest puhub inimestele külma õhku peale, siis seetõttu on plafoonid kas kinni keeratud või kinni teibitud. Kõige teravamad probleemid sissepuhke õhujaoturist tuleva külma õhujooaga on üldjuhul siis, kui õhujaoturid on paigaldatud voodite, diivanite ja töölaudade kohale või radiaatori kõrvale seina alumisse ossa (Joonis 4.8 paremal). Seina peale paigaldatud plafoonid peavad andma õhujoo ruumi ülemisse ossa ja seetõttu on sellises kohas soovitatav kasutada spetsiaalseid seinapealseks paigalduseks mõeldud õhujaotureid. Osad tootjad pakuvad ka plafoone, mis on mõeldud nii seinale kui ka lakke paigaldamiseks. Ka sellisel juhul tuleb plafooni valikul olla hoolas, sest ilma õhujoo suunajateta plafoonid annavad ikkagi õhujoo ka ruumi alumisse ossa. Juba valmis ehitatud süsteemide puhul tasuks selle probleemi lahendamiseks plafoonidele paigaldada õhujoo suunajad.

Mõningatel juhtudel olid sissepuhke õhujaotajad paigaldatud välisseina alumisse ossa radiaatori kõrvale või akna alla (Joonis 4.8 vasakul). Selliselt kavandatud sissepuhkeplafoonid on lahendus, mida võiks kasutada vaid juhul, kui muul moel pole õhujaotajaid võimalik paigutada ning õhujaotajad on valitud nii, et õhujoo mõju viibimistsoonis on minimaalne. Sageli ei ole probleem mitte lubatud õhu liikumise kiiruses (peaks jääma alla 0,2 m/s), vaid hoopis sissepuhkeõhu temperatuuris. Juhul kui õhu temperatuur on madal, häirib inimesi ka madalam õhu liikumise kiirus. Nagu uuringust selgub, siis paljudel juhtudel kasutatakse eelküttekalorifeeri vaid soojustagasti jäätumise vältimise eesmärgil ja seetõttu tuleb arvestada sellega, et talvisel ajal on sissepuhkeõhu temperatuur ligikaudu 15 °C. Kokkuvõttes tuleb korteritesse sissepuhkeplafoonide valikul arvestada asjaoluga, et sissepuhkeõhu temperatuur võib talvel langeda projekteeritud madalamaks ning seetõttu tuleks inimeste viibimistsoonis kasutada seinapealse paigaldusega õhujaotajad ning paigaldada need nii, et õhujoo jõuaks esmalt ruumi kõrgemasse ossa, kus seguneb juba ülejäänud ruumiõhuga ning soojeneb.

Üheks probleemiks on ka korterite siseruumide vahelise siirdeõhu liikumine. Uuringu käigus külastatud hoonetes oli see läbivaks probleemiks (Joonis 4.9). Eriti tähtis on siirdeõhu liikumine mehaanilise väljatõmbesüsteemi puhul, kus lõppelemendid paiknevad köökides ja sanitaarruumides ning õhuvahetuse toimimiseks on vajalik väljatõmbeõhu kompenseerimine elu- ja magamistubadest. Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemide puhul antakse sissepuhkeõhk elu- ja magamistubadesse, kuid ka selle süsteemi puhul on vajalik tagada siirdeõhu liikumine, kuna üldjuhul toimub ka selle süsteemi puhul väljatõmme korteri sanitaarruumidest ja köögist. Siirdeõhu liikumine on võimalik tagada vastavate pilude tegemisega vaheustesse või tubadevaheliste siirdeõhurestide paigaldamisega.





Joonis 4.8 Sissepuhkeplafoon on paigaldatud välisseina alumisse ossa radiaatori kõrvale, kasutatud on ilma joasuunajata plafooni (vasakul). Ilma joasuunajata plafoon on paigaldatud lapse voodi kohale (paremal)



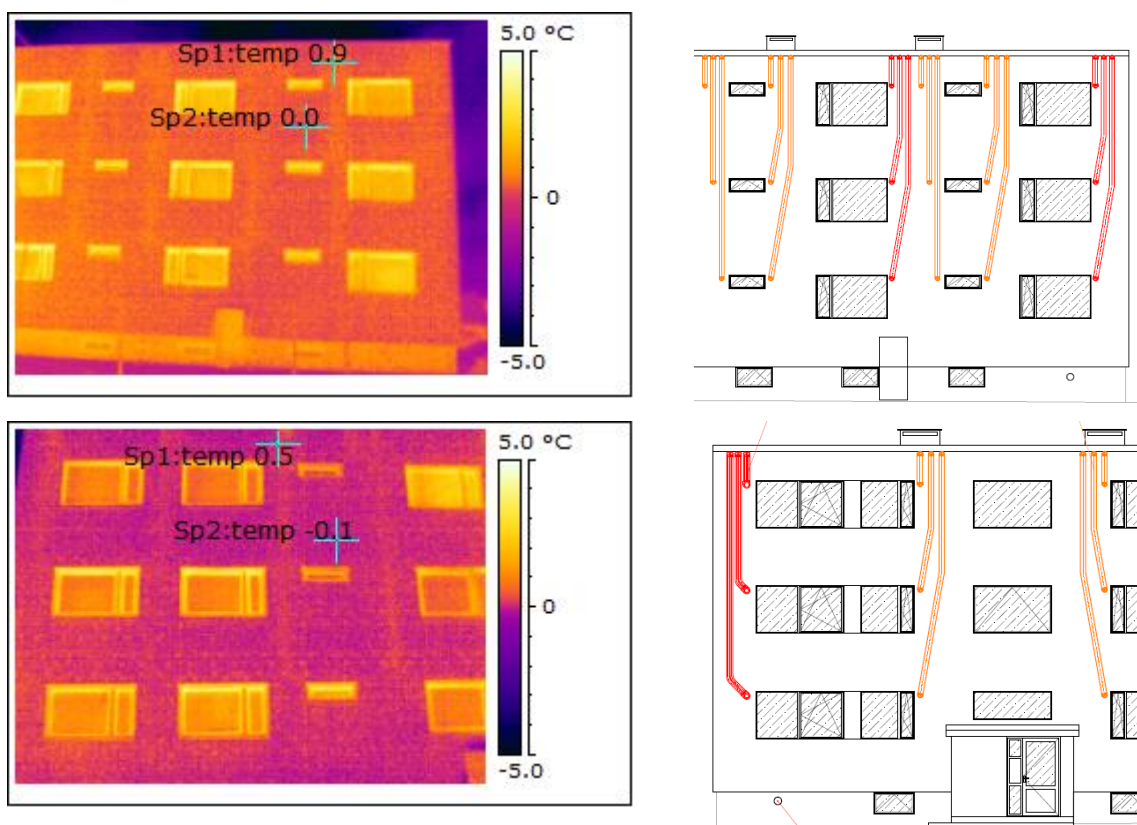
Joonis 4.9 Korterite erinevate tubade vahelised siseuksed (eriti köökidel ja sanitaarruumidel) on õhutihedad ja siirdeõhk ei saa ruumide vahel liikuda (vasakul). Otse voodi kohal paiknev õhusuunajata plafoon on kinni keeratud (paremal)

Kindlasti on vaja projektides näidata lahendus, kuidas vältida vastuvoolu plaatsoojustagasti jäätumist. Vastuvoolu plaatsoojustagasti puhul, mille temperatuuri suhtarv on 0,85–0,9, on see probleem ülimalt tõsine. Seega on projektis vaja kirjeldada, milline on konkreetne lahendus, et jäätumist ära hoida. Järelküttekalarifeeri valikul tuleb see dimensioneerida seadme tootja poolt ette antud jäätumise tingitud varuga. Lahendus, kus seadmel üldse puudub küttekalarifeer, ei ole sobiv, kuna sellisel juhul tuleb soojustagasti jäätumise vältimiseks sissepuhkeõhu vooluhulka oluliselt vähendada. See aga suurendab hoone infiltratsiooni õhuvooluhulka ja küttekulu. Kui projekti koosseisus ei ole lahendatud vastuvoolu plaatsoojustagasti jäätumist ning paigaldatud järelküttekalarifeere, siis langeb sissepuhkeõhu temperatuur jäätumise vältimise või sulatamise hetkedel oluliselt alla projekteeritud temperatuuri. Uuringus esitatud sissepuhkeõhu temperatuuri mõõtmised näitasid, et sissepuhkeõhu temperatuur langes jäätumise hetkel isegi kuni 5 kraadini. Kui soojustagasti jäätumise vältimiseks kasutatakse sissepuhkeõhu möödaviiguklapiga soojustagastist möödajuhtimist, siis tuleb küttekalarifeeri dimensioneerimisel selle olukorraga arvestada.

