

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

### Eessõna

Käesolev uuringu lõpparuanne võtab kokku Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusteaduskonnas ajavahemikus jaanuar-september 2010 läbiviidud uuringu „Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring” tulemused. Töö on teostatud Eesti Korterühistute Liidu tellimisel ning Kredidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuse KredEx finantseerimisel.

Eesti Korterühistute Liit: Urmas Mardi, Anu Sarnet; Raimo Jõgeva  
Kredidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutus KredEx: Mirja Adler, Heikki Parve;

Tallinna Tehnikakõrgkooli poolt osalesid uurimistöös järgmised isikud:

Hoonete õppetool: Leena Paap, Anti Hamburg, Pille Hamburg, Robert Reinpuu, Sirle Künnapas, Lauri Peetrimägi, Oksana Baranenko, Jevgeni Fadejev, Jevgeni Romanov.

Uuringus osalesid ka Tallinna Tehnikaülikooli Materjaliuuringute teaduskeskuse töötaja Urve Kallavus ja Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ töötaja Endel Jõgioja.

Uurimisraporti erinevate peatükkide kirjutamisel on osalenud järgmised isikud: Endel Jõgioja: ptk. 3, 4; Leena Paap: ptk. 2, 3, 4; Anti Hamburg: ptk. 2, 5, 6, 9; Pille Hamburg: ptk. 7, 8; Urve Kallavus: ptk. 2; Robert Reinpuu: ptk. 10; Sirle Künnapas: ptk. 3; Lauri Peetrimägi: ptk. 7, 8; Oksana Baranenko: ptk. 7, 8; Jevgeni Fadejev: ptk. 2, 5, 6; Jevgeni Romanov: ptk. 2, 5, 6.

Täname uurimistöös rahastajaid ning uuritud elamute elanikke ja korteriühistute esindajaid panuse eest uurimistöös õnnestumisesse. Samuti täname Eesti Korterühistute Liitu abi eest uurimisobjektide leidmisel.

Tallinnas 30.septembril 2010

Uurimisrühma nimel,  
Anti Hamburg

## Sisukord

<b>1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sisekliima analüüs kortermajades</b>	<b>6</b>
2.1	Mõõtmise meetodika	6
2.2	Väliskliima	7
2.3	Siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse analüüs uuritavates korterelamutes	8
2.3.1	Siseõhu temperatuuri analüüs uuritavates korterelamutes	9
2.3.2	Suhtelise õhuniiskuse analüüs uuritavates korterelamutes	11
2.3.3	Kokkuvõte sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuste analüüsist	14
2.4	Niiskuskormused korterites	14
2.5	Süsihappegaasi kontsentratsiooni uuritavates korterelamutes	15
2.5.1	Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang	15
2.5.2	Paneel+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang	16
2.5.3	Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang	16
2.5.4	Tellis+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang	17
2.5.5	Uuritavate korterelamute süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang	17
2.6	Õhu- ja materjaliproovide analüüs	18
<b>3</b>	<b>Välisseinte soojus- ja niiskusolukord</b>	<b>22</b>
3.1	Välisseinte soojajuhtivus	22
3.1.1	Meetodid	22
3.1.1.2	Välisseinte katseline soojajuhtivus	23
3.1.2	Tulemused	23
3.2	Välisseinte niiskusolukord	24
3.2.1	Meetodid	24
3.2.2	Tulemused	25
3.2.3	Kokkuvõte	30
<b>4</b>	<b>Välisseinte õhupidavus ja termograaferimine</b>	<b>31</b>
4.1	Välisseinte õhupidavus	31
4.1.1	Õhupidavuse mõõtmise meetodika ja hindamise kriteeriumid	31
4.1.2	Tulemused	32
4.2	Välisseinte termograaferimine	33
4.2.1	Termograaferimise meetodika ja hindamise kriteeriumid	33
4.2.2	Tulemused	34
4.2.3	Kokkuvõte	36
<b>5</b>	<b>Elamute kütte ja ventilatsiooni toimivuse hinnang</b>	<b>37</b>
5.1	Küttesüsteemi toimivuse hinnang uuritavates korterelamutes	37
5.2	Ventilatsioon toimivuse hinnang uuritavates korterelamutes	38
5.3	Kokkuvõte kütte ja ventilatsiooni toimivuse hinnangust uuritavates korterelamutes	40
<b>6.</b>	<b>Energiakasutuse analüüs</b>	<b>41</b>
6.1	Mõõdetud soojusenergia tarbimisandmete analüüs	41
6.2	Arvutuslikud soojusbilansid uuritavates korterelamutes	43
6.2.1	Uuritavate kortermajas kütteenenergia arvutuslik tarbimine praeguses olukorras	43
6.2.2	Uuritavate korterelamute soojusbilansid ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimisel	46
6.2.3	Kokkuvõte korterelamute arvutuslikest kütteenenergia erikulude analüüsist.	48
6.3	Küttebilansside võrdlus	49

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

<b>6.4</b>	<b>Lahendusettepanekud tüüpsete korterelamute</b>	<b>rekonstrueerimiseks</b>	<b>50</b>
6.4.1	Osaliselt renoveeritud kortermajade lahendusettepanekud uuritud kortermajade näitel	rekonstrueerimise	50
6.4.2	Täiendava välispiirete soojustamise ja õhuvahetuse tagamise mõju kütteenergia eritarbimisele uuritavates korterelamutes		55
6.4.3	Teoreetilise kütteenergia erikulu leidmine vastavalt energiatõhususe klassile		56
6.4.4	Teoreetiline arvutusnäide ventilatsiooni väljatõmbeõhu soojuse kasutamise sooja tarbevee- ja kütteenergiaks		57
<b>6.5</b>	<b>Kokkuvõtte energiatarbe analüüsist</b>		<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Elanike küsitluse tulemuste analüüs</b>		<b>61</b>
<b>8</b>	<b>Renoveerimistöõde maksumuse hindamine ja tehnilis-majanduslik põhjendus</b>		<b>62</b>
8.1	Ehitusmajandusliku analüüsi meetodika		64
8.2	Tulemused		67
8.3	Arvutusnäide		79
8.4	Kokkuvõtte		82
<b>9</b>	<b>Uuringuprojekti kokkuvõtte</b>		<b>62</b>
<b>10</b>	<b>Viidatud kirjandus</b>		<b>85</b>

## 1 Sissejuhatus

Suur osa Eestis pärast II maailmasõda loodud eluasemefondist on tänaseks oma kavandatud eluea saavutanud. Pärast Eesti taasiseseisvumist ja olulisi muudatusi omandisuhetes eluasemeturul, on korterelamutes viidud läbi erineva koosseisu ja mahuga renoveerimistöid. Olulisemaks eesmärgiks on olnud kütteenergia kulu vähendamine ning sellest tulenev rahaline sääst. Reeglina on töid teostatud vastavalt olemasolevate rahaliste vahendite olemasolule ja elanike ühisotsuste põhjal, st sageli on elamuid renoveeritud üksikuid meetmeid ellu viies, mitte vaadeldes elamut kui tervikut. Samuti on kasutatud erinevaid ehitustehnoloogilisi lahendusi, mille valikul on tihti lähtutud madalama hinna kriteeriumist, tuttavate soovitudest jms. objektiivsetest ja subjektiivsetest teguritest.

Kuna olemasoleva elamufondi renoveerimisvajadus on suur, siis on oluline välja selgitada, milliseid tulemusi on andnud läbiviidud renoveerimismeetmed ning teha järeldusi nende edasise kasutamise otstarbekuse suhtes. Samuti on vajalik uurida senitehtu majanduslikku põhjendatust ja anda soovitusi tulevikuks.

Uuringu aluseks on valitud nelja, laialdast kasutust leidnud renoveerimismeetmete rakendusega viiekordsed korterelamud :

- telliselamu, mille välisseinte lisasoojustamiseks on kasutatud villsoojustust, aruandes edaspidi tellis+vill
- telliselamu, mille välisseinte lisasoojustamiseks on kasutatud vahtpolüstüreensoojustust, aruandes edaspidi tellis+vahtpolüstüreen;
- suurpaneelramu, mille välisseinte lisasoojustamiseks on kasutatud villsoojustust, aruandes edaspidi paneel+vill;
- suurpaneelramu, mille välisseinte lisasoojustamiseks on kasutatud vahtpolüstüreensoojustust, aruandes edaspidi paneel+vahtpolüstüreen;



Paneel+vahtpolüstüreen



Paneel+vill

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Tellis+vahtpolüstüreen



Tellis+vill

Käesoleva uuringu põhieesmärgiks oli selgitada välja valimisse kuuluvate korterelamute ehitusfüüsikaline ja sisekliima seisund, energiatarbe olukord ning anda hinnang teostatud remondimeetmete tehnilis-majanduslikule põhjendatusele.

Seni teostatud renoveerimistööd on avaldanud suurt mõju uuritavate hoonete sisekliimale ja välispiirete soojus- ja niiskuslikule toimivusele.

Vastavalt uuringu lähteülesandele olid püstitatud järgmised alameesmärgid:

- saada ülevaade teostatud meetmete elluviimise tulemustest ning kasutada saadud andmeid edasiste otsuste tegemisel elamufondi renoveerimisel;
- uuringu tulemuste põhjal propageerida tehniliselt ja majanduslikult põhjendatud renoveerimislahendusi ning aidata kaasa korterelamute tehnilist seisukorda ja sisekliima kvaliteeti halvendavate lahenduste vältimisele;
- saada ülevaade renoveeritud korterelamute piirdetarindite ehitustehniliselt seisukorrast;
- saada ülevaade renoveeritud korterelamute õhupidavusest;
- saada ülevaade renoveeritud korterelamute piirdetarindite ehitusfüüsikalisesest olukorrast;
- saada ülevaade renoveeritud korterelamute tehnosüsteemide toimivusest;
- saada ülevaade renoveeritud korterelamute korterite sisekliima parameetritest;
- saada ülevaade renoveerimismeetmete mõjust energiatarbele;
- saada ülevaade elanike hinnangust elukeskkonnale uuritavate korterelamute lõikes;
- saada ülevaade renoveerimismeetmete majanduslikust efektist;
- pakkuda välja põhimõttelised lahendused renoveeritud korterelamute ehitusfüüsikaliste ja sisekliima parameetrite ning energiatõhususe parendamiseks ning hinnata nende lahenduste majanduslikku põhjendatust.

## 2 Sisekliima analüüs kortermajades

Hoone sisekliima mõiste alla kuuluvad peamiselt õhu kvaliteeti iseloomustavad füüsikalised suurused, mis on normeeritud vastavate standardite alusel. Sisekliima kvaliteeti ja mugavust iseloomustavad sisetemperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu puhtus, müra tase, valgustus, kiirguspindade temperatuur jne. Seejuures avaldavad sisekliima hindamisel mõju inimeste riietus, füüsiline aktiivsus, sugu, vanus ja ka tervislik seisund. Hea sisekliima eelduseks on hästi isoleeritud välispiirded, kütte- ja ventilatsioonisüsteem. Sisekliima olukorda mõjutavad ka hoones sisemised soojuskoormused nagu akendest siseneva päikeseenergia, inimesed, elektriseadmed, valgustus ja niiskuskoormused nagu inimesed, kastetavad toataimed, kasutatav vee hulk. Hästi toimiva kütte- ja ventilatsiooni süsteemi korral ei tohiks antud koormused sisekliima parameetritele olulist mõju avaldada.

Sisekliima kvaliteedi ja ventileerituse oluliseks indikaatoriks on ka süsihappegaasi kontsentratsioon õhus, mille alusel on võimalik hinnata ruumide ventileeritust ning selle tõusu alusel arvutada õhuvooluhulka ruumis (vt. ka ptk. 5.2). Kui ruumides on kõrge niiskuskoormus ja süsihappegaasi kontsentratsioon, tuleb veenduda, et õhu mikrobioloogilises koostises puuduvad tervisele kahjulikku mõju avaldavad eosed ning jahedamatel välispiirde pindadel pole sadestunud hallituseoseid.

### 2.1 Mõõtmise metoodika

Õhuniiskuse ja temperatuuri mõõtmiseks kasutati HOBO data logereid (Joonis 2. 1). Seadme mõõtetäpsus temperatuuril on  $\pm 0,35$  °C ja niiskuse puhul  $\pm 2,5$  °C. Mõõtmised teostati peamiselt magamistubades 0,6...1,6 m kõrgusel. CO<sub>2</sub> taseme mõõtmiseks kasutati HOBO logerit (Onset Computer Corporation) (Joonis 2. 2, Joonis 2. 2). CO<sub>2</sub> anduri Telaire 7001 mõõtepiirkond on 0...4000 ppm ja mõõtetäpsus on  $\pm 50$  ppm.

Sisetemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja süsihappegaasi kontsentratsiooni mõõtmised teostati neljas uuritavas korterelamus kaheteistkümnes korteris. Analüüsitud on kokku üheteistkümne korteri sisekliima mõõtmistulemused perioodist 28.01.2010 kuni 26.05.2010. Mõõtmistulemused registreeriti 1 tunni tagant sisetemperatuuri ja õhuniiskuse parameetreid vähemalt 80 päeva uuringuperioodi kestel. CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni vähemalt 2 nädalasel perioodil iga tunni aja tagant mõõteperioodi kestel.



Joonis 2. 1 Hobo data logerid

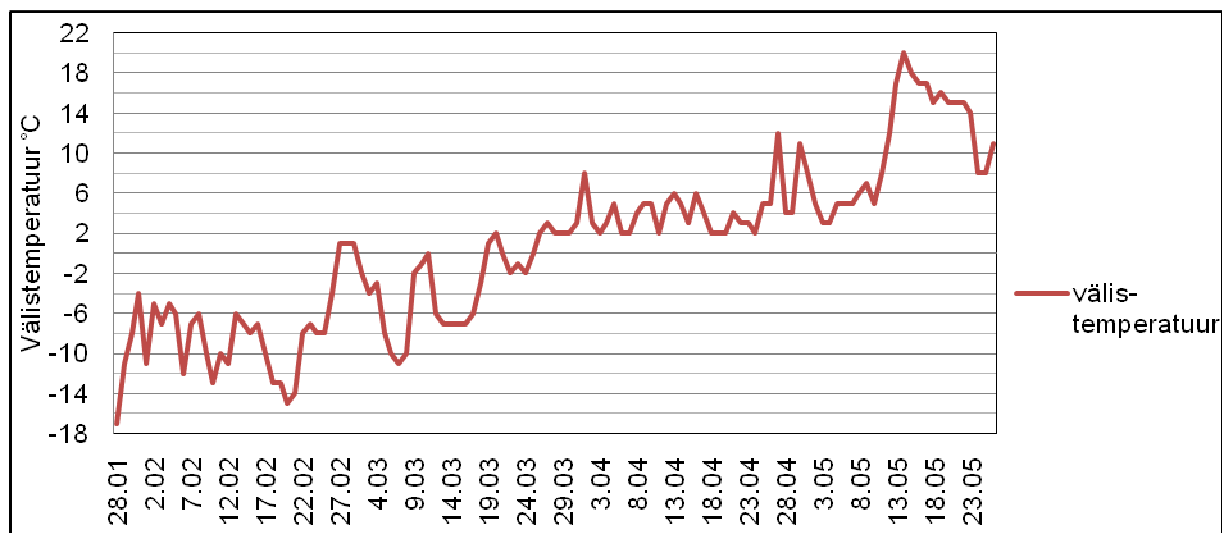
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 2 Telaire 7001 CO<sub>2</sub> andur

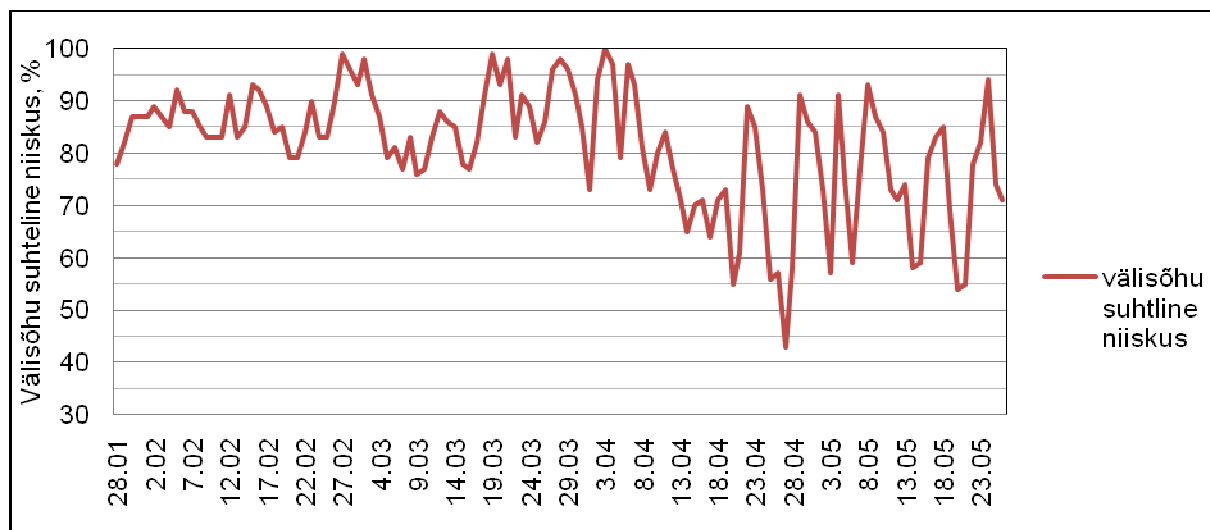
### 2.2 Väliskliima

Mõõteperioodi välistemperatuur (Joonis 2. 3) ja välisõhu suhteline niiskus (Joonis 2. 4) on saadud Wunderground väliskliimaandmete portaalist Tallinna kohta. Uuringuperioodil 28.01.2010 kuni 26.05.2010 toodud väliskliima andmed on võetud ööpäeva keskmised väärtused. Perioodi väliskliimat analüüsid, jääb uuringu perioodi talviselt külm välistemperatuur, kui ka kevadine üleminekuperiood ehk kütteperioodi lõpp. Välistemperatuuridest sõltub ka välisõhu veeauru sisaldus, mis lisaks temperatuurile on seotud ka õhu suhtelise õhuniiskusega. Külm välisõhk sisaldab absoluutset niiskus oluliselt vähem kui sama suhtelise õhuniiskusega soe ruumi õhk. Sellest tulenevalt suhteline õhuniiskus talvisel perioodil on ruumides väiksem kui suvel.



