



1918

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

KESKKONNATEHNIKA INSTITUUT

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

### **Lõpparuanne**

TTÜ keskkonnatehnika instituudi direktor Enn Loigu.....31.03.2014  
TTÜ kütte ja ventilatsiooni õpetooli professor Teet-Andrus Kõiv .....31.03.2014

Autorid: Teet-Andrus Kõiv, Anti Hamburg, Alo Mikola, Martin Kiil, Andres Tukia, Tõnis Rohula, Gert Silm, Ülar Palmiste

Tallinn 2014

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

## 1. Sisukord

<b>1. Sisukord</b>	<b>2</b>
<b>2. Sissejuhatus</b>	<b>4</b>
2.1 Objektide valimi kirjeldus	4
2.2 Uuringu kirjeldus	5
<b>3. Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima andmete analüüs</b>	<b>6</b>
3.1 Meetodid	6
3.1.1 Hoonete sisekliima parameetrid	6
3.1.2 Ruumiõhu soojuslik ja niiskuslik olukord	7
3.1.3 Sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse hindamiskriteeriumid	9
3.2 Korterite siseõhutemperatuuride analüüs	10
3.3 Korterite suhtelise õhuniiskuse analüüs	12
3.4 Korterite süsihappegaasi kontsentratsiooni analüüs	13
<b>4. Renoveeritud korterelamute korterite õhuvahetuse analüüs</b>	<b>18</b>
<b>5. Korteriomanike ankeetküsitlus</b>	<b>24</b>
5.1 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid	24
5.2 Elanike hinnang sisekliimale	25
5.3 Soojusliku mugavus korterites	27
5.4 Kokkuvõtte küsitlustulemustes	28
<b>6. Objektide energiatõhususe analüüs</b>	<b>29</b>
6.1 15% toetust saanud hoonete energiatõhususe analüüs	30
6.1.2 Hoone 1.2	31
6.1.3 Hoone 1.3	32
6.1.4 Hoone 1.4	33
6.1.5 Hoone 1.5	33
6.1.6 Kokkuvõtte 15% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisele	34
6.2 25% toetust saanud objektide energiatõhususe analüüs	34
6.2.1 Hoone 2.1	35
6.2.2 Hoone 2.2	35
6.2.3 Hoone 2.3	36
6.2.4 Hoone 2.4	36
6.2.5 Hoone 2.5	37
6.2.6 Kokkuvõtte 25% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisest	37
6.3 35% toetust saanud objektide energiatõhususe analüüs	38
6.3.1 Hoone 3.1	38
6.3.2 Hoone 3.2	39
6.3.3 Hoone 3.3	39
6.3.4 Hoone 3.4	40
6.3.5 Hoone 3.5	40
6.3.6 Hoone 3.6	41
6.3.7 Hoone 3.7	42
6.3.8 Hoone 3.8	42

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

6.3.9	Hoone 3.9	43
6.3.10	Hoone 3.10	43
6.3.11	Kokkuvõte 35% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisele	44
<b>6.4</b>	<b>Energiatõhususe analüüsi tulemused</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>Järeldused</b>	<b>50</b>
7.1	Energiaauditi kvaliteet ja tellija teadlikkus	50
7.2	Energiaauditi lisa	51
7.3	Renoveerimisprojekt ja selle kvaliteet	52
7.4	Renoveerimislahenduste puudused	52
7.4.1	Küttesüsteemi renoveerimisega saavutatav energia kokkuhoid	53
7.4.2	Regeneratiivse soojustagastitega varustatud ruumipõhiste ventilatsiooniseadmete kasutamine renoveerimislahendusena	53
7.4.3	Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi lahenduse puudused	53
7.4.4	Hallituse tekke põhjuste lahendamata jätmine	54
7.4.5	Sooja tarbevee tsirkulatsioon ja soojusvõrgu kaod	54
7.5	Omaniku järelvalve ja hoone üleandmine tellijale	54
7.6	Üldised soovitusel seoses uuringuga	55
<b>8.</b>	<b>Kokkuvõte</b>	<b>56</b>
<b>9.</b>	<b>Lisad</b>	<b>58</b>
9.1	Küsitlustulemused tulenevalt hoone renoveerimistoetusest	58
9.1.1	15% toetust saanud hoonete korterite küsitlustulemused	58
9.1.2	25% toetust saanud hoonete korterite küsitlustulemused	60
9.1.3	35% toetust saanud lokaalsete korteripõhiste ventilatsiooniseadmetega varustatud hoonete korterite küsitlustulemused	62
9.1.4	35% toetust saanud mehhaanilise väljatõmbega varustatud hoonete korterite küsitlustulemused	64

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

## 2. Sissejuhatus

### 2.1 Objektide valimi kirjeldus

Vastavalt Sihtasutus KredEx-iga (edaspidi KredEx) sõlmitud lepingule, kuuluvad valimisse 20 vastavalt toetuse suurusele 15% saanud korterelamutes 5, 25% toetust saanutest 5 ja 35% saanutest 10 korterelamut (Tabel 2.1). Uuritavate hoonete aadressid on andmekaitse eesmärgil kodeeritud. Saamaks aimu valimi piirkondlikust jaotusest, on tabelis toodud välja omavalitsus, kus objekt asub.

**Tabel 2.1 Uuritavad hooned**

Hoone		Korruste arv	Korterite arv	Kõetav pindala (m <sup>2</sup> )	Suletud netopindala (m <sup>2</sup> )
Rekonstrueerimistoetus 15%					
Kood	Omavalitsus				
1.1	Tallinn	5	60	3163	3163
1.2	Tartu	4	36	1718	2095
1.3	Tallinn	5	60	2959	3513
1.4	Haapsalu	3	24	1737	2116
1.5	Tallinn	5	40	3075	3753
Rekonstrueerimistoetus 25%					
2.1	Harjumaa	2	12	777	1111
2.2	Tallinn	5	40	2623	3147
2.3	Luunja vald	5	60	3519	4229
2.4	Tartu	2	12	550	829
2.5	Saue vald	2	16	1903	1903
Rekonstrueerimistoetus 35%					
3.1	Tartu	3	18	1064	1500
3.2	Viimsi vald	3	18	1285	1632
3.3	Viimsi vald	4	21	1527	1674
3.4	Anija vald	3	18	1041	1481
3.5	Põlva	3	18	1162	1426
3.6	Põlva	5	15	1151	1311
3.7	Haapsalu	3	18	1026	1267
3.8	Tallinn	9	72	5030	5030
3.9	Rae vald	2	12	940	1024
3.10	Saue vald	2	8	561	849

Üldise valimi koostamisel lähtusime põhimõttest, et see annaks võimaluse tutvuda erisuguste renoveerimislahenduste ja nende rakendatavusega meie kliimaatilistes oludes. Samas on käesolevas uuringus toodud järeldused konkreetsete hoonete kohta. Uuringu eesmärgiks on välja tuua renoveerimisega kaasnevad puudused, mida tuleks tööde planeerimisel arvesse võtta.

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

## 2.2 Uuringu kirjeldus

Vastavalt hankelepingule oli uuringu ülesandeks kaardistada aasta jooksul 20 kortermajas, iga hoone neljas korteris sisekliima parameetrid: siseõhutemperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi kontsentratsioon. Vastavates korterites mõõdeti võimalusel ka ventilatsiooni õhuvooluhulkasid. Õhuvooluhulkade ning vastavate sisekliima näitajate alusel hinnati nende vastavust standarditele ning energiaauditis ja/või renoveerimisprojekti ettenähtud renoveerimisjärgses olukorras saavutatavatele väärtustele.

Uuritavate hoonete kohta koostati vastavalt kas kraadpäevadele või dünaamilisele simulatsioonile vastav energiabilanss nelja olukorra kohta:

1. Renoveerimiseelse olukorra kohta, valideerides väärtused vastavalt tarbimisandmetele ning võrreldes neid energiaauditis toodud väärtustega;
2. Renoveerimisjärgse kavandatud olukorra kohta, tuginedes energiaauditile või koostatud lisale;
3. Reaalse renoveerimisjärgse valideeritud olukorra kohta, tuginedes sisekliimaandmete analüüsile ning reaalsele energiakuluandmetele.

Energiaarvutuste eesmärgiks oli hinnata auditis toodud tulemuste usaldusväärsust ning võrrelda tegelikku energia kokkuhoidu eeldatud väärtustega, mis oli toodud energiaauditis või selle lisas ja võrrelda saadud tulemusi reaalse renoveerimisjärgse tarbimisega.

Lisaks sisekliima ja energiatarbe analüüsile teostati uuritavates korterites inimeste rahulolu küsitlus eesmärgiga hinnata mugavustunde kasvu võrreldes renoveerimiseelse olukorraga.

Uuringus osalesid põhitäitjana TTÜ doktorant Anti Hamburg, täitjatena doktorant Alo Mikola. Uuringusse olid täitjatena kaastatud magistrandid Martin Kiil, Andres Tukia, Tõnis Rohula, Gert Silm ja Ülar Palmiste. Kaastööd uuringule tegid magistrandid Aider Saar, Madis Upan, Tiit Kuusemets ja Elsa Lepp.

### **3. Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima andmete analüüs**

Korterite sisekliima mõõtmistulemusi on analüüsitud korterite kaupa eraldi, sh võrreldud nende keskväärtusi korterelamu keskväärtustega ning sarnase renoveerimislahendusega hoone sihtväärtustega vastavalt hankelepingus viidatud standardile EVS:EN 15251:2007. Sisekliima analüüs sisaldab järgmisi alateemasid:

1. Sisetemperatuuri ja siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist, samadel graafikutel näidates siseõhutemperatuuri ja siseõhu suhtelist niiskust talvel ning suvel;
2. Siseõhutemperatuuri kestvusgraafikul hinnates standardis EVS:EN 15251:2007 toodud sisekliima klasside vastavust sisekliimaklasside alumistele piirväärtustele;
3. Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> sisalduse mõõtetulemusi, analüüsides kestvusgraafikut korterite ja hoonete kaupa;
4. Õhuvooluhulkade vastavust standardis EVS:EN 15251:2007 toodud sihtarvudele, mis on toodud hoonete ja korterite kaupa õhuvooluhulkade mõõtmise koondgraafikul;

Sealhulgas on analüüsitud erinevate ventilatsioonisüsteemidega korterelamute (nt loomulik, ruumipõhine soojustagastusega, väljatõmbeõhu soojuspumbaga soojustagastusega) siseõhu CO<sub>2</sub> sisalduse ja ventilatsiooni õhuvooluhulkade vastavus EVS:EN 15251:2007 sihtarvudele.

Samuti on analüüsitud erinevas määras (15%, 25%, 35%) rekonstrueerimistoetust saanud korterelamute sisekliima vastavus standardis EVS:EN 15251:2007 toodud soovituslikele piirväärtustele.

#### **3.1 Meetodid**

##### **3.1.1 Hoonete sisekliima parameetrid**

Elamu sisekliima on kompleksne mõiste. Sisekliima hõlmab õhku ja suuremaid õhukeskkonna näitajaid. Hea sisekliima vähendab haiguseid, 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 % elust siseruumides, tuleb sisekliima tagamisele pöörata kõrgendatud tähelepanu. Arvutused on näidanud, et halva sisekliima poolt põhjustatud kulutused on suuremad kui kütte- ja ventilatsioonisüsteemide käigushoidmiseks kuluva energia maksumus. Arvukatest uuringutest selgub, et halb sisekliima on seotud „haige hoone sündroomi”, hingamisteede haiguste, allergia ja astma sümptomite ning töövõime langusega.

Olemasolevate hoonete sisekliima on vastavalt hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardile (EVS-EN-15251) jagatud nelja klassi (vt. Tabel 3.1). Sarnast klassidesse jaotust kasutatakse ka teiste praegu kehtivate ja kehtivuse kaotanud standardite puhul (EN ISO 13790, EVS 839:2003, Projekteerimiskriteerium CR 1752).

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

**Tabel 3.1 Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251)**

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

Ruumiosa, kus inimene pidevalt viib ja kus peavad olema täidetud normatiivsed sisekliima tingimused, nimetatakse kontroll- ehk viibimistsooniks. Kontrolltsooni piirid asuvad välispiiretest ja kiirgavatest pindadest järgmistel kaugustel:

- 1,0 m välisseinas olevast aknast
- 0,5 m aknata välisseinast ja siseseinast
- 1,5 m välisuksest
- 0,1 m põrandapinnast
- 1,8 m põrandapinnast
- 1,0 m seinäärsest radiaatorist
- 1,0 m küttega laest

## 3.1.2 Ruumiõhu soojuslik ja niiskuslik olukord

Sisetemperatuur on peamine ruumiõhu soojusliku mugavuse indikaator. Vastavalt ASHRAE temperatuuritunnetus skaalale saab ruumi soojusliku olukorra vastavalt inimeste temperatuuritunnetusle jagada alljärgnevasse gruppidesse:

- +3 – kuum
- +2 – soe
- +1 – kergelt soe
- 0 – neutraalne
- -1 – kergelt jahe
- -2 – jahe
- -3 – külm

Suure hulga inimeste ennustatavat temperatuuritunnetus vastavalt ASHRAE skaalale on hakatud nimetama PMV (predicted mean vote) indeksiks. 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. Sõltudes PPD - PMV indeksi väärtustest on paika pandud erinevad sisekliima klassid. PMV - PPD indeksit võib kasutada sisekliima klassi määramiseks kuna see indeks võtab arvesse kõigi soojuslike parameetrite (riietus, kehaline aktiivsus, keskmine kiirguslik temperatuur, õhukiirus ja niiskus) mõju. Eeldatud kehalisel aktiivsusel, riietusel, 50 %-lisel suhtelisel niiskusel ja madalal õhukiirusel on võimalik kehtestada vastavad operatiivsete temperatuuride vahemikud. Projekteerimisel tuleb arvestada ka soojusliku keskkonna lisatingimustega (tõmbus, vertikaalne temperatuuride erinevus, põranda

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

temperatuur ning kiirguslik temperatuuride asümmeetria). Soovituslikke PPD vahemikke vt. Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Näited soovituslikest sisekliima klassidest mehaaniliselt köetud ja jahutatud hoonete projekteerimisel (EVS-EN 15251:2007)**

Sisekliima klass	Keha soojuslik seisund	
	PPD, %	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < + 0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < + 0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 või +0,7 < PMV

Õhu temperatuuril ja niiskusel on oluline mõju ka tajutavale õhu kvaliteedile. Võrreldes niiske ja sooja õhuga, hinnatakse kuiva ja jahedat õhku kvaliteetsemaks. Sisetemperatuur mõjutab hoonete küttekulu. 1 °C sisetemperatuuri tõus tähendab Eesti kliimatingimustes ja vanade kortermajade korral küttekulu suurenemist ligikaudu 5 %.

Kuigi siseõhu temperatuur on soovitud sisekliima kujundamisel kõige olulisem mõjutegur, omab sellega peaaegu samaväärset toimet ka õhu niiskussisaldus. Suhtelise niiskuse hoidmine optimaalsel tasemel on kogu hoone, eelkõige aga siseõhu kvaliteedi, energiatarbe ja piirdetarindite, korrektse funktsioneerimise aluseks. Külmas kliimas võib madal välisõhu niiskussisaldus kombineeritult ülekütmisega põhjustada siseõhu suhtelise niiskuse määra langemist allapoole aksepteeritud 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 %.

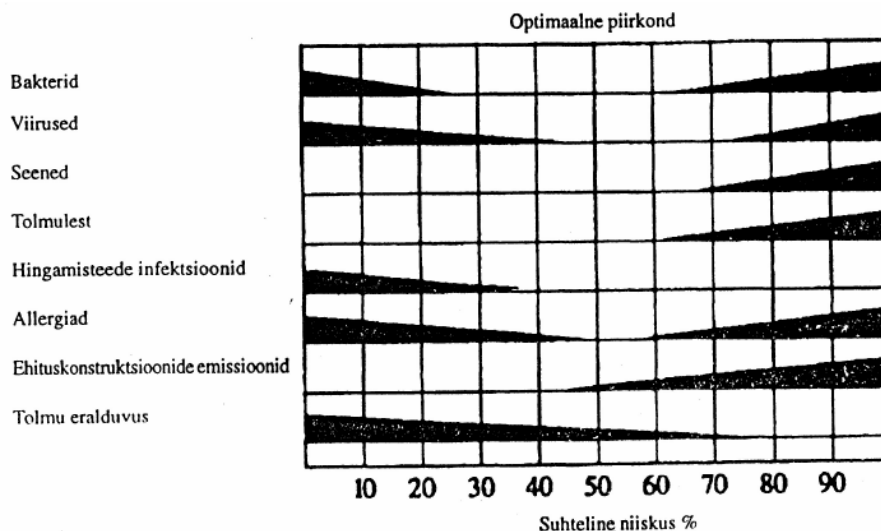
Kuigi inimestel puudub niiskuse haistmismeel, mõjutab siseõhu niiskus siiski ka inimese mugavustunnet. Eestis on välisõhu niiskus tavaliselt kõrge. Suvel on niiskus kõrge ka ruumides, talvel on ruumiõhu niiskussisaldus aga sageli liiga madal. Madal suhteline niiskus soodustab tolmu tekkimist ja suurendab staatilise elektriga seotud probleeme. Kõrge suhteline niiskus soodustab mikroobide kasvu ja levikut. Kõrge suhtelise niiskuse korral suureneb ehitusmaterjalidest õhku eralduvate saasteainete hulk. Erinevate kahjulike ainete emissioonide sõltuvust õhu suhtelisest niiskusest iseloomustab Joonis 3.1.



# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 3.1 Kahjulike emissioonide sõltuvus õhu suhtelisest niiskusest**

Siseõhu niiskussisaldus sõltub suurel määral ka sisemistest niiskusallikatest nagu inimeste kohalolek ruumis ja nende ainevahetusliku aktiivsuse tase, ruumi õhuvahetuse määr, hügrokoopsete pindade niiskuse imamisvõime (piirded ja mööbel) ja võimaliku kondensaadi teke. Suhtelise niiskuse taseme hoidmisel lubatud piires on väga tähtis roll ventilatsioonil. ASHRAE käsiraamatus on toodud suhtelise niiskuse ülemiseks piiriks 60 %. Kõrgema suhtelise niiskuse korral suureneb märgatavalt kondensaadi tekkimise oht.

### 3.1.3 Sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse hindamiskriteeriumid

Soovitusliku sisetemperatuuri vahemiku leidmisel on võimalik lähtuda erinevatest standarditest ja määrustest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhu temperatuur 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. Hetkel Eestis kasutatavatest sisekliima normidest on eluhoonete soovituslik sisetemperatuur määratud hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardis (vt. Tabel 3.3). Kui EVS-EN 15251:2007 standardis on toodud temperatuuri vahemik kütteks, siis projekteerimiskriteeriumis CR 1752 eristatakse selgelt ka suve ja talveperioodi (vt. Tabel 3.3).

**Tabel 3.3 Eluhoonete soovituslikud sisetemperatuurid (EVS-EN-15251 & CR 1752)**

Sisekliima klass	Temperatuuri vahemik kütteks, °C* (EVS-EN 15251:2007)	Ruumiõhu temperatuur, °C (CR 1752)	
		Talv	Suvi
I (A)	21,0 -25,0	22,0±1	24,5±0,5
II (B)	20,0-25,0	22,0±2	24,5±1,5
III (C)	18,0- 25,0	22,0±3	24,5±2,5

\*Riietus ~ 1,0 clo ja kehaline aktiivsus 1,2 met

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

EVS-EN-15251 annab kasutusel olevatele ruumidele niisutus- ja kuivatussüsteemide dimensioneerimiseks soovituslikud siseõhu niiskussisalduse projektväärtused. Vastavalt standardile peab II sisekliima klassi nõuete täitmiseks jääma siseõhu suhteline niiskus vahemikku 25 – 60 % ja III klassi puhul vahemikku 20 – 70 %. Talve ja suveperioodi antud standardis eristatud ei ole. Mitteeluhoonete ventilatsioonistandardis EVS-EN 13779:2007 on toodud soovituslikuks suhtelise niiskuse vahemikuks 30 – 70 %, sama väärtust soovitab jälgida ka soojusliku keskkonna ergonoomika standard EVS-EN ISO 7730. Kehtivuse kaotanud sisekliima standardis EVS 839:2003 on talveperioodi suhtelise niiskuse soovituslik piirkond 25 – 45 %, suveperioodil aga 30 – 70 %.

Eluruumidele esitatud nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhu niiskus ruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Määruses on toodud, et suhteline niiskus peab nende tingimuste täitmiseks jääma vahemikku 40 – 60 %. Vastavalt suurpaneelmajade uuringu lõppraporti tulemustele on selline suhtelise niiskuse vahemik eriti ebaõnnestunud ja vääriti mõistmist võimaldav. Arvestades hoonete toimimist talveperioodil on määruses toodud liiga kõrge suhtelise niiskuse vahemik. Samas uuringus on välja toodud, et siseõhu suhtelise niiskuse tase 40 – 60 % võib tekkida hoonetes tõsiseid niiskuskahjustusi.

Lähtudes Eesti korrusmajade sisekliima uuringutest on talveperioodi optimaalne suhtelise niiskuse vahemik 25 – 45 %. Samad lähteparameetrid on toodud ka kehtivuse kaotanud sisekliima standardis EVS 839:2003.

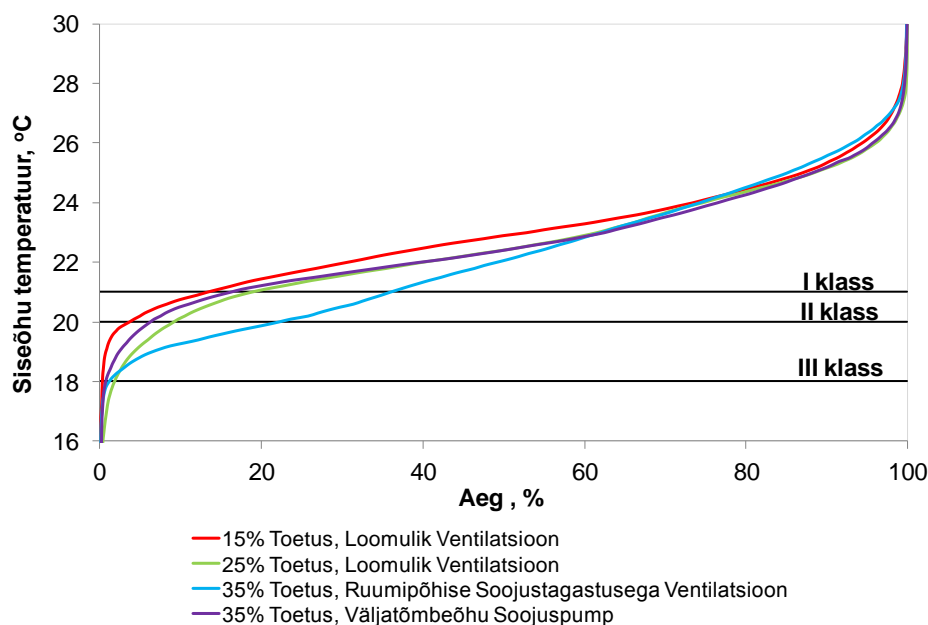
### **3.2 Korterite siseõhutemperatuuride analüüs**

Korterite siseõhutemperatuuride kestvusgraafiku (Joonis 3.2) põhjal saame järeldada, et teiste hoonetega võrreldes on punase joonega tähistatud 15 % renoveerimistoetust saanud hoonete 1.2 ja 1.4 keskmine temperatuur võrreldes teiste hoonetega kõrgem. See tuleneb sellest, et nendes hoonetes ei renoveeritud küttesüsteeme ehk radiaatorite ees puuduvad termostaatventiilid. Teistes hoonetes eristub veidi ka üks roheline värvusega tähistatud 25% renoveerimistoetust saanud hoone 2.1, antud hoones neljast uuritavast korterist kolmes elasid lastega pered ning seetõttu eelistati ruumides ka kõrgemat siseõhutemperatuuri. Kogu mõõdetud hoonete hulgast eristub keskmiselt madalama siseõhutemperatuuriga sinise värvusega tähistatud 35 % toetust saanud lokaalsete ventilatsiooni seadmetega elamu 3.9, kus kahes suuremas uuritavas korteris elas, vaid üks inimene ning individuaalsest küttekulujaotusest tulenevalt sooviti madalama küttekulu eesmärgil hoida ka madalamat siseõhutemperatuuri.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

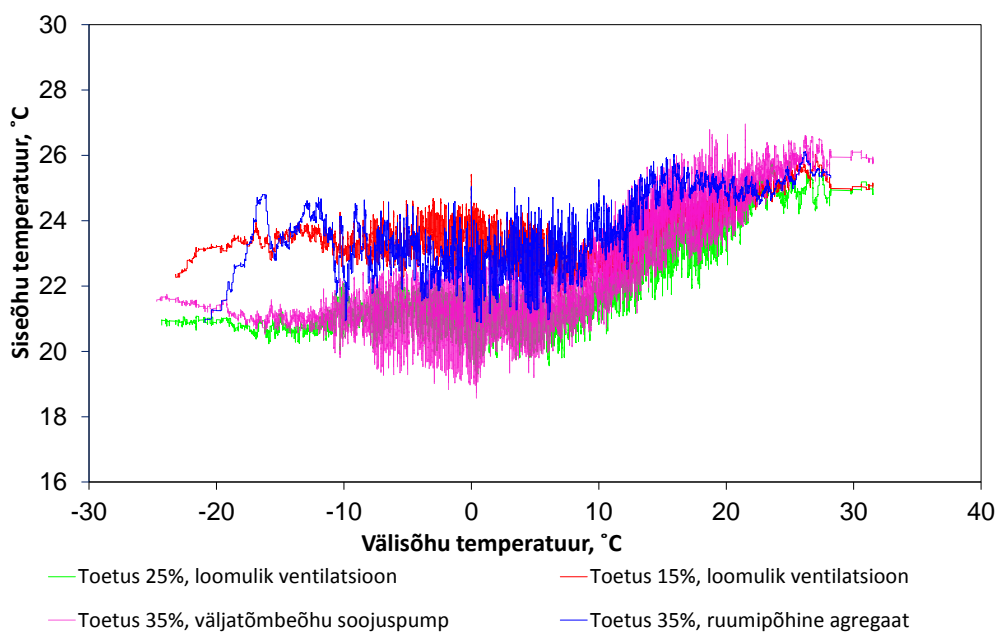
Lõpparuanne

31.03.2014

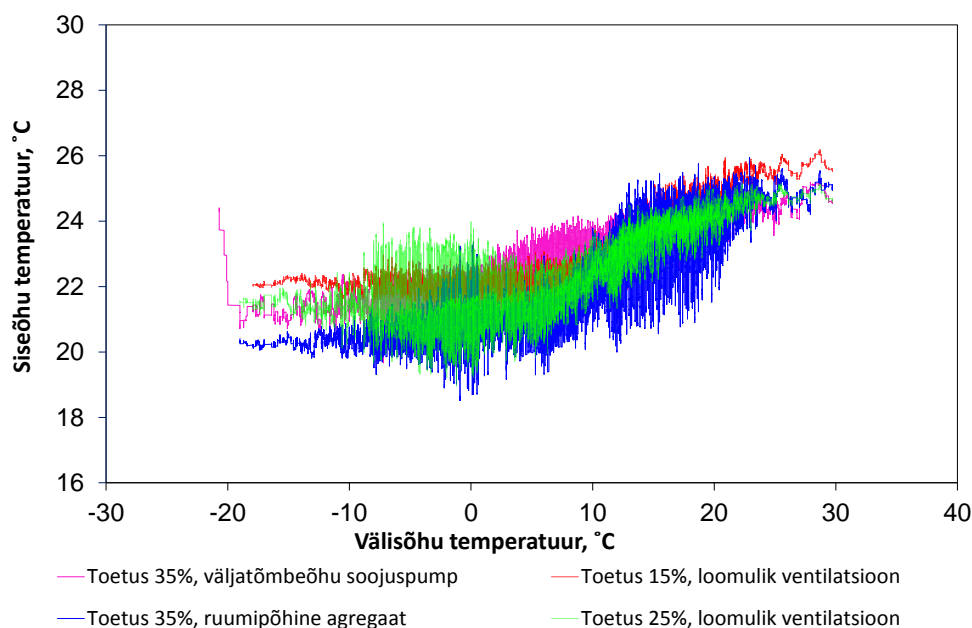


**Joonis 3.2 Siseõhutemperatuuride vastavus sihtarvudele: korterid ja korterite keskmised**

Lõuna-Eesti piirkonna korterelamutest erineb teistest hoonetes, elamu 1.2, kus renoveerimise käigus, ei renoveeritud küttesüsteemi ning sellest tulenevalt on kütteperioodil hoones ebastabiilne siseõhutemperatuur. Samuti võib graafikul antud hoone siseõhutemperatuuri muutust jälgida graafikult, mis on märgistatud punase värvusega (Joonis 3.3). Võrdlusgraafikutel nii Põhja-Eesti kui Lõuna-Eesti piirkonna puhul (Joonis 3.2 ja Joonis 3.3) ülejäänud hoonete rühmade kohta on rakse ühest hinnangut üle või alakütmise korral anda. Seega saame analüüsida siin kõiki hooned ja nendes asuvaid kortereid eraldi ehk uuringust ei selgu peale selle, et kui hoones on renoveerimata küttesüsteem teistes hoone rühmades üle või alakütmise probleemi.



**Joonis 3.3 Lõuna-Eesti piirkonna korterelamute välisõhutemperatuurist sõltuva siseõhu temperatuuri analüüsi graafik**



**Joonis 3.4 Põhja-Eesti piirkonna korterelamute välisõhutemperatuurist sõltuva siseõhu temperatuuri analüüsi graafik**

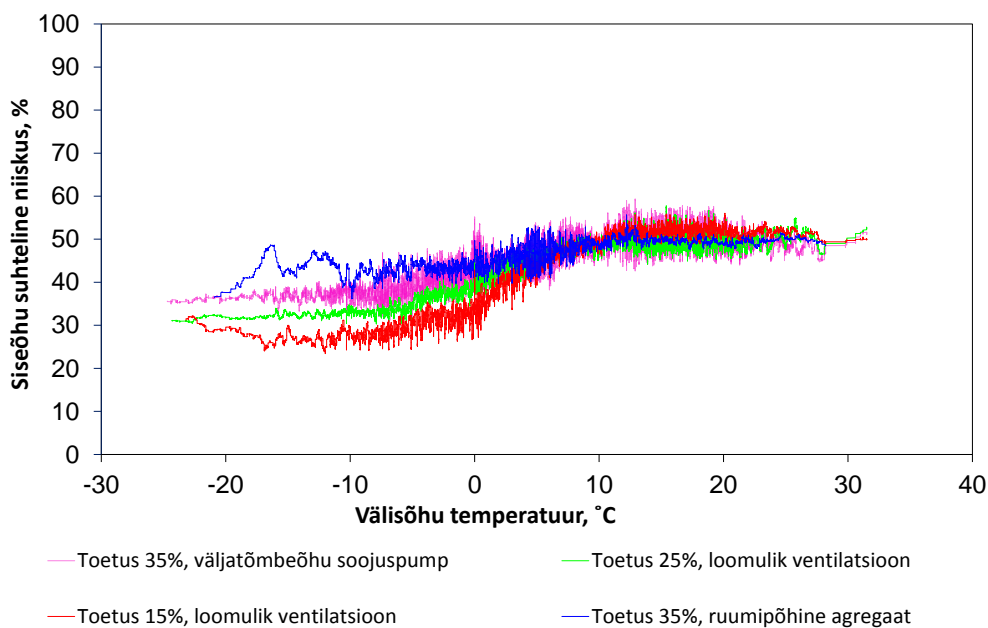
### 3.3 Korterite suhtelise õhuniiskuse analüüs

Korterite suhtelise õhuniiskuse tulemuste põhjal on tinglikult võimalik hinnata ventileerituse taset, juhul kui kõikides korterites oleks sarnane niiskuslisa. Niiskuslisa tuleneb inimtegevusega seotud niiskuse tekkimisest ja ventilatsioonist. Juhul kui ruumides on niiskuslisa suur, saame sellega hinnata, kui suur osa niiskusest välja ventileeritakse. Allolevate graafikute alusel (Joonis 3.5 ja Joonis 3.6) saame hinnata, et suhteline õhuniiskus korterites kõigub kütteperioodil vahemikus 10 kuni 70%, olenemata hoone ventilatsiooni renoveerimislahendusest. Keskmised suhtelise õhuniiskuse tasemed jäävad hoonetel kütteperioodil vahemikku 20 kuni 50%. Viimast võime lugeda kuiva välisõhu tingimustel kõrgeks ning see näitab hoone ja selles asuvate korterite kehvast õhuvahetusest.