Müra tasemete mõõtmised näitavad, et tehnosüsteemide müra tasemega üldiselt väga suuri probleeme ei ole. Uuringu tulemustest selgub, et Kredexi nõuetes lubatud tehnosüsteemide müra taseme 25 dB(A) saavutamine pole uuringus vaadeldud ventilatsiooni renoveerimislahenduste puhul keeruline. Ventilatsioonisüsteemide projekteerimisel oleks kindlasti vaja senisest rohkem tähelepanu pöörata müraarvutustele. Objekti läbivaatlustel torkas silma, et müraprobleemid olid eelkõige ruumides, kus üritati lõppelemendi asendi abil ventilatsioonisüsteemi tasakaalustada. See tekitas olukorra, kus mitmed väljatõmbeplafoonid olid täiesti kinnises või sellele lähedases asendis. Selliste plafooni asendite puhul tõuseb müra taseme ruumides olulisel määral. Lahenduseks on reguleerklappide paigaldamine ventilatsioonitorustikele. Tuleb silmas pidada, et sissepuhke- või väljatõmbeplafoon ei ole kasutatav reguleerklapina. Selle abil on mõeldav teostada vaid mõningast täppisseadistust.

Paljudes vaadeldud objektide ventilatsiooni põhiprojektides olid mürasummutid summutuskarakteristikute tasemel spetsifitseerimata, mistõttu ei olnud võimalik tehtud arvutusi kontrollida. Mürasummutite valiku puhul ei piisa ainult ventilatsioonikanali ühenduste ja komponendi pikkuste väljatoomisest. Kindlasti tuleks kajastada ka konkreetse summuti sumbuvusnäitajaid. Samuti jäi objektidel silma suurte (magistraalkanalid > 315 mm) tsentraalsete ventilatsiooniagregaatide puhul agregaadi mürasummutamisel ümarate, ilma mürasummutavate lisaelementideta summutite kasutamine. Üldjuhul on aga suuremate süsteemide puhul otstarbekas kasutada kandilisi mürasummuteid, kuna nendega on võimalik agregaadi müra efektiivsemalt summutada. Kui kasutada ümarsummuteid, tuleb eelistada mürasummutava lisaelemendiga summuteid.

Välisseinte soojustusse paigaldatud ventilatsioonitorude soojuskadu on suurem, kui hoone sees paiknevatel ventilatsioonitorudel. Välisseinte soojustusse paigaldatud ventilatsioonitorude kohal on välisseina pinnatemperatuur 0,5–1 °C kõrgem (Joonis 4.10). See täiendav soojuskadu tuleb sisekliima ja energiatõhususarvutustes arvesse võtta.



Joonis 4.10 Välisseinte soojustusse paigaldatud ventilatsioonitorude kohal on välisseina pinnatemperatuur 0,5–1 °C kõrgem

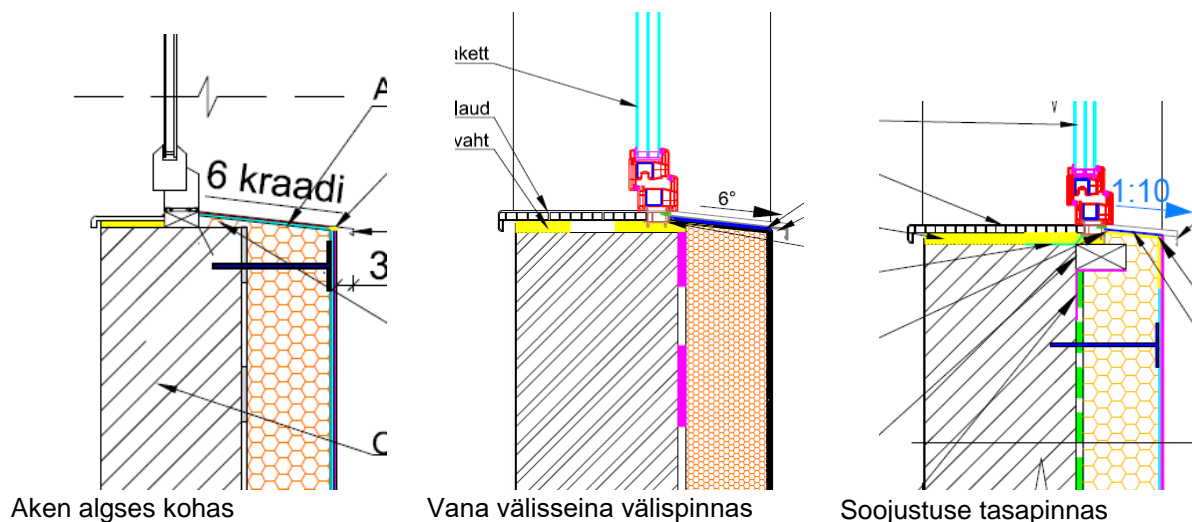


## 5 Akna-välisseina liitekohta soojuslik olukord

### 5.1 Sissejuhatus

Et võrrelda tulemusi projekti koosseisus esitatud joonkülmastilla lisajuhtivuse arvutuses toodud pinnatemperatuuridega, määrati sisekliimalogeritega korterites (41 korterit 15 hoones) infrapuna termograafia abil aken-välissein külmasilla temperatuurindeks.

Rekonstrueeritud korterelamute akna ja välisseina liitekohta võib lahendada kolme moodi (Joonis 5.1). Vasakpoolse ja keskmise sõlmelahenduse juures on suur oht külmasilla tekkimisele akna ja välisseina liitekohas.



Joonis 5.1 Uuritud korterelamute akna ja välisseina liitekohtade põhimõttelahendused

### 5.2 Meetodid

#### 5.2.1 Mõõtmised

Uurimistöös kasutati Thermocam B640 termokaamerat (mõõtevahemik  $-20\text{ °C} \dots +500\text{ °C}$ , mõõtetäpsus:  $\pm 2\text{ °C}$ ,  $\pm 2\%$ ). Termograafilised mõõtmised tehti korteri tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaaltingimustes). Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri erinevus keskmiselt 25 K.

Pinnatemperatuurid mõõdeti süstemaatiliselt viiest erinevast kohast:

- akna alumine nurk,
- akna alumine serv (liitumine aknalauaga),
- akna ülemine nurk,
- akna ülemine serv,
- akna külg.

#### 5.2.2 Külmasilla kriitilisuse hindamine

Külmasillast põhjustatud sisepinna madalama temperatuuri kriitilisuse taseme määrab sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe, e temperatuurindeks  $f_{Rsi}$ :

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} \quad (5.1)$$

kus:  $f_{Rsi}$  temperatuurindeks, -;  $t_{si}$  sisepinnatemperatuur, °C;  
 $t_i$  siseõhu temperatuur, °C;  $t_e$  välisõhu temperatuur, °C;

Termograafilise mõõdistamise ajal või temperatuurivälja arvutusega on võimalik kõik kolm temperatuuri ära mõõta või välja arvutada ja seejärel saab temperatuuriindeksi abil hinnata külmasilla kriitilisust.