Joonis 2. 3 Välisõhu temperatuur 28.01-26.05

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 4 Välisõhu suhteline niiskus 28.01-26.05

### 2.3 Siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse analüüs uuritavates korterelamutes

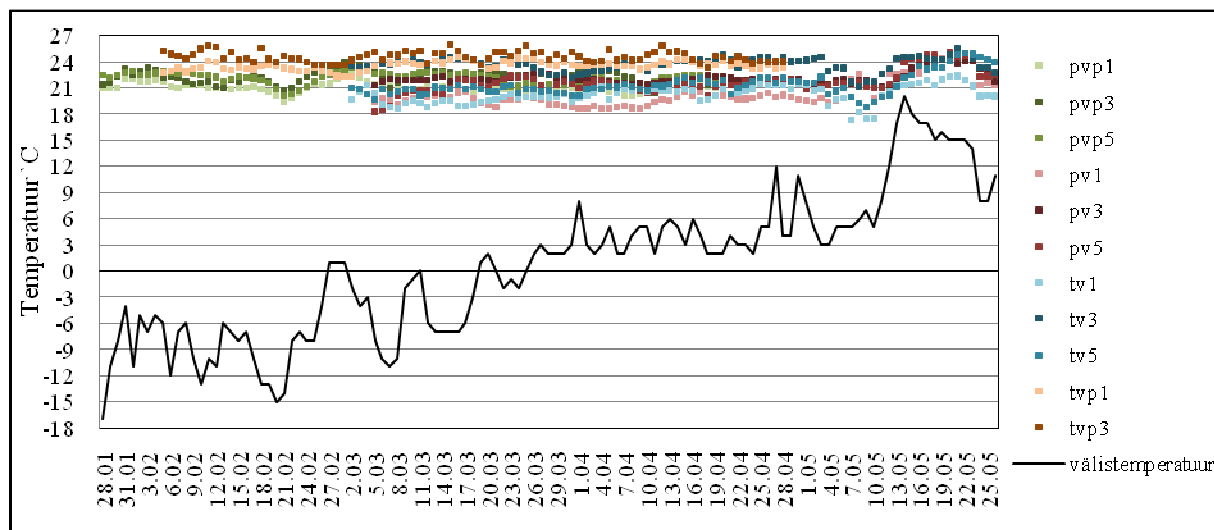
Peamiselt mõjutab siseõhu mugavustunnet temperatuur. Keskmiselt riietatud inimese jaoks on mugavaks temperatuuriks (riietatus ~1.0 clo) +22 °C, suvel kergema riie tuse korral (riietatus ~0,5 clo) +25,5 °C (EVS 839:2003; EVS-EN 15251:2007) [3; 5]. Peale õhutemperatuuri mõjutab õhu kvaliteeti koos sisetemperatuuriga õhu suhteline niiskus. Eesti sisekliima standardi (EVS 839:2003, EVS-EN 15251:2007) [3; 5] kohaselt hinnatakse kütteperioodil kvaliteetsemaks suhteliselt kuivemat õhku 25-45%, perioodi välisel ajal 30-70%. Suhteline õhuniiskus on üheks näitajaks ventilatsiooni toimivuse hindamisel. Mida kõrgem on veeauru sisaldus siseõhus seda suuremat ohtu ta välispiiretele avaldab. Veeauru liikumine läbi piirdetarindite võib põhjustada niiskuse kondenseerumise selles ning võib seda kahjustada. Kõrge suhtelise õhu niiskuse tase korteris võib põhjustada jahedamatel pindadel kondenseerumise ja hallituse tekke ohu, mis otseselt mõjutab inimeste tervist.

Analüüsitud on kokku üheteistkümne korteri sisetemperatuure ja suhtelis õhuniiskusi perioodil alates 28.01.2010 kuni 26.05.2010. Sisetemperatuuride ja suhtelise õhuniiskuse graafikutel on mõõtmisintervall üks tund, mis võimaldab andmete suhteliselt täpset analüüsi. Keskmiste parameetrite hindamisel on aluseks võetud hoones uuritavate korterite ööpäeva keskised väärtused annavad meile ligikaudse ülevaate kortermaja sisetemperatuurist ja suhtelisest õhuniiskusest.

Alloleval graafikul (Joonis 2. 5) on toodud korterite sisetemperatuuride võrdlus välistemperatuuriga. Sellelt võib näha selgelt kütteperioodi aegseid välistemperatuure ning üleminekut suvisele režiimile. Graafikul ilmestavad kõige enam sisetemperatuuri sõltuvust välistemperatuurist perioodil 17.02-21.02 kui ööpäevane keskmine temperatuur langes alla -10 °C kuni -14 °C ning sellele järgnenud ööpäevase välistemperatuuri seitsme kraadine tõus 22.02. Seda temperatuuri muutust on võimalik näha ka sisetemperatuuride tõusu ka uuritud paneel+vahtpolüstüreen korterelamu korterite sisetemperatuuride graafikult (Joonis 2. 6). Teine periood aprilli lõpus, kus keskmine välistemperatuur tõusis +10 °C, lülitas kütteaumatika soojussõlme küttevõrk kontuuri välja ning mai alguses keskmiste välistemperatuuride langedes langesid sisetemperatuurid ka uuritavates korterelamutes (Joonis 2. 7, Joonis 2. 9).



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

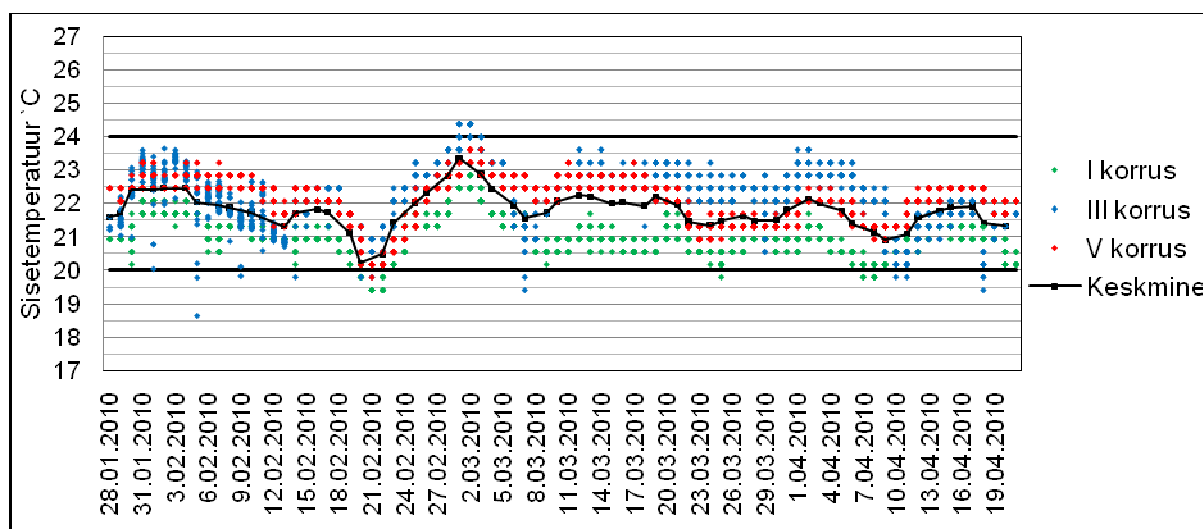


Joonis 2. 5 Uuritavate korterelamute sisetemperatuuride võrdlusgraafik välistemperatuuridega

### 2.3.1 Siseõhu temperatuuri analüüs uuritavates korterelamutes

#### 2.3.1.1 Siseõhu temperatuuri analüüs paneel+vahtpolüstüreen elamu korterites

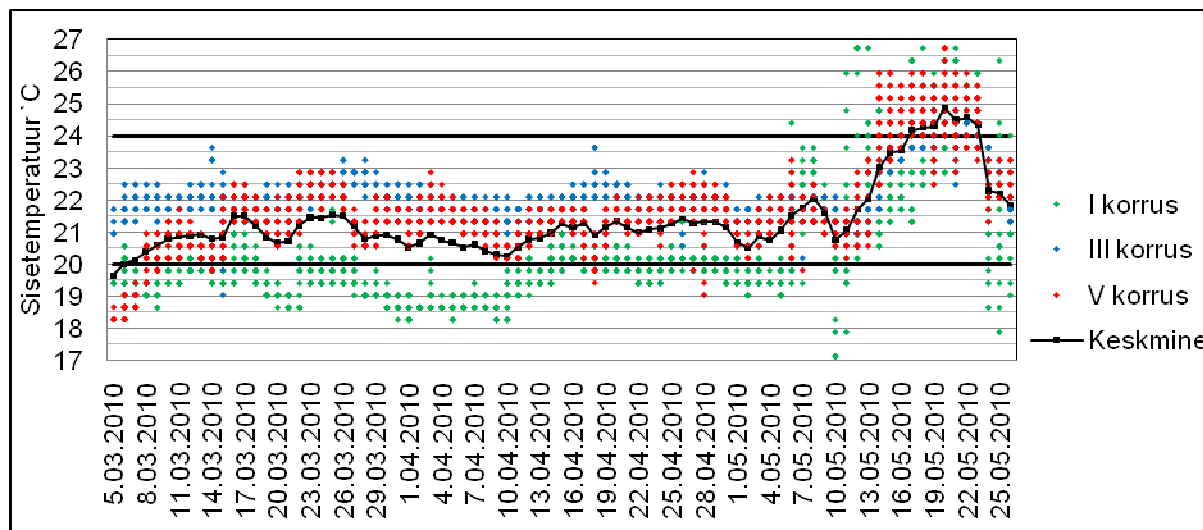
Sisetemperatuuri analüüsi graafikult (Joonis 2. 6) võime välja lugeda, et korterites jääb enamuse ajast temperatuur 20 °C ja 24 °C vahele, mis arvestades standardites (EVS 839:2003; EVS-EN 15251:2007) [3; 5] loetakse olemasolevatele rekonstrueerimata kortermajadele suhteliselt mugavaks. Sisetemperatuurid korruste lõikes suurtes piirides ei muutu, kuid perioodil 12.02-8.03 võime välja lugeda korterite keskmise sisetemperatuuri suurt (3,5 °C) kõikumist, mis on põhjustatud soojussõlme valesst küttegraafikust (vt. ka ptk. 5.1), mis ei taga küttevee täpset reguleerimist välistemperatuuri muutumisest. Põhjusena saab välja tuua ka inimfaktori, kus temperatuuri alandades on soojussõlmes manuaalselt küttegraafikut muudetud kui välistemperatuuri tõustes on jäetud see koheselt tagasi muutmata. Sisemisi soojuskoormusi hinnates on korterites temperatuurid ööpäeva ringelt ühtlased ning suuremad temperatuuride kõikumised on seotud akende avamisega. Ööpäeva keskmisi temperatuure arvestades võib lugeda hoone sisekliimat heaks ehk vastavaks B sisekliima klassile EVS 839:2003 [3] kohaselt ja II klassile EVS-EN 15251:2007 [5] alusel.



Joonis 2. 6 Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu uuritavate korterite sisetemperatuuride graafik

### 2.3.1.2 Siseõhu temperatuuri analüüs paneel+vill elamu korterites

Võrrelduna paneel+vahtpolüstüreen hoonega on paneel+vill korterelamus sisetemperatuuride andmete põhjal näha (Joonis 2. 7), et peale hoone välispiirete soojustamist pole küttesüsteemi tasakaalustatud (vt. ka ptk. 5.1). Sisetemperatuuri kõikumised korruste lõikes on erinevad. Ühe mõjutegurina võib välja tuua ka asjaolu, et enamus ajast I korruse korteris mõõteperioodi ajast inimesi korteris ei elanud, seega nn. vabasojuskoormus antud korteris on väiksem. Kütteperioodil oli korterites keskmiselt 21 °C, mida võib lugeda mugavaks sisetemperatuuriks, kuid temperatuuri langemine alla 19 °C ei rahulda sisekliimale esitatud nõudeid (EVS 839:2003; EVS-EN 15251:2007) [3; 5], ehk korterid on paiguti alakõetud.

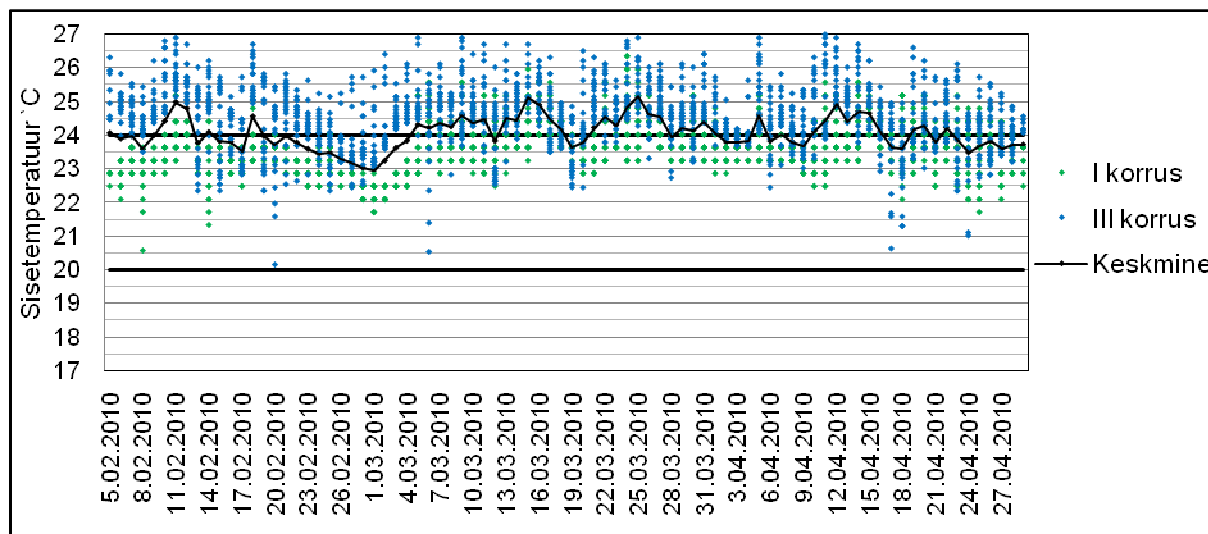


Joonis 2. 7 Paneel+vill korterelamu uuritavate korterite sisetemperatuuride graafik

### 2.3.1.3 Siseõhu temperatuuri analüüs tellis+vahtpolüstüreen elamu korterites

Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu oli terve uuringuperioodi kestel ülekoetud. Kahe analüüsitud korteri keskmine sisetemperatuur oli 24 °C (Joonis 2. 8). Sisetemperatuuride erinevused korruste lõikes viitavad küttesüsteemi tasakaalustamata jätmisele peale hoone välispiirete soojustamist. Temperatuuride kõikumine mõõteperioodi kestel viitab hoone soojussõlme valele temperatuurigraafikule (vt. ka ptk. 5.1). Sisetemperatuuri kõikumised ööpäeva lõikes (20 °C-26 °C) viitavad ööpäeva ringselt muutuvale soojuskoormusele ning palavusest tingitud korterite õhutamisele. Sisetemperatuur korterites ei ole mugav (EVS-EN ISO 7730:2006) [3], samuti kaasneb kõrgema keskmise temperatuuriga korterelamutes suurem kütteenergia kulu talvel (orienteeruvalt 5% ühe kraadi temperatuuri languse puhul).