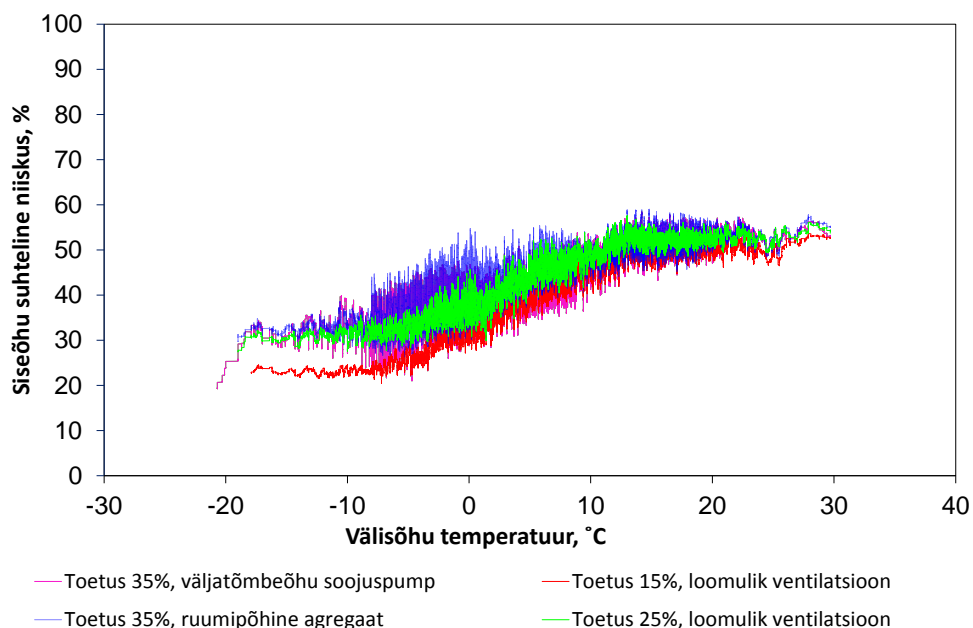
# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 3.5 Lõuna-Eesti piirkonna korterelamute välisõhutemperatuurist sõltuva siseõhu suhtelise niiskuse analüüsi graafik**



**Joonis 3.6 Põhja-Eesti piirkonna korterelamute välisõhutemperatuurist sõltuva suhtelise niiskuse analüüsi graafik**

## 3.4 Kortrite süsihappegaasi kontsentratsiooni analüüs

Eestis kehtivatest riiklikest ja rahvusvahelistest standarditest ning tehnilistest aruannetest käsitlevad siseõhu CO<sub>2</sub> sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752). EVS-EN 15251 määratud CO<sub>2</sub> piirkontsentratsioonid vastavalt sisekliimaklassidele (Tabel 3.4) on olulised energiaarvutusteks ning nõudluspõhiselt reguleeritavale ventilatsioonile.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

**Tabel 3.4 Üle välisõhu kontsentratsiooni ja kontsentratsioonil 350 ppm (EVS EN 15251) esitatud soovituslikud CO<sub>2</sub> sisalduse näited.**

Sisekliimaklass	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon üle välisõhu taseme, ppm	Siseõhu CO <sub>2</sub> kontsentratsioon välisõhu tasemel 350 ppm, ppm
I	350	700
II	500	850
III	800	1150
IV	> 800	> 1150

EVS-EN 15251 toodud kontsentratsioonide puhul tekib vastuolu samas standardis määratud elu- ja magamistoa õhuvooluhulkade piirnormidega inimese kohta. Taani tehnikaülikoolis on uuritud selle standardi tagamaid ja toodud vastavate sisekliima- klasside õhuvooluhulga ning siseõhu CO<sub>2</sub> sisalduse piirnormid. Need normid vastavad ühtlasi ka sisekliima projekteerimiskriteeriumis toodud väärtustele (Tabel 3.4). Sellest lähtuvalt kasutatakse käesolevas uuringus siseõhu CO<sub>2</sub> sisalduse hindamiseks projekteerimiskriteeriumis CR 1752 toodud piirnorme, sealjuures on välisõhu CO<sub>2</sub> sisalduseks võetud 350 ppm. Uutes/oluliselt renoveeritud ja olemasolevates eluhoonetes on oluline sisekliimaklassi (vastavalt klassi B (II) ja C (III)) jälgimine, A-(I) klassi piirnormid on mõeldud eelkõige kõrge sisekliima kvaliteedi tagamiseks. Rahulolematute määrale vastavaid CO<sub>2</sub> kontsentratsioone on võimalik kasutada ka sisekliimaklasside piirnormide määramisel (Tabel 3.5). Sisekliima mittevastavus soovituslikule tasemele võib lisaks inimeste tervisele mõjutada ka ehituse konstruktsiooni- ja viimistlusmaterjale.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

**Tabel 3.5 Sisekliimaklassid ruumidele, kus peamiseks CO<sub>2</sub> tekitajaks on inimene (CR 1752).**

Sisekliima-klass	Rahulolematuid elanikest, %	Siseõhu CO <sub>2</sub> kontsentratsioon välisõhu tasemel 350 ppm,	Siseõhu CO <sub>2</sub> kontsentratsioon, ppm
A	15	460	810
B	20	660	1010
C	30	1190	1540

Energiaühuse lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) lubab lühiajalisi kõrvalekaldeid ettenähtud sisekliima näitajatest. Sisekliimaklassidega 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 neid täita ka päeva ning nädala jooksul.

Süsihappegaasi kontsentratsioon on hea indikaator hindamaks ruumide ventileeritust. Süsihappegaasi kestvusgraafiku järgi saame hinnata ruumide ventileeritust inimese kohta kuna hinnanguliselt eraldab täiskasvanud inimene CO<sub>2</sub> orienteeruvalt 19 liitrit tunnis. Selle pärast paigaldati uuritavates hoonetes mõõteseadme võimalusel magamistuppa. Ülevaade mõõtmisel kasutatud seadmetest on toodud Tabel 3.6.

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

**Tabel 3.6 Siseõhu CO<sub>2</sub> mõõtmisel kasutatud seadmed**

EVIKON E6226

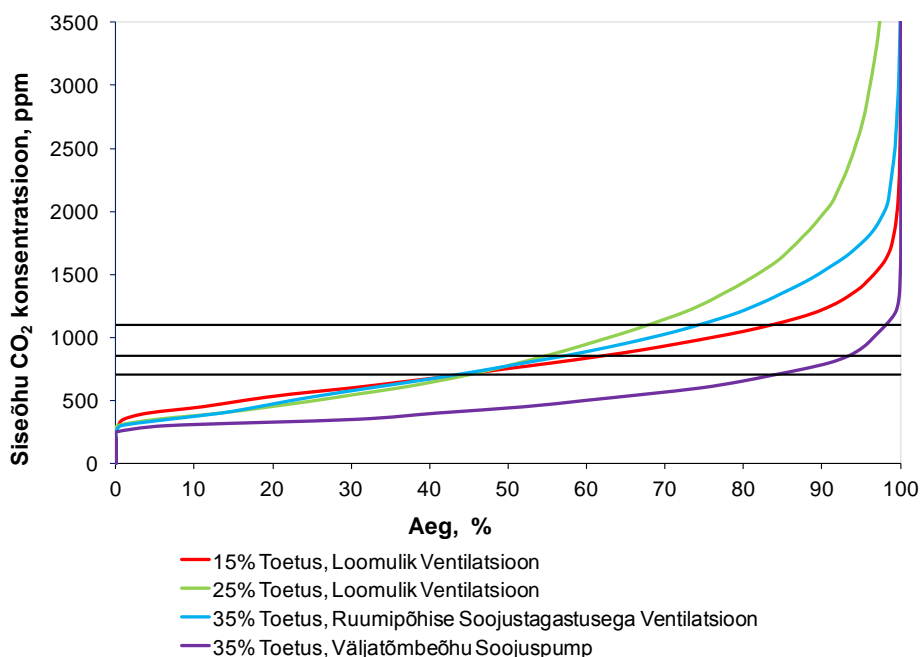


Mõõtepiirkond: temp. -10 kuni +50°C; RH 0 kuni 100%; CO<sub>2</sub> 0 kuni 100%

Mõõtetäpsus: ±2,5% skaala väärtusest

Põhjus, millest tuleneb osade korterite ja hoonete CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni kestvus üle III sisekliima klassi piirnormi, on selgitatav ka sellega, kui palju elab antud korteris inimesi ning kas ruumis kus asub mõõteseade hoitakse ust kinni või lahti. Rohelise värvusega hoones 2.2 asuva korteri 2.2.1 magamistoa ja ülejäänud korteri vaheline uks on öösel suletud. Sellest tulenevalt ei saa ruumis õhk vahetuda ja tulemuseks on umbne sisekliima. Samas joonistub graafikult välja (vt Joonis 3.7, Joonis 3.8) rohelise värvusega tähistatud 25% toetust saanud hoonete kõrgem kontsentratsioon, kõigis nendes hoonetes on nn loomulik ventilatsioon. Põhjus, miks graafikult ei joonistu välja punase värvusega tähistatud 15% toetusega elamud, on see, et uuritavates korterites elas üks kuni kaks elanikku ning magamistoa ja ülejäänud korteri vaheline uks on nendes pidevalt lahti.

Graafikul sinise ja lillaga tähistatud mehaanilise ventilatsiooniga hoonetes eristuvad kõrgema kontsentratsiooni poolest hoone 3.1 ja 3.5 millest viimases on elanike arv korterites keskmiselt suurem ning kus värskeõhuklapid eluruumides hoiti enamasti kinni. Heas mõttes eristub ka hoone 3.10, kus on nii mehhaaniline sissepuhe kui väljatõmme ning kus elaniku kohta õhuvahetus on piisav.



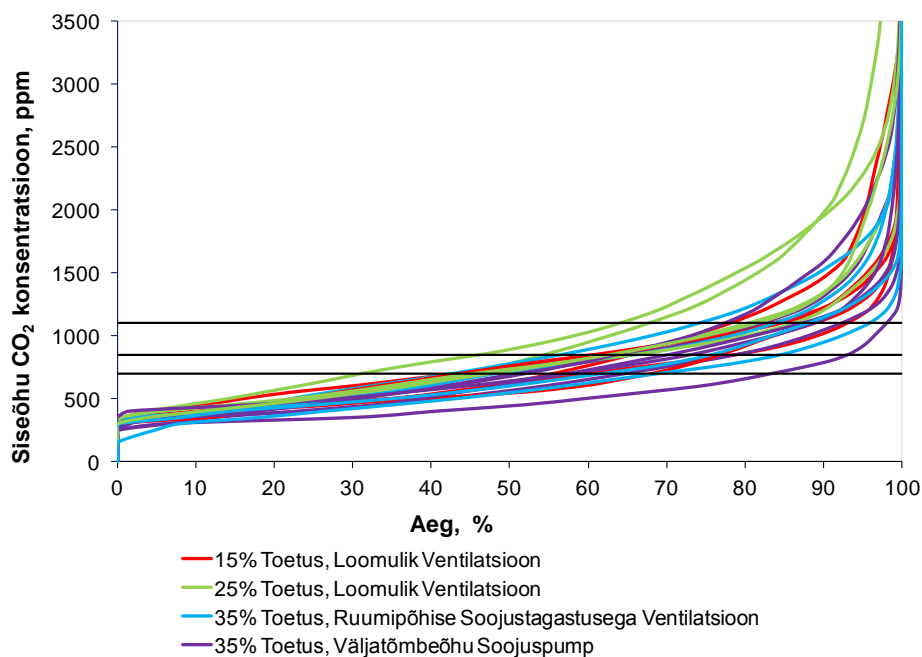
**Joonis 3.7 Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> sisaldus erinevate toetusmeetme korral**



# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 3.8 Magamistubade siseõhu CO<sub>2</sub> sisaldus: hoonete keskmised**

Kokkuvõttes võib CO<sub>2</sub> mõõtetulemuste baasil öelda, et III sisekliima klass oli uuritud hoonetes 5 % lubatud ületusega tagatud 10 % uuritud hoonetest. Olgu samas ka mainitud, et üksikute korterite lõikes ületas CO<sub>2</sub> tase III sisekliima klassis lubatud. Teistest eristus selgelt üks hoone, kus ventilatsioon on renoveeritud mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe süsteemi baasil. Peamine põhjus, miks CO<sub>2</sub> tase ületab lubatud piirmäära on magamistubade ebapiisav õhuvahetus. Selle põhjuseid analüüsitakse õhuvahetuse peatükis.

## 4. Renoveeritud korterelamute korterite õhuvahetuse analüüs

Vastavalt Eestis eluruumidele esitatavatele nõuetele (VV määrus nr. 38) peab neis olema ventilatsioon, mis tagab inimese elutegevuseks vajaliku õhuvooluhulga ja õhuvahetuse, vt Tabel 4.1.

Sama määruse kohaselt peab õhu liikumiskiirus eluruumis, eluruumi maht ühe inimese kohta, keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisalduse piirkontsentratsioon siseõhus olema tagatud vastavalt Eestis kasutatavatele normidele. Eestis hetkel kehtivatest riiklikest ja rahvusvahelistest standarditest ning tehnilistest aruannetest käsitlevad siseõhu CO<sub>2</sub> sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752).

Ruumide projekteerimisel määratakse õhuvahetus kas vastavate normarvude või ohtlike ainete eraldumise järgi. Elu- ja üldkasutatavates hoonetes võib õhuvahetuse määramisel lähtuda ruumide ventilatsiooni normatiivarvudest (inimese kohta, põrandapinna kohta, õhuvahetuse kordsuse järgi). Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) annab eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulga sisekliima- klassi järgi (ventilatsiooni projekteerimisnorm EVS 845-1 soovib magamistoa õhuvooluhulgaks võtta 0,7 l/(s·m<sup>2</sup>) või 6 l/s inimese kohta). Antud uuringus kasutatavad õhuvahetuse lähteparameetrid on toodud Tabel 4.1.

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>.

**Tabel 4.1 Näited eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulkadest ventilatsioonisüsteemide püsiva töö juures ruumi kasutusaegadel. Eeldatud on ruumiõhu täielikku segunemist (EVS-EN 15251:2007)**

Sisekliima klass	Õhuvahetuse määr <sup>a</sup>		Elutuba ja magamistoad peamiselt välisõhu sissepuhe		Väljatõmbeõhu vooluhulk, l/s		
	l/(s·m <sup>2</sup> ) (1)	1/h	l/(s·inim) (2)	l/(s·m <sup>2</sup> ) (3)	Köögid (4a)	Vannitoad (4b)	Tualettruumid (4)
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

<sup>a</sup> Õhuvahetuse määrad, väljendatud l/(s·m<sup>2</sup>) ja 1/h, on teineteisele vastavad, kui ruumi kõrgus on 2,5m

<sup>b</sup> Elamu/korteri elanike arvu võib hinnata magamistubade arvu järgi. Kasutada tuleb siseriiklikul tasandil tehtud oletusi, kui need on olemas. Oletused võivad erineda energia ja siseõhu kvaliteedi arvutuses.

Käesoleva uuringu raames on vaadeldud korterite õhuvahetuse vastavust standardis EVS:EN 15251:2007 toodud sihtarvudele. Õhuvahetust on analüüsitud nii hoonete kui ka korterite kaupa. Sealhulgas on analüüsitud erinevate ventilatsioonisüsteemidega korterelamuid (loomulik, ruumipõhine soojustagastusega, mehaaniline väljatõmbeventilatsioon) ning välja toodud nende hoonete ventilatsiooni õhuvooluhulkade vastavus EVS:EN 15251:2007 sihtarvudele.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

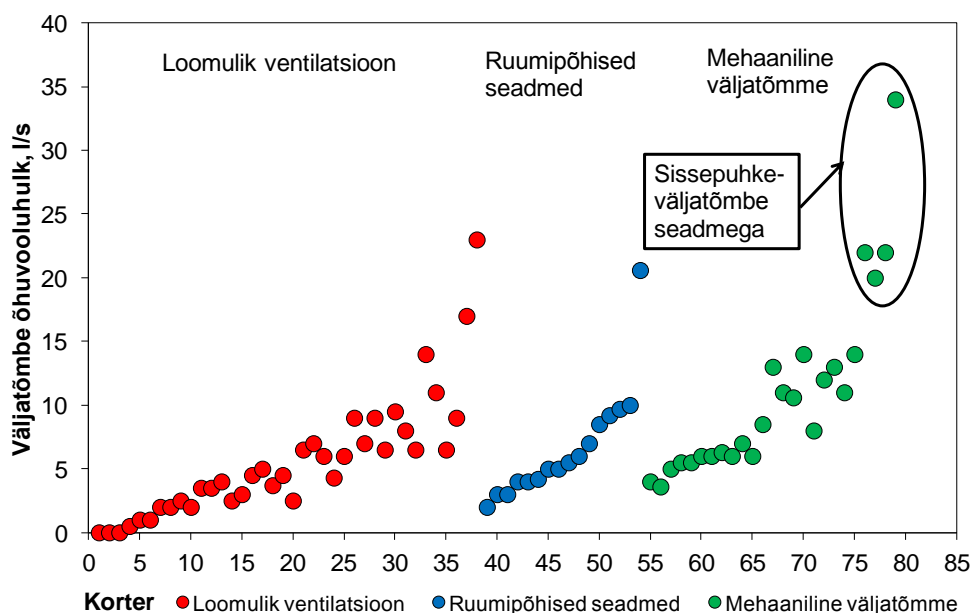
31.03.2014

Ventilatsiooni väljatõmbe õhuvooluhulga ja sanitaarruumide ning köögi õhuvooluhulkade hindamiseks kasutati õhuvooluhulga mõõturit SwemaFlow 230. Mõõteseadmete täpsus ja mõõtepiirkonnad on toodud Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** *Õhuvooluhulkade mõõtmisel kasutatud seadmed*

	Testo 435	Testo 410 mõõtelehter	SwemaFlow 230
Mõõtepiirkond:	temp. -20 kuni +70°C RH 0 kuni 100% õhu kiirus 0 kuni 20 m/s		Õhuvooluhulk 0...60 l/s
Mõõtetäpsus:	0,01 m/s		±3% lugemist või ±1 l/s

Võrdlemaks erinevaid ventilatsiooni renoveerimislahendusi on koostatud korterite väljatõmbeõhu vooluhulga mõõtetulemusi kajastav Joonis 4.1. Ainult korterite väljatõmbeõhu vooluhulkasid on võrdlusjoonisel toodud sellepärast, et saaks erinevaid süsteeme võrdsetel alustel võrrelda. Loomuliku ventilatsiooni korral on keskmine väljatõmbe õhuvooluhulk 5,6 l/s, ruumipõhiste seadmete korral on keskmine väljatõmbe õhuvooluhulk 6,7 l/s ja mehaanilise ventilatsiooni korral on korterite keskmine väljatõmme 11,0 l/s. Joonis 4.2 on toodud uuritud hoonete keskmised väljatõmbe õhuvooluhulgad erinevat tüüpi ventilatsiooni renoveerimislahenduste korral.

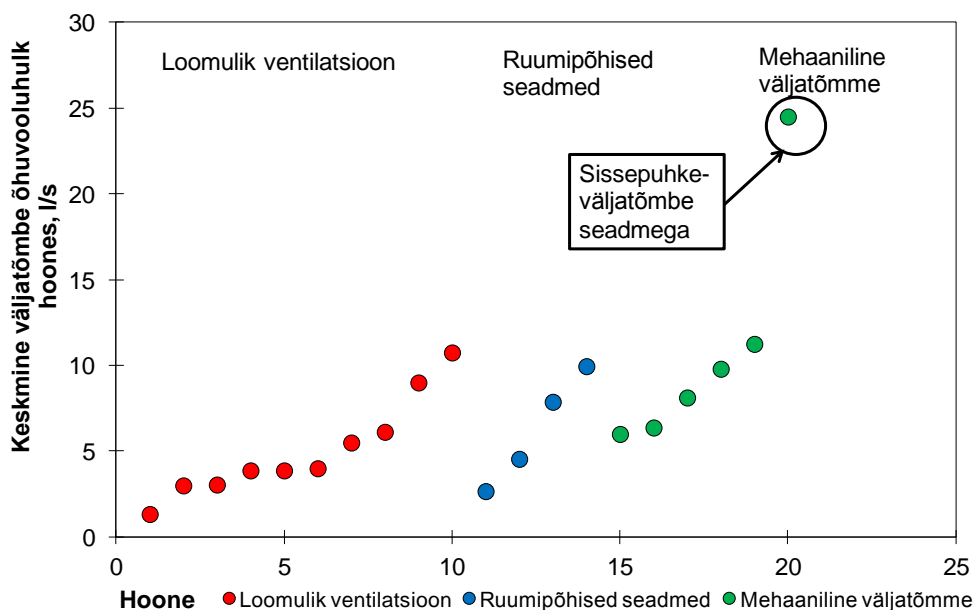


**Joonis 4.1** Väljatõmbe õhuvooluhulk korteris erinevate ventilatsiooni renoveerimislahenduste korral

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

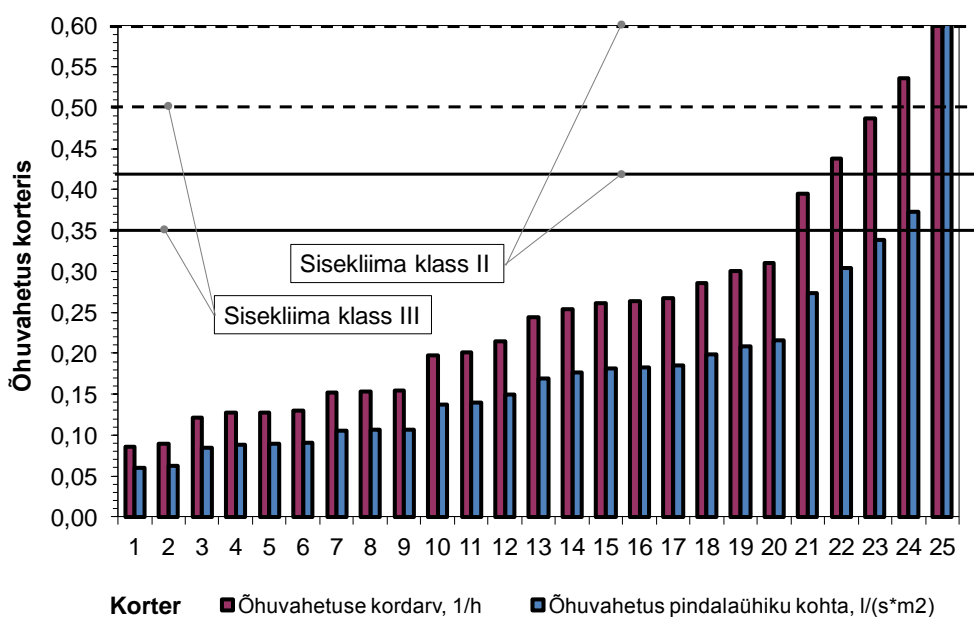
Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 4.2** Hoonete keskmised väljatõmbe õhuvooluhulgad erinevate ventilatsiooni renoveerimislahenduste korral

Vastavalt mõõtmistulemustele on loomuliku ventilatsiooni korral on EVS:EN 15251:2007 standardi III klassi sihtarvud tagatud 3 % uuritud korteritest. Õhuvahetuse kordarv ei vasta üheski korteris III sisekliima klassi nõuetele. Korterite õhuvahetuse kordarvud ja õhuvahetus pindala ühiku kohta on toodud Joonis 4.3. Loomuliku ventilatsiooniga hoonete keskmine õhuvahetus on 0,06 l/s\*m<sup>2</sup> ja keskmine õhuvahetuse kordarv 0,08 h<sup>-1</sup>. Erinevate korterite ja hoonete võrdlemiseks on joonisel kuvatud õhuvahetuse mõõtmised teostatud sarnastes välistemperatuuri oludes. Samuti tuleb lisada, et õhuvooluhulga mõõtmistulemused ei kajasta ruumide in- ja eksfiltratsiooni komponenti.



**Joonis 4.3** Mõõdetud õhuvahetus loomuliku ventilatsiooniga korterites

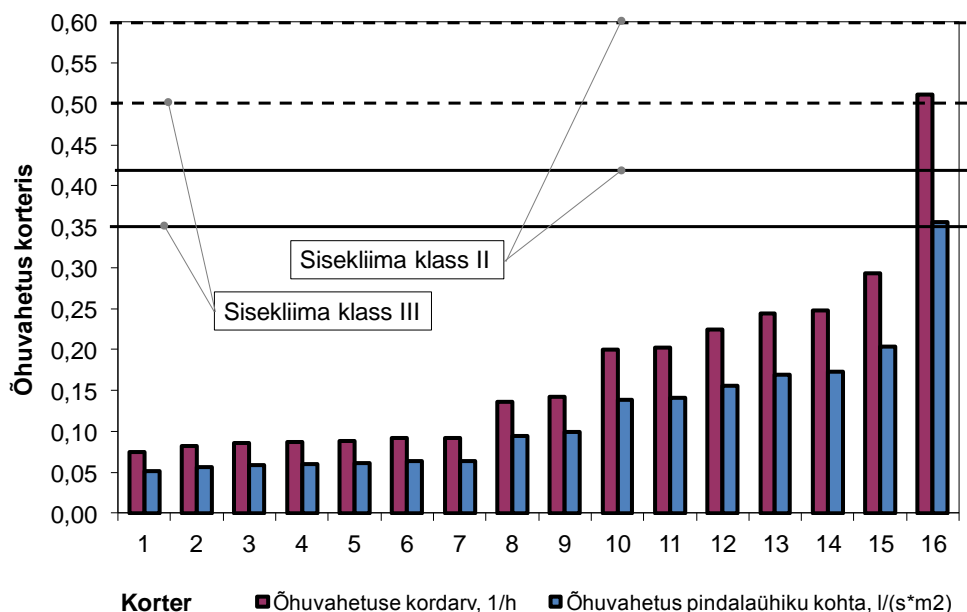
Vastavalt mõõtmistulemustele on ruumipõhiste ventilatsiooniseadmete (regeneratiivsete kargsoojustagastiga seadmed) puhul EVS:EN 15251:2007 standardi III klassi sihtarvud

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

tagatud 6 % uuritud korteritest. Õhuvahetuse kordarv vastab sisekliima III klassi nõuetele samuti 6 % uuritud korteritest. Korterite õhuvahetuse kordarvud ja õhuvahetus pindala ühiku kohta on toodud Joonis 4.4. Ruumpõhise regeneratiivse soojustagastiga ventilatsiooni seadmetega varustatud hoonete keskmine õhuvahetus on  $0,12 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  ja keskmine õhuvahetuse kordarv  $0,18 \text{ h}^{-1}$ . Erinevate korterite ja hoonete võrdlemiseks on joonisel kuvatud õhuvahetuse mõõtmised teostatud sarnastes välistemperatuuri oludes. Samuti tuleb lisada, et õhuvooluhulga mõõtmistulemused ei kajasta ruumide in- ja eksfiltratsiooni komponenti. Kärgsoojustagastiga seadmete puhul teostati mõõtmised korterielanike poolt kõige enam kasutatava plafooni asendi ja seadme töökiiruse juures.



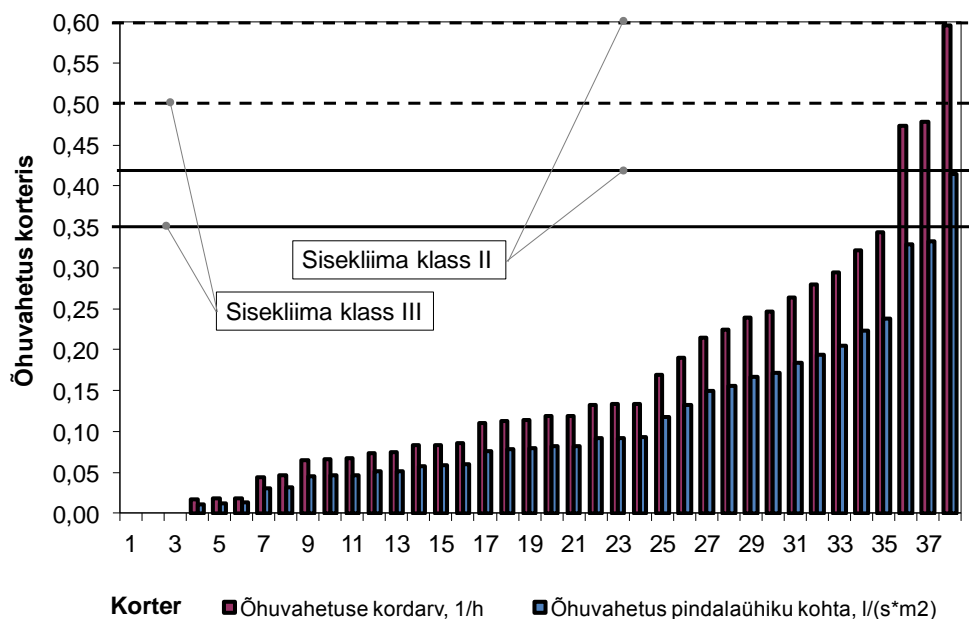
**Joonis 4.4 Mõõdetud õhuvahetus ruumpõhiste ventilatsiooniagregaatidega korterites**

Vastavalt mõõtmistulemustele on mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni puhul EVS:EN 15251:2007 standardi III klassi sihtarvud tagatud 8 % uuritud korteritest. Õhuvahetuse kordarv vastab sisekliima III klassi nõuetele samuti 8 % uuritud korteritest. Korterite õhuvahetuse kordarvud ja õhuvahetus pindala ühiku kohta on toodud Joonis 4.5. Mehaanilise väljatõmbeventilatsiooniga hoonete keskmine õhuvahetus on  $0,19 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  ja keskmine õhuvahetuse kordarv  $0,27 \text{ h}^{-1}$ . Erinevate korterite ja hoonete võrdlemiseks on joonisel kuvatud õhuvahetuse mõõtmised teostatud sarnastes välistemperatuuri oludes. Samuti tuleb lisada, et õhuvooluhulga mõõtmistulemused ei kajasta ruumide in- ja eksfiltratsiooni komponenti. Lisaks tuleb mainida, et mehaanilise ventilatsiooni korral oli III sisekliima klassi järgne õhuvahetus tagatud vaid 1 kortermaja 2 korteris, kus on paigaldatud trepikotta mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe agregaat.