Standardi EVS-EN ISO 13788:2012 rakendamisel hoonete projekteerimisel Eestis või Eestis olevate uute ja olemasolevate hoonete soojusliku kvaliteedi hindamisel kasutatakse Tabel 5.1 esitatud temperatuuriindeksi piirsuursi. Suurema niiskuskooormusega ruumidel (niiskusklassid 4 ja 5) tuleb aktsepteeritav temperatuuriindeks määrata eraldi, aga see ei või olla alla 0,8. Korterites tehtud sisekliimamõõtmiste järgi (Joonis 3.4) kuuluvad uuritud korterid niiskusklassi 3.

Tabel 5.1 Temperatuuriindeksite piirsuurused 3. niiskusklassi hoonete projekteerimise ja soojusliku kvaliteedi hindamisel

Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi,min}$		
Uued hooned ja rekonstrueeritud hooned	Piirdetarindite liitekohad üldiselt Enne 2000. aastat ehitatud või rekonstrueeritud hooned olemasoleva olukorra hindamiseks	Aknaraami, akna välisseina liitekoht
$\geq 0,8$	$\geq 0,8$	$\geq 0,7$

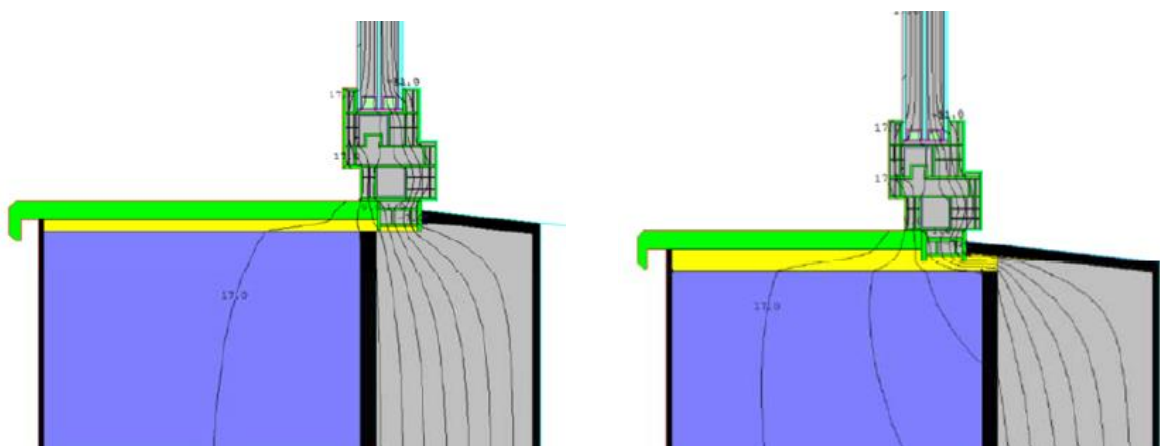
### 5.3 Tulemused

Termograafiliste mõõdistuste alusel arvutati välja uuritavate korterite aken/välissein piirdetarindi liitekohta temperatuuriindeks viiele sõlmpunktile (Tabel 5.2).

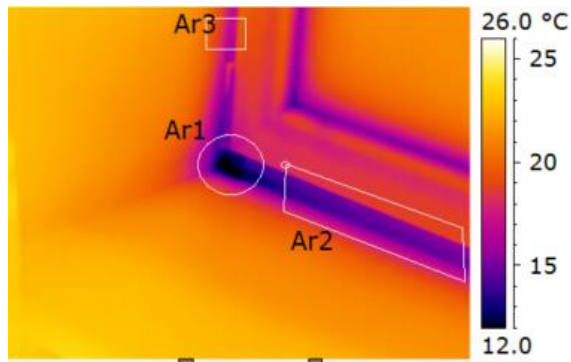
Tabel 5.2 Temperatuuriindeksite mõõtetulemuste kokkuvõte (kokku ~200 mõõtmist)

Akna paigaldus	Asukoht					
	Kõik kokku	Alumine nurk	Alumine serv	Külg	Ülemine nurk	Ülemine serv
Kõik kokku	0,72	0,59	0,63	0,76	0,76	0,8
Algses asukohas	0,71	0,58	0,62	0,75	0,75	0,8
Välisseina välispinnas	0,73	0,61	0,62	0,76	0,75	0,8
Soojustuse tasapinnas	0,73	0,60	0,64	0,76	0,76	0,8

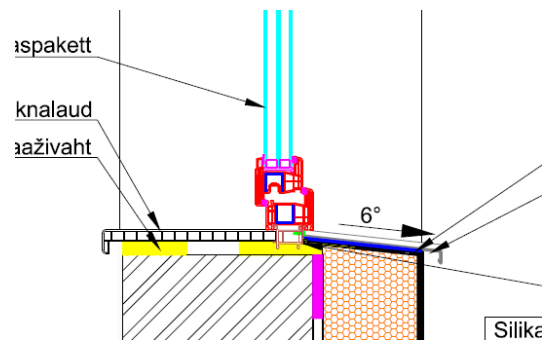
Akna paiknemine tema algses kohas põhjustab kõige suurema külmasilla akna ja välisseina liitekohas. Akna paiknemine soojustuse tasapinnas annab üldiselt parima tulemuse. Seda kinnitavad lisaks mõõtmistele (Joonis 5.3 ja Joonis 5.4) ka kahes projektis olnud temperatuurivälja arvutused (Joonis 5.2). Kõige probleemsem koht akna ja välisseina liitumisel on akna alumine osa. Tulemuste hajuvuse tõttu statistiliselt olulist erinevust erinevate alajaotuste vahel polnud.



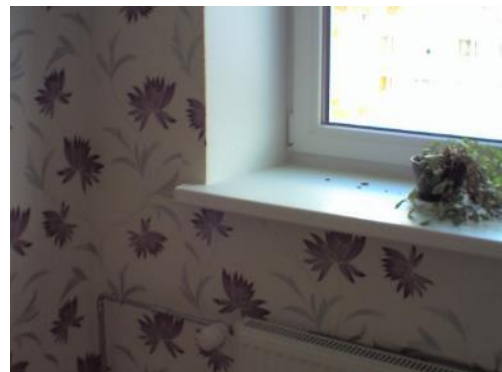
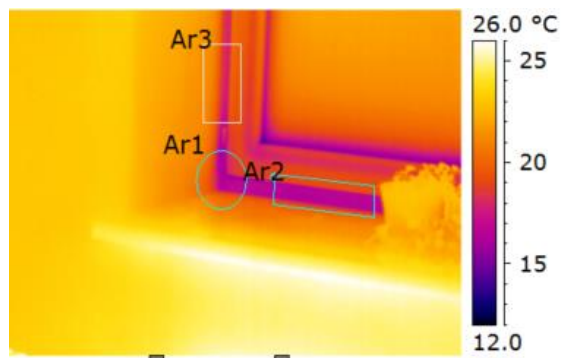
Joonis 5.2 Temperatuurivälja arvutuse abil saab juba projekteerimise staadiumis piirdetarindite liitekohtade soojuskaod läbi arvutada ja parima projektlahenduse välja töötada.