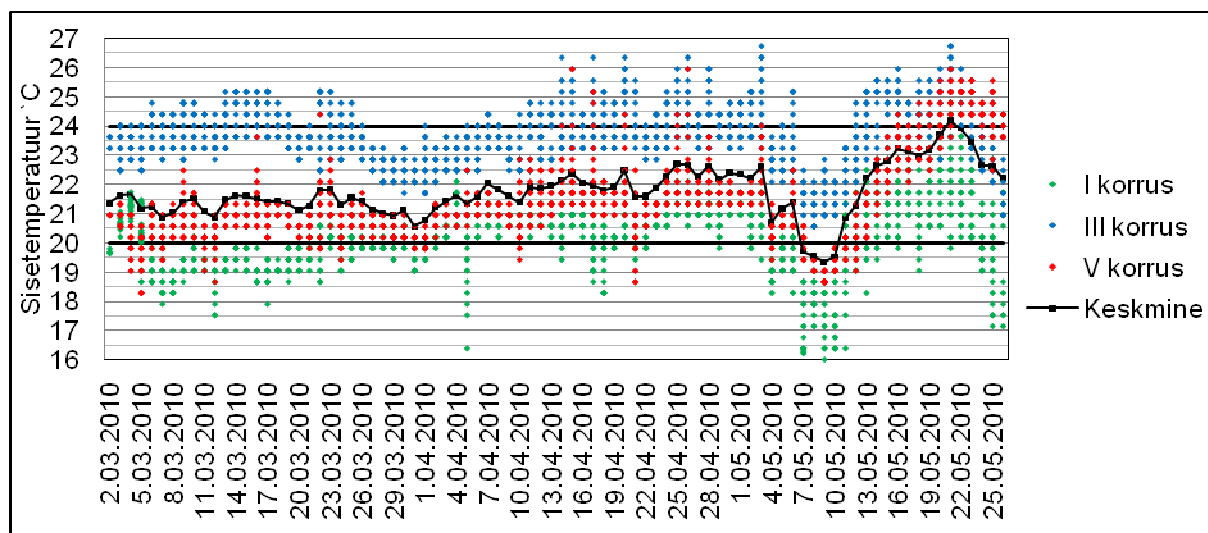
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 8 Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu uuritavate korterite sisetemperatuuride graafik

### 2.3.1.4 Siseõhu temperatuuri analüüs tellis+vill elamu korterites

Kõige suurem temperatuuride erinevus korterelamu erinevatel korrustel on tellis+vill, kus korterite keskmised sisetemperatuurid erinevad samal vaadeldaval perioodil kuni 5 °C (Joonis 2. 9), mis viitab et küttesüsteemi tasakaalustamine peale välispiirete soojustamist on jäetud tegemata. Sisetemperatuuri mugavuskriteeriumid on tagatud hoone V korruse korteris (EVS 839:2003; EVS-EN 15251:2007) [3;5], kuid suhteliselt soe on III korruse ning jahe I korruse korteris. Jaheduse põhjus on seotud ka küttekehade kinnikatmisega tekstiilmaterjalidega (kardinatega) ja varjamine mööbliga (Lisa 1)



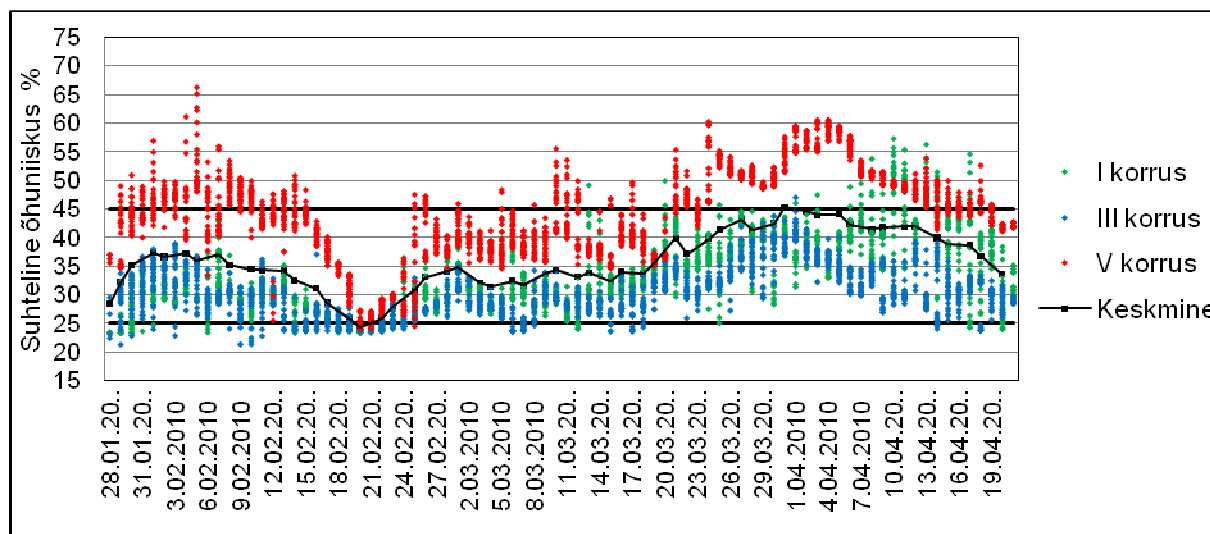
Joonis 2. 9 Tellis+vill korterelamu uuritavate korterite sisetemperatuuride graafik

### 2.3.2 Suhtelise õhuniiskuse analüüs uuritavates korterelamutes

Siseõhu suhteline niiskus kütteperioodil oleneb õhuvahetusest ja ruumiõhu temperatuurist. Samuti tuleb talvisel perioodil arvestada, et väljast õhuvahetusega sisenev jahe õhk sisaldab vähem veeauru kui soe välisõhk sama suhtelise niiskuse juures. Kui siseõhu suhteline niiskus kütteperioodil ületab 45%, võime lugeda sellest välja, et ruumides tekkinud niiskuslisa on suur ning ventilatsiooni süsteem ei suuda liigniiskust välja ventileerida. Tulenevalt inimtegevusest tekkinud niiskuse lisast on sisetingimustes suhteline õhuniiskus normaalselt töötava ventilatsiooni korral 30% (talviste külmade korral alla -10 °C) ehk niiskuslisa tulenevalt on varasematest uuringutest (Joonis 2. 14) alla 6 g/m<sup>3</sup> (vt. ka ptk. 2.4).

### 2.3.2.1 Suhtelise õhuniiskuse analüüs paneel+vahtpolüstüreen elamu korterites

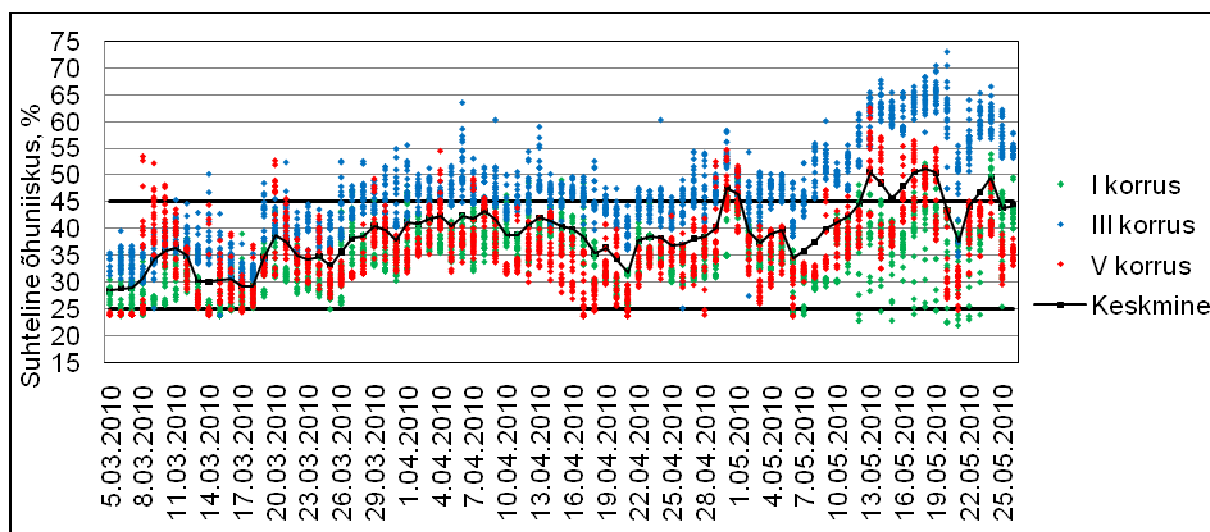
Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu põhjal võib väita, et suhteline õhuniiskus on kõrge (EVS 839:2003) [3] V korruse korteris (Joonis 2. 10) ning õhuvahetus pole piisav (Tabel 5. 2). Jooniselt võib näha selgeid seoseid siseõhu suhtelise niiskuse ning välistemperatuur vahel, kus külmemal perioodil 17.02-21.02 langeb siseõhu suhteline niiskus siseruumides alla 35%. Hoones tekkiv niiskuslisa on ajas muutuv ning sõltub korterielanike tarbimisharjumustest, mistõttu ka ööpäevane suhtelise õhuniiskuse tase kõigub 20-30% piirides (vt. ka ptk 2.4). Samas näitab suur suhtelise niiskuse kõikumine halba ventileeritust. III korruse korteri madal suhteline niiskustase on seotud sellega, et korteris elas uuringu perioodi ajal vaid üks inimene.



Joonis 2. 10 Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu uuritavate korterite suhteliste õhuniiskuste graafik

### 2.3.2.2 Suhtelise õhuniiskuse analüüs paneel+vill elamu korterites

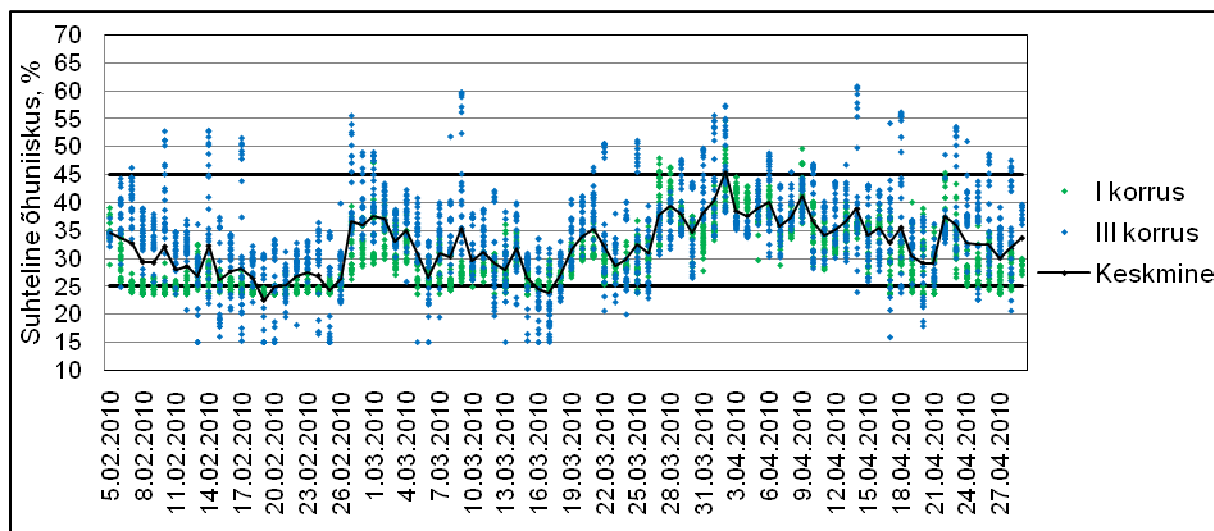
Paneel+vill korterelamus on siseõhu suhtelised niiskus kõrge III korruse korteris (Joonis 2. 11). Kõrge niiskuskoormus on sellest tingitud et võrrelduna teiste korteritega elas selles 4 inimest ning sellest tulenevalt oli ka mõõteperioodil korteris niiskuskoormus suurem (Joonis 2. 15). Antud hoones õhuniiskuste põhjal võib õhuvahetust hinnata halvaks (Tabel 5. 2).



Joonis 2. 11 Paneel+vill korterelamu uuritavate korterite suhteliste õhuniiskuste graafik

### 2.3.2.3 Suhtelise õhuniiskuse analüüs tellis+vahtpolüstüreen elamu korterites

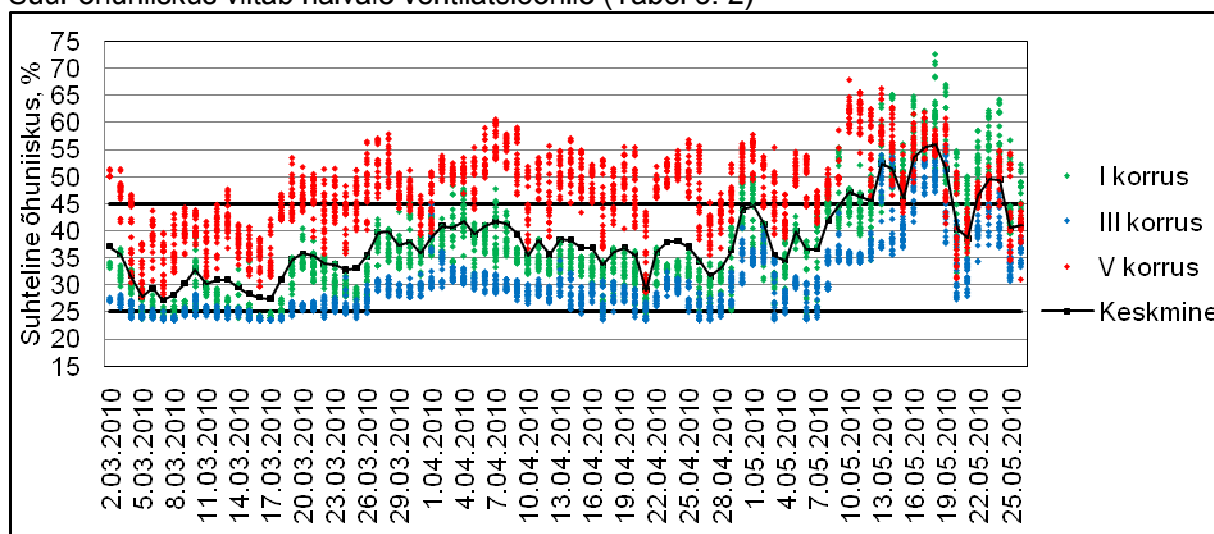
Tellis+vahtpolüstüreen hoones on suhtelised õhuniiskused võrreldes teiste uuritud korterelamutega suhteliselt madalamad (Joonis 2. 12), kuid ööpäevased õhuniiskuste kõikumised on suured. Luues seoseid suhteliselt kõrge sisetemperatuuri (Joonis 2. 8) ja madala CO<sub>2</sub> taseme (Joonis 2. 18) vahel võib väita, et ruumide ülekõetavuse tõttu õhutatakse ruume tihedamini kui teistes uuritavates korterelamutes, kuid õhuvahetus pole ööpäeva lõikes piisav (Tabel 5. 2) hoones suhtelise õhuniiskuse taseme hoidmiseks alla 45%. Ööpäevane suur suhteliste õhuniiskuste kõikumine korterites viitab kõrgele niiskuskooormusele (Joonis 2. 15).