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 4.5 Mõõdetud õhuvahetus mehaanilise väljatõmbeventilatsiooniga korterites**

Ventilatsiooni õhuvooluhulcade uuring näitab, et õhuvahetus on rahuldaval tasemel tagatud vaid mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiga kortermajas. Ülejäänud majades ei ole korterite õhuvahetus vastavalt EVS:EN 15251:2007 piirnormidele tagatud. Peamised põhjused, miks mõõdetud õhuvahetus pärast renoveerimist ei vasta kõigis korterites soovitud sisekliima III klassi nõuetele, on järgmised:

## Loomulik ventilatsioon

1. Hoone kasutajapoolne õhuvooluhulga vähendamine värskõhuklappide sulgemise teel;
2. Väljatõmbe lõppelementide halb olukord;
3. Väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
4. Süsteemide puudulik eksploatatsiooniaegne hooldus (värskõhuklappide filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);
5. Väljatõmbešahtide olukord;
6. Ventilatsioonisüsteemide omavolilised ümberehitustööd.

## Ruumipõhised ventilatsiooniagregaadid

1. Projekteerimise käigus tehtud valearvestused ruumipõhiste seadmete ventilaatorite dimensioneerimisel, suur alarõhk korterites
2. Korterite kasutajapoolne õhuvooluhulga vähendamine;
3. Sanitaarruumidesse ja köökidesse väljatõmbeventilaatorite mitte paigaldamine;
4. Väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
5. Süsteemide puudulik eksploatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);
6. Väljatõmbešahtide olukord;

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

7. Ventilatsioonisüsteemide omavolilised ümberehitustööd.

### Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon

1. Hoone kasutajapoolne õhuvooluhulga vähendamine;
2. Osade korterite väljatõmbe lõppelementide mitteasendamine tänapäevaste õhujaoajatega;
3. Väljatõmbe lõppelementide mitteühendamine paigaldatud plekist väljatõmbekanalitega või mõningatel juhtudel ka olemasolevate lõõridega;
4. Väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
5. Värskeõhuradiaatorite filtrite mustumine;
6. Süsteemide puudulik eksploatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);
7. Ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus;
8. Väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad.

Õhuvooluhulkade vähendamine ventilatsioonisüsteemides on enamasti seotud sellega, et värskeõhuklappidest või ruumiagregaatidest ruumi antava õhu temperatuur on soojusliku mugavuse tagamiseks liiga madal. Samuti häirib elanikke liiga suur õhu liikumise kiirus viibimisalas.

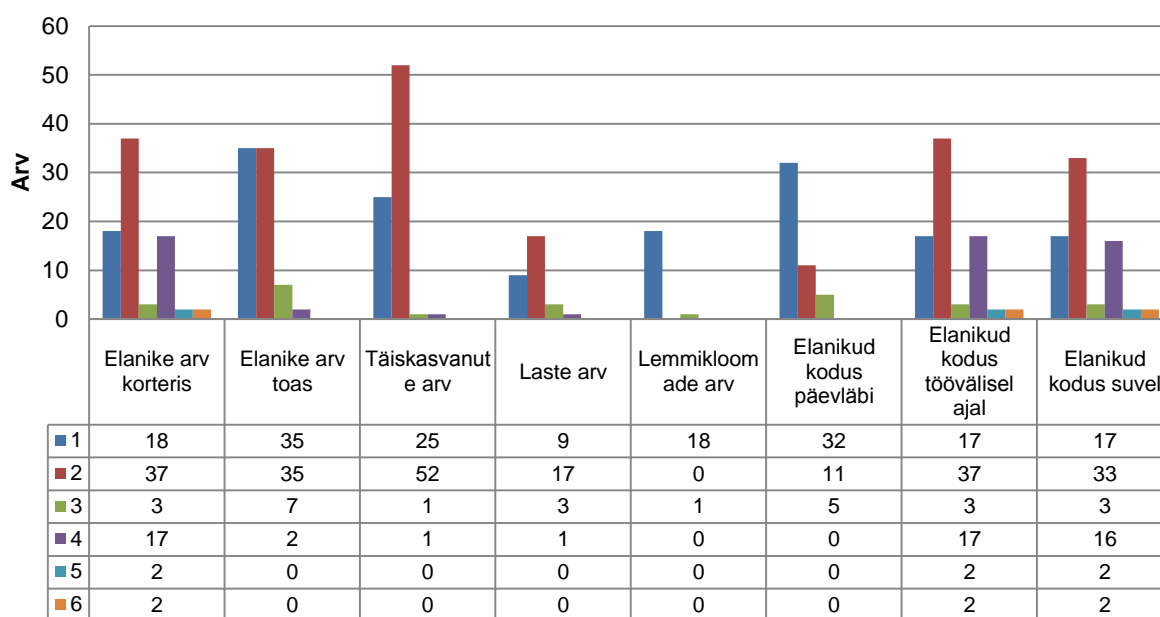
## 5. Korteriomanike ankeetküsitlus

Kõigis uuritavates korterites teostati küsitlus, mille eesmärgiks oli välja selgitada inimeste rahulolu seoses renoveerimisega.

Küsimustiku esimene pool eesmärgiks oli välja selgitada elanike kohalolek korteris, nende käitumisharjumused seoses ruumide ventileerimise ja temperatuuri alandamisega ning halva ventilatsiooniga seotud probleemide tuvastamisega, nagu akende udusus, seinte hallitus.

Ankeedi teine pool keskendus sisekliima hindamisele ja renoveerimistulemustele seoses nende muutumisega. Elanikelt küsiti ka nende rahulolu seoses renoveerimisest tuleneva energiasäästuga.

Kokku oli uuritavaid hooneid 20. Igas hoones analüüsiti vähemalt kolme korterit. Ühtekokku oli uuritavaid kortereid 79, keskmine elanike arv korteris oli 2,4 inimest. Korterid, kus elas üks inimene oli 18, kahe inimesega kortereid 37 ning kolme ja enam elanikuga kortereid oli kokku 24 (Joonis 5.1). Küsitlustulemuste graafikuid tulenevalt toetusprotsendile ja ventilatsioonile leiab lisadest. Küsimus, elanike kohaoleku kohta suvisel ajal oli ajendatus asjaolust, et korterid on suvisel perioodil tühjad ning elanikud elavad suveperioodil suvilas, mida oli 79-st 6.



Joonis 5.1 Korterite elanike jaotus ning kohalolek uuritavates hoonetes ja korterites

### 5.1 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid

Küsimusele, kas korteri seina sisepinnale on tekkinud hallitus (elaniku arvates) vastas 79 küsitletud inimesest 29, et hallitusega on olnud probleeme, osades korterites ei ole hallitus kadunud ka renoveerimisega. Samuti täheldavad 40 korteri elanikud ka akna udusust, mis viitab otseselt halvale õhuvahetusele. Samas ei saa küsitlustulemuste põhjal väita, et see probleem erineb loomuliku ja mehaanilise ventilatsiooni puhul. Samast graafikust saame välja lugeda (Joonis 5.2), et osades korterites, täpsemalt kolmes 15% rekonstrueerimistoetus saanud hoones (1.1; 1.3; 1.5), puuduvad värskeõhuklapid ning kogu sisenev värske õhk tuleb ruumidesse vaid läbi ebatiheduste või mikrotuulutuse. Hooneid, kus oli nn mehaaniline

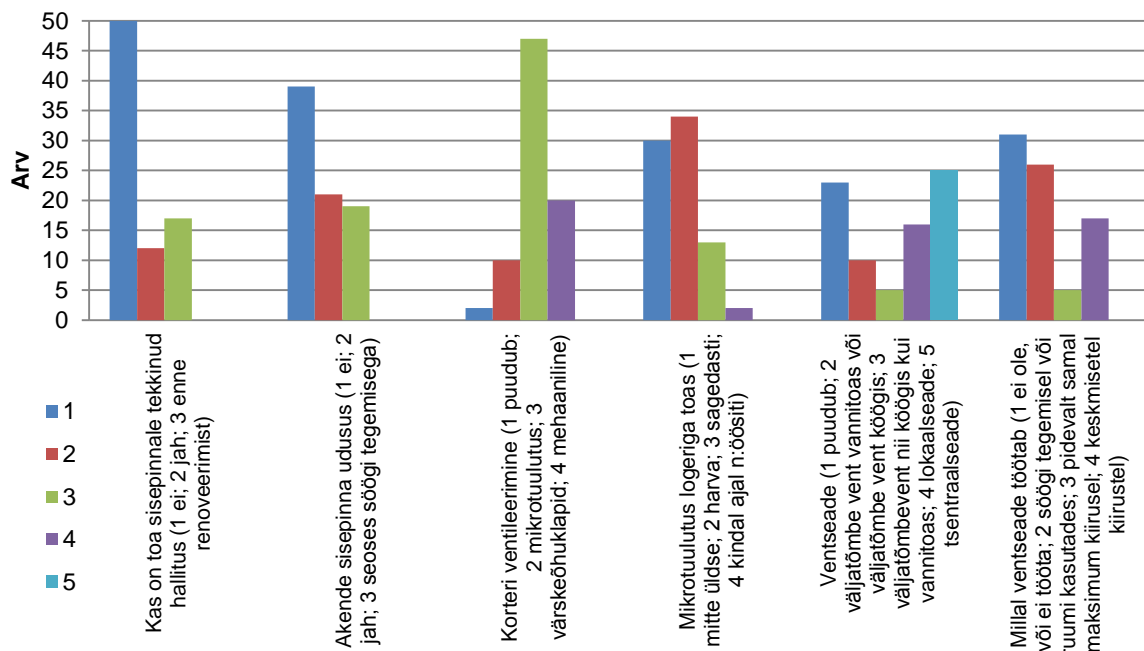


## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

väljatõmme kombineeritud värskeõhuklappidega, oli uuringus kokku viis. Neljal hoonel olid lokaalsed sissepuhke väljatõmbeseadmed keraamilise soojustagastiga. Üldiselt kasutatakse lisaks olemasolevatele lokaalseadmetele ja värskeõhuklappidele nendes hoonetes asuvates korterites ka mikrotuulutust.



### Joonis 5.2 Kortrite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid

Üldiselt on korterites kõik aknad vahetatud enne renoveerimist, vaid üheksal korteril vahetati aknad kas osaliselt või täielikult seoses renoveerimisega ning kahel korteril, mis kuuluvad 15% toetust saanud hoonete hulka on ehitusaegsed aknad. Hoonetes, kus on radiaatoritel termostaatventiilid (hoonetes 1.2 ja 1.4 puuduvad), alandatakse nendega temperatuuri peamiselt seoses kodust eemalolekuga. Samas vastas osa elanikke, et alandavad temperatuuri öiseks ajaks või seoses sellega, et nad mingit ruumi ei kasuta. Toodi välja ka seos individuaalse küttekulu arvestamisega.

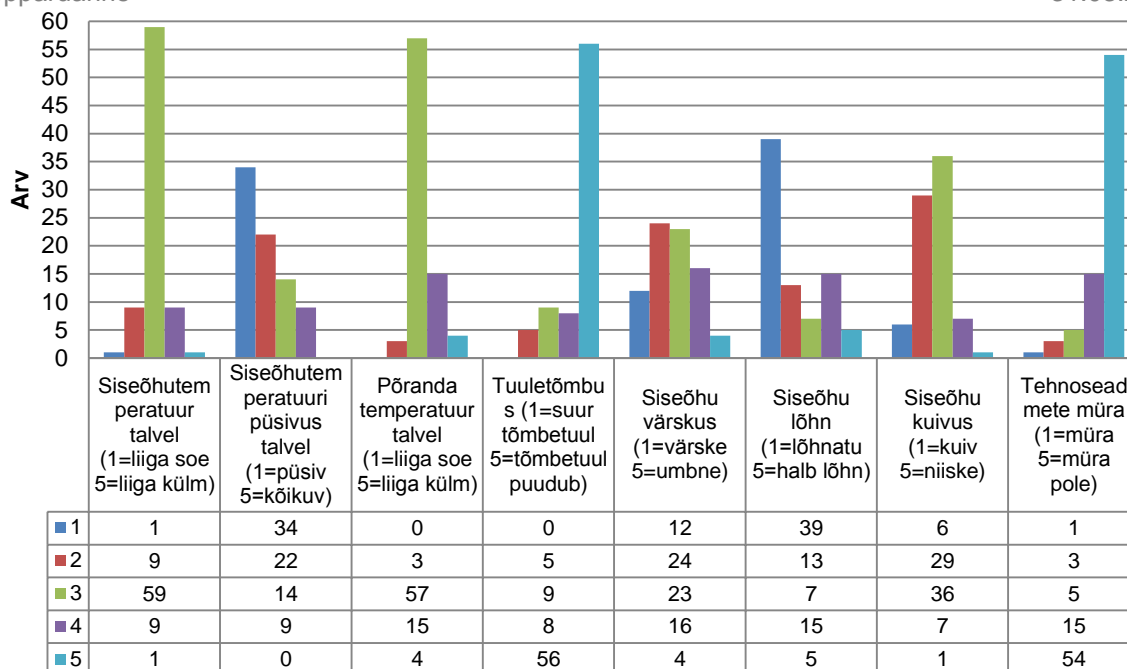
## 5.2 Elanike hinnang sisekliimale

Elanike hinnangust sisekliimale tuleb selgelt välja, et seoses termostaatventiilidele saavad elanikud oma temperatuuri seada mugavaks ning temperatuuri püsivusega oldaks samuti pigem rahul (Joonis 5.3).

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



### Joonis 5.3 Elanike hinnang sisekliimale

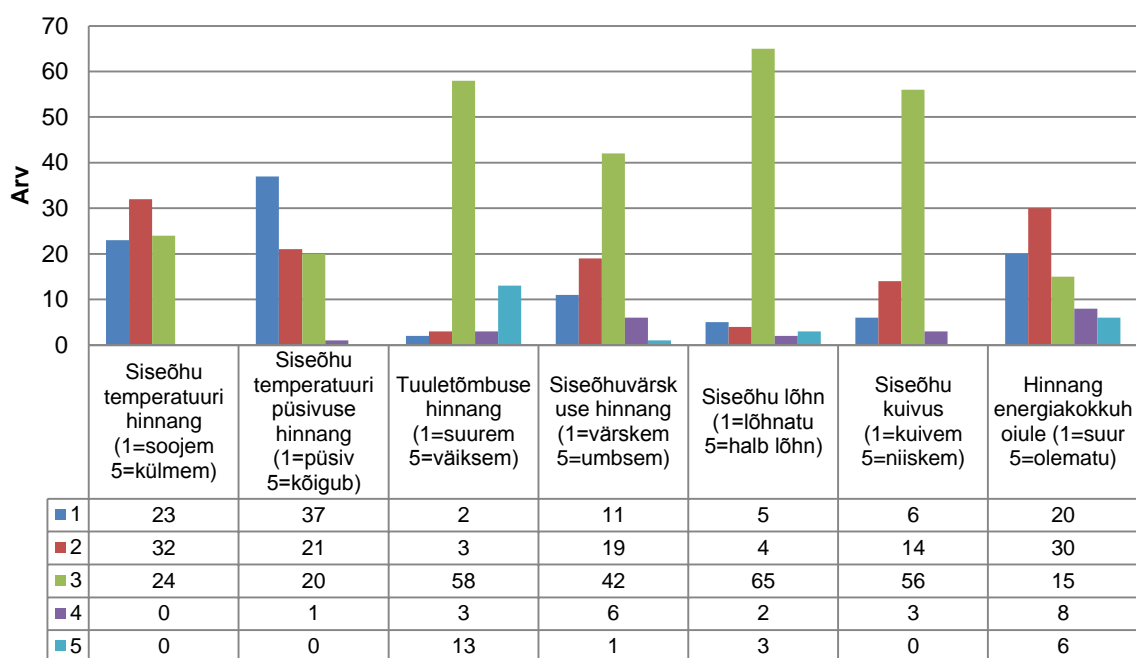
Põranda jahedama temperatuuri kohta kurdetakse esimeste korruste korterites hoonetes, kus sokkel on jäänud soojustamata või tuuakse põhjusena välja külm kelder. Tehnoseadmete müra puhul, kus oli lokaalne keraamilise soojustagastiga ventilatsiooni seade, tõid elanikud välja just selle poolt tekitatava tugevamüra, mistõttu hoitakse seadme töökiirust keskmiste või madalamate astmete juures, vaid ühes korteris 12-st hoiti ühte lokaalseadet maksimumkiiruse juures. Selles korteris elas kuulmispuudega inimene ning müra teda ei häirinud.

Siseõhuvärskuse osas jagunesid elanike arvamused olenemata toetusprotsendist või ventilatsioonist enamvähem võrdselt, enamasti ei osata selle kohta hinnangut anda. Kortertes paigutatud tablooga varustatud õhu temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja süsihappegaasi kontsentratsiooni mõõtesead, aga pani inimesi sageli oma hinnanguid muutma. Ruumides, kus õhuvahetus oli halb, ei osanud inimesed ise selle kohta hinnangut anda, samuti ei osatud hinnata, kas õhk on renoveerimisega muutunud värskemaks. 79-st küsitlusankeedist ilmneb, et 30-s korteris on õhk muutunud värskemaks (Joonis 5.4).

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014



### Joonis 5.4 Elanike hinnang sisekliima muutumisele seoses renoveerimisega

Küsimusele, energiakulu kokkuhoiu kohta arvavad 50 korteri elanikud, et kokkuhoid on märgatav. Selgelt tuleb küsitlusankeetidest välja, et 15% toetust saanud hoonetes, energia kokkuhoidu ei tunta, erandina hoone 1.4 ning osaliselt hoone 1.2, kus kaks neljast on arvamusel, et kokkuhoid on tuntav ja hoonetes 1.3 ning 1.5, kus mõlema ühes korteris tuntakse kütteenergia säästu, mis on nendes korterites seotud individuaalse küttekulu jaotamisega.

Elanike küsitlustulemuste järgi saab anda hinnangu, et hoonetes, kus renoveeriti üksnes kas üks välispiiretest ning sellega koos küttesüsteem, energiakokkuhoidu elanike meelest ei teki. Samuti häirib inimesi lokaalse regeneratiivse soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi müra, mistõttu piiratakse seadme töökiirust ning millega väheneb ka õhuvahetus. Elanikud on rahul renoveerimisjärgse siseõhutemperatuuriga, mida nad saavad termostaatventiilidega ise mugavaks reguleerida. Rahulolematusest tuleb välja, et esimese korruse korterite põrandapinnatemperatuur on madal, mille mõju oleks saanud vähendada sokli soojustamisega. Küsitlustulemusest võib näha, et mehaaniline ventilatsioon ei ole korterites õhku piisavalt värskets muutnud ning elanikud kasutavad ruumides mikrotuulutust. Samas annab hoone 3.4 elanike poolt antud hinnang tuge, et mehaanilise väljatõmbega väljatõmbeõhu soojuspumbaga lahenduse abil saab hoone siseõhku muuta värskemaks ilma müraprobleemideta.

### 5.3 Soojusliku mugavus korterites

Vastavalt SA KresExi uuringuülesandele tuli hinnata korterites soojuslikku mugavust. Vastanutest 59 on siseõhutemperatuuriga rahul ning 34 neist hindavad temperatuuri püsivaks. Hinnangu andjatest 9 jaoks on soojusmugavus veidi jahe ning sama palju vastanutest hindavad temperatuuri veidi kõrgeks. Rahulolematuid, kes peavad ruumide soojuslikku mugavust kas jahedaks või soojaks, oli küsitletutest mõlemaid 1. Kui hinnangu aluseks võtta küsimus, kas siseõhu temperatuuri mugavus on tõusnud, siis 79-st vastanust 55 hindab, et temperatuur on neil läinud mugavamaks ning 24 ei oska muutusele hinnangut anda.

Sellest saab järeldada, et 75% vastanutest on soojusliku mugavuse alusel rahulolevad, 23% rahulolu on väiksem ning 2% vastanutest hindas olukorda jahedaks või soojaks ehk on

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

rahulolematud. Tulemust võib hinnata heaks, kuna statistiliselt on rahulolematute osakaal alati suurusjärgus 25% ning täiesti rahuolematuid samuti 5%. Soojusliku mugavuse rahuolu kasv on paranenud, kuna 74% vastanute osas oli rahulolu kasv ning 26% vastanutest ei osanud hinnata rahulolu tõusu.

Ankeetküsitluste põhjal on võimalik vastavalt standardis EVS-EN ISO 7730:2006 toodud soojusliku mugavuse subjektiivse hindamise meetodikale välja tuua ka hoonete keskmised PMV ja PPD indeksid. Kõigi hoonete keskmine PMV indeks vastavalt ankeetküsitluse tulemustele on  $-1 < PMV < +1$ . Vastavalt Tabel 3.2 toodule varieerub erinevate korterite soojuslik mugavus lähtuvalt PMV indeksist I kuni IV sisekliima klassini. Kõigi hoonete keskmine PMV indeks vastavalt ankeetküsitluse tulemustele on  $PPD < 25\%$ . Nii PMV kui ka PPD indeksit aluseks võttes vastab nõutud III sisekliima klassile 97,4 % uuritud korteritest.

### 5.4 Kokkuvõte küsitlustulemustes

Küsitlustulemuste põhjal võime järeldada, et inimesed on üldjuhul rahul renoveerimisega, kui nende mugavus sellega seoses kasvab ning nad tunnevad ka otseselt kulude kokkuhoidu. Kõige enam oli tunnetatav rahulolukasv 25% toetust saanud korterelamute elanike hulgas, kus inimesed tunnetasid nii soojusliku mugavuse tõusu kui oskasid hinnata ka kulude kokkuhoidu (Joonis 9.8, Joonis 9.9). Samas ei osatud anda hinnangut õhu värskemaks muutumise kohta, mida hinnati eelnevaga võrreldavaks (Joonis 9.7).

Inimeste rahulolukasv seoses ventilatsiooniga oli kõige väiksem. Seda nii 15% ja 25% toetust saanud hoonete hulgas seoses nn loomuliku õhuvahetuse lahendamise, mis kas täielikult või ainult osaliselt on lahendatud, kuid mis ei võimalda tagada rahuldavat õhuvahetust (0,5 1/h).

Elanike küsitlustes tuleb välja, et juhul kui hoonesse on projekteeritud mehaaniline soojustagastusega ventilatsioon ruumipõhiste regeneratiivsete soojustagastitega seadmete baasil, ei olda rahul seadmete tekitatud müraga. Lahenduses kasutatud seadmed tagaksid rahuldava õhuvahetuse vaid juhul, kui nad töötavad täiskiirusel, kuid sellistes tingimustes on mürafoon ruumides kannatamatult kõrge. Kuna müra tase on kõrge, hoitakse seadmete töökiirust esimeses või teises kiirusastmes, mis võimaldab tagada ainult 30 kuni 45% õhuvahetust rahuldavast tasemest. Hoonetes, milles on rohkem kui 2 korrust, kurdavad esimeste korruste elanikud ka selle üle, et jahedamate ilmadega tungib seadmest sisse liialt jahedat õhku, mille temperatuuri on elanikud käsitermomeetriga mõõtnud ka alla 0 °C. Seetõttu seadmete kaaned suletakse. Antud probleemi olemust kontrollisime ka objektil käies, kus mõõtsime sissepuhke õhu koguseid ning temperatuure ning mille käigus olid esimeste korruste sissepuhke õhu kogused võrreldes väljatõmbeõhu kogustega keskmiselt kaks korda suuremad. Sellises olukorras ei suuda ka seade soojust piisavalt tagastada, et vältida miinustemperatuuridel õhu tulekut siseruumidesse.

Ventilatsioon toimib hoonetes juhul, kui see inimest võimalikult vähe häirib, süsteemi tööd hakatakse muutma, siis kui sellest tingituna tekib probleem.

Inimeste kõige suurem rahulolu on seotud soojusliku mugavuse kasvuga, kuid seoses küttekulu individuaalse jaotamisega lepivad osade korterite elanikud ka veidi madalama temperatuuriga. Teisalt on individuaalse kulu jaotuse üheks miinuseks ka ventileeritava õhu koguse piiramine. Kui elanikud on hinnatundlikud, siis talvisel ajal väiksemate küttekulude saavutamise eesmärgil suletakse värskeõhuklapid, läbi millede siseneb ruumidesse vajalik värske, kuid jahe õhk.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

### 6. Objektide energiatõhususe analüüs

Hoonete energiatõhususe analüüsi peaesmärgiks oli analüüsida renoveerimisega saavutatav energia kokkuvõid ja võrrelda seda auditis või selle lisas prognoositud väärtusega, nii nagu audiitor või projekteerija selle välja toonud on. Kui võrrelda erinevates auditites või nende lisas toodud kokkuvõidu, on pooltel juhtudel kokkuvõidu aluseks võetud kütte ning pooltel kütte koos tarbeveega. Osade hoonete puhul jääb arusaamatuks, millest säästu arvutatakse ning tulemuse analüüsimiseks on aluseks võetud nendest viimane variant.

Käesolevas peatükis on kõikide analüüsitud kortermajade energiatõhususe analüüs eraldi välja toodud ning antud hinnang, kas kulude kokkuvõid saavutati ning kui ei, siis mis on selle põhjused. Iga toetusrühma analüüsi järel on toodud järeldus energiatõhususe analüüsi kohta. Peatüki lõpus asuvates tabelites (Tabel 6.2 ja Tabel 6.3) on välja toodud ka auditi sisendandmete alusel arvutatud kütteenergia kokkuvõid nn. ideaalse kavandatud renoveerimisjärgse olukorra kohta kui ka 2013 aasta tarbimisandmete tegeliku energiakulu kohta. Kõik kütteenergiakulu andmed nii renoveerimiseelses kui -järgses olukorras on taandatud baasaastale.

Analüüsist on välja jäetud energiatõhususarvu nõude kontroll. Samas on analüüsil tähelepanu pööratud standardis EVS-EN 15251 toodud õhuvahetusnõude täitmisele, milleks on kokkuleppel tellijaga võetud III sisekliima klassi piirtase 0,5 korda tunnis (0,5 1/h) või vastavalt ruutmeetri kohta 0,35 l/s (0,35 l/s\*m<sup>2</sup>).

Allolevas tabelis (Tabel 6.1) on toodud hoonetes teostatud energiasäästu andvate tööde nimekiri. Tabelis on toodud piirete soojustuskihtide paksused.

**Tabel 6.1 Uuritavatel objektidel teostatud renoveerimistööd**

Hoone	Vundament	Välisseinad	Katus/pööning	Aknad/uksed	Küttesüsteem	Ventilatsioonisüsteem
Kood						
1.1	-	Külgseinad 100 mm	-	-	Uus kahetorusüsteem	
1.2	100 mm	Külgseinad 150 mm, otsaseinad 200 mm	-	Trepikoja akende ja uste vahetus	Olemasoleva ühetorusüsteemi tasakaalustamine	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
1.3	-	-	230 mm	-	Uus kahetorusüsteem	-
1.4	100 mm	150 mm	200 mm	Vahetamata akende vahetus	-	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
1.5	-	-	-	-	Uus kahetorusüsteem	-
2.1	100 mm	Otsaseinad 150 mm. külgseinad 150 mm	250 mm	Keldri ja trepikoja akende vahetus	Maasoojuspump	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
2.2	100 mm	150 mm	250 mm	-	Uus kahetorusüsteem	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
2.3	100 mm	150 mm lisasoojustus	200 mm	Vahetamata akende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
2.4	100 mm	150 mm	250 mm	Vahetamata akende	Uus kahetorusüsteem	-

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

				vahetus		
2.5	100 mm	Otsaseinad 150 mm külgeinad 100 mm	300 mm	Keldriakende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Värske õhu klapid/loomulik väljatõmme
3.1	100 mm	120 mm	130 mm	Vahetamata akende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Ruumipõhised soojustagastusega ventilatsioon
3.2	100 mm	150 mm	130 mm	Vahetamata akende vahetus	Olemasolev kahetorusüsteem eelnevalt renoveeritud	Ruumipõhised soojustagastusega ventilatsioon
3.3	100 mm	150 mm	250 mm	Vahetamata akende vahetus	Ühetorusüsteemi renoveerimine	Väljatõmbeõhu soojuspump
3.4	100 mm	150 mm	230 mm	Vahetamata akende vahetus	Maasoojuspump. uus kahetorusüsteem	Väljatõmbeõhu soojuspump
3.5	100 mm	100 mm	230 mm	Vahetamata akende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Väljatõmbeõhu soojuspump
3.6	100 mm	150 mm	80 mm	Vahetamata akende vahetus	Maasoojuspump. uus kahetorusüsteem	Väljatõmbeõhu soojuspump
3.7	100 mm	Pikiseinad 150 mm, otsaseinad lisaks 50 mm	230 mm	Vahetamata akende vahetus	Ühetorusüsteemi renoveerimine	Ruumipõhised soojustagastusega ventilatsioon
3.8	100 mm	150 mm	230 mm	Vahetamata akende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Väljatõmbeõhu soojuspump
3.9	100 mm	Külgeinad 150 mm, otsaseinad 200 mm	200 mm	Vahetamata akende vahetus	Uus kahetorusüsteem	Ruumipõhised soojustagastusega ventilatsioon
3.10	100 mm	Külgeinad 150 mm	100 mm	-	Õhu-vesi soojuspump ja uus kahetorusüsteem	Soojustagastiga tsentraalne ventilatsioon

### 6.1 15% toetust saanud hoonete energiatõhususe analüüs

15% toetuse saamiseks peab korterelamu rekonstrueerimisel täitma järgmised nõuded:

- täitma renoveerimislaenu saamiseks esitatud nõudeid ja energiaauditi soovitusi ning saavutama korterelamu rekonstrueerimisega vähemalt 20%-lise energiasäästu soojusenergia tarbimiselt kuni 2000 m<sup>2</sup> suletud netopinnaga korterelamus ja vähemalt 30%-lise energiasäästu saavutamise üle 2000 m<sup>2</sup> suletud netopinnaga korterelamus. Rekonstrueerimistöote teostamise tulemusel tuleb tagada hoones sisekliima vastavus standardi EVS-EN 15251 nõuetele ja energiamärgise klass E (energiatõhususarv <250 kWh/(m<sup>2</sup>\*a);

Analüüsitud hoonetest olid kõik hooned suletud netopindalaga üle 2000 m<sup>2</sup>.