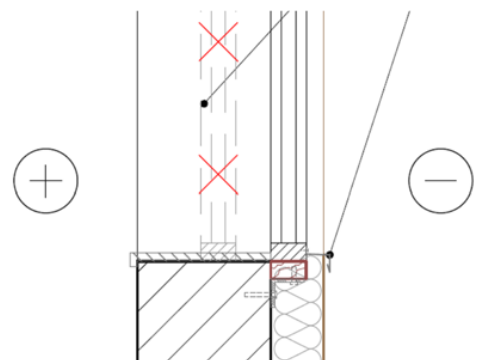
Sisetemperatuur	22,8 °C
Välis temperatuur	-3,8 °C
Ar1 min. temp.	10,7 °C
Ar2 min. temp.	14,4 °C
Ar3 min. temp.	16,1 °C
$f_{Rsi}$ Ar1 min. temp.	0,55
$f_{Rsi}$ Ar2 min. temp.	0,68
$f_{Rsi}$ Ar3 min. temp.	0,75



Joonis 5.3 Akna nihutamine olemasoleva välisseina välispinda ei likvideeri liitekohas tekkiivat külmasilda. Probleemseim tsoon on akna alumise osa ja välisseina liitekoht



Sisetemperatuur	22,7 °C
Välis temperatuur	-3,0 °C
Ar1 min. temp.	15,5 °C
Ar2 min. temp.	16,1 °C
Ar3 min. temp.	17,5 °C
$f_{Rsi}$ Ar1 min. temp.	0,72
$f_{Rsi}$ Ar2 min. temp.	0,74
$f_{Rsi}$ Ar3 min. temp.	0,80

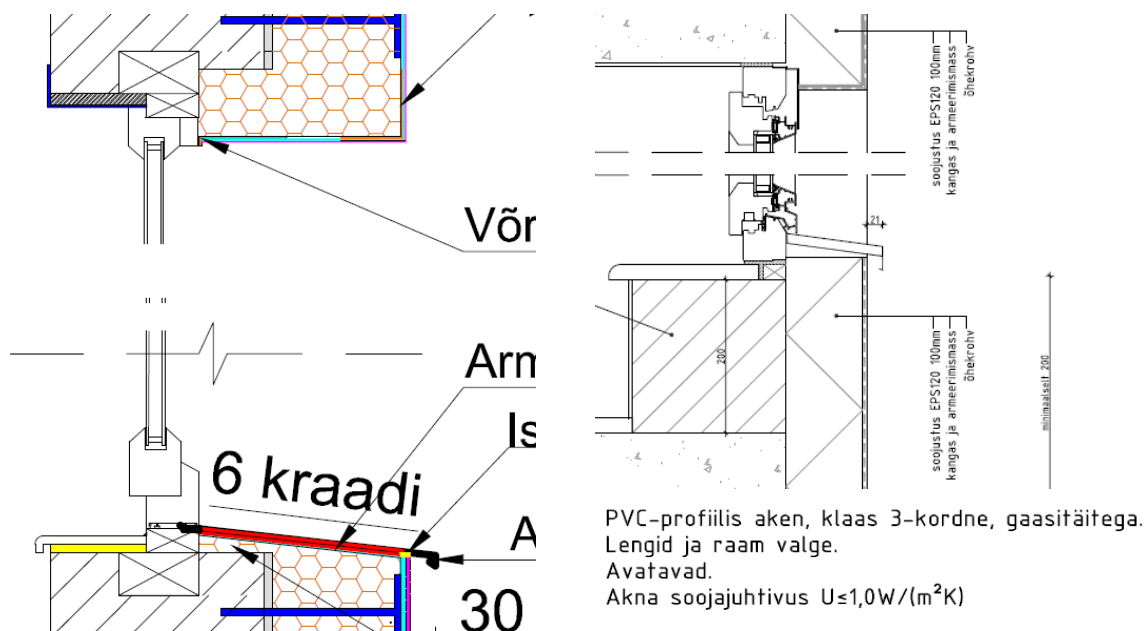


Joonis 5.4 Akna nihutamine välisseina soojustuse sisse loob suuremad eeldused akna ja välisseina liitekohas suurte külmasildade vältimiseks

Projektlahendus ei seleta kõiki termopiltidel olevaid madalaid temperatuure ja raporti koostamise ajal puudus info, kas tegelikult väljaehitatud lahendus vastas projektile või mitte. Soovitav on akna ja välisseina liitekohta uuringut jätkata, analüüsides tegelikud ehituslahendused ning eraldada hästitoimivad lahendused probleemsetest.

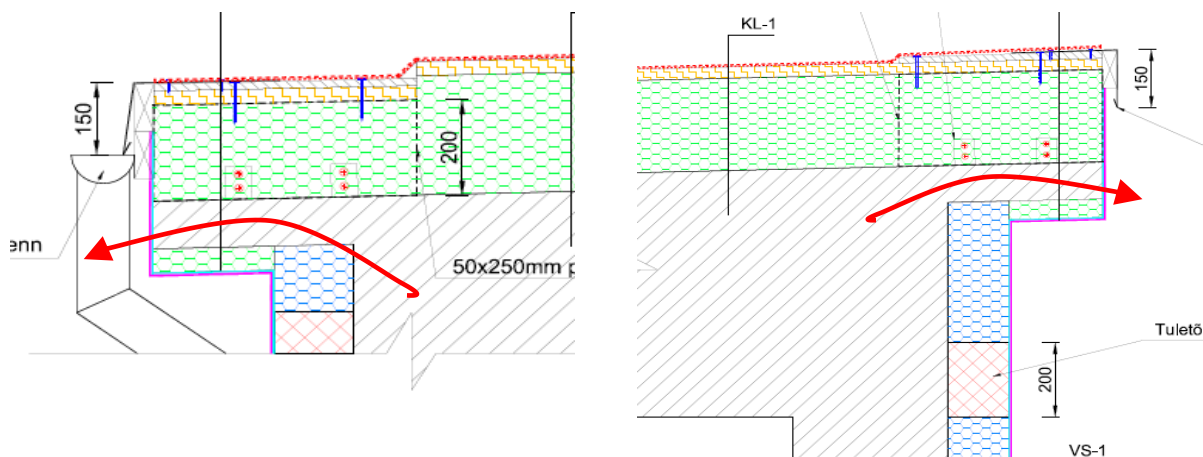
## 5.4 Akna välisseina liitekohtade projektlahenduste tähelepanekud

- Üks kriitilisim külmasild oli välisseina ja akna liitekohas. Järgmistes ehitusprojektides on vaja see sõlm oluliselt detailsemalt projekteerida. Ehitusprojekti sõlmedel tuleb kajastada neid aknatüüpe, mis on projekteeritud. Mõnes projektis oli kasutatud ebarealistlikke või projekteeritule mittevastavaid aknaprofiile (Joonis 5.5). Ehitusprojektis tuleb akna ja välisseina liitekoha lahendus kajastada senisest detailsemalt (M1:5 – 1:10) õigete aknaprofiilidega (plast või puit, õige profiili laius, õige klaaside arv klaaspaketis jne).



Joonis 5.5 Ebarealistlik aknaprofiil ei võimalda projekteerida korrektset akna ja välisseina liitekohta ega arvutada liitekoha joonsoojusläbivust ja temperatuurindeksit, samuti ei selgu aknapleki paigalduse põhimõttelahendus (vasakul). Vastuolu ehitusprojektiga: joonistel on puitalumiiniumaken, aga projekteeritud on plastprofiilidega aken (paremal)

- Tarindite liitekohtadesse on sisse jäetud külmasillad (Joonis 5.6).



Joonis 5.6 Vana räästas on jäetud otsest soojustamata

- Projektlahendus ei seleta kõiki termopiltidel olevaid madalaid temperatuure ja raporti koostamise ajal puudus info, kas tegelikult väljaehitatud lahendus vastas projektile või mitte. Soovitav on akna ja välisseina liitekoha uuringut jätkata, analüüsides tegelikud ehituslahendused ning eraldada hästitoimivad lahendused probleemsetest.