Joonis 2. 12 Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu uuritavate korterite suhteliste õhuniiskuste graafik

### 2.3.2.4 Suhtelise õhuniiskuse analüüs tellis+vill elamu korterites

Sarnaselt eelmistele hoonetele on tellis+vill korterelamus suured niiskuskooormused (Joonis 2. 15), mis on põhjustanud viienda korruse korteris hallituse tekke jahedal pinnal (Tabel 2. 1). Kõrge niiskuskooormuse avaldub ka kõrges suhtelises niiskuses (Joonis 2. 14), mis uuringuperioodil ületas kütteperioodil standardis (EVS 839:2003) [3] soovituslikule väärtust 45%. Suur õhuniiskus viitab halvale ventilatsioonile (Tabel 5. 2)



Joonis 2. 13 Tellis+vill korterelamu uuritavate korterite suhteliste õhuniiskuste graafik

### 2.3.3 Kokkuvõte sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuste analüüsist

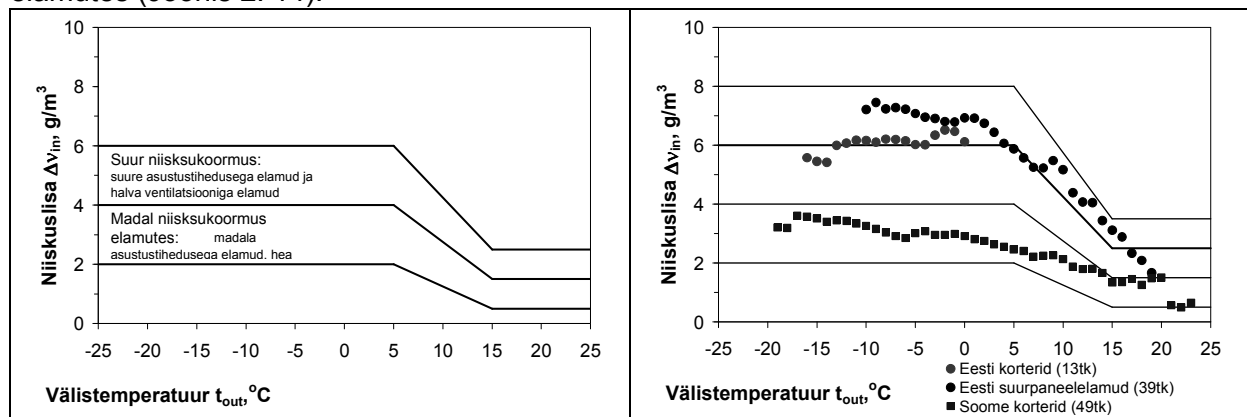
Sisetemperatuuride analüüsis kõikide kortermajade puhul võib välja tuua küttesüsteemiga seotud probleemid, mida täpsemalt on käsitletud peatükis 5.1. Ühetoruküttesüsteemi korral on peamiseks probleemideks küttepüstikute tasakaalustamatus, vale soojusõlme küttegaafik ning küttekeha tasandil soojusväljastuse reguleerimise puudus. Soojusõlme küttegaafikust sõltub hoone temperatuuri ühtlus terve kütteperioodi kestel, küttesüsteemi tasakaalustamine võimaldab reguleerida korruste lõikes hoida sarnast sisetemperatuuri ning termostaatventiilid võimaldavad arvestada ruumide soojuskoormustega. Uuritavates korterelamutes oli küttesüsteem taskaalustatud peale välispiirete soojustamist paneel+vahtpolüstüreen kortermajas, kus sisetemperatuurid korruste lõikes erinesid üksteisest vähe (Joonis 2. 6).

Suhteliste õhuniiskuste analüüsis tuli välja, et osaliselt renoveeritud korterelamus on peamiseks probleemid seotud ebapiisavast ventilatsioonist tulenevast suurest niiskukoormusest. Suhteliste õhuniiskuste tasemed kõiguvad ööpäeva lõikes suurtes piirides ning standardikohasest (EVS 839:2003) [3] soovituslikust piirnormist 45% ületab perioodilist suhteline õhuniiskus kõikides hoonetes. Põhjusena võib välja tuua halva ventilatsiooni (Tabel 5. 2).

### 2.4 Niiskukoormused korterites

Õhu suhteline niiskus ja õhu veeaurisaldus mõjutavad hoonete sisekliimat ja piirete niiskusrežiimi. Õhu niiskus eluruumides peaks olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi hoone piirdetarindites.

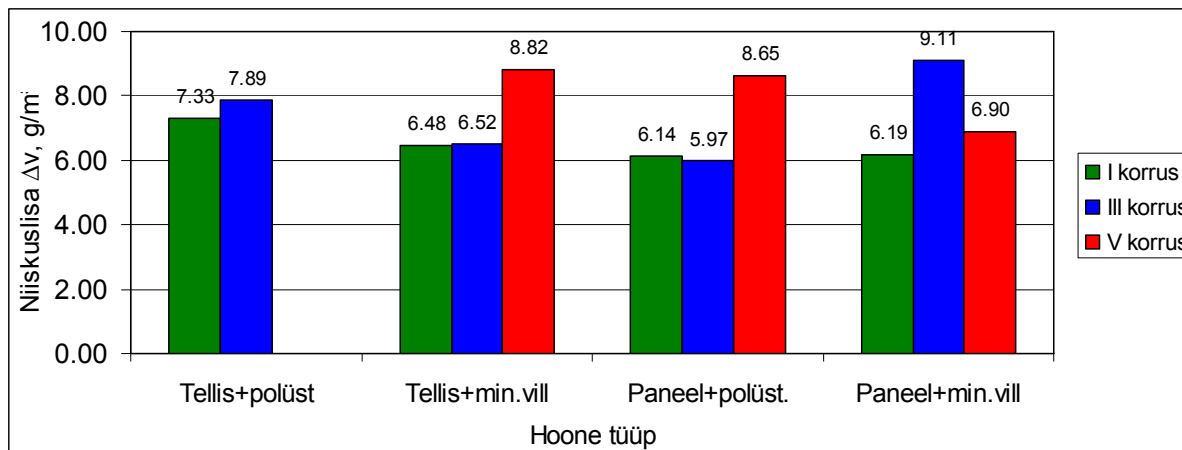
Siseõhu suhteline niiskus sõltub niiskustootlusest ruumides, ventilatsiooni toimimisest, õhuvahetusest ja välisõhust. Sõltuvalt nende tegurite suurusest on hoonete niiskukoormused kas suured või väikesed. Vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788 kasutatakse niiskukoormuste hindamiseks niiskuslisa  $\Delta v$ , g/m<sup>3</sup>. Erinevate uuringute põhjal (Kalamees 2006, Vinha jt. 2005 ning Kalamees 2010) on välja selgitatud niiskukoormuste jaotus Soome ja Eesti elamutes (Joonis 2. 14).



Joonis 2. 14 Niiskuslisa tasemed Kalamees & Vinha 2008 (vasakul) ja hiljem läbi viidud Eesti eluasemefondi suurpaneel elamute uuring (paremal)

Mõlemad uuringud näitasid, et Eesti ja Soome elamute niiskukoormused on kõrgemad kui standardis EVS-EN ISO 13788 esitatud niiskukoormused. Samu tulemusi näitab ka käesolev uuring kuna kõigi kaheteistkümnelt uuritud korteri niiskukoormused on suhteliselt suured. Esimestel korrustel on niiskukoormus väiksem (keskmine niiskuslisa 6,5 g/m<sup>3</sup>) ning viimastel korrustel kõrgem (keskmine niiskuslisa 8,1 g/m<sup>3</sup>) (Joonis 2. 15).

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 15 Korterite niiskuslisad

Sellise niiskusliisa jaotuse peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus. Niiskustootluse vähendamiseks (ühtlasi ka sisekliima parandamiseks) tuleks tõhustada korterite ventilatsiooni.

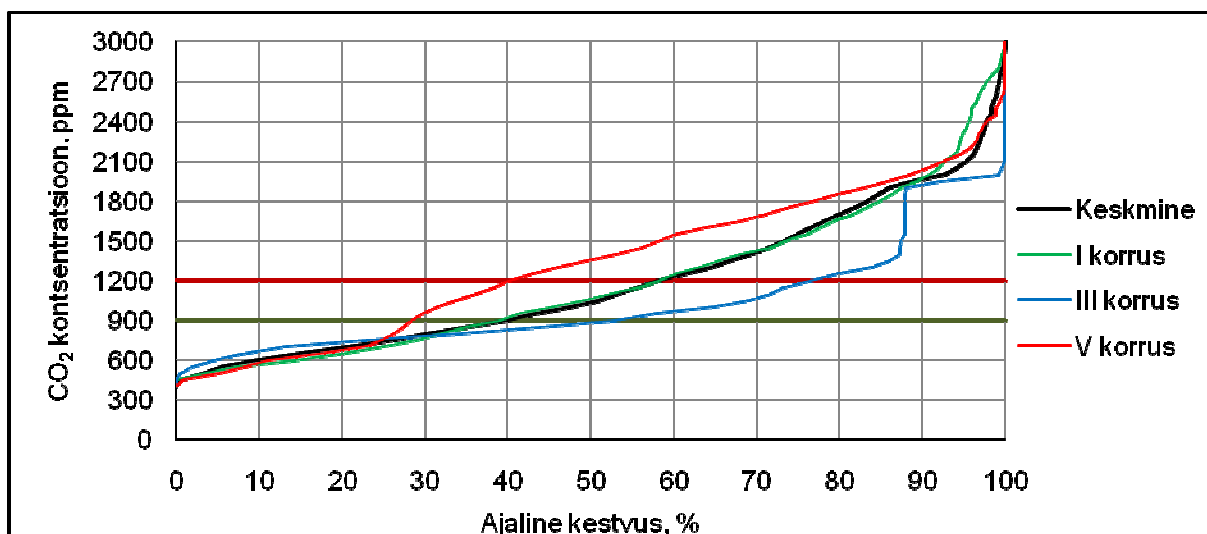
### 2.5 Süsihappegaasi kontsentratsiooni uuritavates korterelamutes

Tallinna piires keskmiseks välisõhu süsihappegaasi kontsentratsiooniks võib lugeda 400 ppm-i ehk linnakeskkonna kontsentratsiooni (EVS-EN 13779:2007) [16]. Ruumiõhus loetakse normaalseks kontsentratsiooniks II klassi hoonetel (uute ja renoveeritud hoonetel) 500 ppm-i ja III klassi omadel (vastuvõetav olemasolevatele hoonetele) vastavalt 800 ppm-i (EVS-EN 15251:2007) [5]. Süsihappegaasi kontsentratsiooni hindamisel on aluseks võetud uuritavate korterelamute korterites nii talvised kui kevadised mõõtmistulemused. Hinnatud on kontsentratsiooni kestvust ajas protsentides tuues välja seoseid elanike kodusoleku ja eemaloleku vahel ning hinnata CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni standardis (EVS-EN 15251:2007) [5] toodud piirväärtuste suhtes. Graafikutel on tähistatud II klassi piirnorm (Joonis 2. 16, Joonis 2. 17, Joonis 2. 18, Joonis 2. 19) rohelse värvusega ehk lubatud kontsentratsioon uutele ja rekonstrueeritud hoonetele, III klassi piirnorm samadel joonistel punase värvusega ehk lubatud kontsentratsioon olemasolevatele rekonstrueerimata hoonetele. CO<sub>2</sub> kontsentratsioon on olnud genereerijate ehk inimeste arvust uuritavas ruumis.

#### 2.5.1 Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang

Vastavalt paneel+vahtpolüstüreen elamu korterite süsihappegaasi kontsentratsiooni kestvusgraafikule (Joonis 2. 16) saame väita, et õhuvahetus korterites pole piisav, mida kinnitavad ka õhuvahetuse kalkulatsioonid (Tabel 5. 2). Kõige kõrgem CO<sub>2</sub> tase mõõteperioodi kestel oli V korruse korteris, kus olemasolevatele renoveerimata hoonetele kehtestatud piirnormi (EVS-EN 13779:2007, EVS-EN 15251:2007) [16;5] ületab see 60% ajast.

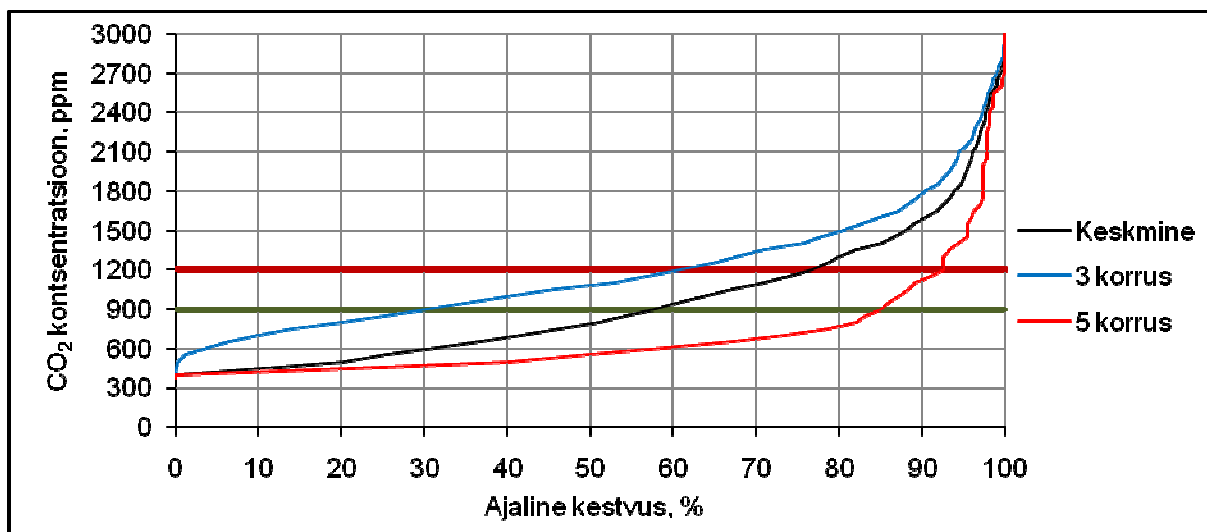
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 16 Paneel+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni kestvusgraafik

### 2.5.2 Paneel+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang

Paneel+vill korterelamus võib CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni (Joonis 2. 17) ja niiskuslisa (Joonis 2. 15) vahel tuua otseseid seoseid, mis viitab halvale ventilatsioonile. Keskmiselt on antud elamu kahes korteris CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ületatud 20% ajast. V korruse selgelt madalam kontsentratsioon on seotud ruumide pideva tuulutamisega.