#### 6.1.1.1 Hoone 1.1 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe

Hoone on 1970-ndal ehitatud telliskorterelamu, mis asub Tallinnas. Hoones rakendati energiaauditis toodud esimest renoveerimispaketti, mille käigus soojustati hoone esi- ja

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

tagafassaad 100 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga (välja arvatud rõduseinad), mis moodustab orienteeruvalt 40% fassaadi kogupinnast. Varasemalt on hoones soojustatud otsaseinu. Samuti renoveeriti hoone küttesüsteem termostaatventiilidega kahetorusüsteemiks. Auditis toodu põhjal tuli hoone välisseintesse rajada värskeõhuklapid, mille tulemusel peaks õhuvahetus hoones suurenema 0,5 1/h-ni. Auditis toodud paketi lahendamisel on loodetud energiasäästuks 135 MWh/a, millest 47 MWh/a on saavutatav küttesüsteemi renoveerimisega ning 88 MWh fassaadide soojustamise, katusekatte vahetuse ning ventilatsiooni tõhustamisega. Energiasäästuks on arvestuslikult saadud 28,2%.

Energiaauditi andmetel saadi renoveerimiseelses olukorras hoone soojuskadudeks läbi piirdetarindite 325 MWh/a (103 kWh/m<sup>2</sup>\*a), õhuvahetusest 66 MWh/a (21 kWh/m<sup>2</sup>\*a) ning tarbevee soojendamiseks 86 (27 kWh/m<sup>2</sup>\*a) MWh/a ehk kokku 477 MWh/a vastavalt 152 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Energiasääst on arvatud kütteeenergia ja soojatarbevee soojendamise summast. Antud hoones teostatud kontrollarvutused renoveerimiseelse soojusbilansi kohta andsid samase tulemuse (erinevus väiksem kui 5%).

Samas, kalkuleerides antud sisendandmete põhjal ning eeldades, et tänu renoveerimisele on võimalik vabasoojust utiliseerida (tänu küttesüsteemi reguleeritavaks muutmisele) 15% rohkem, siis renoveerimismeetmetega sama soojatarbevee kasutamise koguse juures ning sama siseõhutemperatuuri juures peaks energiakulu hoopis suurenema 1,5%. Juhul kui eeldame et tänu reguleeritavale süsteemile ja individuaalsele küttekulu reguleerimisele alandatakse siseõhutemperatuuri 1 °C, oleks võimalik energia kokkuhoid 3,5%. Madal energiasääst tuleneb sellest, et õhuvahetuse intensiivistumisega õhuvahetuse kordarvult 0,25 1/h õhuvahetuse kordarvuni 0,5 1/h suureneb ventilatsiooni õhu soojendamisele kulunud soojushulk ning fassaadi soojustamisega ei saada piisavalt energiasäästu.

### **6.1.1.2 Hoone 1.1 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Tegeliku energiakulu hindamise juures ei ole hoone õhuvahetus paranenud ning koos infiltratsiooniga on see jäänud samale tasemele. Hinnanguline õhuvahetus antud hoones oli orienteeruvalt 0,25 1/h (lähtudes õhuvooluhulkade mõõtmistest ja CO<sub>2</sub> sisalduste hindamisest). Kütteeenergia kokkuhoid on saavutatud fassaadi soojustamisega, mis teeb hoone kütteeenergia (koos ventilatsiooniõhu soojendamisega) kuluks renoveerimisjärgselt orienteeruvalt 370 MWh/a ning seoses sooja tarbevee kulu suurenemisega ei saavutata energia kokkuhoidu ning jääb kaugele soovitud väärtusest 28,2%. Seega, antud hoone puhul jääb ebaselgeks, kuidas on audiitori poolt leitud rekonstrueerimispaketis toodud renoveerimistöödest tulenev energia kokkuhoid.

### **6.1.2 Hoone 1.2**

#### **6.1.2.1 Hoone 1.2 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 1.2 on tellistest otsaseintega ning suurpaneelidest külgeintega 1973 aastal ehitatud korterelamu, mis asub Tartus. Hoone renoveerimisel rakendati suures osas teist renoveerimispaketti, kus oli välja toodud külgeinte soojustamine 150 mm ja otsaseinte 200 mm paksune soojusisolatsioon (sh. sokli soojustamine) ning küttesüsteemi tasakaalustamine. Kuna nimekirjast puudus ventilatsiooni korrastamine, on antud hoonele tehtud täiendavalt juurde ka auditi lisa, kus on välja toodud värskeõhuavade rajamine eluruumide seintesse ning ventilatsioonikanalite rajamine. Audiitor on hinnanud, et energiakulu enne renoveerimistööd oli 211 kWh/m<sup>2</sup>\*a ja peale tööde teostamist saab see olema 130 kWh/m<sup>2</sup>\*a, saades energia kokkuhoidu 38%. Antud tulemusi analüüsides on 211 kWh/m<sup>2</sup>\*a kütteeenergia, soojatarbevee ning tarbeveetsirkulatsiooni (sh soojusvõrgu kaod) summa. Tabelis (Tabel 6.2) toodud arv 215 kWh/m<sup>2</sup>\*a on antud andmete ülearvutuse tulemus. Renoveerimata olukorras oli hinnatud hoone õhuvahetus orienteeruvalt 0,3 1/h.

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

Renoveerimisjärgses olukorras tuginedes toetuse tingimustele ja KredEx nõutud sisekliima klassile III, tuleks tagada õhuvahetuse kordarv 0,5 1/h. Sellest tulenevalt suureneb värskeõhuklappidest siseneva õhu ülessoojendamisele kuluv energia hulk, kuid seoses fassaadide soojustamisega saavutatakse energia kokkuhoid. Arvutades saadud sisendandmetega hoone võimalikku kütteenergia kulu peale renoveerimist, oleks see 108 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Eeldades, et auditis toodud soojavee ringlusevõrgukaod ei vähene, on kogu eeldatav energiakulu peale renoveerimist 154 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk 28%.

### **6.1.2.2 Hoone 1.2 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Tegelikus olukorras on hoone energiatarbimine küttele, soojale tarbeveele ja tsirkulatsioonile koos kadudega renoveerimisjärgses hoones kokku orienteeruvalt 141 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Väiksem energiakulu võrreldes eeldatud olukorraga tuleneb peamiselt seoses väikema õhuvahetusega. Kui hinnanguliselt peaks õhuvahetusega seotud kütteenergia kulu olema õhuvahetuse kordarvu korral 0,5 1/h hinnanguliselt 40 kWh/m<sup>2</sup>\*a, siis tegelikus olukorras, kui õhuvahetuse kordarv on ligi 0,25 1/h, koos infiltratsiooniga 0,35 1/h, on see orienteeruvalt 22 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Sellega seoses on saavutatav energia kokkuhoid 34%. Hoonesse on küll paigaldatud värskeõhuklapid, kuid need on kas suletud või näiteks ühetoalistes korterites asub klapp eluruumi asemel köögis.

### **6.1.3 Hoone 1.3**

#### **6.1.3.1 Hoone 1.3 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 1.3 on 1969 aastal ehitatud tüüpiline 60-ne korteriga suurpaneelilamud Tallinnas. Hoone renoveerimisel pole kasutatud konkreetset renoveerimispaketti ning saadava energiakokkuhoiu kohta on koostatud auditi lisa. Selles on toodud, et hoones renoveeritakse küttesüsteem reguleeritavaks termostaatventiilidega varustatud kahetorusüsteemiks ning hoones rakendatakse individuaalset kuluarvestussüsteemi. Auditi lisa on energiasääst arvutatud 30%, mis sisaldab varem teostatud katuse renoveerimist, millega on saavutatud hinnanguliselt 9,8%-ne kokkuhoid. Auditi lisa järgi oli hoone renoveerimiseelne energiakulu 179 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning renoveerimisjärgne kulu 139 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Arvesse on võetud ka õhuvahetuse tagamine hoones. Auditi järgi on hinnatud õhuvahetusega kaasnevat soojuskadu üle 2 korra suuremaks kui meie kontrollarvutused seda renoveerimiseelse olukorra kohta näitasid. Samuti ei ole auditis välja toodud, millise õhuvahetuse kordarvu juures saadud tulemus on arvutatud. Samas on auditis hinnatud, et õhuvahetust ei tohi viia alla 0,5 1/h.

Kontrollarvutused andsid renoveerimiseelses olukorras hoone küttele, sooja tarbevee soojendamise ja soojaveetsirkulatsiooni koos kadudega kuluks 181 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Seejuures hinnati hoone õhuvahetuseks 0,2 1/h.

#### **6.1.3.2 Hoone 1.3 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Hoone renoveerimisjärgse olukorra soojusbilansi koostamise aluseks oli, et tänu küttesüsteemi renoveerimisele muutub siseõhutemperatuur ühtlasemaks ja hoone vabasoojust on võimalik efektiivsemalt kasutada. Samuti arvestati katuse soojustamise ning õhuvahetuse tagamisega 0,5 1/h. Peale renoveerimist antud sisendandmeid kasutades oleks energiakulu 174 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Ainult 4% kokkuhoidu tuleneb õhuvahetuse suurenemisest 16 kWh/m<sup>2</sup>\*a-lt 40 kWh/m<sup>2</sup>\*a-le.

Olemasolevas olukorras hoone küttele, tarbevee soojendamisele ja tsirkulatsioonile kuluv energiakulu on 138 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning saavutatav energiasääst on 24%. Energiasääst tuleneb nii soojustatud katusest kui väiksemast õhuvahetusest (puuduvad värskeõhuklapid), hinnanguline õhuvahetus hoones on koos infiltratsiooniga 0,27 1/h, sellest tulenevalt energiakulu hinnanguliselt 15 kWh/m<sup>2</sup>\*a.



## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

Saadud energiasääst ei taga toetuses toodud eesmärki, samuti ei ole tagatud ka sisekliima III klass tulenevalt standardist EVS-EN 15251.

### **6.1.4 Hoone 1.4**

#### **6.1.4.1 Hoone 1.4 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 1.4 on 1984 aastal ehitatud suurplokkidest elamu Läänemaal. Hoone renoveerimisel ei ole kasutatud auditis välja toodud konkreetset renoveerimispaketti ning auditile on koostatud lisa, kus on kombineeritud pakettis üks ja kaks toodud renoveerimistööd, millega seoses soojustatakse hoone välispinnad 150 mm ja sokli osa 100 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga. Katuse soojustamiseks kasutatakse 200 mm soojustust ning vahetamata aknad vahetatakse uute pakettakende vastu, samuti rajatakse välisseintesse värskeõhuklapid.

Auditi alusel on hinnatud, et enne renoveerimist on hoone energia kulu  $156 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ning peale lisas toodud renoveerimistööd koos vahepealsel ajal vahetatud akendest tuleneva energiasäästuga 5% saadakse kuluks  $94 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ehk 40%. Antud kulu on hoone küttele kuluv soojusenergia hulk, millest hinnanguliselt  $38 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  kulub hoone ventilatsiooniõhu soojendamisele. Õhuvahetuseks on renoveerimiseelses olukorras hinnatud 0,3 1/h.

Eeldusel, et hoone kütteeenergia kulu hulka kuulub ka võrgukadu ning käterätikuivatitele kulunud soojuseenergia, oleks tarbimisandmete alusel saadud küttele kulunud energiahulk orienteeruvalt  $164 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Kasutades auditis ja selle lisas toodud sisendandmeid ja eeldust, et renoveerimisega saavutatakse ventilatsiooni õhuvahetuse kordarv 0,5 1/h, saadi arvutuslikult hoone kütteeenergia kuluks koos tarbevee tsirkulatsiooni ja võrgukadudega  $96 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , mis teeb energiasäästuks 38%.

#### **6.1.4.2 Hoone 1.4 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Tegelikus olukorras, kus õhuvahetuskordarvu 0,5 1/h ei tagatud, on reaalne energiasääst 36% ning kulu  $99 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Hoone suurem kütteeenergia kulu tuleneb hoone kõrgemast siseõhutemperatuurist. Juhul kui õhuvahetus oleks 0,5 1/h ning temperatuuri hoitaks hoones  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , oleks samuti saavutatav ligilähedaselt 30%-ne kütteeenergia kokkuhoid.

### **6.1.5 Hoone 1.5**

#### **6.1.5.1 Hoone 1.5 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 1.5 on Tallinnas paiknev tüüpiline 1979 aastal ehitatud suurpaneelidest korterelamu. Antud hoone puhul on eelnevalt soojustatud hoone katus ning otsaseinad (antud töödest saavutatavat energiasäästu arvesse võetud ei ole). Hoone renoveerimiseks on osaliselt rakendatud energiaauditis toodud esimest renoveerimispaketti. Auditi lisas toodud töödena on näidatud hoone küttesüsteemi renoveerimine reguleeritavaks kahetorusüsteemiks, rakendades individuaalset kütteeenergia jaotussüsteemi. Renoveerimiseelse kütteeenergia kulu on hinnatud  $199 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ning renoveerimisega saadavat energiakulu  $176 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ning planeeritavaks energiakokkuhoiduks on lisas arvatud 32%. Antud arvudest tulenevalt on leitav, et see on 11,6%. Seega jääb ebaselgeks, kuidas on antud tulemus kalkuleeritud. Renoveerimiseelset olukorda hinnates oli saadud energiakulu küttele, soojale tarbeveele ning tsirkulatsioonile ja selle kadudele kokku  $164 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , saadud suurus ühtib ka tarbimisandmetega. Hoone hinnanguline õhuvahetus renoveerimiseelses olukorras on 0,25 1/h.

Hoone renoveerimisega võimalikku saavutatavat energiasäästu arvutades saime tugineda efektiivsemale vabasoojuse ärakasutamisele ja sellele, et õhuvahetust intensiivistatakse tasemeni 0,5 1/h. Sellises olukorras suureneks hoone energiatarbe  $169 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

### 6.1.5.2 Hoone 1.5 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele

Tegelikus olukorras on lähtudes reaalistest mõõtmistulemustest saavutatud energia kokkuhoid 13% ehk energia kulu on 143 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Saadud tulemuse põhjal võime hinnata, et hoones võrreldes renoveerimiseelse olukorraga õhuvahetus pole paranenud, kuid tänu küttekulu individuaalsele arvestamisele hoitakse ruumides veidi madalamat siseõhutemperatuuri ning vabasoojuse efektiivne ärakasutamine tänu termostaatventiilidele on paranenud. Samas näitavad tarbimisandmed, et hoone energiasääst jääb antud meetme rakendamisel selgelt alla nõutud 30%.

### 6.1.6 Kokkuvõte 15% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisele

Antud hoonete analüüsi põhjal saame järeldada, et 15% renoveerimismeetme toetuse nõue oli saavutatav vaid kahes uuritavas korterelamus 1.2 ja 1.4 (Joonis 6.1). Samas, tuginedes auditites toodud eeldustele, jääks hoone 1.2 nõutud energiakokkuhoiu piir saavutamata. Kuna antud hoonetes kas lahendati osaliselt või jäeti tervenisti lahendamata ventilatsioon, ei saavutatud hoonetes ka soovitud sisekliima standardis toodud III sisekliima klassi õhuvahetuse sihttasel 0,5 1/h (0,35 l/s\*m<sup>2</sup>).

Üldistatult saame hinnata, et küttesüsteemi renoveerimisega ei ole võimalik saavutada 30% kütteenergia kokkuhoidu, jäädes reaalselt alla üle kahe korra. Juhul kui renoveerimiseelses olukorras on selge ülekütmine ning temperatuurid korterites on erinevad, on võimalik 5-6% kütteenergia kokkuhoid ühe kraadi langetamisega saavutatav. Samas, termostaatventiilide kasutamisega lisaks soojusmugavuse paranemisele on võimalik paari protsendi jagu aastas kokkuhoidu saavutada ka vabasoojuse efektiivsema kasutamise arvelt.

## 6.2 25% toetust saanud objektide energiatõhususe analüüs

25% toetuse saamiseks peab taotleja lisaks kõikide eelmainitud tingimuste täitmisele:

- saavutama korterelamu rekonstrueerimisega vähemalt 40% säästu soojusenergia tarbimiselt. Rekonstrueerimistöde teostamise tulemusel tuleb tagada hoones sisekliima vastavus standardi EVS-EN 15251 nõuetele ja energiamärgise klass D (energiatõhususarv <200 kWh/(m<sup>2</sup>\*a));
- rekonstrueerima korterelamu küttesüsteemi vähemalt korteripõhiselt reguleeritavana ja paigaldama radiaatoritele küttekulude allokaatorid või seadmed, mis võimaldaksid jaotada kütte energiatarbimist korterite kaupa. Termostaatseadmed peavad olema varustatud piirajatega, mis ei võimalda tahtlikult langetada korteri temperatuuri alla 16 kraadi.
- vahetama kõik projekti alustamise hetkel vahetamata aknad energiasäästlike akende vastu, mille avatäite kompleksne soojuslähivus paigaldatuna on  $U \leq 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ning paigaldama need soovituslikult soojustuse tasapinda või olema korterelamu kõik aknad eelnevalt vahetanud soojapidavamate akende vastu. Aknad võib jätta uute vastu vahetamata, kui kohalik omavalitsuse ei ole andnud luba akende vahetamiseks kultuuriväärtuse ja miljööväärtuse kaitse kaalutlustel. Sellisel juhul tuleb nõutav energiasäästu määr tagada akende renoveerimisega (näiteks klaaside vahetamisega, klaaspaketi paigaldamisega ja tihendamisega) või teiste rekonstrueerimistöödega. Aknad, mis ei mõjuta hoone energiakulu, võib jätta vahetamata.
- soojustama ja rekonstrueerima korterelamu välisseinad osaliselt või täies mahus soojusjuhtivuse taotlustasemega  $U \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust. Fassaad võib olla vähem soojustatud või soojustamata, kui kohalik omavalitsus on motiveeritult keelanud välisseinte lisasoojustamise kultuuriväärtuse ja miljööväärtuse

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

kaitse kaalutlustel. Sellisel juhul tuleb nõutav energiasäästumäär tagada teiste rekonstrueerimistöödega.

- soojustama ja rekonstrueerima korterelamu katuse (soojusjuhtivuse taotlustasemega  $U \leq 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ), kusjuures lõplik soojustuse paksus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust).

### 6.2.1 Hoone 2.1

#### 6.2.1.1 Hoone 2.1 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe

Hoone 2.1 on Harjumaal asuv kahekordne suurplokkidest hoone, mis on ehitatud 1975 aastal. Hoones on kasutatud eelnevalt erinevaid soojusallikaid, kütteks on kasutatud õli, puitu ja ka elektrit. Hoone renoveerimisel on rakendatud osaliselt III renoveerimispaketti. Hoone välisseinad soojustati 150 mm, sokkel 100 mm ja katus 300 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga. Samuti vahetati ka veel vahetamata aknad ning mindi elektriküttelt üle maasoojuspumbaga küttele, mille käigus renoveeriti ka hoone küttesüsteem reguleeritavaks kahetorusüsteemiks. Hoone õhuvahetuse tagamiseks rajati läbi välispiirete värskeõhuklapid. Auditis toodud küttekulu väärtusi analüüsiks ei kasutatud, kuna need ei arvestanud sisekliima tagamisega hoone kütte energiakulu. Hoone erinevate soojusallikate katsetamine tingis olukorra, kus osa perioodidel olid korterid alaküttes ning rahuldava siseõhutemperatuuri hoidmiseks kasutati lisasoojuse andmiseks otseelektrikütet (elektriradiaatoreid). Arvutuste aluseks on võetud 2007 aasta kütteeenergiakulu andmed, mis on taandatud baasaastale. Hinnanguline energiakulu küttele oli enne renoveerimist 213 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

Antud renoveerimispaketiga oli soov saavutada kütteeenergia erikulu 39 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk energiasääst 82%. Energiaauditis on renoveerimiseelseks õhuvahetuseks hinnatud 0,26 1/h ning on öeldud, et peale renoveerimist tuleks see viia tasemeni 0,6 1/h (0,42 l/s\*m<sup>2</sup>). Samas puuduvad kalkulatsioonid, kuidas muutub õhuvahetuse intensiivistamisele kuluv energiahulk.

#### 6.2.1.2 Hoone 2.1 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele

Renoveerimisjärgses olukorras, kasutades auditis ja soojuspumba tehnilistes näitajates toodud sisendandmeid, on saadud kütteeenergia kuluks nn. ideaalsel juhul 25 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis annab kütteeenergia kokkuhoiuks 80%. Samas, tegelikke energiakuluandmeid analüüsides ja hinnates, et õhuvahetust 0,5 1/h ei saavutatud, on energiakulu 42 kWh/m<sup>2</sup>\*a. See tuleneb peamiselt soojuspumba madalamast efektiivsusest, samas on tagatud kütteeenergia kokkuhoid 81 %. Kui arvestada, et soojuspumba efektiivsus on sama, siis viies õhuvahetus hinnatud 0,3 1/h tasemelt 0,5 1/h-ni, oleks saadav energiasääst veidi väiksem, kuid 25% toetuse nõue oleks antud hoone puhul täidetav.

### 6.2.2 Hoone 2.2

#### 6.2.2.1 Hoone 2.2 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe

Hoone 2.2 on Tallinnas paiknev 5-korruseline 1982 aastal ehitatud telliskorterelamu. Hoone renoveerimisel rakendati auditi lisas toodud töödekogumit, mis otseselt ei vastanud paketi II toodule. Hoones soojustati välisseinad 150 mm, katus 250 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga. Hoone küttesüsteem renoveeriti reguleeritavaks kahetorusüsteemiks ning rakendatakse individuaalset küttekulu jaotussüsteemi. Läbi hoone välispiirete rajati ka värskeõhuklapid. Auditi lisa alusel võeti eelnevate renoveerimistöödena arvesse ka vahepealne akende vahetus, mis andis energiasäästuks hinnanguliselt 8%. Kõigi tööde rakendamise saavutatav energiasääst on audiitori hinnangul 40%, vastavalt enne renoveerimist 210 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning meetmete rakendamisel 127 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Saadud sääst on arvutatud kütteeenergia, sooja tarbevee ringluse (sh. kadude) ja sooja tarbevee energia

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

summana. Kontrollarvutustes saadi sama tulemus. Hoone auditist saadud sisendandmete põhjal ja võttes aluseks õhuvahetuse kordarvu 0,5 1/h saame arvutuslikult hoone renoveerimisjärgseks kütteenergia kuluks 149 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis teeb võimalikuks energiasäästuks 29%.

### **6.2.2.2 Hoone 2.2 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Tegelikus renoveerimisjärgses olukorras on mõõdetud soojusenergiakulu küttele (taandatud normaalaastale), soojaveeringlus koos kadudega ja sooja tarbevee kulule 113 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis teeb energia kokkuhoiduks 46%. Samas tuleb sääst ettenähtust kehvema õhuvahetuse tõttu, mis hinnanguliselt on hoones 0,2 1/h. Seega saame hinnata antud hoone puhul, et energiakokkuid on saavutatud kehvema õhuvahetusega ning 40% nõuet ilma madalama õhuvahetuse sisetemperatuuri mugavustemperatuuri alandamata antud hoone renoveerimismeetmetega ei ole võimalik saavutada.

### **6.2.3 Hoone 2.3**

#### **6.2.3.1 Hoone 2.3 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 2.3 on „Tartu Majaehituskombinaadi“ toodetud paneelidest 1988 aastal ehitatud korterelamu. Antud hoone renoveerimisel rakendati auditi lisas toodud renoveerimistõid, milleks oli välisseinte 150 mm, sokli 100 mm ja katuse 200 mm paksuse soojusisolatsioonikihi lisamine. Samuti tuli vahetada 228 veel vahetamata puitakent soojapidavamate pakettakende vastu, mille soojuslähivus on väiksem/võrdne 1,1 W/m<sup>2</sup>\*K. Küttesüsteem tuli renoveerida reguleeritavaks kahetorusüsteemiks, millel on individuaalsed küttekulujaoturid ning paigaldada läbi välisseinte värskeõhuklapid. Antud töödega plaaniti saavutada energiasääst 47% mis on kütteenergialt 147 kWh/m<sup>2</sup>\*a-lt 92 kWh/m<sup>2</sup>\*a-le.

Korrigeeritud kütteenergia saadi hoone soojusbilansi valideerimise ja reaalsete energiakuuandmete alusel 157 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis sisaldab lisaks küttele ka tsirkulatsiooni- ja võrgukadusid. Auditis oli eeldatud õhuvahetuse kordarvuks 0,3 1/h ning et renoveerimisega viiakse õhuvahetuse kordarv 0,4 1/h, mis standardi alusel ei rahulda III sisekliima klassi kriteeriumit. Seega, eeldatud andmete põhjal renoveerimisjärgses nn saavutatavas energiasäästus on õhuvahetuseks võetud 0,5 1/h. Nende andmete alusel on leitud, et hoone kütteenergia tarbimine renoveerimisjärgselt on 95 kWh/m<sup>2</sup>\*a, ehk saavutatav energiasääst oleks 39,5%, millega oleks energiasäästu nõue tinglikult täidetud.

#### **6.2.3.2 Hoone 2.3 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Reaalses olukorras hoone kütteenergiakulu koos tsirkulatsiooni kadudega 80 kWh/m<sup>2</sup>\*a tuleneb just väiksemast õhuvahetusest, mis hoones on hinnanguliselt koos infiltratsiooniga 0,3 1/h, samas ventilatsiooni osa sellest on 0,2 1/h. Seega saame väita, et hoones saadud 49%-st säästust 9% tuleneb kehvemast õhuvahetusest.

### **6.2.4 Hoone 2.4**

#### **6.2.4.1 Hoone 2.4 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 2.4 on Tartus asuv väike kahekorruseline 1975 aastal ehitatud telliskorterelamu. Hoone renoveerimisel ei rakendatud täiel määral III renoveerimispaketti, millest jäeti välja tsentraalse sooja tarbeveesüsteemi rajamine. Hoone välispiiretest soojustati välisseinad 150 mm, katus 250 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga, vahetati välja ehitusaegsed aknad soojapidavamate pakettakende vastu, mille soojuslähivus on väiksem/võrdne 1,1 W/m<sup>2</sup>\*K. Samuti renoveeriti antud hoones ka soojussõlm ning küttesüsteem viidi üle reguleeritavale kahetorusüsteemile. Auditilisa alusel on antud pakettete tööde lahendamise saavutatav energiasääst 51%, viies renoveerimiseelse olukorra 269 kWh/m<sup>2</sup>\*a energiatarbe 138

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

kWh/m<sup>2</sup>\*a-ni, saadud väärtused on kütte ja tarbevee soojendamise energia kokku. Samas saame antud andmete kasutamisel energiasäästuks 49%. Valideerides renoveerimiseelset olukorda, saadi antud summaks 272 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Auditis oli hinnatud renoveerimiseelne õhuvahetus 0,35 1/h, valideeritud olukorras 0,3 1/h, mis suurusjärgi poolest ei erine. Õhuvahetuse intensiivistamise kohta on auditis üldsõnaliselt märgitud, et soovitatav õhuvahetus võiks renoveerimisjärgselt olla tagatud 0,4 kuni 0,5 1/h. Samas puuduvad andmed, millist mõju avaldab õhuvahetuse intensiivistamine hoone energiatarbele renoveerimisjärgselt. Auditis toodud sisendandmetele tuginedes on saadud renoveerimisjärgseks soojusenergia kuluks 150 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis teeb energiasäästuks 45%, ning on hinnanguliselt ligilähedane audiitori poolt leitud suurusele.

### **6.2.4.2 Hoone 2.4 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Renoveerimisjärgses tegelikus olukorras on hoone kütte ja tarbevee valideeritud kulu 114 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk kokkuhoid on 58%. Suurem kokkuhoid on seotud 8 kWh/m<sup>2</sup>\*a väiksemast sooja vee tarbe energia kulust ning kaks korda madalamast ventilatsiooniõhu soojendamise kulust. Seega tagab hoone loomulik ventilatsioon hinnanguliselt ainult pool rahuldavaks tasemeks vajaliku koguse.

## **6.2.5 Hoone 2.5**

### **6.2.5.1 Hoone 2.5 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 2.5 on Saue vallas asuv 2-korruseline telliskorterelamu, mis on ehitatud 1971 aastal. Hoone renoveerimisel rakendati auditi lisas toodud paketsete renoveerimistööde kogu, milleks oli hoone välisseinte 100 mm, katuse 300 mm paksuse soojusisolatsiooni kihi lisamine, keldriakende vahetus, küttesüsteemi uuendus ning värskeõhuklappide paigaldus. Töödega saavutatav energiasääst kütteelektroonilt (ilma tarbevee energiata) on saadud 112 kWh/m<sup>2</sup>\*a-lt 64,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a-le, so 42%. Hinnatud õhuvahetus auditi kohaselt oli 0,2 1/h. Hoone õhuvahetusega seonduvalt on auditis mainitud, et õhuvahetust tuleks hoones intensiivistada, kuid sihtväärtust milleni, ette antud pole.

Auditis toodud sisendandmete ja õhuvahetuse kordarvu 0,5 1/h järgi on leitud, et hoone kütteelektroon kulu peale tööde rakendamist oleks 67 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis annaks energia kokkuhoiuks 40%.

### **6.2.5.2 Hoone 2.5 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Tegelikus olukorras on hoone kütteelektroon kulu on 76 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis teeb kütteelektroon kokkuhoiuks 32%. Väiksem energia kokkuhoid on põhjendatav sellega, et reaalsuses jäeti töödest välja sokli soojustamine ning hoones hoitav siseõhutemperatuur on kõrgem. Tagades hoones rahuldaval tasemel õhuvahetuse, väheneks saavutatud kütteelektroon kokkuhoid veelgi.

## **6.2.6 Kokkuvõtte 25% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisest**

Kokkuvõttes võib öelda, et enamuses analüüsitud korterelamutest on tinglikult täidetud nõue, millega tuli tagada 40% energiasääst. Erinevatel hoonetel on arvestatud seda erineval meetodil, kuid lähtuvalt auditist või auditi lisas toodud kalkulatsioonidest on tulemus üldjoontes saavutatav. Juhul, kui hoonetes oleks täidetud õhuvahetuse nõue 0,5 1/h, saavutataks 40%-ne energiasääst hoones 2.1; 2.3 ja 2.4.

25 % toetust saanud hoonete rühm eristus 15% toetust saanud hoonetest selle poolest, et kõikides oli renoveeritud küttesüsteem, samuti oli kõikides hoonetes soojustatud osaliselt või

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

terviklikult välispiirded. Kõige suuremaks puuduseks võib pidada hoonete puudulikku õhuvahetust, mis on jäätud terviklikult projekteerimata.

### 6.3 35% toetust saanud objektide energiatõhususe analüüs

35% toetuse saamiseks peab taotleja lisaks kõikide eelmainitud tingimuste täitmisele:

- saavutama korterelamu rekonstrueerimisega vähemalt 50% säästu soojusenergia tarbimiselt. Rekonstrueerimistöde teostamisega tuleb tagada hoones sisekliima vastavus standardi EVS-EN 15251 nõuetele ja energiamärgise klass C (energiatõhususarv  $<150\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ );
- paigaldama korterelamusse soojatagastusega ventilatsioonisüsteemi, mis teenindab kõiki eluruumi.

Kõigis uuringus analüüsitud kortermajades olid nn. soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Väljatõmbe õhusoojuspump lahendust kasutati hoonetes: 3.4;3.5; 3.6;3.8 ja tinglikult hoones 3.3.

Mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbesüsteemi rakendati hoones 3.10. Täpsemalt on selle lahenduse õhuvahetuse analüüs pandud kokku eelnevate hoonetega, kuna sarnaselt eelmistele hoonetele on selles mehaaniline väljatõmme.

Hoonetest 3.1; 3.2; 3.3 ja 3.9 on kasutatud keraamilise soojusvahetiga paaris töötavaid lokaalseid ruumipõhiseid ventilatsiooniseadmeid.