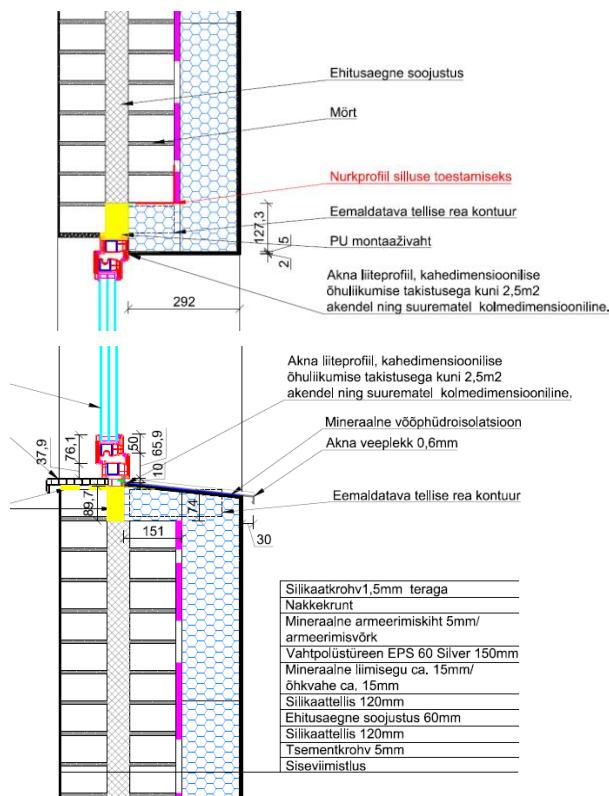


- Konstruksiooniliste probleemide pinnapealne arvestamine ja ehitusprojektis lahenduse andmata jätmine on suur viga. Pärast lisasoojustamist pole fassaad enam vaadeldav ega vajadusel tugevdatav. Kõik välisfassaadi tugevdustööd tuleb teha ära enne lisasoojustuse paigaldamist.



Joonis 5.7 Lõik seletuskirjast *Kolmandal korrusel esineb tellisemüüritise välimise kihi vajumist (vajalik lisaankurdamine või ümberladumine)* on liiga üldine ega kajasta probleemi olulisust. Iga kivi lisaankurduse asemel (vasakul) tuleb seiniosa lammutada (paremal) ja uuesti ehitada. Selline kirjeldus on eelprojekti tasemel, ei anna piisavat infot põhiprojekti otsuste tegemiseks, kuna erinevatel lahendustel on erinev maksumus ja teostuse aeg

- Ühe hoone renoveerimisel jäeti aknad tõstmata soojustuse kihti. Selle asemel lõigati akende ümbert tellis ära ja soojustati paled. Ehitusprojektis ei olnud selgitatud ei lammutus- ega tugevdustööd.



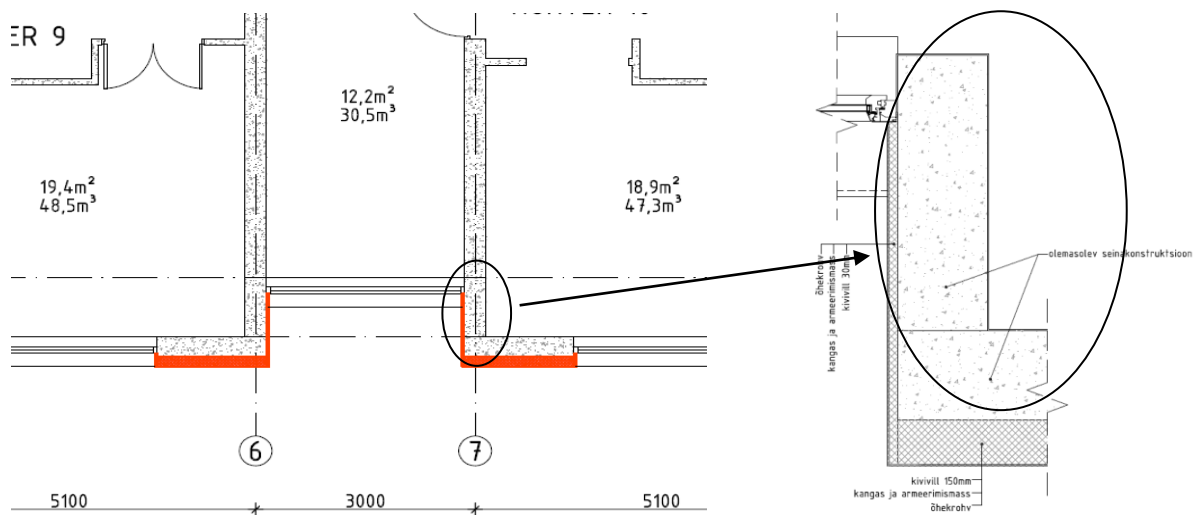
Joonis 5.8 Ehitusprojektist (vasakul) ei selgu uue silluse toetamise lahendus. Avatäidete ümbruse lõikamisega on välisseina kandevõime nõrgestatud (paremal)

## 6 Piirdetarindid

### 6.1 Piirdetarindite projektlahendused

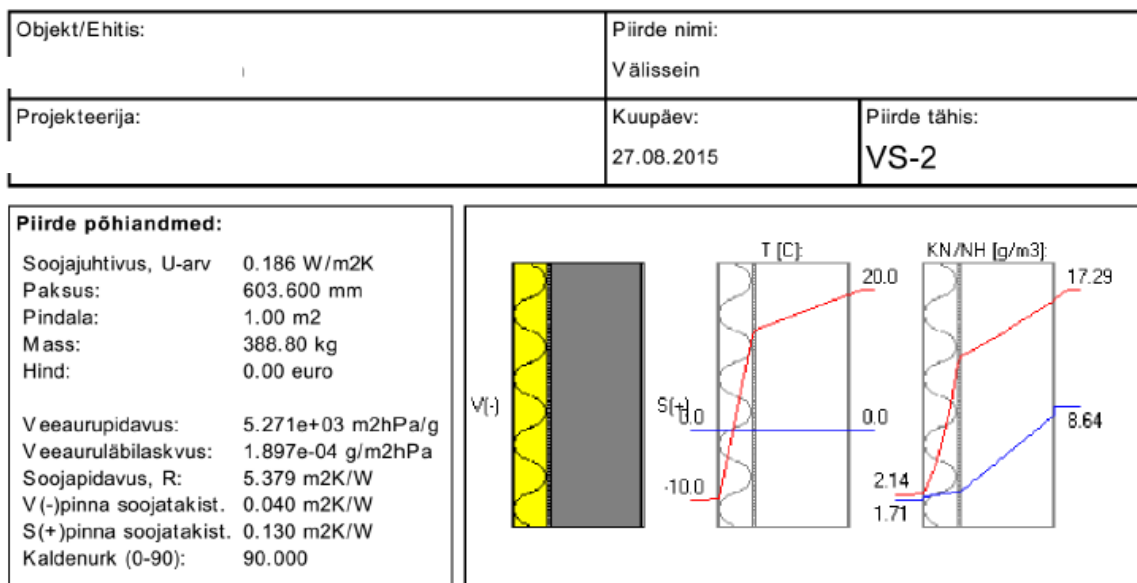
Hoonete renoveerimise ehitusprojektide arhitektuur-ehituslikke osasid läbi vaadates jäid silma järgmised asjaolud ning sellest tulenesid järgmised ettepanekud:

- Võrreldes varasemate aastatega oli ehitusprojektide kvaliteet üldiselt päris hea. See näitab, et ekspertiisi tegemine ehitusprojektidele on olnud igati põhjendatud ja head tagajärge tootnud tegevus.
- Silma paistis ka spetsialiseerumine: üks ettevõtte oli teinud renoveerimise ehitusprojektid pooltele uuringus olnud hoonetele ja teine veerandile. Kokku oli erinevaid projekteerijad viis.
- Analüüsitud ehitusprojektid olid põhiprojekti staadiumis. Põhiprojekt on liiga üldine staadium, et seda kasutada ehitamise aluseks. Korterühistud, omaniku järelevalve ja konsultandid peavad teadma, et ehitamise aluseks tuleb tellida tööprojekt. Kui tehakse ehitamise projekteerimise (tööprojekt) hange, siis peab enne ehitustööde tegemist olema tööprojekt olemas. Muidu ei ole ehitajal millegi alusel ehitada, ega järelevalvel millegi alusel kvaliteeti kontrollida.
- Käesolevas töös tehtud ehitusprojektide analüüs näitas, et hoonete küttenõude energiakasutus on tegelikkuses suurem, kui projektlahendus lubab oodata. Üheks peamiseks põhjuseks on, et hoone piirdetarindite soojuskao on tegelikkuses suuremad, kui arvutustes kasutatud. Välja võib tuua peamised kitsaskohad ning nendest ülesaamise ettepanekud:
  - Vanade vahetamata akende soojuslähivuse arvestamine ning kaalutud uute ja vanade akende keskmise soojuslähivuse leidmine. Edaspidi oleks vaja nõuda, et projektides on kirjeldatud, mis on vanade akende soojuslähivus ning nende osakaal kaalutud keskmise leidmisel.
  - Olemasoleva konstruktsiooni soojuslähivuse hindamine. Enne projekteerimist (ehitise audit) või projekteerimise käigus tuleb välja selgitada olemasolevate piirdetarindite materjalid, nende paksused ja omadused.
  - Piirdetarindite soojuslähivuse arvutamisel tuleb arvestada ka soojustuse paigaldamiseks kasutatavate ankrute, lisaroovidega ja muude soojustuste katkestustega. Edaspidi oleks vaja nõuda, et projektides on esitatud piirdetarindite soojuslähivuse arvutuste lähteandmed ja arvutustulemused.
  - Piirdetarindi liitekohtade joonsoojuslähivuste puhul tuleb tõdeda, et mitmel juhul polnud need määruse nõude kohaselt läbi arvutatud. Akende liitumisel välisseinaga oli kasutatud madalamaid väärtuseid kui määruse tabelväärtus, kuid projektides puudusid nende kohta tehtud arvutused, mille tõttu ei ole kasutatud väärtused usaldusväärsed. Ehitusprojektis tuleb esitada joonsoojuslähivuste arvutuse lähteandmed ja arvutustulemused. Tarindite liitekohta soojuslevi ja temperatuurijaotuse arvutusmeetodid on esitatud standardites EVS-EN ISO 10211, EVS-EN ISO 10077-2 ja ISO 15099. Kui projekteeritakse täpselt tüüptarindite ja tüüpsõlmede abil, mille kohta on usaldusväärsed soojuslikud andmed olemas, siis võib ka neid andmeid kasutada.
- Ühel hoonel olid osad välisseinad soojustatud vaid 3 cm paksuselt (Joonis 6.1) ning ühel hoonel oli selline sõlm lahendatud korrektselt aknaava natuke kitsamaks ehitamisega.



Joonis 6.1 Välisseina soojustust 3 cm on lubamatult vähe

- Mitmel hoonel oli välisseina niiskuslik toimivus arvatud vastavalt EVS EN 13788 standardile (DOF Therm arvutustarkvara, Joonis 6.2). Soojusjuhtivuse ja difusiooni alusel kriitilise niiskuse vältimine on küll piirdetarindi toimivuse esmane eeldus, kuid ei taga lõplikku toimivuse garantiid, kuna ei arvesta sademetega. EVS EN 13788 arvutusmeetod ei ole sobiv, kui eksisteerib vihmavee tarindisse sisse tungimise risk.



Joonis 6.2 Kuna EVS EN 13788 standard ei hõlma veeauru difusioonile teisi niiskusega seonduvaid aspekte, nagu sademevee tarindisse tungimine, pole see piisav piirdetarindi niiskusliku toimivuse hindamiseks (eriti krohvitud soojustussüsteemi puhul)



## 6.2 Piirdetarindite arvutuste lähteandmete ja arvutustulemuste esitamine

Tulenevalt ehitusprojektides esinenud puudustest piirdetarindite soojuskadude arvutuses, on vaja nõuda ehitusprojektides arvutuste lähteandmete ja tulemuste esitamist (nagu esitatakse ka energiaarvutuste lähteandmed ja arvutustulemused) vähemalt järgmises mahus:

- materjalide soojuserijuhtivus  $\lambda$ , W/(m·K);
- piirdetarindite soojusläbivus  $U$ , W/(m<sup>2</sup>·K);
- piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivus  $\Psi$ , W/(m·K) ja soojustuste katkestuste ning läbiviikude punktsoojusläbivus  $\chi$ , W/K;
- temperatuuriindeks  $f_{Rsi}$ .

### 6.2.1 Materjalide soojuserijuhtivus

Hoone ehitusprojektis esitatakse projektlahenduses kasutatud materjalide soojuslikud väärtused tabelis 6.1. Tulpadesse kirjutatakse tootestandardile vastavad väärtused, kui need on kättesaadavad, vastasel juhul kasutatakse standardile ISO 10456 vastavaid väärtusi.

Samuti esitatakse ehitusprojektis materjalide soojuslike omaduste arvutamise teised lähteandmed ja eeldused (temperatuur, niiskus jne) arusaadaval kujul.

Tabel 6.1 Ehitusprojektis kasutatud materjalide soojuserijuhtivuse ja soojustakistuse väärtused (tabeli ridu võib lisada vastavalt vajadusele)

Materjal	Deklareeritud soojuserijuhtivus $\lambda_D$ , W/(mK)	Deklareeritud soojustakistus $R_D$ , m <sup>2</sup> K/W	Arvutuslik soojuserijuhtivus $\lambda_U$ , W/(mK)	Arvutuslik soojustakistus $R_U$ , m <sup>2</sup> K/W

### 6.2.2 Piirdetarindite soojusläbivus

#### Õhuga kontaktis olevad piirdetarindid

Välisõhuga kontaktis olevate piirdetarindite kaupa esitatakse järgmised lähteandmed:

- EVS EN ISO 9646 kohane arvutusmeetod (detailne arvutus või lihtsustatud arvutus);
- sise- ja välispinna soojustakistused  $R_{si}$ , m<sup>2</sup>·K/W ja  $R_{se}$ , m<sup>2</sup>·K/W;
- materjalikihi paksus  $d$ , m;
- materjali arvutuslik soojuserijuhtivus  $\lambda_U$ , W/(mK) või kihi arvutuslik soojustakistus  $R_U$ , m<sup>2</sup>K/W;
- kütmata ruumide soojustakistus  $R_{nh}$ , m<sup>2</sup>·K/W;
- tuulduva õhukihi soojustakistus  $R_{nve}$ , m<sup>2</sup>·K/W;
- tuuldumatu õhukihi soojustakistus  $R_{nve}$ , m<sup>2</sup>·K/W;
- kogusoojustakistus  $R_{tot}$ , m<sup>2</sup>·K/W (soojuslikult mittehomogeensel piirdetarindil ka soojustakistuse ülemine piirväärtus  $R_{tot.upper}$ , m<sup>2</sup>·K/W ja alumine piirväärtus  $R_{tot.lower}$ , m<sup>2</sup>·K/W);
- suhteline arvutusviga;
- piirdetarindi korrigeeritud soojusläbivus  $U_c$ , W/(m<sup>2</sup>·K), sh parandustegurid:
  - õhupiludest tingitud parandus  $\Delta U_g$ , W/(m<sup>2</sup>·K),
  - mehaanilistest kinnititest tingitud parandus  $\Delta U_f$ , W/(m<sup>2</sup>·K),
  - soojustuse sisese mikrokonveksioonist tingitud parandus  $\Delta U_a$ , W/(m<sup>2</sup>·K),
  - pööratud katusest tingitud parandus  $\Delta U_r$ , W/(m<sup>2</sup>·K).

Samuti esitatakse ehitusprojektis tarindite soojuslike omaduste arvutamise teised lähteandmed ja eeldused (soojustuse paigaldustase, kaitseaste, sademed (pööratud katuse arvutusel oluline info), mittehomogeense tarindi soojustuste katkestuste samm jne).