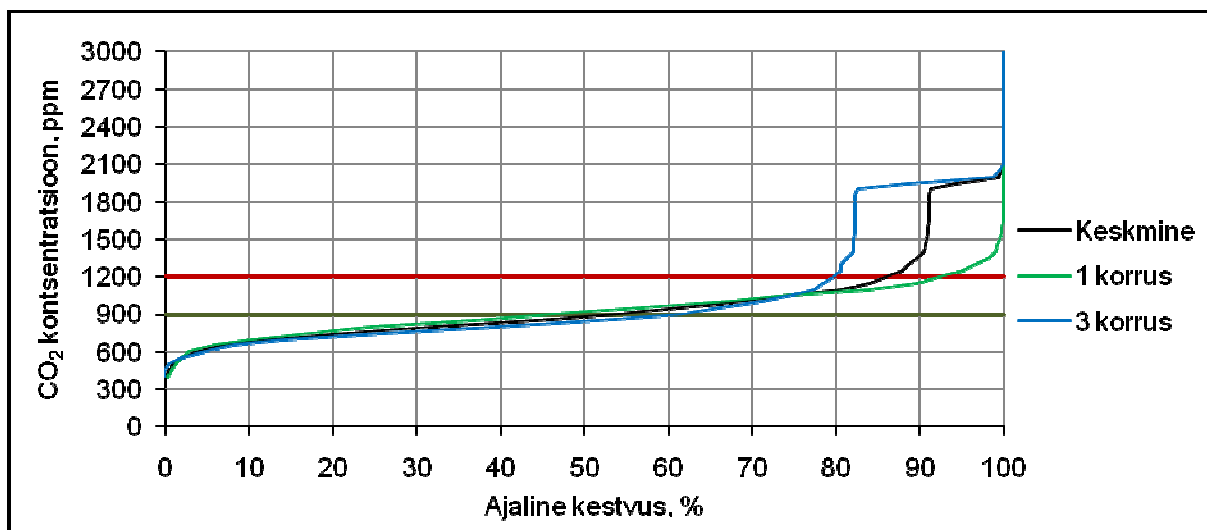
Joonis 2. 17 Paneel+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni kestvusgraafik

### 2.5.3 Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang

Tellis+vahtpolüstüreen korterelamus on uuritavatest elamutest korterites kõige madalamad CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid (Joonis 2. 18) jäädes alla 2100 ppm-i. Põhjuseks on ülekütmise tõttu (Joonis 2. 8) korterite õhutamine, mis aga ei taga ruumides piisavat õhuvahetust (Tabel 5. 2).



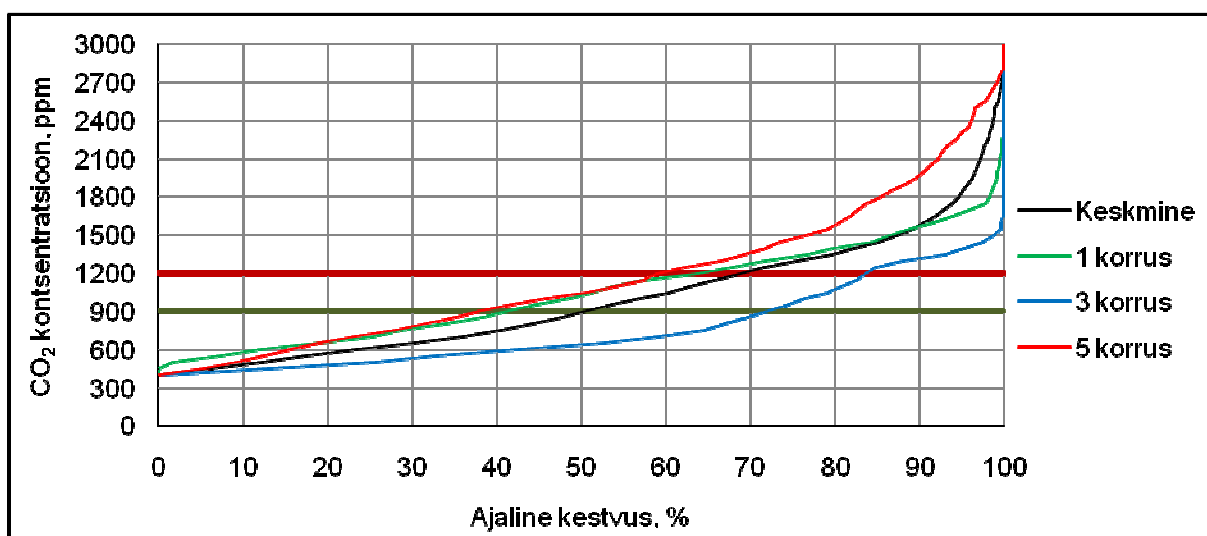
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 2. 18 Tellis+vahtpolüstüreen korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni kestvusgraafik

### 2.5.4 Tellis+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnang

Tellis+vill korterites elab esimesel ja viiendal korrusel võrdselt CO<sub>2</sub> genereerijaid, süsihappegaasi piirkontsentratsioon 1200 ppm-i on nendes korterites ületatud üle 30% ajast (Joonis 2. 19). Korterite õhuvahetus pole piisav.



Joonis 2. 19 Tellis+vill korterelamu süsihappegaasi kontsentratsiooni kestvusgraafik

### 2.5.5 Kokkuvõtte uuritavate korterelamute süsihappegaasi kontsentratsiooni hinnangust

Kõigis neljas korterelamus uuritavates korterites ületas uuringuperioodil CO<sub>2</sub> kontsentratsioon III klassi piirkontsentratsiooni, mille alusel võib öelda, et kõigis uuritavates ruumides on puudulik ventilatsioon. Teostatud mõõtmistulemused näitavad et kõige kõrgem süsihappegaasi kontsentratsioon esineb reeglina viimaste korruste korterites.

Loomuliku ventilatsiooni korral mõjutavad väljatõmbeõhu kogust väljatõmbekanal pikkus- mida pikem on väljatõmbe kanal seda suurem on väljatõmmatava õhu kogus, mis omakorda sõltub kanali ristlõikes, sise-, välisõhurõhkude vahest ning loomuliku sissepuhke kogusest. Uuritud korterites oli sissepuhke õhu tungimine ruumidesse osaliselt või täielikult takistatud seoses akende vahetusega. Erinevalt vanadest akendest puuduvad uutel pakettakendel värseõhu

kanalid, mis tagaksid sissepuhke õhu koguse ruumidesse. Värskeõhuklappidega aknad on saadaval, kuid nende hind on kõrgem ilma klappideta omadest ning reeglina neid ei paigaldada. Süsihappegaasi kontsentratsiooni mõõtmisperioodil hinnati ka uuritavates ruumides akende avatavust spetsiaalse aknaanduriga, mis registreeris akna avamist ja sulgemist ning kinnipanemist. Nendest tulemustest võime teha järeldusi ka CO<sub>2</sub> kontsentratsioonile, kus tuli välja otsene seos, et kontsentratsiooni tõustes avavad inimesed akna, mille tulemusena tuulduvates tubades kontsentratsioon kiirelt ka alaneb. Teine oluline seos tuli välja temperatuuri (Joonis 2. 8) akende avatavuse ning CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni vahel hoones tellis+vahtpolüstüreen (Joonis 2. 18), kus üle köetud korterites palavuse tõttu tube tuulutatakse.

## 2.6 Õhu- ja materjaliproovide analüüs

Proovid võetud : 26.05.2010

Õhuniiskust ja temperatuuri mõõdeti seadmega FLUKE 971, õhus lendlevate seeneeoste kontsentratsiooni määراتi seadmega Biotest HYCON Airsampler RCS, kasutades universaalset söödet. Seeneeoseid identifitseeriti ainult kleeplindi proovidelt, mida võeti materjalide pinnalt.

Eestis puuduvad hallituseente puhul normid sisekeskkonnas. Soome Töötervishoiu Instituudi soovituslikuks piirnormiks hallituseentele sisekeskkonna õhus on:

Talve perioodil kuni 10-500 PMÜ/ m<sup>3</sup>

Soojal aastaajal 10–2500 PMÜ/ m<sup>3</sup>

Vastavalt nendele soovituslikele piiridele on problemaatiline olukord vaid paneel+vill viienda korrusel asuvas uuritavas korteris, kus korteriomanik soojustas 3-4 aastat enne välisseina soojustamist seina seestpoolt villaga, jättes ka vana tapeedi alla. Seina pealt maha monteeritud pistikupesa august saadi mõõtmisel 438 PMÜ/m<sup>3</sup>, mis on piirile lähedane suurus ja näitab, et vill ja selle taga olev tapeet on niiskunud (erinevatel põhjustel) nii enne kui pärast välisseina soojustamist.

Looduses varieerub hallituseente eoste arv aastas 1000 kuni 20 000 eoseni kuupmeetris õhus. Eoseid leidub õhus kõige rohkem hilissuvel, kui lehe- ja heinakõdul ning viljadel kasvab palju hallituseeni. Heinaküünides ja ladudes võib hallituseene eoseid kuupmeetris õhus olla kuni 1 000 000. Erialakirjanduses esile toodud soovituslikud piirväärtused hallituseente ja bakterite arvukuse kohta kuupmeetris õhus varieeruvad 100 kuni 10 000 kolooniat moodustava ühikuni (PMÜ). Jagatud soovitusel põhinevad väga erinevatel meetoditel. Hussvamp Laboratorie (Taani) kogemustele toetudes oleks siseruumides soovituslik maksimum seeneeoste puhul 3000 CFU/m<sup>3</sup> ja bakterite puhul 5000 CFU/m<sup>3</sup>. Andmed on saadud Reuteri analüsaatoriga kasutades universaalset söödet.

Telli+vill viienda korruse uuritavas korteris esines ainsana uuritutest nähtavat hallitust toas, mida kasutati pesu kuivatamiseks ja triikimiseks. Kleeplindi proovist identifitseeriti hallituseen *Mucor* spp.

*Mycor* sp.

Levik: Kõikjal; kosmopoliit. Umbes 50 liiki.

Kasvupind: Orgaaniline aine, pinnas.

Levimise moodus: Veega. Osa liigid kuivalt tuulega.

Allergeen: I tüüpi allergia - heinapalavik, astma. III tüüpi allergia – allergiline pneumoniit.

Patogeensus: Harva esinevad infektsioonid nõrgestatud tervisega inimestel.

Kasv sisetingimustes: Toidujäätmetel, puuviljadel, mahlas. Niiskusetarve 90-94 % õhu relativset niiskust.

Info: [www.emlab.com](http://www.emlab.com)

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Mõlemas kirjeldatud korteris tuleb tervisehäirete või muu diskomforti tunde esinemisel teostada saneerimine. Seestpoolt villaga isoleeritud seinalt tuleb eemaldada nii vill kui ka selle alla jäetud tapeet.

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 2. 1

Jrk. nr.	Kuupäev	Hoone, korter	Proovi võtmise koht ja kirjeldus	Sisekliima parameetrid		Õhuproovid			Materjalilt võetud proovid	
				Õhu suhteline niiskus, %	Õhutemperatuur, ° C	Kolooniate arv	PMÜ/m <sup>3</sup>	Märkused	Seen	Märkused
1	26.05.2010	Tellis+vahtpolüstüreen, V korrus	Välisseina tuba esifassaadi poole. 2006.a. tehti remont korteris ja eemaldati hallitus.	44	22,4	24	150	Praegu kahjustusi silmaga näha ei olnud.		
2	26.05.2010	Tellis+vill V korrus	Ruumis kuivatatakse pesu.	52	22,1	32	200	Nurgas näha must sade. Õhk tundub väga umbne. Massiliselt Mycor spp.	Mucor spp.	Id-ta eosed.
3	26.05.2010	Paneel+vahtpolüstüreen, III korrus	Elaniketa korter. Mõõdetud esikus.	41	20,4	16	100	Hallitust pole näha.		
4	26.05.2010	Paneel+vill, V korrus	Mõõdetud elutoas vastu soojustatud maja otsaseina.			70	438	3-4 aastat enne välisseina soojustamist soojustati seestpoolt villaga, jättis ka vana tapeedi alla.		

Märkus: Identifitseerimatud hallitussseente eosed – proovis esinevad üksikult või gruppides (erinevate) hallitussseente eosed, millel puuduvad iseloomulikud tunnused.

## 2.7 Kokkuvõte sisekliima analüüsist

Kõigis neljas uuritavas hoones teostatud sisekliima uuringute tulemuste põhjal võib väita, et korterelamute renoveerimise juures on jäätud hea sisekliima saavutamise tähelepanuta. Peamiselt on keskendutud renoveerimisel energiatõhususe saavutamisele ja välisilme parandamisele. Erandina võib välja tuua hoone paneel+vahtpolüstüreen, kus korterite sisetemperatuur oli kogu uuringu perioodi vältel suhteliselt stabiilne, tagades temperatuuri mugavuskriteeriumid kõigi korterite elanikele. Seevastu suhtelise siseõhuniiskuse ja süsihappegaasi kontsentratsiooni uuringud näitasid, et kõigis uuritavates korterites oli probleemid õhukvaliteediga. Põhjuseks on siinkohal puudulik ventilatsioon, mis omakorda on tingitud vanade akende vahetusega uute õhutihedate pakettakende vastu. Kõrge suhteline õhuniiskus sõltub niiskustootlusest (inimesed, pesu kuivatamine eluruumides, toataimede rohkusest jne), mida kõrgem on niiskustootlus ja halvem on ventilatsioon, seda suurem on ruumide niiskuskooormus ja seda tõsisemat ohtu niiskus kujutab välispiirdele või piirde sisse veeauru kondensaadi tekkeks. Nii õhu mikrobioloogiline analüüs, kui ka kleeproovid hallituse avastamiseks näitasid, et korterites, kus oli suur niiskuskooormus on õhukvaliteet halb või arvestades õhus leiduvate hallituseoste kontsentratsioon piirkontsentratsioonile ligilähedane. See on juba otsene terviserisk. Hoone renoveerimisel ei saa teha mingeid mööndusi õhukvaliteedi osas, seega ventilatsiooni rekonstrueerimine hoone renoveerimisel peab olema esimeses järgus teostatavatest töödest.

### 3 Välisseinte soojus- ja niiskusolukord

#### 3.1 Välisseinte soojajuhtivus

Hoone energiatõhusus sõltub mitmest tegurist nagu välispiirete (välissein, aken, katus jne) soojajuhtivus, hoonepiirete õhupidavus, kütte- ja ventilatsiooni lahendused ning klaaspindade suurus ja suund. Hoone korraliku soojustamisega vähendatakse oluliselt soojakadusid läbi välisseinte (sh. külmasillad, ebatihedused), vähendatakse kondensaadi ja hallituse tekke ohtu tarindite sisepindadel ning tagatakse normaalne sisekliima. Välispiirete soojajuhtivust väljendatakse tähega U ning mõõtühikuks on  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Vastavalt määrusele „Energiaatõhususe miinimumnõuded“ on kehtestatud välispiiretele soovituslikud soojajuhtivuse parameetrid: välisseinte soojajuhtivus 0,20–0,25  $W/(m^2 \cdot K)$ , katuste ja põrandate soojajuhtivus 0,15–0,20  $W/(m^2 \cdot K)$ , akende ja uste soojajuhtivus 0,7–1,4  $W/(m^2 \cdot K)$ , kusjuures lõplikud valikud sõltuvad hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendustest.

Käesolevas uuringus leiti kõigi nelja uuritava objekti lisasoojustatud välisseinte arvutuslik ja katseline soojajuhtivus. Vastavaid tulemusi kasutati hoone soojakadude arvutustes.

Uuritavateks hooneteks on valitud kaks viie kordset tellismaja ja kaks raudbetoonpaneelmaja. Mõlemast hoonetüübist üks on lisasoojustatud 100mm paksuse mineraalvillaga ning fassaadiks on Marmoroc plaat. Teine on lisasoojustatud sama paksu vahtpolüstüreeniga, mis on kaetud õhekrohviga.

Tellismajade välisseina kogupaksus on 420mm, mis koosneb 250mm paksusest kandvast tellisseinast, 50...60mm paksusest klaasvillast ning 120mm paksusest tellisvoodrist. Mineraalvillaga lisasoojustatud tellisseina välisvooder on laotud keraamilisest õõnestellisest. Vahtpolüstüreeniga soojustatud tellisseina puhul on välisvoodriks silikaattellis.

Raudbetoonpaneelist välisseina kogupaksus on 250mm, mis koosneb 70...80mm paksusest sisebetoonkoorikust, 100...120mm paksusest soojustusest ning 50...70mm paksusest välisbetoonkoorikust. Mineraalvillaga lisasoojustatud r/b paneelseinas on soojustusmaterjaliks TEP-plaat ning vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud r/b paneelseinas nõukogude aegne vahtpolüstüreen.

#### 3.1.1 Meetodid

##### 3.1.1.1 Välisseinte arvutuslik soojajuhtivus

Välisseinte arvutuslik soojajuhtivus leiti vastavalt standardile EVS-EN 908-1:2010 „Hoone piirdetarindi soojajuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire.“ Raudbetoonpaneelides olevad sideribid ja tellisseintes olevad sidekivid võeti arvesse kui täiendav soojajuhtivus kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutusprogrammiga THERM 6.. Arvutustes määrati kõikidele pindadele soojatakistused (vt. Tabel 3.1) ja materjalidele soojaerijuhtivused (vt.