Kõigi selles pakettis toodud eeldatava renoveerimisega saadud energiasäästu arvutuste põhjal on hinnatud, et renoveerimisjärgne õhuvahetus peaks tagama standardis EVS-EN 15251 III sisekliima klassi piirtaset  $0,5\text{ l/h}$  ehk  $0,35\text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ , erinedes kohati audiitori hinnatud võimalikust õhuvahetuse suuruselt. Samuti on hinnatud antud õhuvahetusega, kas renoveerimisega saavutatav energiasääst 50% on paketselt lahendatud renoveerimistöodega saavutatav.

#### 6.3.1 Hoone 3.1

##### 6.3.1.1 Hoone 3.1 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe

Hoone 3.1 on 1978 aastal ehitatud kolmekorruseline 18 korteriga tüüpne telliselamu Tartus. Hoone energiaauditi andmetel oli korterelamu renoveerimiseelne kütteenergia kulu  $200\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ . Hoonele koostatud auditi lisa alusel on hinnatud, et renoveerimisprojektis toodud töödega saavutatakse kütteenergia kokkuhoid  $100\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  ehk 50%. Kasutades kalkulatsioonide alusandmetena auditi lisas toodud renoveerimistöid ning eeldades, et ventilatsioonisojustagastus on 60%, saame kontrollarvutusteks ligilähedase tulemusena  $98\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ .

##### 6.3.1.2 Hoone 3.1 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele

Hoone renoveerimisjärgselt mindi gaasiküttelt üle keskküttele, samuti mindi üle ka lokaalselt tarbevee soojendamisele tsentraalsele. Sellega kaasneb ka soojatarbevee tsirkulatsioon ning täiendavad võrgukaod. Lähtuvalt 2013 aasta energiakuluandmetest on renoveerimisjärgses olukorras baasaastale taandatud kütteenergia kulu antud hoones varasema  $200\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  asemel  $76\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  ning koos sooja vee tsirkulatsiooniga  $99\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  ehk 50%. Hoones oli õhuvahetus üle poole väiksem, kui rahuldava sisekliima loomiseks vaja oleks, teiseks ei saavutatud antud ventilatsioonilahendusega ettenähtud soojustagastust, mis eeldatud 60% asemel on oluliselt madalam. Seega, suurendades õhuvahetust hoones, suureneks orienteeruvalt  $15\text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{a}$  võrra ka kütteenergia erikulu ning 50% kütteenergia kokkuhoidu

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

saada poleks võimalik. Seda üldistust saab teha ka ülejäänud sama ventilatsioonisüsteemi rakendatavate hoonete kohta, kus on kasutatud regeneratiivse soojustagastiga ruumipõhiseid ventilatsiooniseadmeid.

### **6.3.2 Hoone 3.2**

#### **6.3.2.1 Hoone 3.2 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.2 on Viimsi vallas asuv 18 korteriga 1979 aastal ehitatud suurplokkidest korterelamu. Hoone energiatarbe enne renoveerimist auditi andmetel, millest on arvutatud energiasääst on 289,6 MWh/a ehk 225,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a, see on hoone kogu energiakulu summa (küte, soe tarbevesi, tsirkulatsioon ja elekter). Antud tulemus on korrigeeritud auditi lisas 224 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning renoveerimisjärgseks kuluks on märgitud 148 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk 34% energia kogukulu vähenemist. Auditi lisas on üldsõnaliselt öeldud, et renoveerimistöödega saavutatakse 53%-ne soojusenergiesääst.

#### **6.3.2.2 Hoone 3.2 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Reaalses olukorras on 2013 normaalaastale taandatud energiatarbe küttele 85 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning koos tsirkulatsiooni kadudega 100 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Kui võtta arvesse ka tarbevee soojendamise kulu, on see 125 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Kui renoveerimiseelses olukorras oli küttele koos tsirkulatsiooni kadudega kuluv energia 161 kWh/m<sup>2</sup>\*a, saame kokkuhoiduks 38%. Sarnaselt hoonega 3.1 on regeneratiivse soojustagastiga ruumipõhine ventilatsiooni seadmete soojustagastus oluliselt väiksem kui prognoosis toodud 60%, samuti ei osatud energiakulude prognoosimisel arvestada 15 kWh/m<sup>2</sup>\*a suuruse soojaveetsirkulatsiooni kaoga. Kokkuvõtvalt võib öelda, et audiitori eeldused olid liiga optimistlikud.

### **6.3.3 Hoone 3.3**

#### **6.3.3.1 Hoone 3.3 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.3 on Viimsi vallas asuv 1982 aastal ehitatud nelja korrusega telliskorterelamu. Antud hoone renoveerimise aluseks oli auditi lisa, mille alusel enne renoveerimist oli hoone energiakulu 250 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning peale renoveerimisega saavutatavat 55,6%-st energiasäästu 139 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Antud väärtus on valesti kalkuleeritud, kuna neid arve kasutades on sääst 44,4% Võttes aluseks auditis toodud energiakulu, on hoone summaarne energiatarbe normaalaastale taandatud kütteenergiaga orienteeruvalt 202 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

Uuringus jääb ebaselgeks kuidas on leitud suurus 250 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Antud hoone puhul toodud renoveerimistöödega saavutatavat energiasäästu ei ole võimalik kalkuleerida, kuna puuduvad vajalikud sisendandmed. Hoone ventilatsioonilahendust on ehituse käigus muudetud, projektis toodud väljatõmbeõhu soojuspumba asemel on kasutatud õhk-vesi soojuspumpasid, millede välisosast puhutakse väljatõmbeõhk läbi. Antud lahendusele on püütud teha energiatõhususe kalkulatsioone, kuid need jäävad ebaselgeks. Lähtudes sellest, et soovitakse saavutada 55,6%-ne energiasääst, peaks hoone energiakulu peale renoveerimist olema 91 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Juhul kui soovitakse saavutada energiasääst 50%, oleks see vastavalt 103 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

#### **6.3.3.2 Hoone 3.3 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Reaalses olukorras juhitakse väljatõmbe õhk metallist varjualusesse, kus enamik õhku ei siirdu kavandi kohaselt läbi soojuspumba välisosa, vaid sellest mööda. Samuti on väljatõmmatava õhu vooluhulk 3 korda väiksem kui projektis antud. Hoone küttekulu 2013 aastal mõõdetud tarbimisandmete alusel oli taandatuna normaalaastale 59 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

koos tarbevee tsirkulatsiooniga ja võrgukadudega 71 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Koos tarbevee valmistamise ja ülejäänud hoone elektrienergia vajadusega on see 118 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk kokkuhoid võrreldes renoveerimiseelse olukorraga 42%. Antud energiasääst jääb oluliselt alla seatud eesmärgile 55,6%. Samuti ei ole antud lahendusega tagatud ka nõuetekohane õhuvahetus. Efektivsemaks väljatõmbeõhu soojust kasutamiseks tuleb õhk-vesi soojuspumba välisosa taha ehitada soojustatud kast ning suunata õhk terves mahul läbi selle.

### **6.3.4 Hoone 3.4**

#### **6.3.4.1 Hoone 3.4 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.5 on Harjumaal 1979 aastal ehitatud 18 korteriga telliselamu. Hoone renoveerimisel on rakendatud auditi renoveerimispaketti III. Selle kohaselt paigaldatakse hoonele maasoojuspump, mis lisaks maakontuurile võtab soojust ka väljatõmmatavast õhust. Hoone välisseinad soojustatakse 150 mm paksuse soojusisolatsiooni kihiga ning katusele lisatakse 230 mm soojustust. Hoones renoveeritakse küttesüsteem reguleeritavaks kahetorusüsteemiks. Energiaauditi lisa kohaselt saavutatakse töödega 69%-ne kütteenergia kokkuhoid. Auditi järgi on hinnatud renoveerimiseelses olukorras hoone kütteenergia tarbimiseks 121,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a, kuid auditi lisa on toodud väärtus muutunud 126 kWh/m<sup>2</sup>\*a-ks. Kuna kontrollarvutus andis tulemuseks meil samuti 121,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a, on aluseks võetud säästu arvutamisel viimane suurus. Auditi lisa järgi on leitud renoveerimisjärgseks kütteenergia kuluks 39 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

#### **6.3.4.2 Hoone 3.4 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Reaalses olukorras on hoone kogu elektrienergia tarbimine (nii soojuspumpadele, millest osa läheb soojale tarbeveele, osa küttele ning korterite tarbimisega kokku) 77,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Üldelektritarbimisele kulub sellest 52,6 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Lähtudes tingimusest, et soojatarbeveena saadakse 10,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a. ning sellest elektri osakaal on 2,92 korda väiksem (COP 2,92), on soojale tarbeveele kulunud energiahulk 3,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Teisendades ülejäänud elektrienergia normaalaastale, oleks soojuspumba küttele kuluv osa baasaastale taandatuna 53,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning kütteenergia kokkuhoid 56%. Antud hoone oli üks kahest, kus väljatõmmatava õhu kogus oli võrreldav rahuldava tasemega, seega oleks 50%-ne kütteenergia kokkuhoid hoones tagatud ka veidi intensiivsema õhuvahetuse korral.

Hoone 3.4 kõige suuremaks puuduseks võib pidada, soojuspumplahendust, mis ei vasta projektile ning kohapealsed vaatlused tuvastasid ridamisi puudusi, millest kõige suuremaks võib pidada akumulatsioonipaagi puudumist. Kuna küttesüsteemi maht suletud radiaatori termostaatventiilidega pole piisav, siis paigaldatud soojuspump lülitab ühe tunni jooksul ennast kümneid kordi sisse ja välja, mis kulutab süsteemi liigselt. Puuduseks on ka see, et süsteemile ei ole paigaldatud temperatuuri- ega rõhunäidikuid, millega oleks fikseeritavad võimalikud süsteemi häired. Kõige suuremaks puuduseks võib pidada seda, et sooja tarbevee temperatuur on liialt madal, jäädes alla 50 °C, mis on ideaalne kasvutingimus erinevate bakterite arenguks.

### **6.3.5 Hoone 3.5**

#### **6.3.5.1 Hoone 3.5 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.5 on Põlvas asuv 1979 aastal ehitatud tüüpne 18 korteriga telliselamu. Hoone renoveerimise käigus on sellele paigaldatud väljatõmbeõhu soojuspump. Sissepuhke õhk siseneb hoone välisseintesse rajatud värskeõhuklappide kaudu ning lisaks välispiirete soojustamisele on hoones ka reguleeritav kahetoruseline küttesüsteem. Hoone hinnanguline soojuskadu auditi järgi enne renoveerimist oli välispiiretest ja õhuvahetusest 139 kWh/m<sup>2</sup>\*a



## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

ning soojale tarbeveele 28 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Hoone hinnanguline õhuvahetus renoveerimise eelses olukorras oli audiitori hinnangul 0,3 1/h.

Renoveerimisprojekti järgi koostatud auditi lisas on märgitud renoveerimiseelseks kütteenergia kuluks 175,9 MWh/a ehk 151,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis ei lähe kokku energiaauditis toodud väärtusega. Renoveerimisjärgseks energiakuluks on hinnatud, et 59 MWh/a tuleb kaugküttest ning 23 MWh/a soojuspumba elektrienergiast ehk 51 kWh/m<sup>2</sup>\*a ja 20 kWh/m<sup>2</sup>\*a, kokku 71 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning energia kokkuhoidu saadakse 53%.

### **6.3.5.2 Hoone 3.5 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Reaalses olukorras on hoone kütteenergia kulu koos võrgu kadudega 79 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Sellest kompenseeritakse soojuspumbaga 8,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning kaugküttega 70,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Reaalne kütteenergia kokkuhoid hoones oli 44%.

Antud objekti renoveerimislahenduste juures oli kõige suuremaks puuduseks see, et väljatõmme soojuspumbast ei saadud piisavalt soojust, mille tingis soojuspumpsüsteemi tehnilise lahenduse muutmine võrreldes projektijärgsega. Soojuspump ei saanud väljatõmmatavast õhust piisavalt soojust ning soojuspumba COP aasta keskmiselt oli alla 2. Peale soojuspumba paigaldaja 2013 lõpus tehtud seadistustöid muutus selle töö efektiivsemaks ning COP tõusis viimastel kuudel üle 3. Seega võib järgnevatel aastatel saavutatav kütteenergia kokkuhoid olla ligilähedane 50%-le. Teine probleem seoses renoveerimisega oli valede värskeõhuklappide paigaldamine läbi välisseinte. Klapi sisemine osa oli tavaline mehaanilise ventilatsiooni korral kasutatav metallist sissepuhke plafoon, mis loomuliku sissepuhke puhul on sobimatu, kuna ruumiõhutemperatuurist oluliselt jahedama õhu sisenemisel tekib kondensaad. Sellega oli rikutud paljude korterite siseviimistlus ava all. Tulemuseks oli see, et korterite elanikud hoidsid kondensaadi vältimiseks klappe pidevalt suletud asendis.

### **6.3.6 Hoone 3.6**

#### **6.3.6.1 Hoone 3.6 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarve**

Hoone 3.6 on Põlvas asuv 1991 aastal ehitatud ühe trepikojaga viiekordne telliskorterelamu. Antud hoone puhul teostati renoveerimistöödena lisaks välispiirete soojustamisele ka küttesüsteemi ehitamine reguleeritavaks individuaalsete küttekulu jaoturitega kahetorusüsteemiks. Kaugkütelt mind üle lokaalsele maasoojuspumbaga küttele, mida toetab väljatõmbeõhus soojuspump, mis annab ventilaatoriga väljatõmmatava õhu soojuse tarbe- ja kütteevee soojendamiseks. Energiaauditi ja sellele renoveerimisprojektile koostatud lisa kütteenergia kulud auditeerimiseelses olukorras ei lähe omavahel kokku. Tarbimisandmete alusel saadi korrigeeritud kütteenergia kuluks koos tarbeveetsirkulatsiooniga 153,1 MWh/a, auditi lisas on vastav väärtus 137,5 MWh/a. Sarnane tulemus oleks ka juhul, kui arvestaksime kulu ilma võrgukadudeta (sh. tarbevee tsirkulatsioonita). Pinnaühikule taandatud kulu auditeerimise eelses olukorras oli 133 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mille võtsime aluseks ka edasisele säästu arvutamisele.

Auditi lisas on saadud renoveerimisjärgseks kütteenergia kuluks vastavalt kaugküttest 8,3 MWh/a ja soojuspumba elektrist 48,3 MWh/a ehk kokku 56,6 MWh/a, pinnaühikule taandatuna 49,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

#### **6.3.6.2 Hoone 3.6 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele**

Hoone renoveerimisjärgses olukorras lähtuvalt 2013 aasta tarbimisandmetele on hoone normaalaastale taandatud kütteenergia kulu koos soojavee tsirkulatsiooni ja võrgukadudega kokku 46 kWh/m<sup>2</sup>\*a, vastavalt 24,4 MWh/a soojuspumba elektrist ning kaugküttest 28,4 MWh/a. Saadud kütteenergia kokkuhoid võrreldes renoveerimiseelse olukorraga on 65%.

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

Antud hoone puhul pole kindlustatud vajalik õhuvahetus, seega intensiivistades õhuvahetust üle kahe korra rahuldava tasemeni tõuseks veidi ka kütteenergia tarve, kuid kütteenergia kokkuhoid vähemalt 50% oleks saavutatud.

Renoveerimispuudusena tuleks välja tuua soojuspumpade projektikohase lahenduse tegemata jätmine. Soojuspumpsüsteeme on oluliselt muudetud ning soojuspumpade efektiivsus jääb soovitud COP-st väiksemaks. Maasoojuspumba COP jääb vahemikku 1,9 kuni 2,34 ning väljatõmbeõhu soojuspumbal kütteperioodil 1,5 kuni 2,4 ja suvel alla 1,5. Juhul kui soojuspumpade efektiivsust on võimalik seadistamiste ja väikeste ümberehitustöödega tõsta, oleks saavutatav nii kütte- kui tarbevee soojendamisele kuluva energia kokkuhoid veelgi suurem. Sarnaselt eelmisele hoonele 3.5 on ka siin probleemiks valesti valitud metallist sisemise osaga värskeõhuklapid, mille tulemusel ava alla jääv siseviimistlus on korterites rikutud ning mille tõttu hoitakse värskeõhuklappe pidevalt suletud asendis.

### **6.3.7 Hoone 3.7**

#### **6.3.7.1 Hoone 3.7 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.7 on 1972 aastal ehitatud suurplokkidest külgseintega ning tellistest otsaseintega korterelamu. Hoone renoveerimisel ei rakendatud konkreetselt ühtegi toodud renoveerimispaketti. Renoveerimisega soojustati hoone piirdetarindid ning ventilatsiooni õhutagamiseks võeti lahendusena lokaalsed ruumipõhised regeneratiivse soojustagastusega seadmed. Hoone ühetoruline küttesüsteem viidi termostaatventiilidega renoveeritavaks ning küttekahadele paigaldati individuaalsed küttekulujaoturid. Hoonele renoveerimiseelsete andmete alusel koostatud audit oli teostatud valesti, seega tuli õige renoveerimiseelse olukorra kohta koostada uus soojusbilanss. Selle kohaselt oli soojale tarbeveele kulunud energia eritarbimine ilma tsirkulatsiooni kadudeta 22,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a, baasaastale taandatud kütteenergia eritarbimine koos tsirkulatsiooni kulude ning kadudega 152,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning kokku 175,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a, auditis ja selle lisas toodud 189 kWh/m<sup>2</sup>\*a asemel. Auditi lisa kohaselt on renoveerimistöödega saavutatav energiakulu peale renoveerimist 75 kWh/m<sup>2</sup>\*a ehk kokkuhoid 60%, kuid korrigeeritud kuluga võrreldes 57%.

#### **6.3.7.2 Hoone 3.7 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Hoone tegelike energiakulude analüüsist selgub, et kütteenergia kulu renoveerimisjärgselt taandatud normaalaastale on 78 kWh/m<sup>2</sup>\*a, millele lisandub 8,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a soojavee tsirkulatsiooni kulu, kokku 86,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Koos tarbeveele kulunud soojusenergiaga 19,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a on kulu 105,9 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning reaalne energia kokkuhoid 40%. Väärtus on tingitud suuresti lokaalsete regeneratiivsete ventilatsiooniseadmete väiksemast soojustagastusest ning sellest, et renoveerimisjärgses olukorras ei osatud ette näha tsirkulatsiooni ja võrgu kadusid. Kui hoones tagatakse nõuetekohane õhuvahetus, oleks energiakokkuhoid veel väiksem.

### **6.3.8 Hoone 3.8**

#### **6.3.8.1 Hoone 3.8 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.8 on Tallinnas asuv 9-kordne tüüpne 1970 aastal ehitatud 72 korteriga suurpaneelilamu. Renoveerimisprojekti alusel koostatud energiaauditi lisa kohaselt kasutatakse lisaks välispiirete soojustamisele ventilatsiooni renoveerimislahendusena väljatõmbeõhu soojuspumpa. Hoone energiakulu enne renoveerimist on hinnanguliselt 249 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Auditis toodud andmetele tuginedes on saadud hoone energia kogukuluks koos elektri ja gaasiga 183,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a, seega jääb ebaselgeks, millele tugineb väärtus 249 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Hoone renoveerimisjärgses olukorras on hinnatav energiakulu KredEx-i esitatud

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

31.03.2014

andmete põhjal 114 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis teeks energia kokkuhoiuks 54%. Võttes aluseks arvatud kogukulu 183,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a, oleks energiasääst 38%. Analüüsitabelis (Tabel 6.2 **Error! Reference source not found.**) on võetud säästu arvutamise aluseks tarbevee ja ütteenergia erikulu, mis auditi andmete korrigeerimisel on 143,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

### **6.3.8.2 Hoone 3.8 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Renoveerimisjärgses olukorras on muutunud veidi tarbevee soojendamisele kulunud energiahulk seoses väiksema tarbimisega. Hoone kütteenergia kulu koos soojavee tsirkulatsiooniga on renoveerimisjärgselt (ilma soojuspumba tarvitatud elektrita) 53,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning koos tarbevee soojendamise ja üledelektrikulu suurenemisega, mis tuleneb soojuspumbale kulunud energiast kokku 95,1 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Energia kokkuhoid võrreldes renoveerimiseelse olukorraga on 34%. Tagades rahuldava õhuvahetuse antud hoones (hetkel kaks korda väiksem), oleks reaalne kütteenergia kokkuhoid orienteeruvalt 30% (arvestades, et õhuvahetusega suureneb kütteenergia kulu, kuid suureneb ka soojuspumba toodetud energia hulk).

### **6.3.9 Hoone 3.9**

#### **6.3.9.1 Hoone 3.9 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.9 on 1981 aastal ehitatud Harjumaal asuv suurplokkidest 12 korteriga elamu. Hoone renoveerimistöödena ei kasutatud energiaauditis toodud pakettidest ühtegi konkreetset lahendust ning energiasäästu number on saadud renoveerimisprojektiga lahendatud tööde nimekirja alusel energiaauditi lisana, mille kohaselt hoone kütteenergia erikulu langeb varasema 141 kWh/m<sup>2</sup>\*a pealt 61,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a-le, ehk saavutatav kütteenergia kokkuhoid on 58%. Auditis toodud energiakuluandmete kontroll andis sama tulemuse. Tarbevee soojendamine on lahendatud hoones lokaalsete elektriboileritega ning hinnanguliselt oli soojatarbevee kulu sellest ligikaudselt 23,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Tabel 6.2). Hoone ventilatsiooni lahendusena kasutati regeneratiivse soojustagastiga varustatud ruumipõhiseid ventilatsiooniseadmeid.

#### **6.3.9.2 Hoone 3.9 tegelik renoveerimisjärgne energiatarbe ja hinnang sellele**

Hoone 2013 aasta energiatarbeandmete alusel saame hinnata, et energiatarbe küttele on 68,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Seega on saavutatud energiasäästuks 51%. Kuna hinnatud olukorras on hoone õhuvahetus üle kahe korra väiksem kui rahuldavaks tasemeks piisav 0,5 1/h, ei oleks antud hoones võimalik saada energia kokkuhoiu 50%. See tuleneb ka osalt sellest, et ventilatsioonilahendusena kasutatavad regeneratiivsete soojustagastite soojustagastus on kütteperioodil oluliselt madalam kui prognoosis kasutatud väärtus 60%. Sarnaselt samade ventilatsiooni seadmetega varustatud kortermajadele hoitakse ka selles hoones seoses müraprobleemiga seadme töökiirust esimesel või teisel kiirusastmel, mis võimaldab õhku läbi seadme juhtida nõutust 30-45%.

### **6.3.10 Hoone 3.10**

#### **6.3.10.1 Hoone 3.10 renoveerimiseelne ja auditi järgi kavandatud energiatarbe**

Hoone 3.10 on Saue vallas 1971 aastal ehitatud 8 korteriga telliskorterelamu. Hoone renoveerimisel on rakendatud auditis toodud III renoveerimispaketti. Selle hoone muudab ülejäänutest erandlikuks asjaolu, et seal on kasutatud mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbega soojustagastiga ventilatsioonisüsteemi. Renoveerimise käigus on lisaks pakettis toodule hoonele paigaldatud õhk-vesi soojuspump ning küttesüsteem on viidud üle reguleerivaks kahetorusüsteemiks. Lisaks on soojustatud ka hoone piirdetarindid. Tuginedes

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

auditis toodud mõõdetud energiakuluandmetele on elamu renoveerimiseelses olukorras energiatarbeks küttele 155,4 kWh/m<sup>2</sup>\*a ja tarbevee soojendamisele 15,1 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Seejuures tuleb märkida, et hoones valmistati sooja tarbevett elektriboileritega ning auditis toodud külmast tarbeveest on eeldatav soojavee kogus 45%. Auditis koostatud soojusbilansis on küttele kulunud energiaks arvatud 170 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning tarbeveele kulunud energiaks 55 kWh/m<sup>2</sup>\*a, summeeritult 225 kWh/m<sup>2</sup>\*a 170,5 kWh/m<sup>2</sup>\*a asemel. Auditil lisas toodud andmete kohaselt langeb peale renoveerimist summaarne soojusenergiakulu 77 kWh/m<sup>2</sup>\*a-ni ehk 65% võrreldes 225 kWh/m<sup>2</sup>\*a-ga. Korrigeeritud andmete alusel oleks sääst vastavalt 55%.

### 6.3.10.2 Hoone 3.10 tegelik renoveerimisjärgne energiatarve ja hinnang sellele

Analüüsid realses olukorras 2013 aasta energiakulu andmeid, näeme, et hoone 3.10 kütmine ja tarbevee soojendamine toimub osaliselt õhk-vesi soojuspumbaga. Vaadeldes soojuspumba elektrienergia kasutust ning toodetud soojusenergia kogust, saime aasta keskmiseks soojuspumba COP-ks 2,45, mis kuude lõikes kõigub, jäädes kütteperioodil vahemikku 2,2 kuni 2,9 (keskmiselt 2,67) ning suveperioodil, kui toimub kõrgema temperatuuriga sooja tarbevee valmistamine 1,5 ja 1,6 vahele (keskmiselt 1,57). Sellest võime järeldada, et efektiivsem on rakendada õhk-vesi soojuspumba küttele. 2013 aasta kogu soojushulk (taandamata baasaastale), mida soojuspumbast saadi, oli 70,7 MWh ehk 126 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Kogu soojuspumba poolt toodetud kulust baasaastale taandatuna kulub küttele 120,9 kWh/m<sup>2</sup>\*a. 140,4 m<sup>3</sup> soojatarbevee valmistamiseks kulub arvutuslikult 14,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning soojavee ringlusele 1,0 kWh/m<sup>2</sup>\*a.

Lisaks soojuspumbale kasutatakse hoones ka kaugkütet, baasaastale taandatuna 8,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Kogu kulu kütteks on 129,2 kWh/m<sup>2</sup>\*a ja tarbevee soojendamine koos tsirkulatsiooni kadudega 15,7 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Kui arvestada, et keskmine COP sooja tarbevee valmistamiseks koos kadudega on 1,57, on elektrienergia tarbevee soojendamisele 10,0 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Ülejäänud perioodil küttele kulunud elektrienergia soojuspumbast on baasaastale taandatuna 45,3 kWh/m<sup>2</sup>\*a ning koos kaugküttega kogu kütteenenergia erivajadus 53,6 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Summeeritult on tarbevee- ja kütteenenergia erivajadus kokku peale renoveerimist 63,6 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis on saavutatud osaliselt ka poole väiksema õhuvahetusega. Tabel 6.3 toodud elektrienergia tarbimine 75,8 kWh/m<sup>2</sup>\*a sisaldab lisaks korterite energiatarbimisele nii õhk-vesi soojuspumba poolt tarvitatud elektrit kui ka ventilaatorite poolt tarvitatud energiat.

### 6.3.11 Kokkuvõte 35% renoveerimistoetust saanud hoonete energiatõhususe saavutamisele

Antud toetusmeetme tingimuseks olnud soojustagastiga ventilatsiooni on lahendatud kõigis antud rühma kuuluvates korterelamutes, erandina hoone 3.3, kus väljatõmmatava õhu soojus suunatakse osaliselt läbi õhk-vesi soojuspumba aurusti osa. Samas pole kõigis sellesse rühma kuuluvates hoonetes tagatud nõuetekohane õhuvahetus. Üheselt ei ole arusaadav, millest energiasäästu arvutatakse, osade hoonete puhul tehakse kalkulatsiooni kütteenegialt, osadel arvestatakse kütet koos sooja tarbeveega.

Auditi lisade alusel saadav 50%-ne soojusenergia kokkuhoid saavutati hoonetes 3.1; 3.4; 3.6; 3.9 ja 3.10. Eeldades, et hoonetes oleks tagatud nõuetekohane õhuvahetus, jääks sellest nimekirjast välja hoone 3.1 ja 3.9, seega nõue oleks tagatav vaid soojuspumba kasutavates korterimajades.

Regeneratiivse soojustagastiga ruumipõhiste ventilatsiooniseadmetega hoonetes: 3.1; 3.2; 3.7 ja 3.9 jääb võimalik soojusenergiast saavutamata peamiselt seoses eeldatust oluliselt väikemale soojustagastusele. Teine põhjus, miks ei saavutata piisavat kütteenenergia kokkuhoidu, on seotud soojavee tsirkulatsiooni ja võrgukadudega, mis osadel hoonetel on ligilähedane tarbevee soojendamise energiakuluga. Järelikult tuleks renoveerimisel rõhku

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

panna ka torustike isoleerimisele ja läbi mõelda suvine tarbevee tsirkulatsiooni kasutamine. Väljatõmbeõhu soojuspumbaga korterelamute soojusenergia loodetust väiksem kokkuhoid on tingitud peamiselt projektlahenduse muutmisega renoveerimise käigus. Põhjuseks kas soov investeringute pealt kokku hoida või ehitaja iseteadlikkus, mida ühistut esindav omanikujärelvalve kontrollida ei oska.

### 6.4 Energiatõhususe analüüsi tulemused

Üldistatult võib lugeda renoveerimistöodega saavutatavat tulemust rahuldavaks, kuna 11 elamul 20-st saavutati toetuse järgne soojusenergia kokkuhoid. Samas, lähtuvalt eesmärgist tagada rahuldaval tasemel õhuvahetus, oleks see arv olnud ainult 7. Hoonetes, kus ei soojustatud välispiirdeid, ei olnud soojusenergia kokkuhoid üksnes küttesüsteemi renoveerimisega võimalik. Hoone soojusvarustussüsteemiga osaline üleminek soojuspumpsüsteemile võimaldas saavutada olulist primaarenergia kokkuhoidu, kuna soojuse tootmiseks kulus sõltuvalt soojuspumba COP-st vähem primaarengiat (elektrit). Samas saab puudusena välja tuua, et pumpade välja ehitatud renoveerimislahendused ei andnud soovitud efektiivsust, kuna renoveerimise käigus ei kasutatud projektlahendust või jäeti pump korrektselt seadistamata. Antud probleemi oleks saanud vältida, kui renoveerimisprotsessi oleks olnud kaastaud kompetentne omanikujärelvalve. Kõikide renoveeritud hoonete kõige suuremaks probleemiks oli puudulik õhuvahetus, kus 15% ja 25% toetust saanud korterelamutes oli see loomuliku ventilatsiooni baasil kas osaliselt või täielikult jäetud lahendamata, mille tulemusel õhuvahetus uuritavates korterites oli keskmiselt kaks kuni kolm korda väiksem rahuldavast tasemest. Ruumipõhiste regeneratiivsete soojustagastitega ventilatsiooniseadmete puuduseks oli nende suur müratase täiskiirusel töötamisel ning oluliselt madalam väljatõmbeõhu soojuse tagastamine sissepuhke õhule. Selle tulemusel hoiti seadmete kiirust 30-45% tootlikkuse juures või külma pealepuhumise vältimiseks suleti sootuks.