## Pinnasega kontaktis olevad piirdetarindid

Pinnasega kontaktis olevate piirdetarindite kaupa esitatakse järgmised lähteandmed:

- piirdetarindi tüüp ja sellele vastav soojuslähivus:
  - pörand pinnasel,
  - pörand välisõhu kohal (ka alttuulutav pörand),
  - köetav kelder,
  - keldripörand,
  - keldriseinad,
  - kütmata kelder,
  - osaliselt köetav kelder;
- pöranda tunnusmõõde  $B'$ , m;
- pörandate võrdväärne paksus  $d_t$ , m;
- maapinnast allpool asuvate keldriseinte võrdväärne paksus  $d_w$ , m;
- välisseinte paksus  $w$ , m;
- õhkvahe põhjas asuva isolatsioonikihi soojuslähivus  $U_g$ , W/(m<sup>2</sup>·K);
- võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel, mis tuleneb soojusvoost läbi õhkvahe seinte ning õhkvahe tuulutamist  $U_x$ , W/(m<sup>2</sup>·K);
- väliskeskkonna ja keldri vahelise pörandi soojusjuhtivus  $U_f$ , W/(m<sup>2</sup>·K);
- keldriseinte soojusjuhtivus maapinnast kõrgemal  $U_w$ , W/(m<sup>2</sup>·K);
- keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta  $n$ , h<sup>-1</sup>;
- keldri sisekubatuur  $V$ , m<sup>3</sup>
- ja muud kasutatud lähteandmed.

### 6.2.3 Akna, ukse, luugi vms soojuslähivus

Akna, ukse ja luugi soojuslähivusena  $U_a$  (W/(m<sup>2</sup>·K)) kasutatakse tootja andmeid vastavalt konkreetsele tootele. Kuna erineva geomeetriaga avatäidetel on erinev soojuslähivus, siis tuleb iga avatäite soojuslähivus eraldi esitada.

Andmete puudumisel arvestatakse soojuslähivus detailse arvutusega, mis on nõuetekohane, kui see vastab standarditele (näiteks EVS-EN ISO 10077 või EVS-EN ISO 15099), või järgmise lihtsustatud valemiga:

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k}{A_k + A_r + A_p}, \quad (6.1)$$

kus:

- $U_k$  klaasiosa soojuslähivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- $A_k$  klaasiosa pindala, m<sup>2</sup>;
- $U_f$  lengi- ja raamiosa soojuslähivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- $A_r$  lengi- ja raamiosa pindala, m<sup>2</sup>;
- $U_p$  läbipaistmatu kilbi- või paneeliosa soojuslähivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- $A_p$  läbipaistmatu kilbi- või paneeliosa pindala, m<sup>2</sup>;
- $\Psi_k$  klaasiserva ja/või kilbi- või paneeliserava (nähtava klaasiserva ja/või kilbi- või paneeliserava suurim perimeeter) joonsoojuslähivus, W/(m·K);
- $l_k$  klaasiserva perimeetri pikkus, m.

Ehitusprojekti esitatakse lähteandmed ja tulemused tabeli kujul.

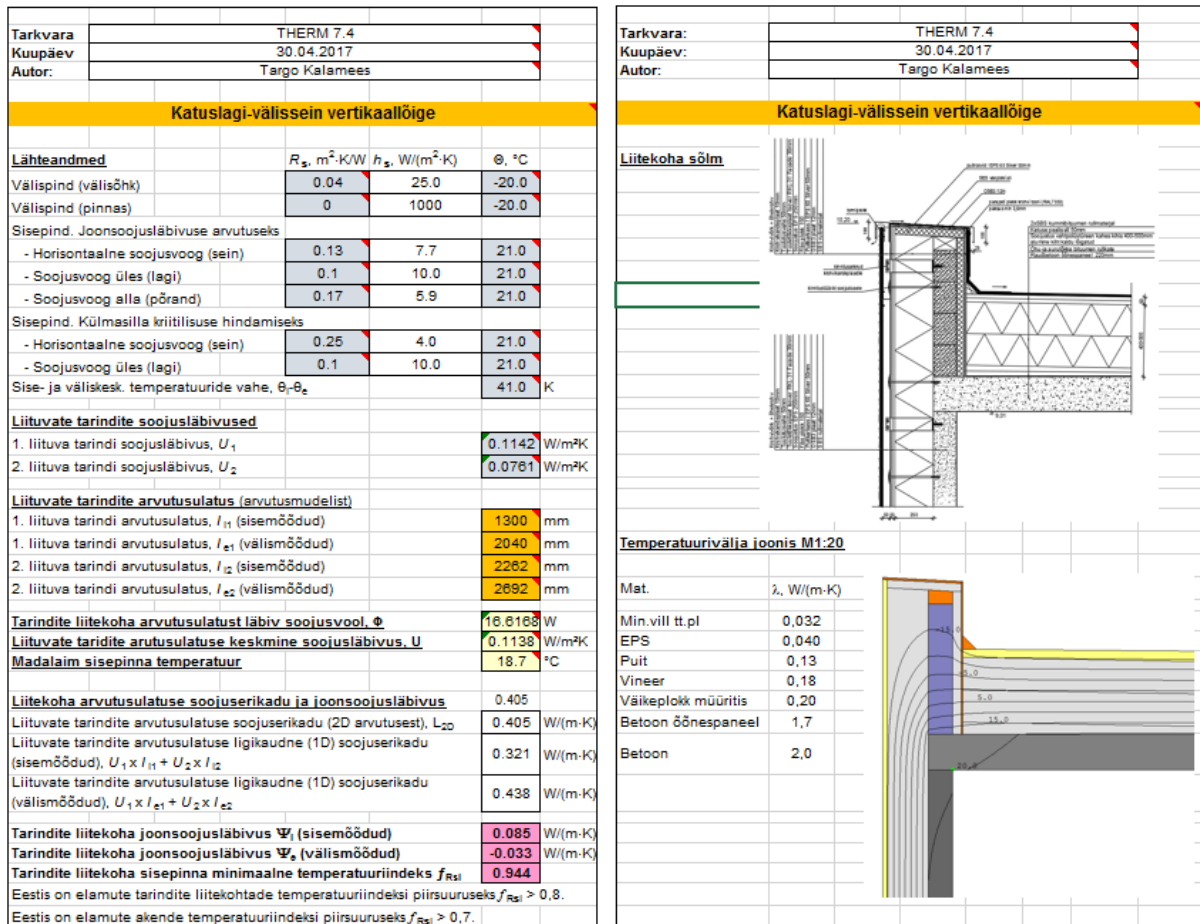
Tabel 6.2 Ehitusprojekti avatäidetel soojuslähivuse arvutuse lähteandmed ja tulemused (tabeli ridu võib lisada vastavalt vajadusele)

Avatäite nr	Lähteandmed								Tulemus $U_a$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)
	$U_k$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)	$A_k$ , m <sup>2</sup>	$U_f$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)	$A_r$ , m <sup>2</sup>	$U_p$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)	$A_p$ , m <sup>2</sup>	$\Psi_k$ , W/(m·K)	$l_k$ , m	

## 6.2.4 Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuse ja soojustuse katkestuste ja lähiviikude punktsoojuslähivused

Energiaühuse arvutustes kasutatud joonsoojuslähivuse ja punktsoojuslähivuste väärtused esitatakse ehitusprojekti vastavalt joonisele Joonis 6.3.

Kui projekteeritakse tööprojektist üldisemat staadiumi (eelprojekt või põhiprojekt), kirjeldatakse projektlahenduse elemendid tehniliste omaduste alusel, mis jäävad hilisemates projekteerimisstaadiumites lõpliku valiku aluseks. Projektlahendus on võimalik korralikult joonestada ja ehituslahendus tekstiliselt kirjeldada vaid siis, kui võetakse aluseks ehitamisel realselt kasutatavate toodete joonised (näiteks realsed aknaprofiilid). Ainult sel juhul on ehitajal selline projekt, mille järgi ehitada, ja järelevalvel, mille alusel tulemuse kvaliteeti kontrollida. Tarindite liitekohta joonise sobiv mõõtkava on M1:10 või M1:5.