Tabel 3.2 )

Tabel 3.1 Arvutustes kasutatud pinnatakistuste suurused

	Soojavoolu suund
--	------------------

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)	Alla (põrand)
$R_{si}$ , (m <sup>2</sup> ·K)/W	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$ , (m <sup>2</sup> ·K)/W	0,04	0,04	0,04

Tabel 3.2 Arvutustes kasutatud materjaliomadused [9];[10]

Materjal	Soojaerijuhtivus $\lambda$ , W/(m·K)
Raudbetoon (tihedalt armeeritud)	2
Silikaattellis	0,99
Keraamiline tellis	0,81
Vahtpolüstüreen	0,04
TEP-plaat	0,16
Mineraalvill	0,04
Tuuletõkke kipsplaat	0,23
Klaasvatt	0,065

### 3.1.1.2 Välisseinte katseline soojajuhtivus

Katselise soojajuhtivuse arvutamiseks mõõdeti välisseinu läbivat soojavoolu ning välisseina sise- ja välispinna temperatuure (vt. Valem 3.1).

$$U = \frac{Q}{(ts - tv)} \quad (3.1)$$

kus:

U- soojajuhtivus (W/m<sup>2</sup>K)

Q- soojavool (W/m<sup>2</sup>)

ts- sisepinnatemperatuur (°C)

tv- välispinnatemperatuur (°C)

Soojavoolu mõõtmiseks kasutati Ahlborn soojavooluplaate suurusega 200x200mm. Soojavoolu mõõdeti ajavahemikul 28.01-26.05.2010. Soojavoolu mõõtmise perioodi pikkuseks ühel objektil oli 2-3 nädalat. Soojavooluplaadid paigaldati akendest ja radiaatorites võimalikult kaugele, vältimaks nende soojuskiirguslikku mõju mõõtetulemustele.

### 3.1.2 Tulemused

Soojajuhtivused arvutati neljale erinevale välisseina tüübile. Kaks nendest olid raudbetoonsuurpaneelidest seinad ning kaks tellisseinad. Mõlemad seinatüübid olid lisasoojustatud nii mineraalvillaga kui ka vahtpolüstüreeniga. Kõikide välisseina tüüpide soojajuhtivused leiti arvutuste ja mõõtmiste teel (vt. Tabel 3.3).

Tabel 3.3 Välisseinte arvutuslikud ja katselised soojajuhtivused

Välisseina kirjeldus	Usoojustamata (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>arv</sub> 100mm lisasoojustust (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>katse</sub> 100mm lisasoojustust (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>arv</sub> 200mm lisasoojustust (W/m <sup>2</sup> K)
R/b paneel+vahtpolüstüreen	0.45	0.20	0.20	0.13
Tellis+min.vill	1.05	0.29	0.37	0.15
R/b paneel+min.vill	1.20	0.26	0.29	0.17
Tellis+vahtpolüstüreen	1.21	0.30	0.36	0.16

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Arvutustulemustest selgub, et välisseintele esitatav soojajuhtivuse kriteerium  $U = 0,20\text{--}0,25$   $W/(m^2 \cdot K)$  on täidetud ainult ühel uuritava objektil. See tuleneb sellest, et konkreetse objekti välisseina esialgne soojajuhtivus (enne soojustamist) on võrreldes teistega kõige väiksem.

Võrreldes välisseinte arvutuslikke soojajuhtivusi katseliste soojajuhtivustega selgub, et katselised soojajuhtivused on suuremad. See võib tuleneda sellest, et materjalide soojaerijuhtivused ( $\lambda$ ,  $W/mK$ ) on välisseinas toimuva veeauru difusiooni tõttu (suur niiskustootlus ja kehv ventilatsioon) suuremad kui arvutustes eeldati.

### 3.2 Välisseinte niiskusolukord

Niiskuskahjustused on muutunud aina sagedasemaks välisseintel esinevaks probleemiks. Niiskusega seotud probleemid avalduvad välisseintel tavaliselt hallitus- ja mädanikseente kasvu ning materjalide mahumuutuste näol. Samuti vähendab niiskus välisseinte soojapidavust.

Välisseinte niiskumine võib olla tingitud sademetest, pinnaseniiskusest, kondenseerunud veest jne. Ajaliselt võib välisseintes eristada ehitusaegset niiskukoormust ja hoone kasutamisest tingitud niiskukoormust. Ehitusaegse niiskuse väljakuivamine toimub ligikaudu ühe kuni kahe aasta jooksul pärast hoone valmimist. Hoone kasutamisest tingitud niiskussisaldus kõigub aga kogu hoone kasutusperioodi jooksul. Hoone kasutamise ajal võib niiskus välisseintes liikuda veeauruna (peamiselt difusiooni või konvektsiooni teel) või veena (peamiselt kapillaarsel teel, raskusjõu mõjul). Sellepärast on oluline hoone eksploateerimisel või renoveerimisel arvestada nende protsessidega. Vältimaks niiskuskahjustusi hoone kasutusajal tuleb tagada ruumides korralik ventilatsioon ning välispiirete normikohane soojapidavus.

Mitmed nõukogude ajal ehitatud hooned ei vasta eelpool mainitud kriteeriumitele ning vajavad hädasti renoveerimist. Samas on ka väga palju neid kortermaju, kus soojustamistööd on juba tehtud. Käesoleva projekti raames uuritaksegi juba soojustatud hooned saamaks teada, kas lisasoojustamine on välisseinte niiskusolukorda parandanud või teinud hoopis kehvemaks.

#### 3.2.1 Meetodid

##### 3.2.1.1 Välisseinte arvutuslik niiskusrežiim

Välisseinte niiskusrežiimi analüüsimisel on kasutatud statsionaarset arvutiprogrammi THERM 1.1, mille arvutusmetoodika põhineb standardil EVS-EN ISO 13788:2001. Tegemist on lihtsustatud metoodikaga, kus arvestatakse üksnes niiskuse difuusse liikumisega. Välisseinte niiskusrežiimi esimese seitsme kuu arvutustes kasutati 2010 aasta keskmiseid väliskliima andmeid (vt. Tabel 3.4). Ülejäänud viie kuu arvutustes kasutati kondenseerumise kontrollimiseks niiskustehniliselt kriitilist baasaastat [11]. Ruumide niiskukoormuseks ehk niiskuslisaks võeti vastavalt: tellis+polüst  $7,61$   $g/m^3$ ; tellis+min.vill  $7,27$   $g/m^3$ ; paneel+polüst  $6,92$   $g/m^3$  ning paneel+min.vill  $7,40$   $g/m^3$ . Suvekuudel võeti niiskuslisaks  $2,5$   $g/m^3$  [12]. Niiskuslisa määramisel lähtuti elanike arvust, ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest.

Tabel 3.4 Arvutustes kasutatud keskmised väliskliima andmed.

	Jaan.	Veebr.	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dets.
Õhu-temperatuur	-10.97	-8.18	-2.61	4.30	10.45	12.90	20.97	15.10	10.40	7.60	-1.80	-7.90
Õhu suhteline niiskus	85.71	86.96	87.06	75.57	75.29	71.43	70.13	77.00	85.00	88.00	86.00	87.00



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Välisseina erinevate kihtide pinnatemperatuurid ja veeaurusisaldused sõltuvad välisseinte materjalide soojajuhtivuse ning aurujuhtivuse näitajatest. Alljärgnevas tabelis on esitatud arvutustes kasutatud materjalide näitajad (vt. Tabel 3.5). Arvutustulemused kuude kaupa on esitatud aruande lisas nr 2.

Tabel 3.5 Arvutustes kasutatud materjalide omadused

Materjal	Soojaerijuhtivus, $\lambda$ W(m·K)	Auru difusiooni koefitsent, (m <sup>2</sup> /s) 10 <sup>-7</sup>
Betoon	2,00	5
Silikaattellis	1,10	50
TEP-plaat	0,16	180
Tuuletõkke kipsplaat	0,23	50
Vahtpolüstüreen	0,04	1,5
Mineraalvill	0,038	175
Vana min.vill (klaasvatt)	0,065	160
Tsementmört	0,90	9
Õhekrohv	0,30	11

### 3.2.1.2 Välisseinte katseline niiskusrežiim

Välisseinte niiskussisalduse määramiseks puuriti uuritavate objektide välisseintest katsekehad ning paigaldati ka niiskus- ja temperatuuriandurid.

Proovikehi puuriti iga uuritava objekti välisseinast kokku kolm s.o ühe otsaseina esimese, kolmanda ja viienda korruse tasapinnast. Proovikehi võeti välisseina lisasoojustusest ning põhikonstruktsiooni välimisest kihist (raudbetoonist paneelmajade puhul on see paneeli välimine koorik ning tellismajade puhul välimine tellisvooder). Kokku puuriti uuringu käigus 12 katsekeha, mille läbimõõt oli 100mm. Katsekehi puuriti kahel korral: esimene puurimine tehti ajavahemikul 29.01-19.02 ja teine ajavahemikul 02.06–04.06. Katsekehad pandi koheselt pärast puurimist kilekottidesse ning transporditi kaalumiseks ja kuivatamiseks Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusmaterjalide laborisse. Vastavalt standardile EVS-EN 772-10:2005 „Müürikivide katsemeetodid“ Osa 10: Silikaattelliste ja autoklaavitud poorbetoonplokkide niiskussisalduse määramine“ määrati materjalidele kaaluline niiskus.

Lisaks katsekehade puurimisele paigaldati uuritavate objektide välisseintesse ka niiskus- ja temperatuuriandurid. SHT71 andurid paigaldati olemasoleva välisseina ja lisasoojustuse vahele, kohtadesse kust puuriti katsekehad. Temperatuuri ja suhtelist niiskust välisseinas mõõdeti ajavahemikul 28.01-26.05.2010.

## 3.2.2 Tulemused

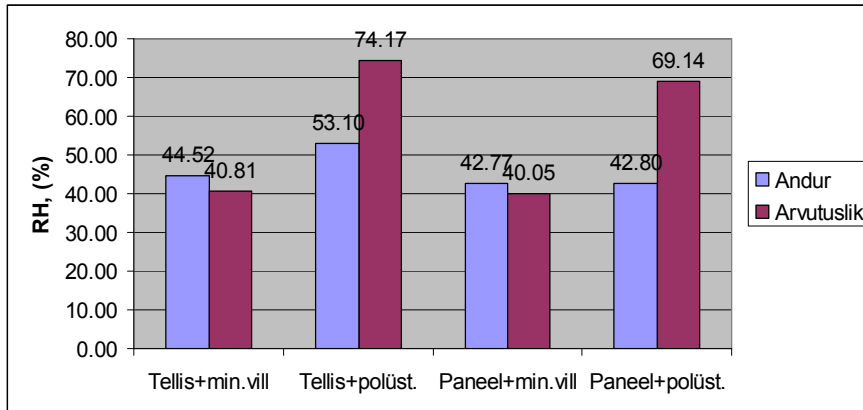
### 3.2.2.1 Välisseinte arvutuslik niiskusrežiim

Niiskusrežiimi arvutuslikud tulemused näitavad, et kaheteist kuu jooksul ei tõuse suhteline õhuniiskus erinevate materjalide kihtides 100%-ni, mis tähendab seda, et kondenseerumist ei toimu (vt. LISA 2). Erinevate kihtide vahelise õhu arvutuslikku suhtelist niiskust võrreldi seina paigaldatud temperatuuri ja niiskuse andurite poolt mõõdetud suhtelise õhuniiskuse tulemustega (vt. Joonis 3.1).

Mineraalvillaga lisasoojustatud seinte puhul langesid arvutuslikud ja mõõdetud tulemused kokku. Vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud seinte arvutuslik suhteline õhuniiskus oli kõrgem, kui andurite

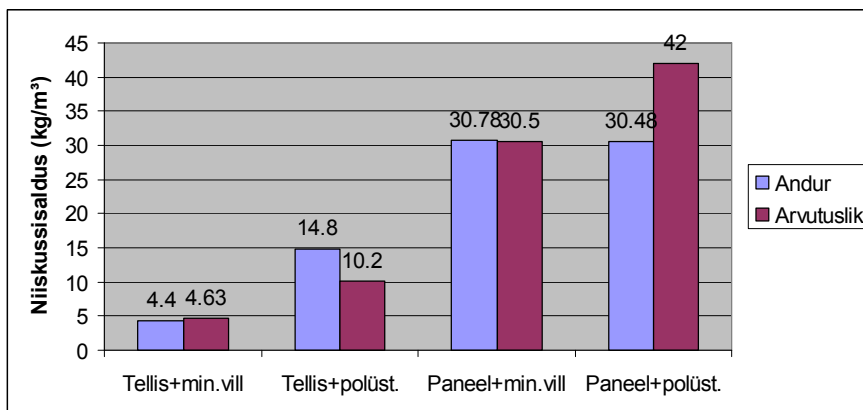
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

poolt registreeritud. Põhjuseks võib olla arvutustes kasutatud lähteandmete (materjalide aurujhtivused ja niiskustootlikkus) erinevus materjalide tegelikest omadustest.



(vt. Joonis 3.1 Suhteline õhuniiskus olemasoleva konstruktsiooni ja lisasoojustuse vahel

Vastavalt arvutuslikule ja andurite poolt mõõdetud suhtelisele õhuniiskusele määrati vastavaid sorptsioonkõveraaid kasutades materjalide niiskussisaldus (vt. Joonis 3.2). Arvutuslikud ja anduritel põhinevad niiskussisaldused olid kõigi nelja objekti puhul praktiliselt võrdsed.



Joonis 3.2 Olemasoleva konstruktsiooni ja lisasoojustuse vahelise õhu niiskussisaldus

### 3.2.2.2 Välisseinte katseline niiskusrežiim

Proovikehade puurimine võimaldas anda hinnangut lisasoojustuse paigaldamise kvaliteedile. Hoonetel, mis olid soojustatud mineraalvillaga mingeid puudusi ei täheldatud. Mineraalvill liibus tihedalt vastu aluskonstruktsiooni ja oli visuaalselt kuiv (vt. Joonis 3.3)



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

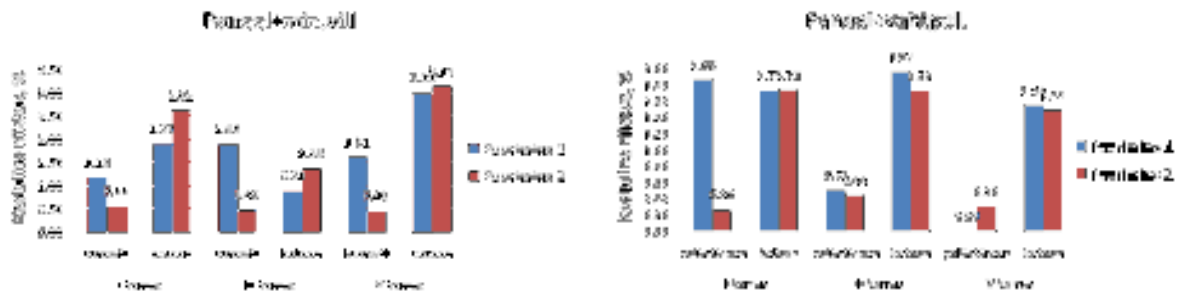
Joonis 3.3 Mineraalvillaga soojustatud hoone proovikeha puurimine

Vahtpolüstüreeniga soojustatud hoonete puhul oli lisasoojustuse ja aluskonstruksiooni vahel isegi kuni 4 cm paksune õhkvähe, mida tuleks igal juhul vältida (vt. Joonis 3.4). Konkreetselt nende hoonete välispiirete puhul mingeid probleeme ei täheldatud, kuid reeglina tuleb sellise paigaldusviisi puhul alati arvestada niiskuse konvektsiooniga läbi konstruktsiooni ja selle sees. Konvektsiooni teel kandub piirdesse rohkelt niiskust, mida tuleks igal juhul vältida.



Joonis 3.4 Vahtpolüstüreeniga soojustatud hoone proovikeha puurimine

Vahtpolüstüreeniga soojustatud betoonseina katsekehade puurimistulemustest selgus, et katseseinte niiskussisaldus muutus märgumis- ja kuivamisperioodi (s.o talve ja kevade) jooksul vähe. See on tingitud sellest, et suurt aurutakistust omav vahtpolüstüreen raskendab hoone kasutamisest tingitud niiskuse väljakuivamist (vt. Joonis 3.5, paremal).