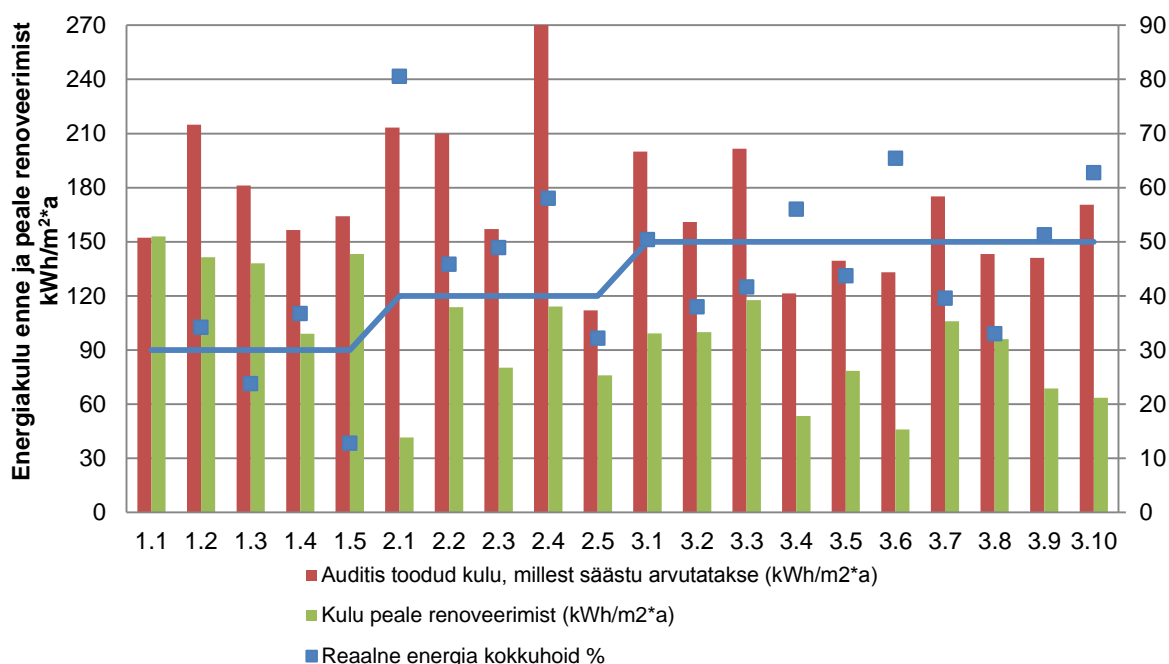
Kõige paremini oli täidetud toetuse saamise nõuded 25 % toetusega korterelamutes (Joonis 6.1), kus viiest neljal hoonel saavutati 40% soojusenergia kokkuhoid. Antud joonisel on välja toodud kõikide uuritud korterite soojusenergia kulu enne ja peale renoveerimist, millelt arvutati energia kokkuhoidu. Punaka tooniga on toodud energiakulu köetavale pinnale aasta enne renoveerimist ning rohelisega kulu peale renoveerimistöde teostamist 2013 a. energiakuluandmetest lähtuvalt. Sinise värvusega joon näitab toetuse tingimuse saavutava kokkuhoiu alumist piirmäära protsentides. Sinised ruudud tähistavad reaalselt kokkuhoidu protsentides.

Kui välja jätta hooned 3.4 ja 3.10, ei olnud ka uuringu valimisse mahtunud 35 % toetust saanud korterelamutes tagatud piisav õhuvahetus. Uuringu käigus ilmnes ka asjaolu, et niisketest ruumidest on väljatõmbeavad kas kaetud või osades ruumides puudusid need sootuks. Samas saab hoonete 3.4; 3.6 ja 3.10 põhjal väita, et komplekselt renoveeritud hoone puhul on õhuvahetuse tagamisega saavutatav reaalselt üle 50%-ne soojusenergia kokkuhoid.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

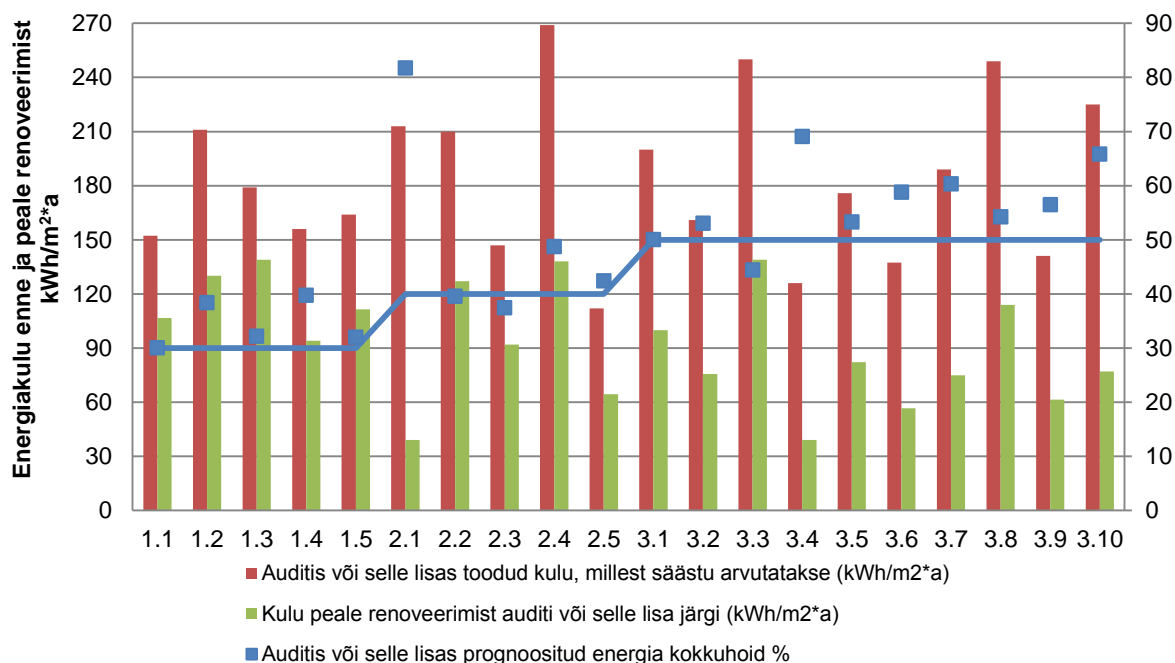
Lõpparuanne

31.03.2014



**Joonis 6.1 Hoonete energia kulu enne ja peale renoveerimist ning saavutatud kokkuhoid**

Joonis 6.2 põhineb audiitori prognoosile, milline peale renoveerimist võiks olla kulu peale renoveerimist. Kui võrrelda eelnevat joonist allolevaga, saame väita, et kõikides hoonetes (va. hoone 2.3 ja 3.3) arvutustega täidete soojusenergia kulu kokkuhoiu eeldus. Hoonete 2.3 ja 3.3 osas oli säästu arvutus audiitori poole valesti teostatud.



**Joonis 6.2 Auditis või selle lisas toodud energia kulu enne ja peale renoveerimist ning sellega võimalik saavutatav energia kokkuhoid**

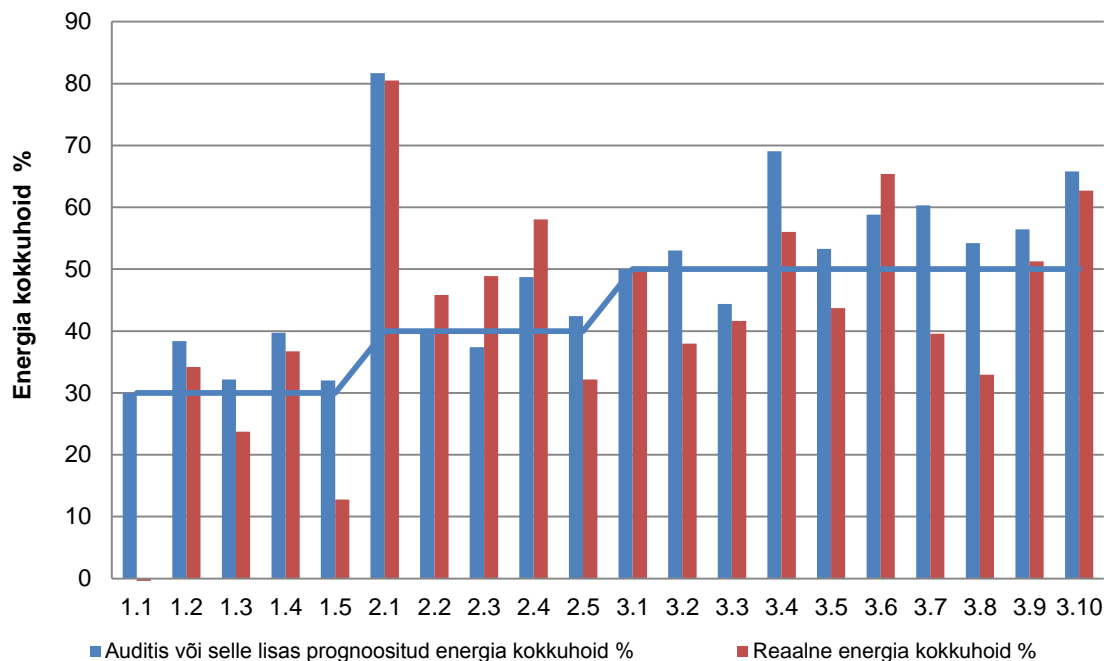
Kui võrrelda prognoositud ja tegelikku energia kokkuhoiu (Joonis 6.3), näeme, et vähestel hoonetel on eeldatud kokkuhoid võrreldav tegelikuga. Juhul kui tegelik kokkuhoid on võrdne või suurem kui prognoositud kokkuhoid näitab see reeglina olukorda kus audiitor on soojusenergia kokkuhoiu prognoosinud liialt optimistlikult. Kuna enamikel hoonetel oli

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

Õhuvahetus selgelt väiksem kui auditites või selle lisades toodud, oleks pidanud olema reaalne soojusenergia kokkuhoid õhuvahetuse arvelt suurem. Antu joonise järgi saame hinnata et hoone 2.2; 2.3 ja 2.4 oli audiitori eeldused tegeliku olukorraga võrreldavad. Hinnates aga hoonete 1.1; 1.5; 3.2; 3.7 ja 3.8 oli audiitori eeldatud kokkuhoid tegeliku olukorrast väga lahus.



Joonis 6.3 Prognoositud ja reaalne energia kokkuhoid

**Tabel 6.2 Hoonete energiatarbe renoveerimiseelses olukorras tuginedes energiaauditis toodud andmetel**

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
Hoone elektritarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	32,9	29,7	29,0	31,0	33,3	90,7	35,6	31,2	49,0	38,8	40,6	43,9	58,8	131,9	32,8	38,9	36,0	33,8	56,5	37,6
Korterite elektrienergia tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	31,0	26,5	27,2	28,2	31,6	65,3	33,5	28,6	47,3	34,3	39,1	41,3	57,3	118,7	27,3	27,6	32,4	29,3	54,3	36,8
Üldelektrienergia tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	1,9	3,2	1,8	2,8	1,7	25,5	2,1	2,6	1,7	4,5	1,5	2,5	1,5	13,2	5,6	11,3	3,6	4,5	2,2	0,8
Gaasi tarbimine (m <sup>3</sup> )	18328	0	0	0	0	0	0	3243	0	0	21500	0	0	0	0	0	0	3004	0	0
Gaasi tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	53,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	187,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> )	1485	637	1534	484	1704	288	1598	1977	264	720	402	339	574	501	341	413	398	2800	374	144
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0,47	0,37	0,52	0,28	0,55	0,37	0,61	0,56	0,48	0,38	0,38	0,26	0,38	0,48	0,29	0,36	0,39	0,62	0,40	0,26
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> /in)	9,9	10,4	10,2	8,1	17,0	10,7	20,0	13,2	8,8	18,0	10,1	7,7	9,6	12,5	8,5	10,9	11,7	14,0	12,5	9,0
Sooja tarbevee valmistamine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	27,5	21,7	30,3	16,3	32,4	23,2	35,6	32,9	28,1	23,9	23,5	20,0	22,0	28,2	27,9	21,0	22,7	36,2	23,3	15,1
Kütteenergia kulu koos tsirkulatsiooni kadudega (kWh/m <sup>2</sup> *a)	125	193	151	157	132	213	174	157	244	112	200	161	143	121	139	133	152	107	141	155
Auditis toodud kulu, millest säästu arvutatakse (kWh/m <sup>2</sup> *a)	152	215	181	157	164	213	210	157	272	112	200	161	202	121	139	133	175	143	141	170



## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

31.03.2014

**Tabel 6.3 Hoonete energiatarbe renoveerimisjärgses olukorras tuginedes mõõdetud 2013 aasta mõõdetud energiakuluandmetele**

Hoone kood	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
Hoone elektritarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	30,1	25,9	26,4	26,5	30,8	95,8	30,9	26,6	41,2	34,8	29,3	39,2	65,8	77,2	48,3	61,4	23,9	43,4	41,2	75,8
Korterite elektrienergia tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	28,3	23,2	24,8	23,7	29,9	54,6	29,0	24,9	35,8	31,4	28,2	37,2	30,8	24,6	30,6	31,2	21,4	24,8	39,5	19,6
Üldelektrienergia tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	1,8	2,7	1,6	2,7	0,8	41,2	1,8	1,7	5,4	3,3	1,1	2,0	35,0	0,3	17,7	30,3	2,5	18,5	1,6	56,3
Gaasi tarbimine (m <sup>3</sup> )	13377	0	0	0	0	0	0	2281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3004	0	0
Gaasi tarbimine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> )	1693	473	1425	290	1456	331	1331	1769	342	448	280	546	521	181	331	269	341	2121	282	140
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0,5	0,3	0,5	0,2	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3
Sooja tarbevee valmistamine (m <sup>3</sup> /in)	11,3	7,8	9,5	4,8	14,6	12,3	16,6	11,8	11,4	11,2	7,0	12,4	8,7	4,5	8,3	7,1	10,0	10,6	9,4	8,8
Sooja tarbevee valmistamine (kWh/m <sup>2</sup> *a)	31,3	16,1	28,2	9,8	27,7	24,9	29,7	29,4	20,0	13,8	15,4	24,8	12,4	3,5	12,9	8,5	19,4	20,9	17,6	10,0
Sooja tarbevee tsirkulatsioon (käterätikuivatid ja võrgukaod) (kWh/m <sup>2</sup> *a)	0,0	32,6	11,4	28,3	19,3	0,0	15,9	18,7	0,0	0,0	23,4	14,6	12,2	0,0	22,0	13,6	8,5	17,2	0,0	0,0
Kütteeenergia kulu (kWh/m <sup>2</sup> *a)	121,6	92,6	98,5	70,8	96,3	41,6	68,1	61,5	94,1	76,0	75,8	85,2	59,1	53,4	56,5	32,5	78,0	57,9	68,7	53,6
Kütteeenergia kulu koos soojavee tsirkulatsiooniga (kWh/m <sup>2</sup> *a)	121,6	125,2	109,9	99,1	115,5	41,6	84,0	80,2	94,1	76,0	99,2	99,9	71,3	53,4	78,5	46,1	86,5	75,1	68,7	53,6
Kulu millelt sääst arvutatakse (kWh/m <sup>2</sup> *a)	152,9	141,4	138,1	99,1	143,2	41,6	113,7	80,2	114,1	76,0	99,2	99,9	117,7	53,4	78,5	46,1	105,9	96,0	68,7	63,6
Saadud sääst võrreldes renoveerimiseelse olukorraga %	0	34	24	37	13	81	46	49	58	32	50	38	42	56	44	65	40	33	51	63

## 7. Järeldused

Allolevas peatükis on toodud järeldused ja soovitused seoses renoveeritud korterelamute analüüsiga.

Põhjused, miks üheski uuritud korterelamus ei saavutatud kõikide renoveerimismeetmete järgseid eesmärgi, oli seotud renoveerimisprotsessi ühes või mitmes etapis tehtud vea või korduvate vigadega.

Kui jagada renoveerimisprotsess osadeks ja tuua välja protsessi osalejad, saame jagada renoveerimise uuritavate hoonete põhjal tinglikult neljaks:

1. Energiatõhususe auditeerimine ja hoone tehnilise seisundi hindamine
2. Renoveerimistöde kogumi valimine ja projekteerimine
3. Renoveerimine
4. Hoone üleandmine tellijale

Korterite elanike esindaja, kas ühistu esimees, juhatus või hoone haldaja osaleb kõigis nendes etappides tellija rollis. Mida teadlikum on tellija, kaasates protsessi pädevaid spetsialiste, seda kvaliteetsem on lõpptulemus. Samas on sageli raske leida õiget spetsialisti mõne töö läbiviimiseks.

### 7.1 Energiaauditi kvaliteet ja tellija teadlikkus

Korteriühistu või ühisus, saamaks aimu hoone tehnilisest seisundist ning energiakuludest, tellib energiaauditi, harva lisaks auditis toodud hoone üldise tehnilise olukorra kirjeldusele ka põhjalikuma tehnilise seisukorra hinnangu. Juhul kui tellitakse parima hinnaga energiaaudit, täpsustamata, millist tulemust energiaauditis soovitakse, võib tulemuseks olla dokument, mille kvaliteet ei vasta loodetule.

Sarnaselt uuringus hinnatud energiaaudititele on enamikus kvaliteet alla rahuldava. Lisaks väikestele arvutusvigadele leidub seal ka selgeid põhimõttelisi vigu. Sage on olukord, kus tegelik energiakulu ei vasta auditis toodule ning renoveerimistöödega kaasnev energiakulude kokkuhoiu arvutus jääb arusaamatuks ning ei lähe kokku kontrollarvutustega.

Aruande valmimise ajaks on eelduste kohaselt valminud uued energiaauditite kvaliteedi nõuded, mis ei võimalda enam audiitoril energiaauditit teha ilma töölaua tagant püsti tõusmata. Sellega peaks olema tagatud ka auditite parem kvaliteet. Sellega koos tuleks audititele kehtestada pisteline kvaliteedi kontroll, mis võimaldaks peale korduvate märkuste tegemist audiitoreid vastutusele võtta nendelt kutsetunnistuse äravõtmisega, mida seni praktikas veel tehtud ei ole.

Tellijate teadlikkus on reeglina kvaliteetse auditi tellimisel ja selle kontrollil alal väike, audiitorit usaldatakse kui oma ala professionaali. Oleks hea, kui tellija esindaja kaasaks auditi kontrolliks end esindama mõne pädeva spetsialisti, kes suudaks kiiresti üles leida elementaarsed vead. Ikkagi tuleb arvestada kordusauditi tellimisega.

Auditite kõige tüüpilisemaks veaks on see, et kogu soojusenergia taandatakse baasaastale, ka väliskliimast sõltumatu sooja tarbevee energia ning selle tsirkulatsiooni kulu. Tegelikult tuleks nendele kulunud energiahulk eelnevalt maha lahutada ja ainult väliskliimast sõltuv kütteenergia kulu baasaastale taandada.

Teine viga, mida tehakse, on see, et kuigi auditeerimise ajal on teada, et viimase 3 aasta jooksul on hoonetes renoveerimistöödega hoone soojusbilanss muutunud, leitakse ikka keskmiste kulunäitajate alusel nõ. keskmine renoveerimiseelne olukord. Hoone 2.1 näitel oli audiitor leidnud keskmise ka olukorras, kus soojusallika vahetusel kasutati ülemineku ajal korterites otseelektrikut, mida samas arvutustesse sisse ei võetud.

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

28.02.2013

Juhul kui tarbimisandmete alusel jaotatakse kütteenergia kulud soojuskadudekadude alusel välispiirete ja ventilatsioonis tingitud kuludeks, ei baseeru see sageli konkreetse hoone ehitustehnilisel lahendusel. Välispiirete konstruktsioonid on jäetud auditites kirjeldamata ning soojuslähivuse väärtused ei tugine materjalikihtide erisoojusjuhtivustel. Uuringu põhjal saame välja tuua, et osade piirete hinnangulised soojuslähivused erinevad tegelikus olukorras kuni kaks korda. Juhul kui soojusbilanss ei lähe kokku, asutakse kas suurendama või vähendama õhuvahetuse kordarvu ning sellega kaasnevat soojusenergia kulu. Teine koht, millega soojusbilanssi paika seatakse, on tasakaalutemperatuur, mis võib tegelikus olukorras erineda üle 3 kraadi.

Renoveerimisega kaasnevates renoveerimispakettides toodud töödega kaasnevad energiasäästud on sageli liialt optimistlikud ning kontrollarvutuse tulemused annavad ligi 10% erinevusega tulemusi. Sageli jäetakse hätta vabasoojuse ja selle utilisatsiooni arvutamisega.

Pakettlahenduste kõige suuremaks puuduseks on see, et minimaalses renoveerimispaketis, millega tuleks lahendada hoone edasine säilimine ja millega likvideeritakse hoone elukvaliteeti häirivad probleemid, tehakse sageli tööd mis seda ei kindlusta, kuid mis tagavad kõige kiiremat energiasäästu. Lahendamata jäetakse hallituse põhjuste likvideerimine (sh. ventilatsioon) ning külmasildade mõju vähendamine. See aga võimaldab tellijal tööde hulgast välja valida temale sobivad.

Tellijal roll renoveerimisprotsessis on kõige olulisem, kuna ühistu üldkoosolek võtab renoveerimise osas vastu otsuse. Samuti pannakse sellega paika ka tööd, mida ette võetakse. Uuritavate hoonete näitel võib öelda, et renoveerimistöodele ei läheneta komplekselt. Kui audiitor on välja pakkunud kolm renoveerimispaketti, siis enamikel juhtudel pakettides olevaid töid kombineeritakse ning tööde nimekirjast jäetakse välja tööd, mis tellija meelest ei anna piisavat säästu, nagu näiteks ventilatsioonisüsteemi renoveerimine või kahe hoone näitel ka küttesüsteemi uuendamine. Sellest tulenevalt peaks antud tööde tegemine olema pigem kohustuslik, kuna ilma õhuvahetuse tagamiseta ei tagata elanikele tervislikku sisekliimat ning küttesüsteemi renoveerimata jätmine tähendab korterites ebaühtlast temperatuuri jaotust ning hoone 1.2 näitel ka ülekütmist.

### 7.2 Energiaauditi lisa

Kui hoonete renoveerimisel ei soovitud valida konkreetset auditi pakettlahendust, tuli sellele koostada auditi lisa. Auditi lisa pidi olema toodud renoveerimisega kaasnevate tööde nimekiri, juhul kui arvestatakse sisse ka varasemalt teostatud renoveerimistööd, samuti audiitori hinnang, kui palju antud töödega säästu on saavutatakse. Lisa pidi tõendama SA KredEx-le, et toetuse tingimuseks seatud vajalik soojusenergia kokkuhoid on saavutatud, tagatud on nõuetes toodud energiatõhususe number ning toetuse tingimustes loetletud tööd on välja toodud. Samuti tuli auditi lisa kinnitada, et ventilatsiooni lahendusega saavutatakse EVS-EN 15251 standardis nõutud õhuvahetus.

Kuna auditi lisa puuduvad kalkulatsioonid ja paljude uuritavate hoonete näitel ei läinud auditis toodud või meie poolt kalkuleeritud renoveerimiseelne ja järgne kulu kokku auditi lisa tooduga, tekkis mõne hoone puhul küsimus, kuidas saadud väärtused on välja arvatud. Sisuliselt pole võimalik toodud kulude usaldusväärsust kontrollida. See on mõne hoone puhul tinginud olukorra, kus toetuse saamise jaoks on kirja pandud kulud, millega näidatakse, et toetuse tingimused on saavutatavad. See peab osade hoonete puhul ka ligilähedaselt paika. Juhul kui audiitor kinnitab allkirjaga lahenduste kogumit, mille puhul on selle tulemus kaheldav, peaks eelnevalt läbi mõtlema eetika küsimused. Juhul kui on teada, et hoones jäetakse lahendamata ventilatsioon või auditi lisa kirjutab audiitor, et loomuliku õhuvahetusega see tagatakse, on alla kirjutatud paberile, mis on eos juba vale. Ventilatsiooni lahendamata jätmisega ja ka loomuliku ventilatsiooniga, mille käigus paigaldatakse läbi piirete värskeõhuklapid, rahuldavat õhuvahetust hoones tagada pole võimalik. Seda fakti kinnitasid ka kõikides 15% ja 25% toetust saanud hoonete õhuvooluhulkade mõõtmised.

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

28.02.2013

Kokkuvõtteks auditi lisade koostamise kohta võib öelda, et sellisel kujul nad oma eesmärki ei täida. Juhul kui auditi lisa saab olema toetuse saamise aluseks, peaksid sisestatud väärtused olema kontrollitavad ning renoveerimiseelse olukorra kulud tuginema reaalsetele mõõtmisandmetele. Auditi lisa peaks olema koostatud sarnaselt energiaauditis toodud paketi- ning üheselt peaks olema arusaadav, millisest kulust on arvestatud kokkuvõtteid. Ventilatsiooni osas peaks olema toodud lisaks värskeõhuklappidele ka mehaaniline väljatõmme ning märkus, et ventilatsioon tuleb lahendada projektiga. Vastasel juhul jääb ventilaatorite valik ehitaja või tellija õlule ning õige ventilaatori valik, mis tagaks piisava väljatõmbeõhu koguse, tehakse hinnast, mitte vajadusest lähtuvalt.

Kui auditi lisa koostatakse juba teostatud renoveerimisprojektile, siis tuleks arvestada ka võimalike projektimuudatustega, kuna töö käigus ei pruugi olla lahendatud kõiki nõutavaid renoveerimistõid.

### **7.3 Renoveerimisprojekt ja selle kvaliteet**

Juhul kui kvaliteetsele energiaauditile, kus renoveerimistööd on lahendatud komplekselt lähtuvalt hoone muutmiseks selle kasutajatele selle kasutajatele selle kasutajatele ohutuks ja tervislikuks ning millega tagatakse ka elanike soojuslik mugavus, tuleks antud lahendus ka lasta läbi projekteerida. Renoveerimisprojekt peab samuti olema teostatud hoonet kui tervikut arvestades ning lahendada tuleb lisaks soojustusele ja küttele ka ventilatsioon ning ülejäänud tehnosüsteemid nagu veevarustus, kanalisatsioon ja elekter. Juhul kui osa renoveerimistõid on hoones juba tehtud, siis tuleks hinnata, millises mahus tuleks neid veel teostada.

Juhul kui tellija jätab lahendamata mingi osa kogu tervikust, peab ta arvestama ka võimalusega, et mingil hetkel võib tulla selle lahendamine päevakorda ning süsteemide terviklik lahendamine on reeglina soodsam kui teha seda osade kaupa.

Renoveerimisprojekti tellides, tuleb selgelt sõnastada ka projekti lähteülesanne, selleks võib olla ka energiaaudit või selle lisa. Soovitatav on kaasata sellesse protsessi ka konsultant, kes annaks sõltumatut nõu, kui endal jääb teadmistest puudu.

Projekti kvaliteedi tagamiseks, tuleks see peale valmimist anda ka ekspertiisi, kus osatakse lähtuvalt projekti lähteülesandest kontrollida selle kvaliteeti. Ekspertiisi eesmärgiks on välja tuua projekteerija poolt tehtud reeglina tahtmatud vead, mida ta ise ei pruugi tegemise käigus avastada. Mõnikord ka tahtlikud puudused, milledest projekteerija on püüdnud kõrvale hiilida ja jätnud lahendamata.

Kvaliteetne renoveerimisprojekt on aluseks ka kvaliteetsele renoveerimisele, mille alusel tellija või tema poolt palgatud pädev spetsialist korraldab renoveerimishanke. Soovitatav oleks selleks kaasata ka tulevane järelvalveinsener.

### **7.4 Renoveerimislahenduste puudused**

Sageli kutsutakse üldkoosolekule esinema mõni renoveerimislahendust pakkuva ettevõtte esindaja, kes lubab nende toote kasutamisega ebaadekvaatset energia kokkuvõtteid. Juhul kui müügimees teeb oma tööd korralikult, on vastav lahendus kõigile meeltemööda ning see kirjutatakse sisse ka renoveerimisprojekti. Siinkohal tuleb mängu ka energiaaudiitori kutse- eetika, kes olematutele faktidele tuginedes kirjutab müügimehelt saadud energiasäästu energiaauditil lisasse ning kinnitab selle oma allkirjaga. Allpool on toodud mõned tähelepanekud seoses uurimistõid tehtud renoveerimislahendusega või seoses mõne probleemi lahendamata jätmisega.

### **7.4.1 Küttesüsteemi renoveerimisega saavutatav energia kokkuvõid**

Uuringu põhjal saame väita, et küttesüsteemi renoveerimisega üle 20% saavutavat energiasäästu hoonete 1.1, 1.3 ja 1.5 näitel ei ole võimalik saavutada. Antud hoonete põhjal saame väita, et küttesüsteemiga kaasnev kütteenergia maksimaalne võimalik kokkuvõid, soojusmugavusest loobumata, oleks orienteeruvalt kuni 15%. See tuleb peamiselt temperatuuri ühtlustamise ning sellega kaasneva orienteeruvalt kuni 2 kraadise temperatuuri alandamise arvelt. Samuti reageerib termostaatidega varustatud küttesüsteem ruumis olevale või sisenevale vabasoojusele.

### **7.4.2 Regeneratiivse soojustagastitega varustatud ruumipõhiste ventilatsiooniseadmete kasutamine renoveerimislahendusena**

Teine näide on seotud regeneratiivse soojustagastiga ruumipõhiste ventilatsiooniseadmetega, mille puhul on auditi lisadesse kirjutatud võimalik soojustagastus 60%, kuid mis tegelikkuses olenevalt hoonest on oluliselt väiksem. Kui audiitor oleks arvestanud tehnilise lahenduse puhul sellega, et nn. mustadest ruumidest (köögis, vannitoas ja WC-s) tuleks tagada minimaalselt ligikaudu neljandiku ulatuses arvutuslikust pidev väljatõmme ning soojust on teoreetiliselt võimalik tagastada vaid ülejäänud õhu koguses, oleks auditites eeldatud küttekulud ventilatsiooniõhu soojendamisele olnud ligilähedased tegelikule olukorrale kuni kahekorruselistes kortermajades.

Kõrgemates kui kahekorruselistes kortermajades on esimese korruse korter kütteperioodil enamiku ajast alarõhu all. Mida kõrgem on hoone, seda suurem on tekkiv alarõhk. Seoses ventilatsiooniseadme suure müra tasemega hoitakse seade tavaliselt esimesel või teisel kiirusastmel. Niisuguses olukorras ei suuda seade loomulikust väljatõmbest tekitatud alarõhku ületada. Tingimustes, kus välisõhutemperatuur oli null kraadi lähedal, mõõtsime väljatõmbeõhu vooluhulgaks seadme juures kaks korda väiksema suuruse võrreldes sissepuhkeõhuga. Sama hoone ülemisel kahel korrusel olid erinevused väiksemad. Esimeste korruste elanikud tõid probleemina välja ka selle, et miinuskraadide juures hakkab seade sisse puhuma väga külma õhku.

Üheks suureks puuduseks on ka see, et projekteerimisel antud ventilatsiooniseadmed valitakse töötama täiskiirusel, kuid sellisel juhul ei suuda nad tagada ruumides valju müra tõttu normaalseid elutingimusi.

Kokkuvõtteks saab öelda, et antud ventilatsiooniseadmed sobivad kasutamiseks eramutes või kuni kahekorruselistesse korterelamutesse kui seadme müraprobleemid lahendatakse.