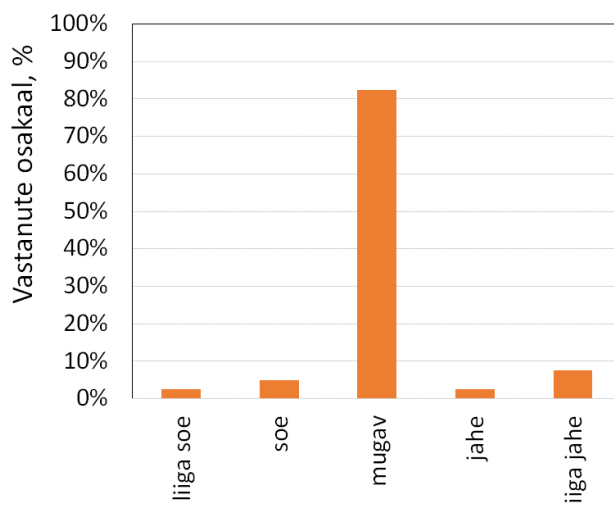


Joonis 6.3 Energiaühuse arvutustes kasutatud joonsoojuslähivuse arvutuse lähteandmete ja tulemuste esitusvorm

## 7 Korterelamute elanike ankeetküsitluse analüüs

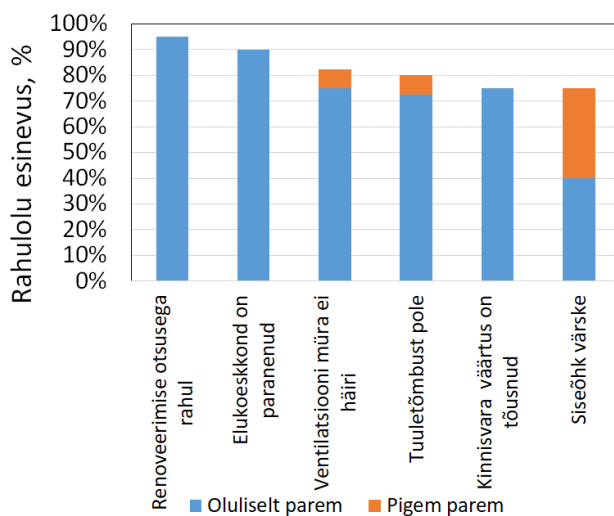
Kõikides korterites, kus toimusid sisekliima mõõtmised, viidi läbi ankeetküsitlus, mille eesmärgiks oli selgitada välja korteri elanike rahulolu sisekliimaga ning rekonstrueerimise tulemusega. Lisaks küsiti inimestelt ka sisekliima analüüsi jaoks täpsustavaid küsimusi, mis võimaldaksid analüüsi tulemusi täpsemalt hinnata. Kokku viidi küsitlus läbi 40 korteris.

Ruumiõhu temperatuuriga rahulolu on inimestel hea. Joonis 7.1 alusel saab öelda, et üle 80% elanikest on ruumide siseõhu temperatuuriga rahul. Elanikud töid rahulolu põhjendades eraldi välja ka asjaolu, et pärast renoveerimist on võimalik, võrreldes varasemaga, temperatuuri endale sobivaks reguleerida. Liialt jahedaks pidasid ruumiõhu temperatuuri kolme korteri elanikud, kes hindasid temperatuuri liialt jahedaks seoses peale puhuva jaheda ventilatsiooniõhuga. Samades korterites hinnati ka sissepuhke õhutemperatuuri liialt jahedaks.



Joonis 7.1 Elanike hinnangud korteri soojuslikule mugavusele

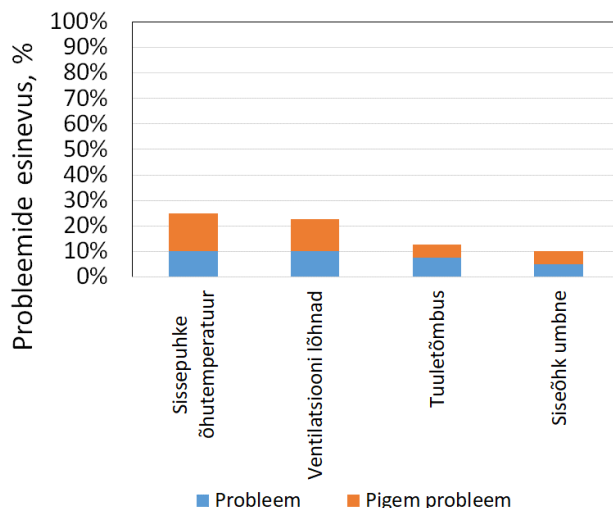
Rekonstrueerimise kõige positiivsema asjana toovad elanikud välja selle, et rekonstrueerimine ette võeti, ainult üks vastanutest jäi erapooletuks (Joonis 7.2). Samuti hindas enamik vastanutest, et pärast rekonstrueerimist on nende elukeskkond paranenud. Peamise komponendina toodi välja just hoone välimuse paranemist, värskeemat siseõhku ning temperatuuri reguleerimise võimalust enda mugavuse järgi.



Joonis 7.2 Uuringus osalenud korterite elanike peamised rahulolu põhjused

Võrreldes varasemate uuringutega hindavad üle 70% küsitlute end nende korteri siseõhku värskeks või pigem värskeks ning sellega ei kaasne tuuletõmbust ega müra. Ventilatsioonimüra häiris vaid ühte küsitlute. Samuti arvab enamik küsitlute, et pärast renoveerimist on nende kinnisvara hind tõusnud.

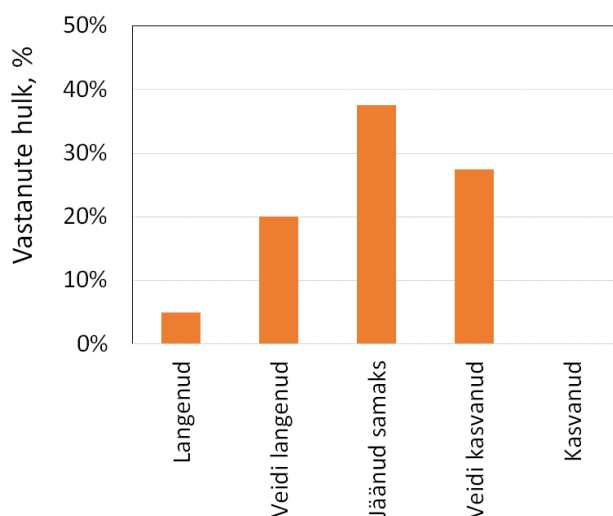
Joonis 7.3 näeme, et kõige enam häirib elanikke jahe sissepuhkeõhu temperatuur. Seda pidas probleemiks või pigem probleemiks 25% küsitlute. Probleeme esines nii mehaanilise sissepuhkeõhuga ventilatsioonisüsteemiga kui ka värskeõhuklappidega varustatud korterites. Ventilatsiooni kaudu levivat lõhna pidasid probleemiks elanikud, kelle korteritest läks läbi väljatõmbeventilatsiooni ühiskanal.



Joonis 7.3 Uuringus osalenud korterite elanike peamised murekohad

Kokkuvõtvalt olid kõik küsitlute vähem või rohkem rekonstrueerimistulemustega rahul. Kui uuriti, mida oleks võinud teha paremini, siis enamik ei osanud sellele küsimusele vastata ega midagi välja tuua. Renoveerimistöde puudustena loetleti kuuel korral akende paigaldamise hooletust ning viiel korral ei pakkunud täit rahuldust trepikojaremont. Samuti nähti, et renoveerimise käigus oleks võinud korda teha ka hoone keldri ja hoovi. Paar küsitlute töid välja ka selle, et ventilatsiooni sissepuhe oleks võinud teha selliselt, et see ruumis viibivatele inimestele peale ei puhuks.

Küsitlute tulemuste alusel hindas 38% vastanutest, et renoveerimise järgselt on nende kulud jäänud renoveerimiseelsele tasemele (Joonis 7.4). Kulude mõningast tõusu tõi välja 27,5% vastanutest, kuid samas kõik nendest lisasid, et kulude tõus ei ole tuntav ning ei kaalu üles renoveerimise tulemustest saadud positiivsust.



Joonis 7.4 Hinnanguline kommunaalkulude muutus võrreldes renoveerimiseelse olukorraga