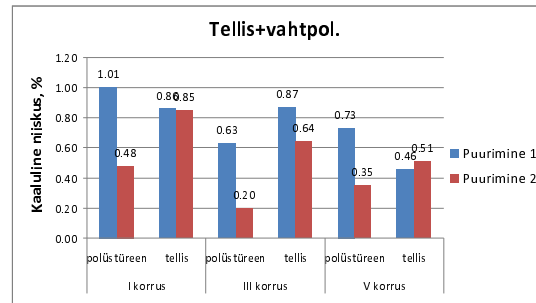
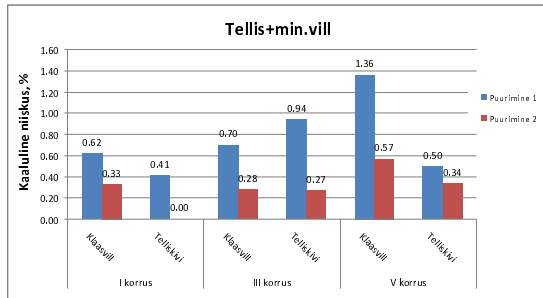


Joonis 3.5 Vasakul: Klaasvillaga soojustatud betoonseina kaalulised niiskused; Paremal: Polüstüreeniga soojustatud betoonseina kaalulised niiskused.

Kui kevadel seinad reeglina kuivavad, siis mineraalvillaga soojustatud betoonseina esimese, kolmanda ja viienda korruse keskmised puurimistulemused näitasid kevadel hoopiski ~30% niiskussisalduse tõusu, võrreldes talvise niiskussisaldusega (vt. Joonis 3.5, vasakul). Seda võis põhjustada päikesekiirgusest tingitud kõrgem veeaururõhk materjali poorides, mis surus välispinna suunas liikuvat veeauru tagasi betoonkonstruktsiooni sisse [13]. Seina kõrget niiskussisaldust võis põhjustada ka see, et viienda korruse korteri välisseinad olid seestpoolt soojustatud. Seespidine soojustamine jahutab aga välispiirded maha, mis toob endaga kaasa suurenenud kondenseerumise tekke ohu. Kortrite seespidist soojustamist tuleks kindlasti vältida.

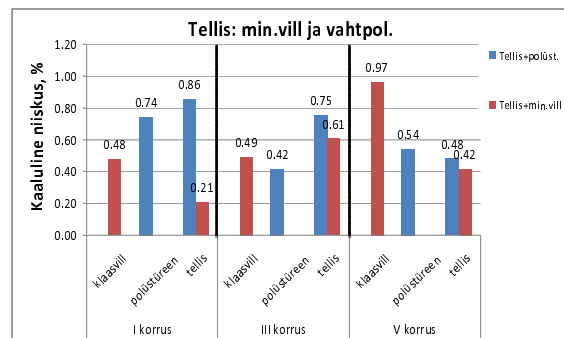
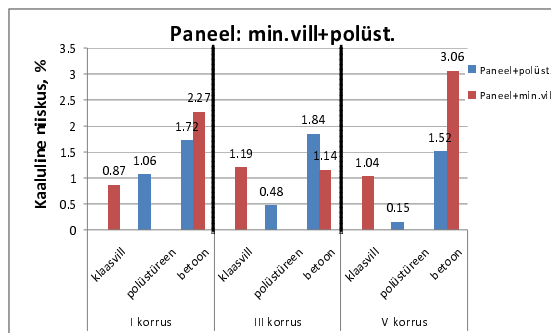
Tellisestel oli mõlema soojustusega seinte kevadine niiskussisaldus talvisest väiksem (vt. Joonis 3.6)

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 3.6 Vasakul: Klaasvillaga soojustatud tellisseina kaalulised niiskused; Paremal: Polüstüreeniga soojustatud tellisseina kaalulised niiskused.

Klaasvillaga soojustatud seinad kuivasid rohkem kui vahtpolüstüreeniga soojustatud seinad (vt. Joonis 3.7). Ka see on tingitud vahtpolüstüreeni suurest aurutakistusest, mis raskendab niiskuse väljakuivamist. Suurem veeaurusisaldus seinas suurendab ka seinte soojajuhtivust (vt. Tabel 3. 3).

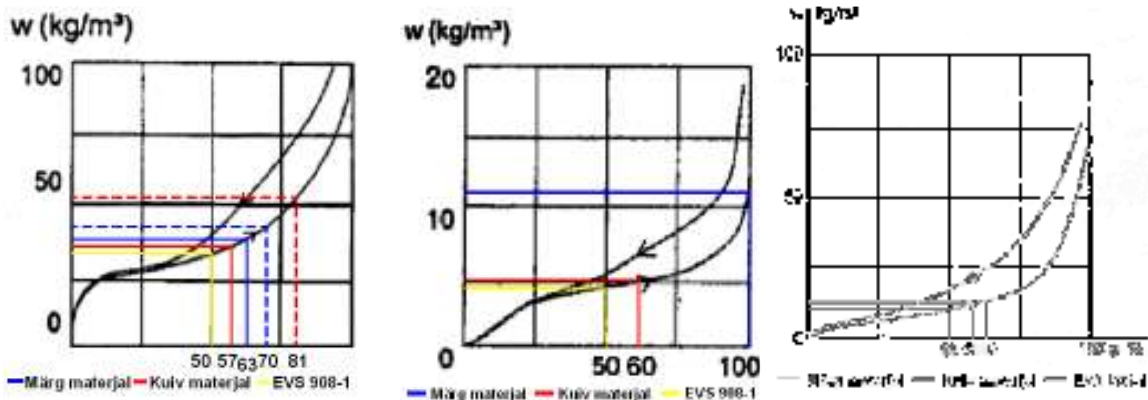


Joonis 3.7 Materjalide talvine ja kevadine kaaluline niiskus.

Võrreldes omavahel betoonseinu ja tellisseinu võib öelda, et tellisseinad olid kuivemad. Silmas peab pidama aga seda, et nelja uuritava objekti tulemusi ei saa üldistada kõigile betoon- ja tellisseintega hoonetele. Kindlamate ja täpsemate tulemuste saamiseks oleks tarvilik olnud puuritavate katsekehade arvu suurendada.

Materjalide niiskussisalduse hindamisel võeti kriteeriumiks standardis EVS 908-1:2010 punkt 4.1.1.2 nõutud niiskussisaldus materjalide deklareeritava soojaerijuhtivuse määramiseks ruumiõhu parameetritega 50% ja +23°C. Kasutades betooni ja tellise sorptsioonkõveraid (ainult nende materjalide mahukaalud olid teada) ning proovikehade kaalulisi niiskusi määrati uuritavate materjalide poorides oleva õhu suhteline niiskus, mida omakorda võrreldi standardis esitatud 50%-lise niiskus-kriteeriumiga (vt. Joonis 3.8 ja Tabel 3.6). Lisasojustusmaterjale selliselt ei analüüsitud kuna puudusid andmed materjalide mahukaalude kohta.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

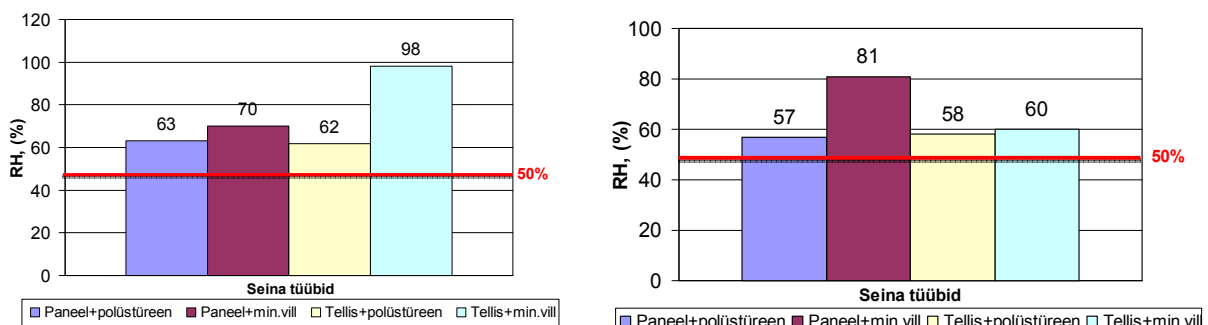


Joonis 3.8 Materjalide sorptsioonkõverad. Vasakul: Betoon; Keskel: Keraamiline tellis; Paremalt: Silikaattellis (Ehituskonstruktori käsiraamat 2010).

Tabel 3.6 Materjalide kaalulised, mahulised ning poorides oleva õhu suhtelised niiskused

Objekti nimetus	Puurimise aeg	Kaaluline niiskus (%)	Mahuline niiskus ( $\text{kg/m}^3$ )	RH (%)
Beton+polüstüreen	Talv	1,74	38,29	63
	Kevad	1,65	36,28	57
Beton+min.vill	Talv	1,94	42,68	70
	Kevad	2,38	52,36	81
EVS 908-1:2010		<b>1,50</b>	<b>33,90</b>	<b>50</b>
Silikaattellis+polüstüreen	Talv	0,73	13,36	62
	Kevad	0,67	12,26	58
EVS 908-1:2010		0,28	4,81	<b>50</b>
Keraamiline tellis+min.vill	Talv	0,62	10,42	98
	Kevad	0,31	5,1	60
EVS 908-1:2010		<b>0,60</b>	<b>11,00</b>	<b>50</b>

Analüüsi tulemusena selgus, et kõigi uuritavate objektide materjalide poorides oleva õhu suhteline niiskus oli vähesel määral kõrgem kui 50%. Märkumisperiodil ületasid 50%-list kriteeriumit ligikaudu 15%-ga kolm objekti. Neljanda objekti (tellis+min.vill) suhteline õhuniiskus materjalide poorides oli 98% (vt. Joonis 3.9, vasak). Kuivamisperiodil oli õhu suhteline niiskus materjalide poorides väiksem võrreldes märkumisperiodiga. 50%-list kriteeriumit ületati ~8%. Mineraalvillaga soojustatud tellisseina poorides oleva õhu suhteline niiskus langes 98%-ilt 60%-le. Mineraalvillaga soojustatud betoonseina poorides oleva õhu suhteline niiskus aga tõusis 70%-ilt 81%-le (vt. Joonis 3.9, parem).



Joonis 3.9 Õhu suhteline niiskus materjalide poorides vastavalt talvistele ja kevadistele kaalulistele niiskustele.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Materjalide niiskussisaldust hinnati ka vastavalt SNiP-le II-3-79 Tabel 14. Vastavalt tabelile 14 ei tohi savitellise kaalulise niiskuse tõus märgumisperioodi jooksul olla suurem kui 1,5%, silikaattellisil ja betoonil 2%, vahtpolüstüreenil 25% ning mineraalvillal 3%. Kõigi materjalide puhul on see tingimus täidetud (vt. Joonis 3.5 ja Joonis 3.6).

### 3.2.3 Kokkuvõte

Hoonete lisasoojustamisega on vähendatud küttekulusid ning parandatud välispiirete tehnilist seisukorda, kuid sellegi poolest ei vasta lisasoojustatud hoonete välispiirded energiatõhususe miinimumnõuetes esitatud soovituslikele väärtustele. Tagamaks kõigi uuritavate objektide välisseinte nõuetekohane soojajuhtivus, tuleks 100mm paksuse lisasoojustuse asemel kasutada 150-200mm paksust lisasoojustust. Raudbetoonpaneelhoonete ja tellishoonete soojustamiseks sobib kasutada nii mineraalvilla kui ka vahtpolüstüreeni kuna soojapidavuse omaduste poolest on nad praktiliselt võrdsed. Välispiirete soojustamisel (eriti vahtpolüstüreeni puhul) tuleb eriti hoolikalt jälgida seda, et lisasoojustus paigaldatakse tihedalt vastu aluspinda. Vastasel juhul võib soojustuse ja aluspinna vahelistes ebatihedustes toimuda õhuliikumine ning sinna sattunud veeaur kondenseeruda. Õhuliikumisega võib piirdesse sattuda eosed, mis võivad tekitada hallitust. Veeauru kondenseerumine põhjustab välispiirde märgumist ja soojakadude suurenemist.

Kindlasti tuleks välispiirdeid soojustada ainult väljast poolt kuna seespidine soojustamine ei likvideeri piirdes olevaid külmasildu ega vähenda soojakadusid. Lisasoojustada tuleks kogu hoone fassaad. Ära ei tohiks unustada rõdu ja lodžaga piirnevaid seinu, mis moodustavad kogu hoone fassaadi pinnast märkimisväärse osa ning nende soojustamata jätmine tähendab jätkuvalt suuri soojakadusid läbi soojustamata välispiirete. Piisava aknaraami laiuse puhul tuleks soojustada ka akna paled.

Lisasoojustatud hoonete välisseinte niiskustehniline seisukord oli hea. Lisasoojustamine on vähendanud soojakadusid ega ole põhjustanud välisseinte liigniiskumist. Eeldatav niiskustehniline erinevus vahtpolüstüreeniga ja mineraalvillaga soojustatud välisseinte vahel ei leidnud käesolevas uuringus kinnitust ehk vahtpolüstüreeniga ja mineraalvillaga soojustatud välisseinte niiskussisaldused oli praktiliselt võrdsed. Katsekehade puurimisel olid kõigi uuritavate hoonete lisasoojustus visuaalselt hinnates kuiv. Veeauru kondenseerumist lisasoojustuse taga ei täheldatud. Ainsaks erinevuseks võib lugeda seda, et talve perioodil välisseintesse kogunenud niiskus kuivas mineraalvillaga soojustatud seintes kiiremini välja kui vahtpolüstüreeniga soojustatud seintes. Uuringu tulemused näitasid, et kevadeks oli uuritavate hoonete (v.a mineraalvillaga soojustatud raudbetoonpaneelhoone) välisseinte niiskussisaldused peaaegu võrdsed ning normi piires. Mineraalvillaga soojustatud raudbetoonist välisseina kõrget niiskussisaldust põhjustas ühte korterisse paigaldatud seespidine lisasoojustus.

Vältimaks niiskustehniliste probleemide teket välispiiretes tuleb tõhustada korterite ventilatsiooni, vähendada ruumide niiskuskoormust (N: piirata pesu kuivatamist siseruumides) ning niisketes ruumidesse paigaldada niiskustõkked.

Käesolev uuring andis alles esialgse ülevaate lisasoojustatud välisseinte soojus- ja niiskusolukorrast. Täpsemate andmete saamiseks, mille põhjal oleks võimalik ka üldistusi teha tuleks uuritavate objektide arvu suurendada ning pikendada mõõteperioodi.

## 4 Välisseinte õhupidavus ja termograaferimine

### 4.1 Välisseinte õhupidavus

Ebapiisav õhupidavus hoonepiirete puhul on planeerimatu ja kontrollimatu õhuvool läbi pragude ja ebatiheduste. Piirete õhupidavusest sõltub hoone energiatõhusus (kütte- ja jahutuskulud), sisekliima, ventilatsiooni toimivus, hallituse teke, müraprobleemid ja tuleohutus, mistõttu tuleb hoone piirded ehitada võimalikult tihedatena. Normaalse sisekliima tagamiseks tuleb hoonetesse rajada efektiivne ja tasakaalustatud ventilatsioonisüsteem. Selleks on vajalik ehitusprotsessi kõigi etappide korraldada läbimõttelise ning kvaliteetset töö teostust.

#### 4.1.1 Õhupidavuse mõõtmise meetodika ja hindamise kriteeriumid

Õhupidavuse mõõtmised on tehtud ajavahemikul 28.01-20.02.2010. Õhupidavuse mõõtmisel on järgitud standardit EVS EN 13829:2001 „Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method“. Õhupidavuse mõõtmise ajaks suleti aknad ning teibiti kinni ventilatsiooni avad (sh köögi kuhu). Korteris sisenedes vaheuksed jäeti avatuks. Korteris väliskülge avasse paigaldati mõõtesead, mis koosnes muudetava suurusega raamist, õhutihedast kangast, ventilaatorist ning mõõteseadmetest (vt. Joonis 4.1).