### **7.4.3 Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi lahenduse puudused**

Kolmas näide on seotud väljatõmbeõhu soojuspumbaga, kus pumba efektiivsus jääb alla prognoositud väärtusele. Kui projektlahenduse korral oleks COP 3,3 saavutatav, siis hoonete 3.5, 3.6 ja 3.8 lahendustele tuginedes jääb see selgelt väiksemaks. Kahe esimese hoone näitel muudeti ehituse käigus projektlahendust ning süsteem jäeti ehitamise järel korrektselt seadistama. Ka hoone 3.8 näitel saab öelda, et juhul kui küttegraafik oleks hoones 50/40 või lähedane sellele, oleks ka soojuspumba efektiivsus suurem. Juhul kui ehitaja kahtleb projekteerija pädevuses, tuleks tellida projektile ekspertiis, mitte hakata seda ehituse käigus lihtsalt muutma.

Renoveerimisprotsessis peaks tellijat esindama järelvalve, kes on pädev kontrollima ka tehnosüsteemide ehitust ning suutma ühistul avastada kõrvalekaldeid projektist. Juhul kui järelvalvel puudub selleks kompetents, siis peaks ta kaasama mõne tehnilise lahenduse kontrolli juurde vastava pädevusega spetsialisti. Uuringu näitel võime väita, et reeglina on järelvalveinsener üldehitustööde spetsialist ning oskab selle kvaliteeti tagada, kuid kui tuleb anda hinnang soojuspump-lahendustele või ventilatsioonisüsteemile, jääb tellija esindaja hätta.

#### **7.4.4 Hallituse tekke põhjuste lahendamata jätmine**

Samas võib 15 % ja 25% toetust saanud hoonete põhjal öelda, et kui hoones jäetakse ventilatsioon lahendamata või kui loomuliku ventilatsiooni tõhustamiseks paigaldatakse läbi välispiirete värskeõhuklapid, võib juhtuda olukord, kus see jäetakse paigaldamata magamistuppa, kuna ehitaja arvas, et kööki ja elutuppa paigaldatud klappidest piisab, kuid ruum, kus inimesed oma ajast kõige rohkem viibivad, jääb ilma värskeõhu juurdevooluta.

Hoone renoveerimise eesmärgiks peab kindlasti olema ka hoone tehnilise olukorra parandamine ja suurte kahjustuste, nagu võimalik hallitus, kõrvaldamine. Hoonete 1.3 ja 1.5 näitel renoveeriti küll hoone küttesüsteem, kuid ei tegeldud hallituse põhjuste likvideerimisega, nagu paneelivuukide tihendamine, millega oleks kõrvaldatud nende läbipuhutavus. Selle tulemusel jahtub vuugi sisepind alla teatud temperatuuri, tekib soodne keskkond hallituse tekkeks. Juhul kui vuugi sisepinnal on tekkinud juba kondensaat, on olukord väga tõsine. Niiskuskooormust aitaks vähendada ruumide nõuetekohane ventileerimine, kuid näitena toodud hoonetes on jäetud see üldse lahendamata. Juhul kui vuukide tihendamisest ja ventilatsiooni tagamisest ei piisa hallituse tekkepõhjuse likvideerimiseks, tuleks kaaluda minimaalselt parapetisõlme soojustamist, kuna katuse ja välisseina liitekoha külmasild on hallituse tekkeks üks kriitilisemaid sõlmi.

#### **7.4.5 Sooja tarbevee tsirkulatsioon ja soojusvõrgu kaod**

Hoonetes, kus toimub tarbevee valmistamine tsentraalselt, on suureks puuduseks sooja tarbevee tsirkulatsiooni kaod, mis hoone 3.1 näitel on suuremad kui tarbevee enda soojendamisele kuluv energia. Ka ülejäänud hoonetel on see ligilähedane tarbeveele kulunud energiaga (Tabel 6.3). Suur kulu on tingitud peamiselt kahest asjaolust. Esiteks, on jäetud isoleerimata sooja tarbevee ja tsirkulatsiooni torustik püstikutes. Teine põhjus on see, et osa kortereid on paigaldanud soojaveetsirkulatsiooni torustiku vannitoa põrandkütteks, mis on lubamatu. Uuritavates hoonetes olid põhjused tingitud pigem esimesest asjaolust, kuna osades hoonetes on suvine sooja tarbevee kasutus väike ning võrgukaod sellest tingituna suured. Sooja tarbevett ei kasutata, kuid selle tsirkulatsioon on pidevalt ringluses. Samuti ei ole võimalik tsirkulatsiooni soojust ka kütteperioodil vannitubade siugtorudel reguleerida ning see kütte annab ruumidesse soojust, mida sisuliselt kütmise jaoks arvestatud pole. Juhul kui renoveerimisega oleks isoleeritud torud nii keldris kui püstikutes, oleks osades hoonetes energia kokkuhoid märgatav. Juhul kui käterätikuivatid soovitakse vannitubades säilitada, tuleks arvestada orienteeruvalt 8 kWh/m<sup>2</sup>\*a tsirkulatsiooni kuluga.

### **7.5 Omaniku järelvalve ja hoone üleandmine tellijale**

Omaniku järelvalve ülesandeks on esindada tellijat hoone renoveerimise algusest lõpuni. Pädeva järelvalve inseneri leidmiseks tuleks korraldada konkurss, mille aluseks ei tohiks olla hind. Soovitav on kasutada omanikujärelvalvega tegelevate ettevõtete teenuseid, mis suudavad oma tööd ka hiljem vastutada ning kus lisaks üldehitustööde spetsialistile leidub insenere, kes suudavad kontrollida ka tehnosüsteemidega seonduvate tööde projektijärgset ehitamist. Kuna järelvalve valikust sõltub paljuski renoveerimise lõpptulemus, tuleks enne otsustamist uurida ka ettevõtte või vastava inseneri tausta.

Järelvalveinseneri palkamisel tuleks jätta ehitajaga suhtlemine tema hooleks. Inseneri ülesandeks on teha koostööd tellija ja ehitajaga ning kontrollida projektijärgset ehitust ning selle kvaliteeti lähtuvalt kehtivatest standarditest ja kvaliteedi nõuetest. Hoone 3.3 näitel lgasugused kokkulepped otse ehitaja ja tellija vahel ei ole soovitatavad, kui tehniline lahendus ei pruugi olla kooskõlas projekti või selle muudatusega. Juhul kui tellija hakkab otse suhtlema ehitajaga, siis ei suuda omanikujärelvalve nendest kokkulepetest tulenevalt sekkuda ning ta ei saa vastutada ka kokkuleppes tehtud lahenduste eest.

## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

28.02.2013

Omanikujärelvalve peaks olema tellija esindaja kuni hoone kasutusloa saamiseni. Järelvalve ülesandeks võiks olla kõiksugused kooskõlastused ning mõõdistusaktide kokkupanekud tellijale. Sama hoone 3.3 näitele tuginedes tuleks järelvalvele ülesandeks anda ka kohaloleku nõue mõõdistamise hetkel, kus järelvalve insener saab veenduda, et mõõdistustööd on teostatud kvaliteetselt. Lepingusse võiks jätta ka punkti, et garantii ajal puuduste ilmnmisel antakse järelvalve inseneri kaudu vaegtööde ja seadistustööde vajadusest ehitajale infot läbi tema. Juhul kui seda punkti sees pole, peab tellija arvestama, et probleemide ilmnmisel tuleb ehitajaga suhtlemine võtta enda kanda.

### **7.6 Üldised soovitused seoses uuringuga**

Tellijal ei tasu võtta kogu renoveerimisega kaasnevat koormat enda kanda, selleks tuleks vajadusel renoveerimise erinevates etappides kaasata pädevaid konsultante. Renoveerimise kvaliteetset lahendust on võimalik saavutada juhul, kui kõikides etappides on vastava ala insenerid teinud kvaliteetset tööd. Juhul, kui mingis etapis ilmneb eelmises etapis tehtud viga, tuleks see enne edasiminekut likvideerida.

Kui renoveerimisprojekti aluseks on kvaliteetne lähteülesanne ning hoone renoveerimine on lahendatud komplekselt, kasutades toimivaid renoveerimislahendusi, mis on õigete alusandmete järgi projekteeritud, on renoveerimise alustamiseks tagatud kõik vajalikud nõuded. Renoveerimistööde kvaliteedi tagamiseks tuleks kaasata pädev omanikujärelvalvet teostav ettevõtte, kus oleks ka insenere, kelle kompetentsi kuuluvad ka ventilatsiooni ning küttesüsteemide kvaliteedi kontroll. Lahenduste vahetamisele renoveerimise kestel tuleks suhtuda umbusuga, kuna eeldatud tulemus võib jääda sellega saavutamata.

Renoveerimine pole tellija jaoks lõppenud enne, kui on likvideeritud ka renoveerimistööde järgsed vead, selleks võib olla antud hoonele süsteemi tehniliselt sobimatu lahendus või täiendav seadistusvajadus. Kindlasti tuleks tellijat informeerida ka uute süsteemide hooldusvajadusest ning sellega kaasnevast, mida hoonete 3.5 ja 3.6 näitel tehti alles peale süsteemide rikete ilmnmist.

## **8. Kokkuvõte**

Antud uurimistöös analüüsiti kokku 20 korterelamut, millest vastavalt viis olid 15% , viis 25% ja kümme 35% toetusmeetme tingimustes renoveerimiseks renoveerimistoetust saanud. Igale toetus protsendi aluseks olid rea nõuete täitmine, millest kõige olulisemad olid saavutatav soojuseenergiasäästu saavutamine vastavalt 30%, 40% ja 50%. Hoonetes tuli tagada ka EVS-EN 15251 kohane sisekliima. Sama standardi renoveerimisjärgse sisekliima analüüsi tulemustel saab hinnata, et kõige keerulisem on saavutada rahuldavat õhuvahetust. Põhjuseks saab välja tuua ventilatsiooni puuduliku kavandamise, tehnilise lahenduse teostuse ja kasutamise.

Uuring näitas, et loomuliku ventilatsiooniga ei ole võimalik tagada nõuetekahast õhuvahetust ning selle lahenduse kirjutamise auditi lisasse on vale. Ruumipõhiste regeneratiivse soojustagastusega ventilatsiooniseadmete kasutamise antud hoonete puhul ei taganud samuti nõutud õhuvahetust, kuna projekti kohaselt valiti seadmed töötama maksimaalsel kiirusel, kuid projektides ei arvestatud seadmes oleva ventilaatori töö karakteristikutega. Maksimumkiiruse juures genereerib seade häirivat müra ning kõrgemates kui kahekorruselised hooned ei suuda ventilaator piisavas mahus loomulikule väljatõmbele ruumi alarõhku tekitada. Selle tulemusena töötavad seadmed väiksematel kiirustel ja külmemate ilmadega on sissepuhke õhu liikumine ruumi 2 korda suurem võrreldes väljatõmbeõhu kogusega ning see hakkab häirivalt inimestele peale puhuma.

Sellises olukorras ei ole tagatud ka seadme soojustagastus prognoositud mahus.

Väljatõmbeõhu soojuspumba juures on probleemiks väljatõmbekanalite suur takistus või korterite väljatõmbeavade esine suur takistus. Lahendamata on ka ruumide vaheline õhu liikumine. Lisaks on võrreldes projektlahendusega ehituse käigus muudetud väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi.

CO<sub>2</sub> mõõtetulemuste kokkuvõttes võib baasil öelda, et III sisekliima klass oli uuritud hoonetes 5 % lubatud ületusega tagatud 10 % uuritud hoonetest. Olgu samas ka mainitud, et üksikute korterite lõikes ületas CO<sub>2</sub> tase III sisekliima klassis lubatud.

Selle põhjal võib väita, et õhk ruumis muutub öö jooksul kiirelt umbseks. Samas ei tule õhu umbsuse probleem ankeetküsitlusest välja, kuna enamikes korterelamutes on renoveerimiseelselt vahetatud akendega õhuvahetus samuti puudulik olnud. Samuti ei teadvustata halva õhuvahetusega kaasnevaid terviseriske ning ei osata hinnata õhuvahetusega kaasnevat mugavust.

Antud analüüsi põhjal tuleks õhuvahetuse tagamisele renoveerimistoetuse andmisel suuremat tähelepanu pöörata, kuna uuringu tulemused näitavad, et uuritavates hoonetes vaid üksikutes korterites oli tagatud rahuldav õhuvahetus.

Energiaõhususe analüüsist selgub, et auditites ja nende lisades toodud soojusenergia kokkuhoidud on paljude hoonete puhul hinnangulised ning need ei tugine konkreetsetele arvutustele. Samuti prognoositud säästu arvutamisel jääb ebaselgeks, kuidas on leitud paketi rakendamise kogu sääst. Kontrollitud sisendandmete põhjal arvutuslikud tulemused andsid auditis või auditi lisas toodud väärtuse erinevaid tulemusi ning saadud tulemuse järgi sai ka hinnata, et antud pakette renoveerimistöoga pole võimalik saavutada toetuse tingimustel nõutavat sihtväärtust.

Kõige suurema lahknevuse audiitori kalkuleeritud säästu ja uuringu käigus arvutuslikult prognoositava säästu vahel andis 15% toetusmeetme 30%-lise kokkuhoiu saavutamine, mis üksnes küttesüsteemi renoveerimisega ei ole saavutatav. Hinnanguliselt saab öelda, et antud juhul peaks hoone kütteperioodi keskmine siseõhutemperatuur alanema oluliselt, kuid see enam ei tagaks mugava siseõhutemperatuuri kriteeriumeid.



## **Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele**

Lõpparuanne

28.02.2013

Küsitlustulemused ja mõõtmised näitasid, et korterites, kus elavad lastega pered, reeglina temperatuuri alandamist ruumides ei kasutata, seda kasutavad pigem üksi või kahekesi korteris elavad vanemad inimesed küttekulude kokkuhoidmise eesmärgil.

Reaalsete tarbimisandmete alusel võib järeldada 35% toetust saanud hoonete põhjal, et renoveerimistöodega saavutatav energiasääst saab olla kompleksse renoveerimislahendusega 50%, kuid antud väärtus õhuvahetuse tagamisega oleks saavutatav vaid 4 hoones 10-st. Ülejäänud hoonete säästuprotsendi arvutamisel on toodud renoveerimislahenduste alusel oldud veidi optimistlikud. Põhjuseks on olnud kas ventilatsiooni soojustagasti väiksem soojustagastus, soojuspumpsüsteemi väiksem efektiivsus või suur tarbevee tsirkulatsiooni osakaal.

Hoone ankeetküsitlused näitasid, et reeglina suhtutakse hoone renoveerimisse positiivselt ning saavutatav energiasääst (kus see ka reaalselt saavutati) on inimestele tuntav. Samas toodi välja, et suurenenud laenumakse jätab saavutatud soojusenergia kokkuhoiu varju.

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

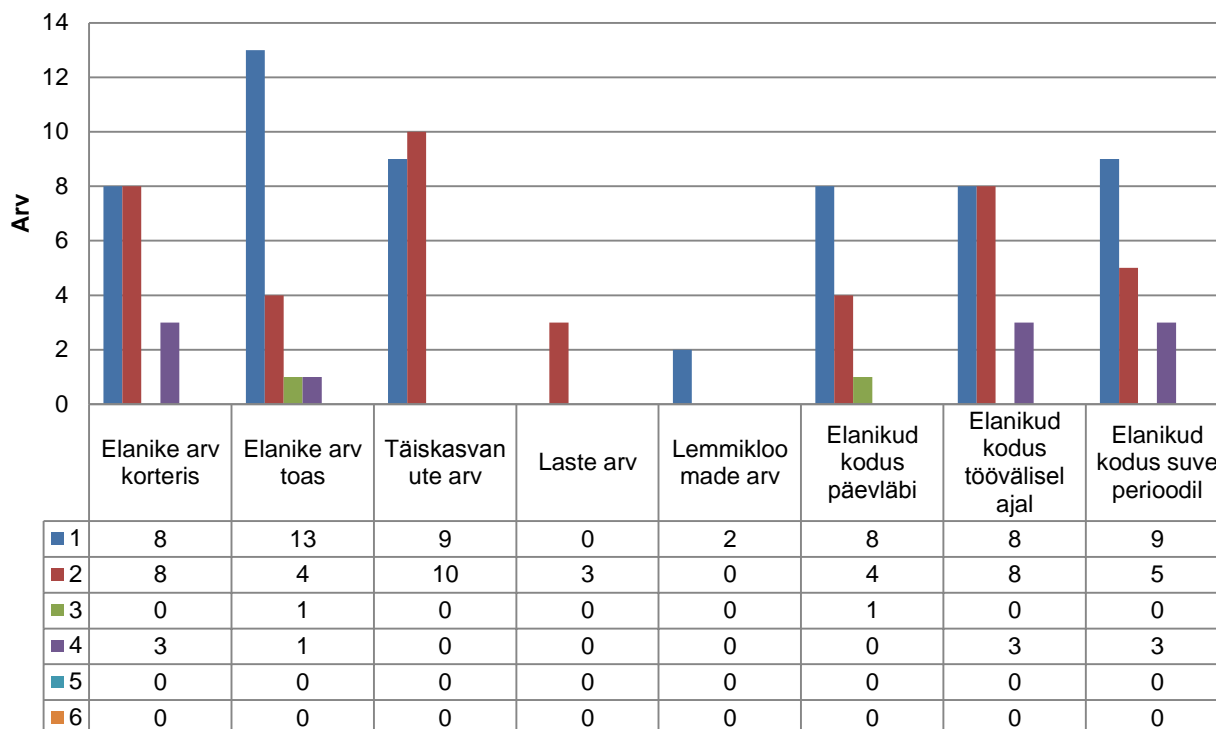
Lõpparuanne

28.02.2013

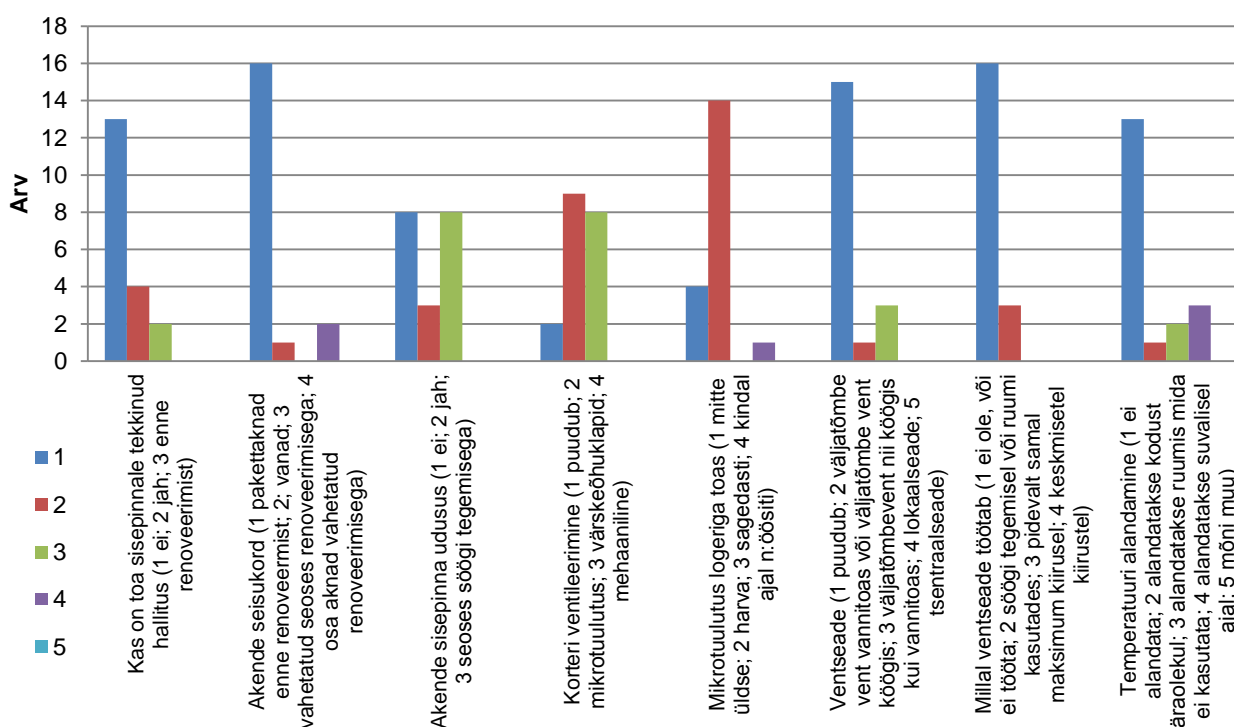
## 9. Lisad

### 9.1 Küsitlustulemused tulenevalt hoone renoveerimistoetusest

#### 9.1.1 15% toetust saanud hoonete korterite küsitlustulemused



Joonis 9.1 Korterite elanike jaotus ning kohalelek uuritavates hoonetes ja korterites

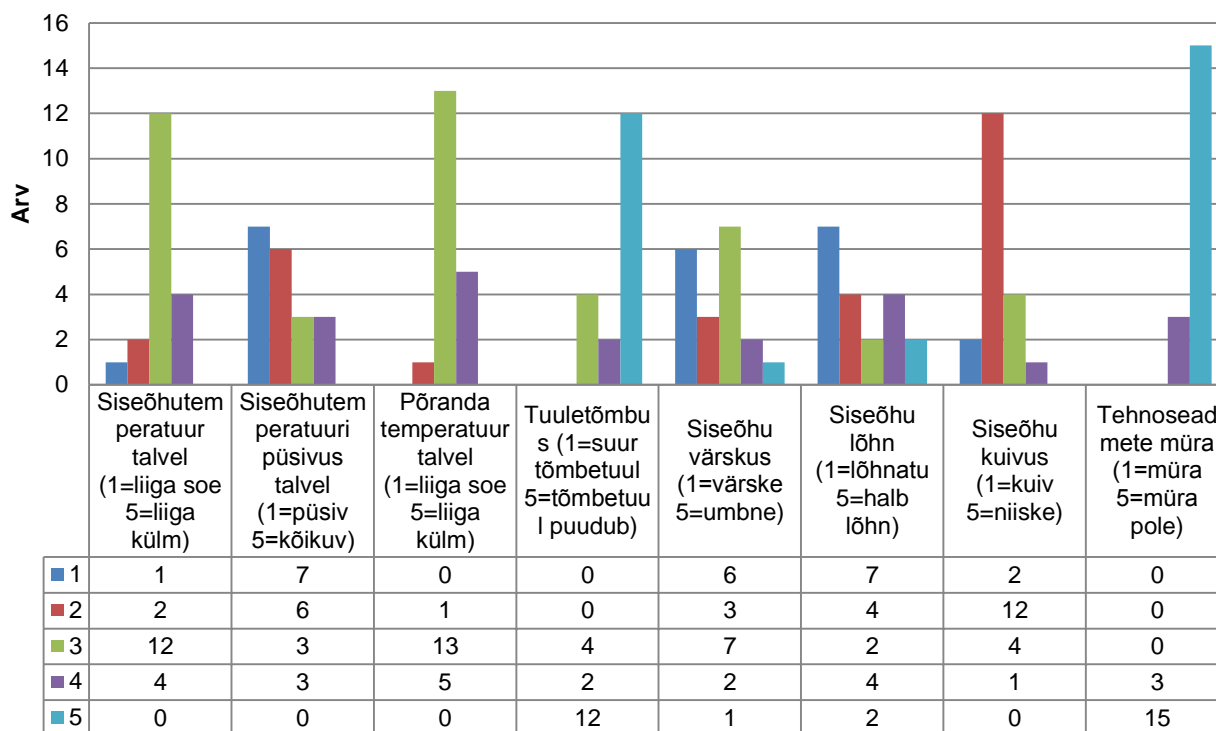


Joonis 9.2 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid

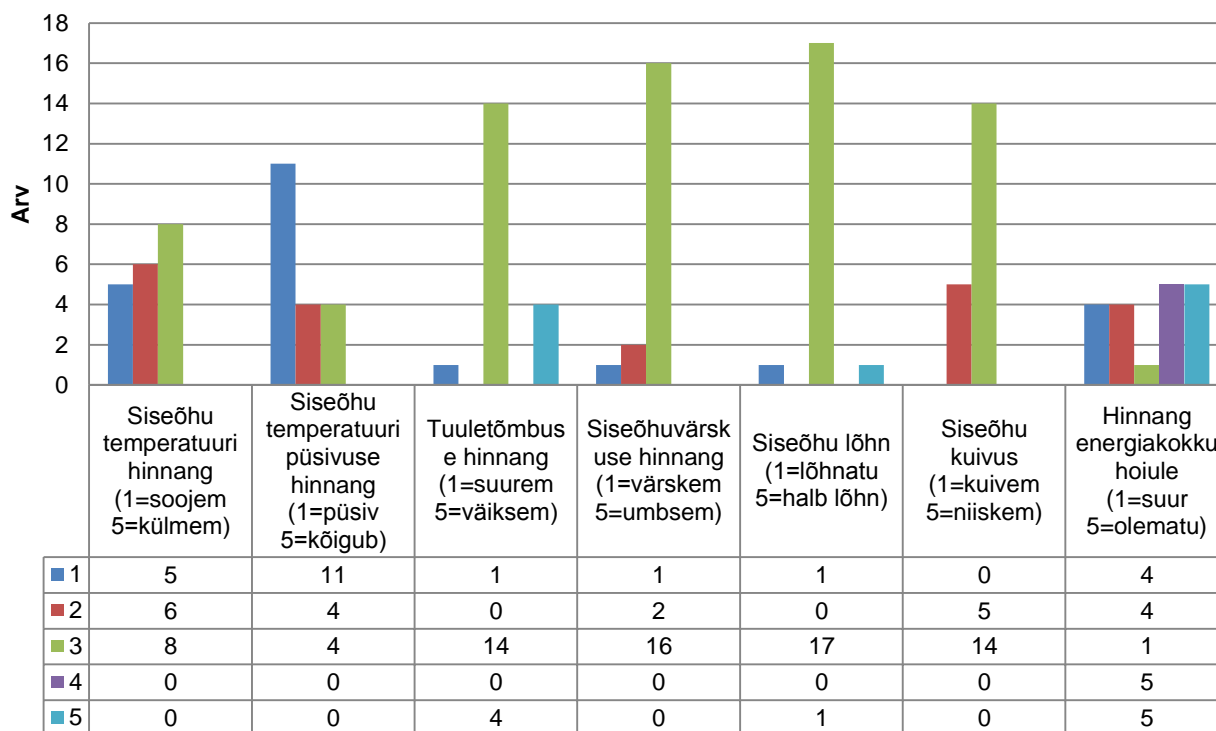
## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

28.02.2013



Joonis 9.3 Elanike hinnang sisekliimale



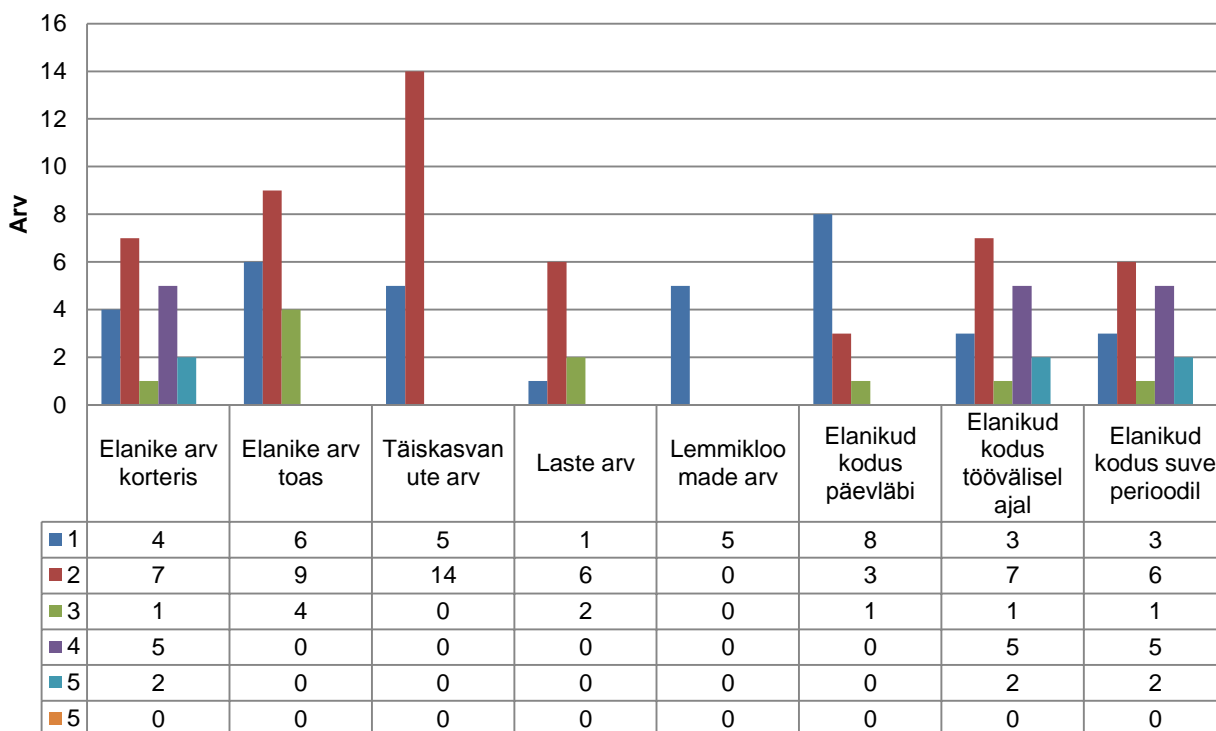
Joonis 9.4 Elanike hinnang sisekliima muutumisele seoses renoveerimisega

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

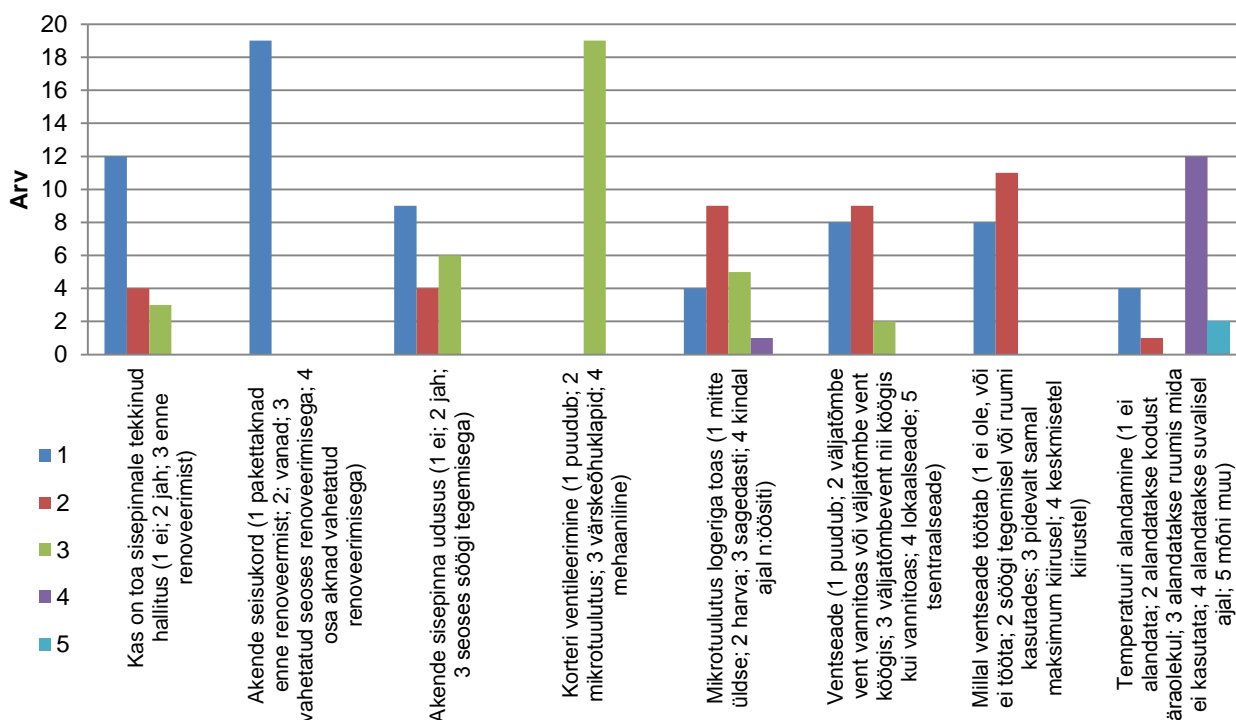
Lõpparuanne

28.02.2013

## 9.1.2 25% toetust saanud hoonete korterite küsitlustulemused



Joonis 9.5 Korterite elanike jaotus ning kohalolek uuritavates hoonetes ja korterites

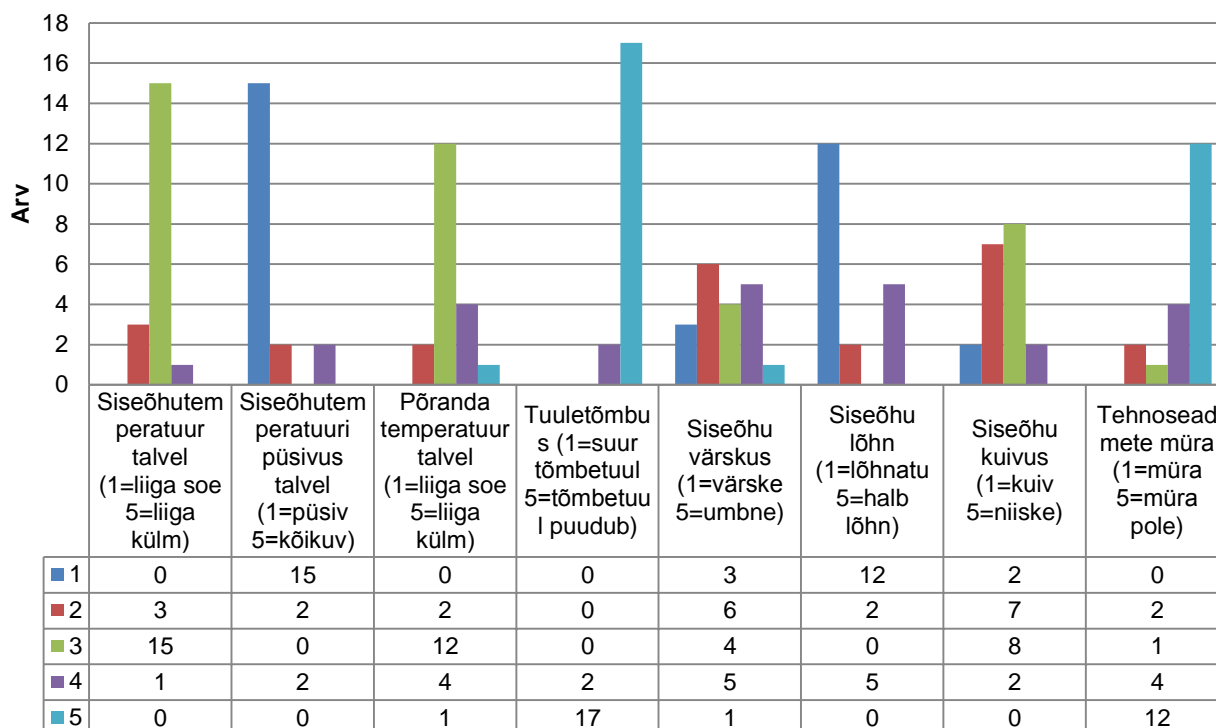


Joonis 9.6 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid

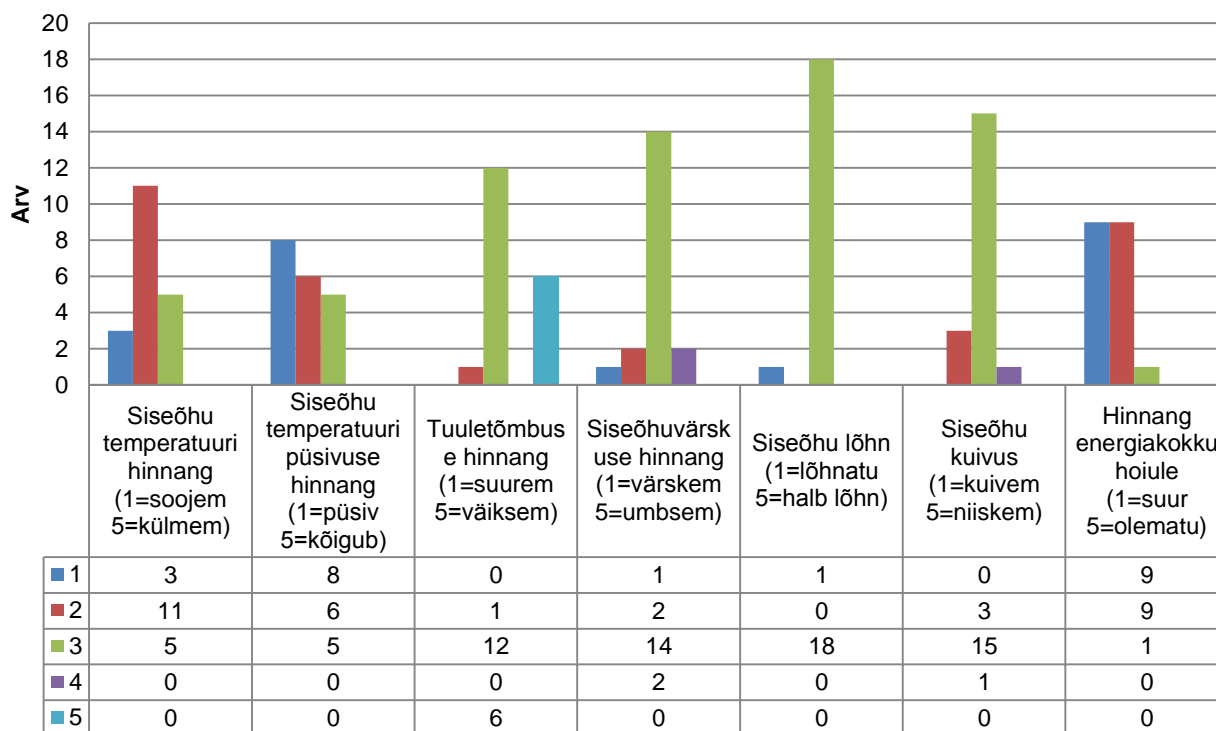
## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

28.02.2013



Joonis 9.7 Elanike hinnang sisekliimale



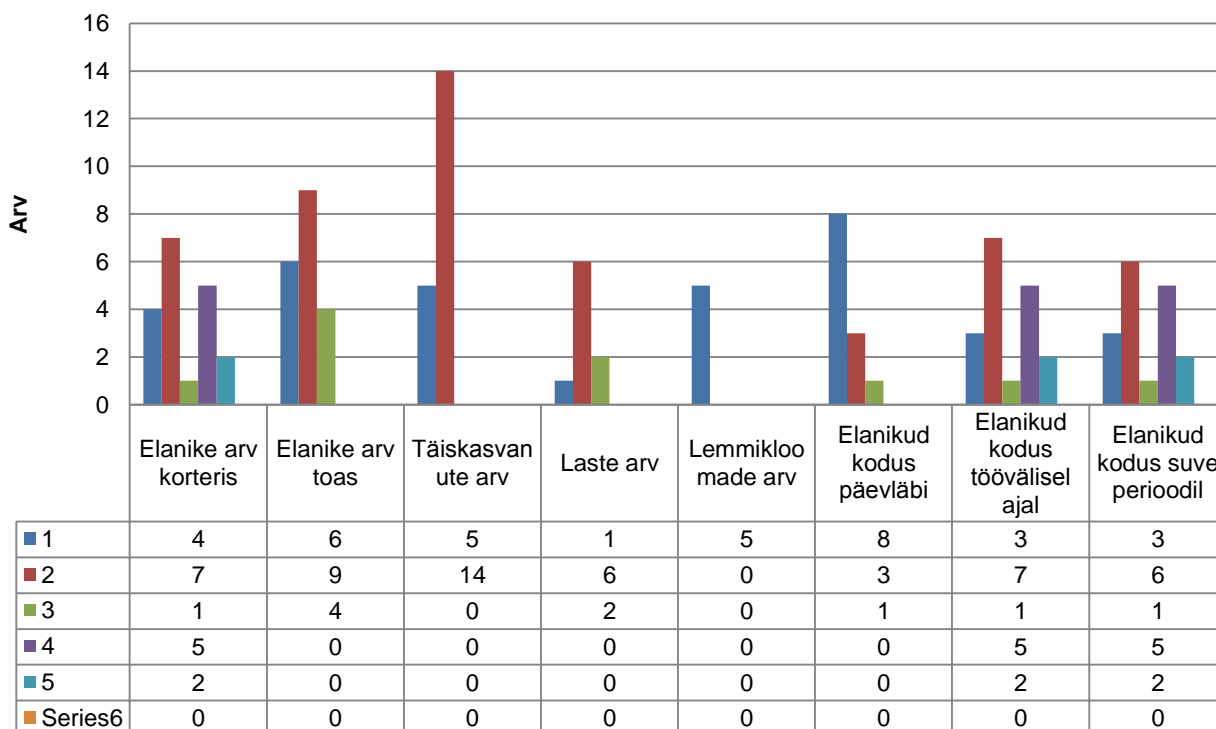
Joonis 9.8 Elanike hinnang sisekliima muutumisele seoses renoveerimisega

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

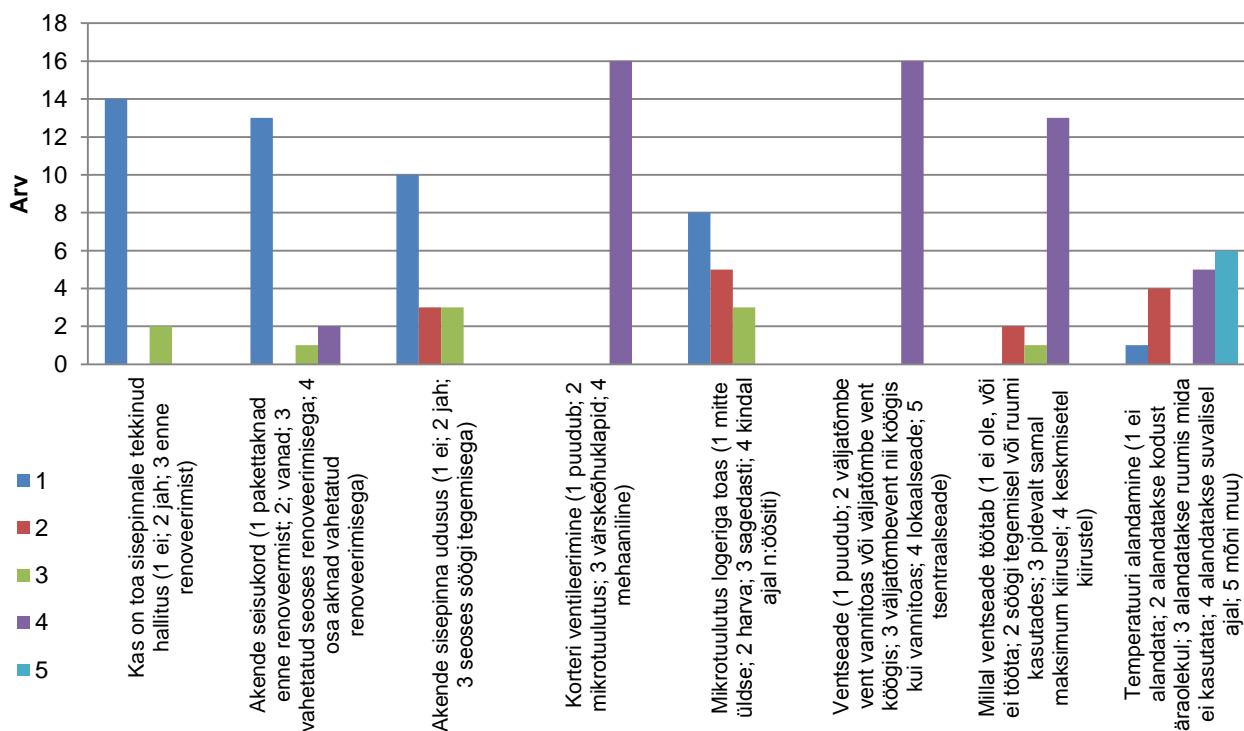
Lõpparuanne

28.02.2013

### 9.1.3 35% toetust saanud lokaalsete korteripõhiste ventilatsiooniseadmetega varustatud hoonete korterite küsitlustulemused



Joonis 9.9 Korterite elanike jaotus ning kohalolek uuritavates hoonetes ja korterites

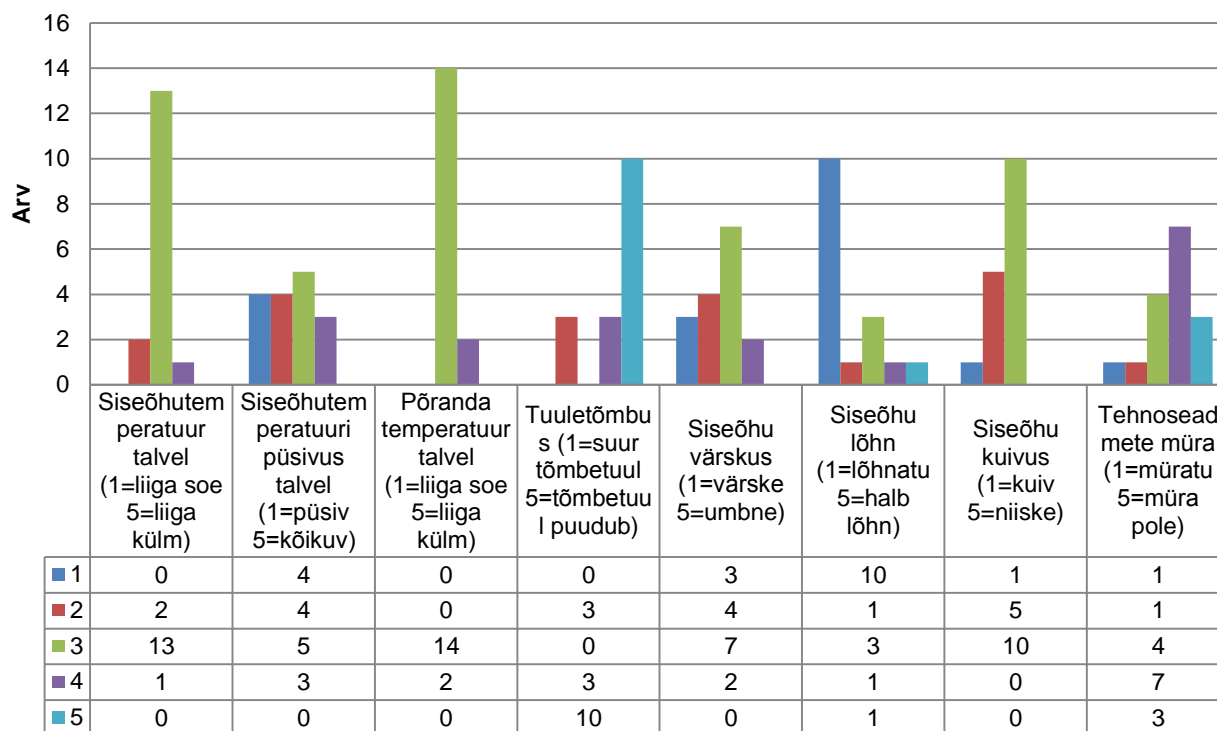


Joonis 9.10 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid

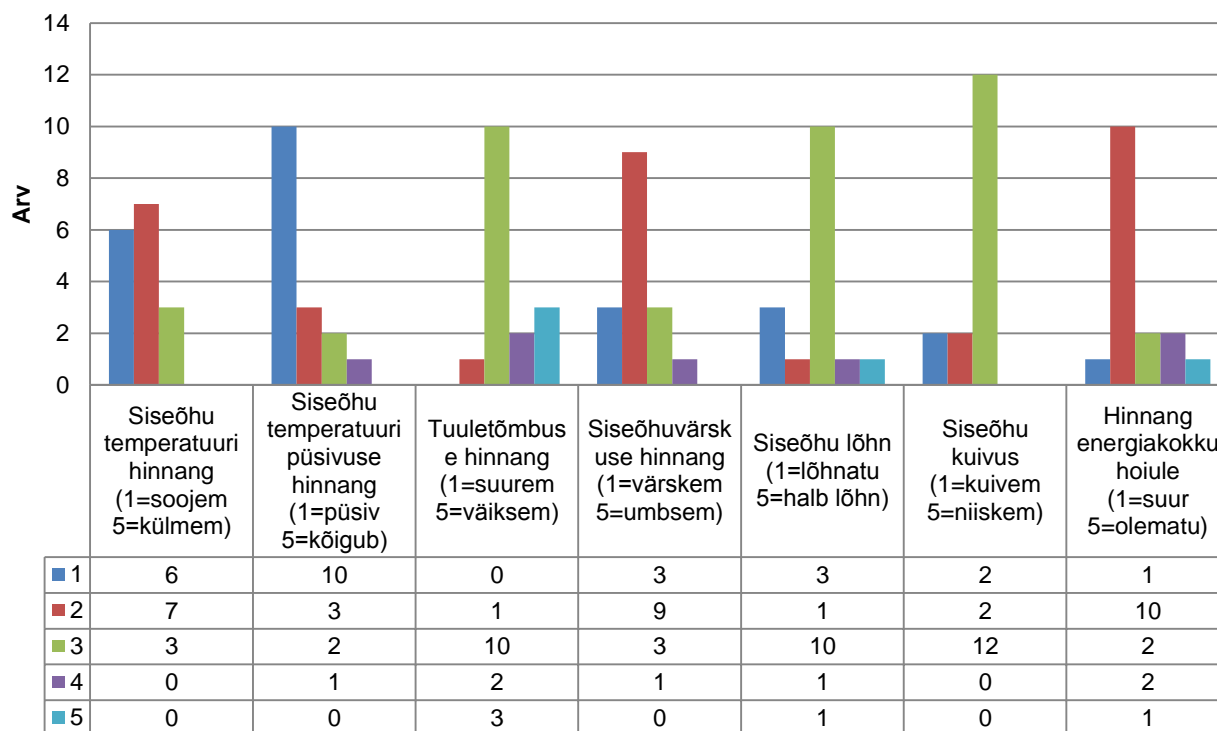
## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

28.02.2013



Joonis 9.11 Elanike hinnang sisekliimale



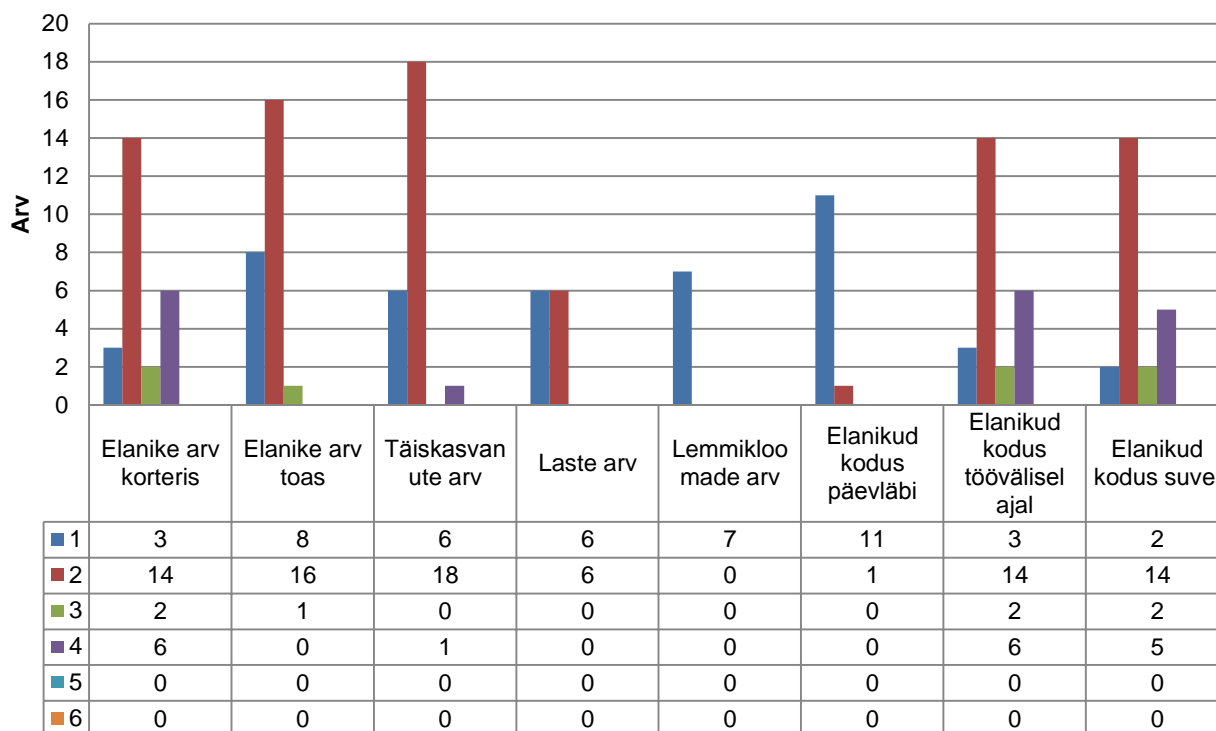
Joonis 9.12 Elanike hinnang sisekliima muutumisele seoses renoveerimisega

## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

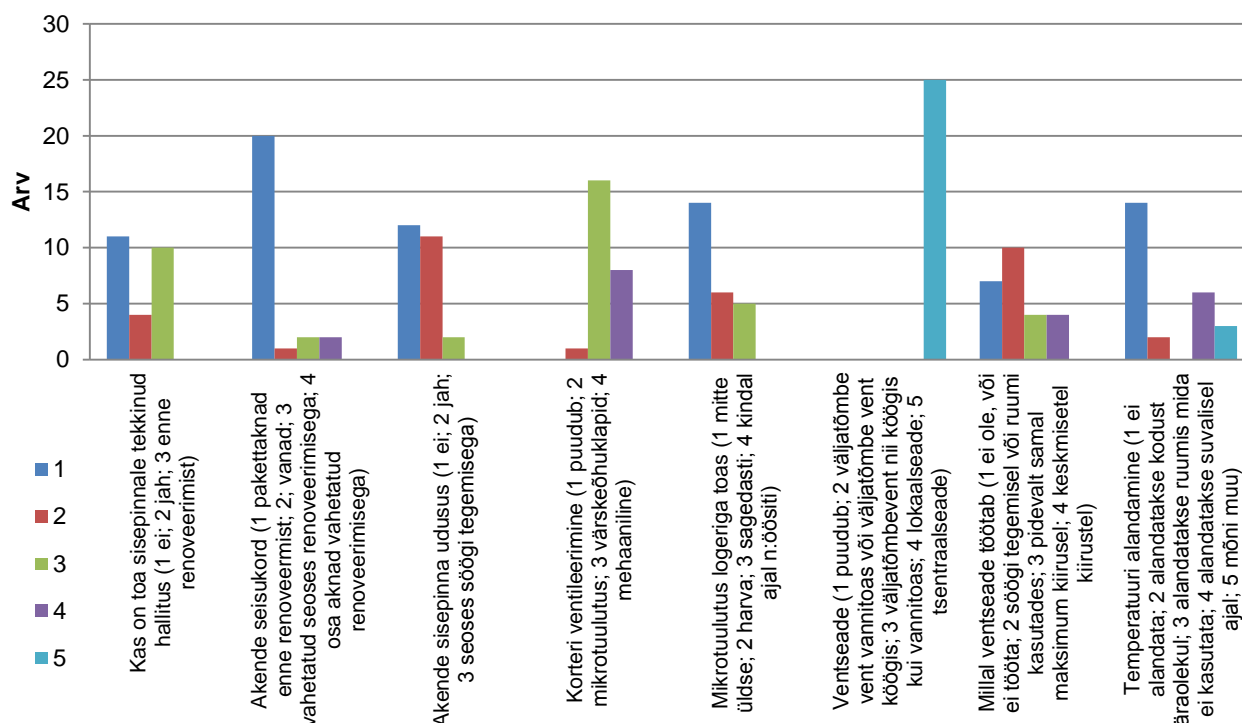
Lõpparuanne

28.02.2013

### 9.1.4 35% toetust saanud mehhaanilise väljatõmbega varustatud hoonete korterite küsitlustulemused



Joonis 9.13 Korterite elanike jaotus ning kohalolek uuritavates hoonetes ja korterites



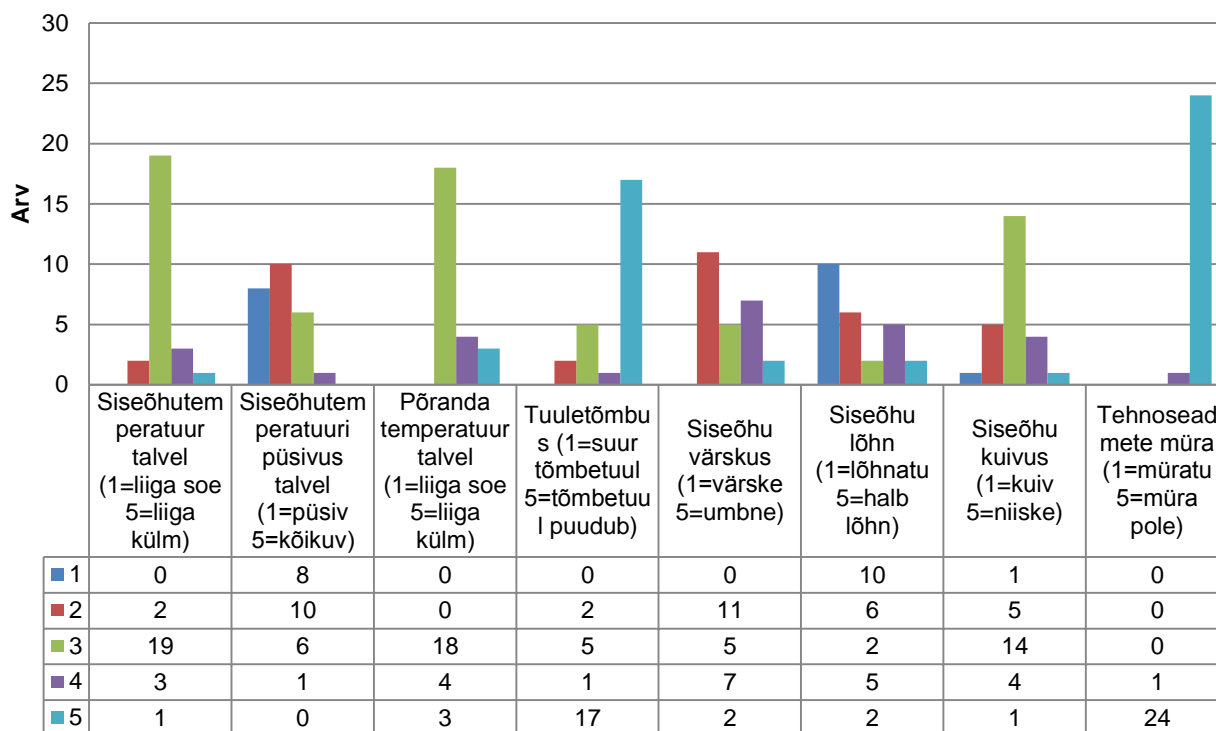
Joonis 9.14 Korterite ventileerimine ning halvast õhuvahetusest põhjustatud probleemid



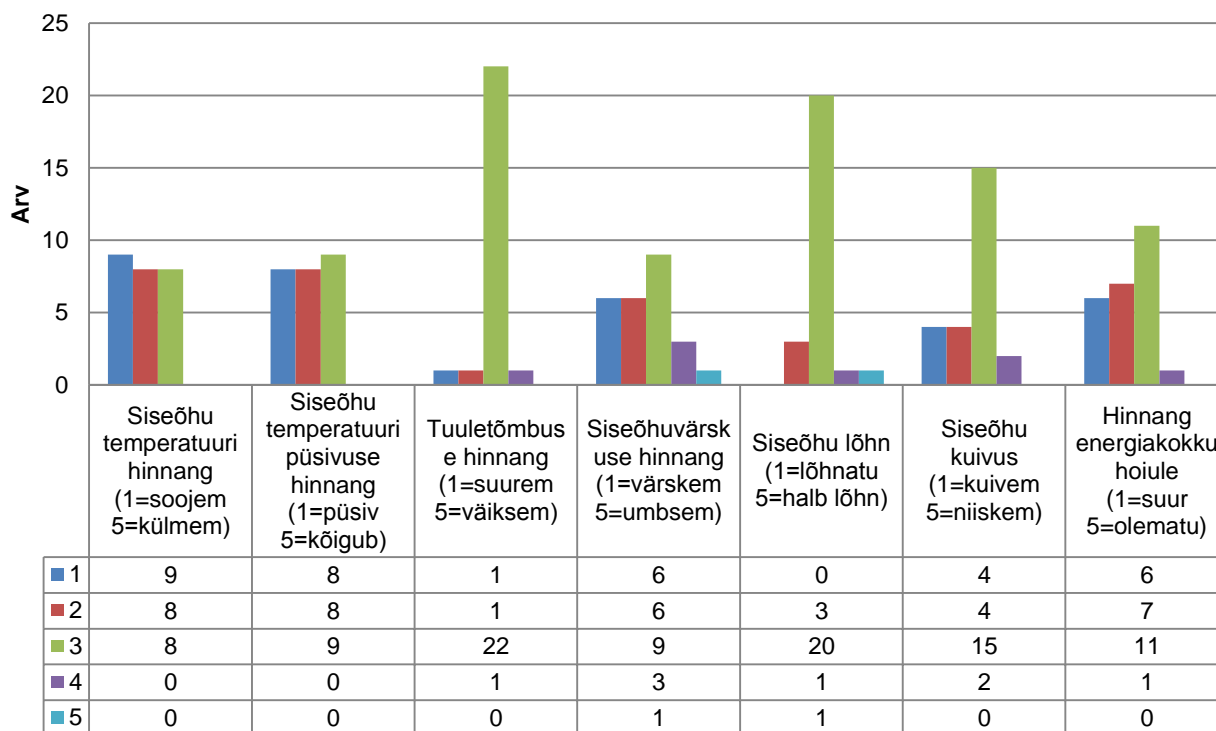
## Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele

Lõpparuanne

28.02.2013



Joonis 9.15 Elanike hinnang sisekliimale



Joonis 9.16 Elanike hinnang sisekliima muutumisele seoses renoveerimisega