Joonis 4.1 Ala- ja ülerõhu seade

Hoone õhupidavust mõõdeti nii alarõhu kui ka ülerõhu tingimustes 10Pa sammuga, 10...±60Pa. Õhupidavust mõõdeti kõigis neljas uuritavas majas. Igas majas mõõdeti õhupidavust kolmes kohakuti olevas korteris so esimesel, kolmandal ja viiendal korrusel. Kokku mõõdeti õhupidavust 12-es korteris.

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustav õhulekkearv  $q_{50}$  (ühik  $m^3/h \cdot m^2$ ) väljendati kõikide piirete keskmise õhulekkena. Lisaks on õhupidavust iseloomustatud ka  $n_{50}$  arvu abil. Kui tulemus esitatakse õhulekkearvuna (ühik  $m^3/h \cdot m^2$ ), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri välispiirete sisepindalaga (sh. vahelaed ja korterite vahelised vaheseinad) ja kui õhupidavust väljendatakse õhuvahetuskordsusena  $n_{50}$  (ühik 1/h), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri siseruumide kubatuuriga.

Vastavalt standardile EVS 837:2003 peab õhulekkearv elamutel olema 3 ( $m^3/h \cdot m^2$ ) ja muudel hoonetel 6 ( $m^3/h \cdot m^2$ ). Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuetele ei tohi välispiirete keskmine õhulekkearv üldjuhul ületada 1 ( $m^3/h \cdot m^2$ ).

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

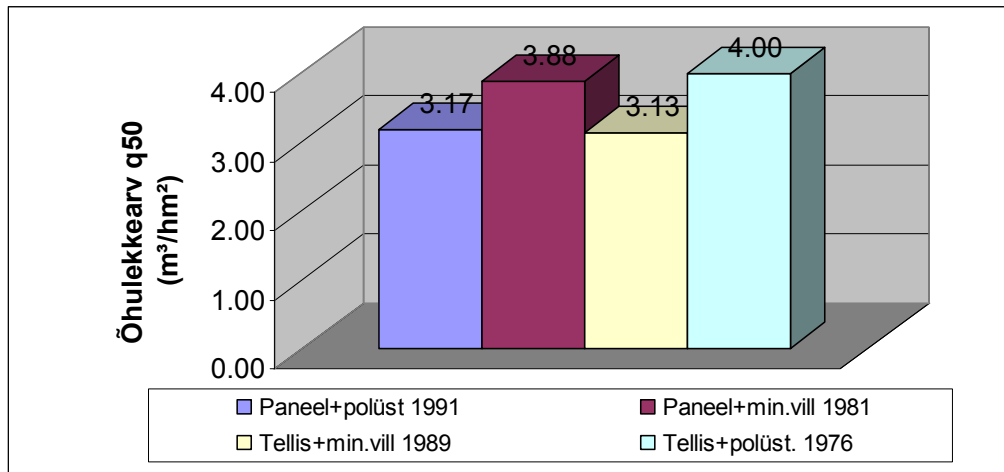
### 4.1.2 Tulemused

Kõikide mõõdetud korterite õhulekkearvud  $q_{50}$  ja õhuvahetuskordsused on esitatud (Tabel 4.1). Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv  $q_{50} = 3,57 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  ja õhuvahetuvus 50Pa juures oli  $n_{50} = 4,8 \text{ 1/h}$ . Kuna mõõtmised tehti korterite kaupa, sisalduvad selles mõõtetulemuses ka korterivaheliste piirete (vaheseinad, vahelaed) õhulekked.

Tabel 4.1 Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

	Korteri kood	Ehitusaasta	Korrus	Õhuvahetuskordsus 50Pa $n_{50} \text{ 1/h}$	Õhulekkearv, $q_{50}, \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
PANEELMAJA	101	1991	I korrus	4,20	2,98
	103		III korrus	5,50	3,73
	105		V korrus	4,52	2,81
	201	1981	I korrus	4,92	3,72
	203		III korrus	6,68	4,04
	205		V korrus	5,63	3,87
<b>KESKMINE</b>				<b>5,24</b>	<b>3,53</b>
TELLISMAJA	301	1989	I korrus	6,10	4,90
	303		III korrus	3,82	2,90
	305		V korrus	5,8	4,2
	401	1976	I korrus	4,78	3,70
	403		III korrus	3,70	2,70
	405		V korrus	4,61	3,00
<b>KESKMINE</b>				<b>4,80</b>	<b>3,57</b>

Mõõtmistulemustest selgus, et paneelmajade ja tellismajade õhulekkearv on praktiliselt võrdne 3,53 ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ) ja 3,57 ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ). Uuema paneelmaja korterid on õhupidavamad kui vanema paneelmaja korterid. Tellismajadel selline seos puudub. Õhupidavuse mõõtmistulemusi mõjutasid korterivahelised õhulekked (juhtmete ja torude läbiviigid), (vt. Joonis 4.2). Samuti on remonditud korterid õhupidavamad kui remontimata korterid.



Joonis 4.2 Hoonete õhulekkearvu vanuseline jaotus



## 4.2 Välisseinte termografeerimine

Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid ilma tarindeid avamata. Termograafia abil on võimalik hinnata hoonepiirete pinnatemperatuuride ebaühtlust, hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojajuhtivus, hinnata ehituskvaliteeti, leida külmasildu ja õhulekkekohti ning hinnata nende suurust.

### 4.2.1 Termografeerimise meetodika ja hindamise kriteeriumid

Termografeerimine on tehtud ajavahemikul 28.01-20.02.2010. Mõõtmised on tehtud kaheteistkümnes uuritavas korteris. Termografeerimisel on järgitud standardit EVS EN 13187:2001 „Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method“. Termografeerimiseks kasutati FLIR Systems B640 termokaamerat. Termograafilised mõõtmised tehti kahes etapis: esmalt elamu tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekked normaaltingimustes) ja seejärel samadest kohtadest uuesti (50 Pa alarõhu tingimustes, et leida õhulekked). Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus >20 °C.

Külmasildade kriitilisust hinnati temperatuuriindeksiga (vt. Valem 4.1) suure (+6 g/m<sup>3</sup>) ja väikse (+4 g/m<sup>3</sup>) niiskuskooormuse juures. Temperatuuriindeksi piirväärtused on esitatud Tabel 4.2-es.

$$f_{Rsi} = \frac{t_{sin} - t_{out}}{t_{in} - t_{out}} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (4.1)$$

kus:

- $f_{Rsi}$  temperatuuriindeks, -;
- $t_{sin}$  sisepinnatemperatuur, °C;
- $t_{in}$  sisetemperatuur, °C;
- $t_{out}$  välistemperatuur, °C;
- $R_T$  piirdetarindi kogusoojatakistus, m<sup>2</sup>·K/W;
- $R_{si}$  piirdetarindi sisepinna soojatakistus, m<sup>2</sup>·K/W.

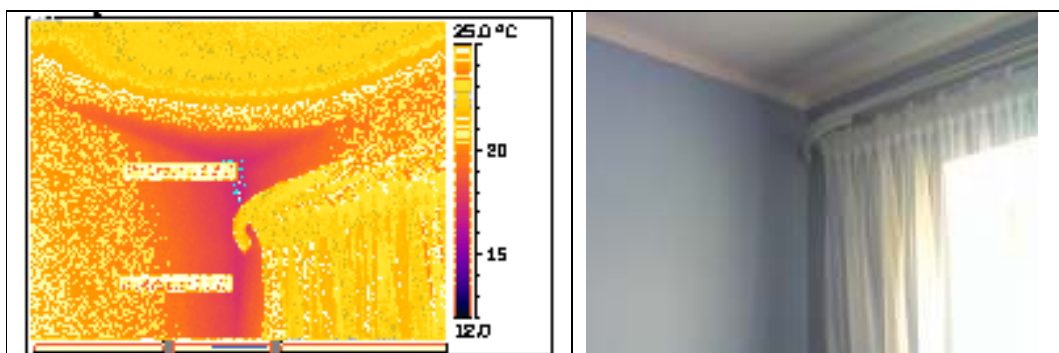
Tabel 4.2 Temperatuuriindeksi piirväärtused [14]

Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi}$ - (mõõdetud või arvatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuselisa talvel +4 g/m <sup>3</sup> ja suvel +1,5 g/m <sup>3</sup> need on madala asustusega ja hea ventilatsiooniga elamud.	0,65	0,55
Niiskuselisa talvel +6 g/m <sup>3</sup> ja suvel +2,5 g/m <sup>3</sup> need on suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamud.	0,8	0,7

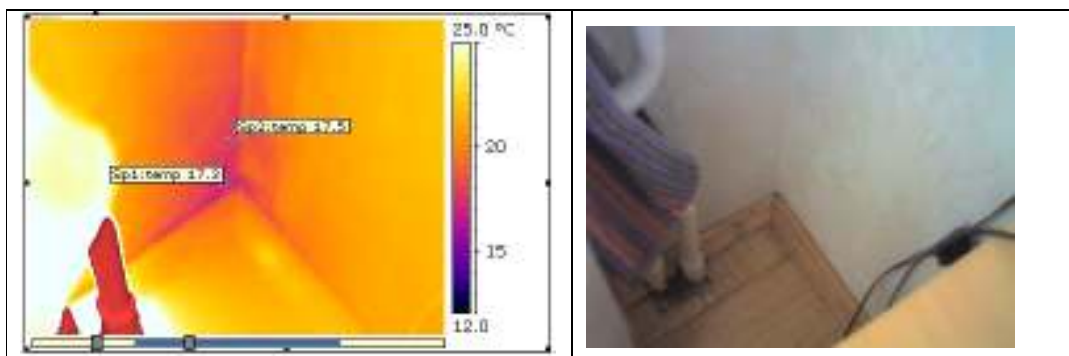
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

### 4.2.2 Tulemused

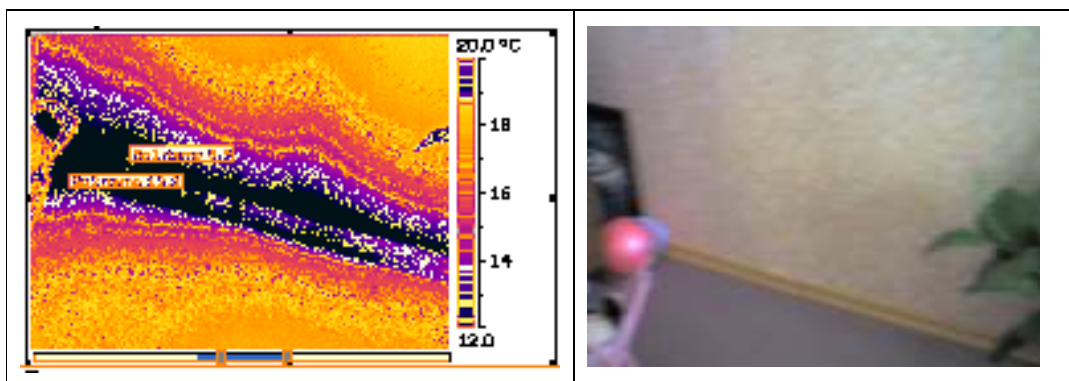
Termografeerimise tulemused näitasid, et korterelamute soojustamisega on saavutatud välispiirete küllaltki suur tihedus ning likvideeritud tõsisemad külmasillad (vt. Joonis 4.3 ja Joonis 4.4). Sellegipoolest esineb välispiiretes kohti, kus sisepinnatemperatuurid on kondenseerumise ja hallituse seisukohalt kriitiliselt madalad (vt. Joonis 4.5 ja Joonis 4.6). Uuritavade majade põhilised soojalekkekohad on välisseinte nurgad, sise- ja välisseinte liitekohad, katus-, vahelae ning esimese korruse põranda liitekohad välisseinaga. Kahjuks ei ole aga võimalik hinnata soojustamisjärgseid tulemusi olukorraga, mis oli enne soojustamist, kuna sellekohased andmed puuduvad.



Joonis 4.3 Siseseina ja välisseina liitekoht tellismajas

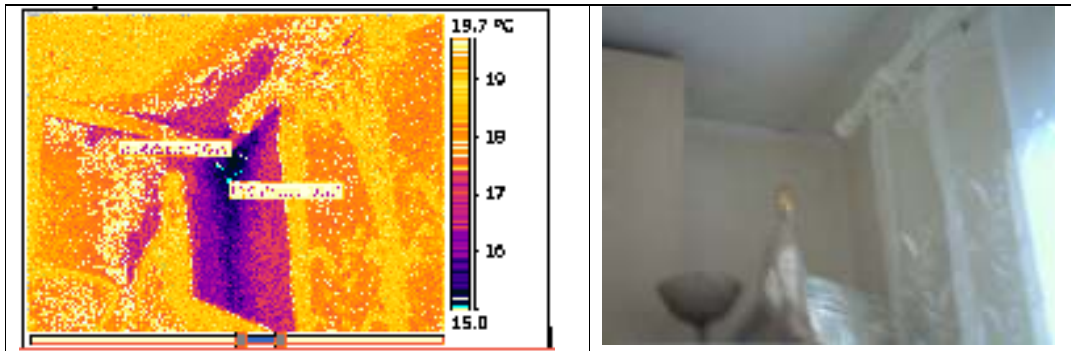


Joonis 4.4 Vahelae ja välisseina liitekoht paneelmajas



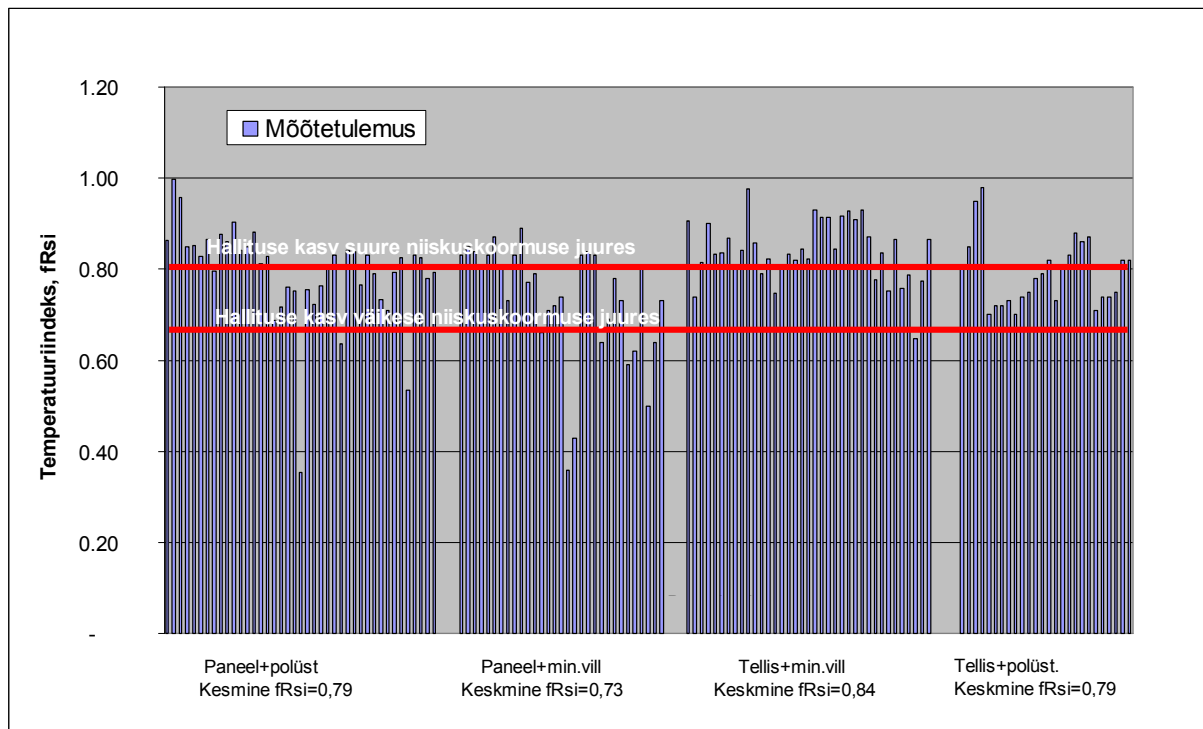
Joonis 4.5 I korruse põranda liitekoht välisseinaga paneelmajas

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



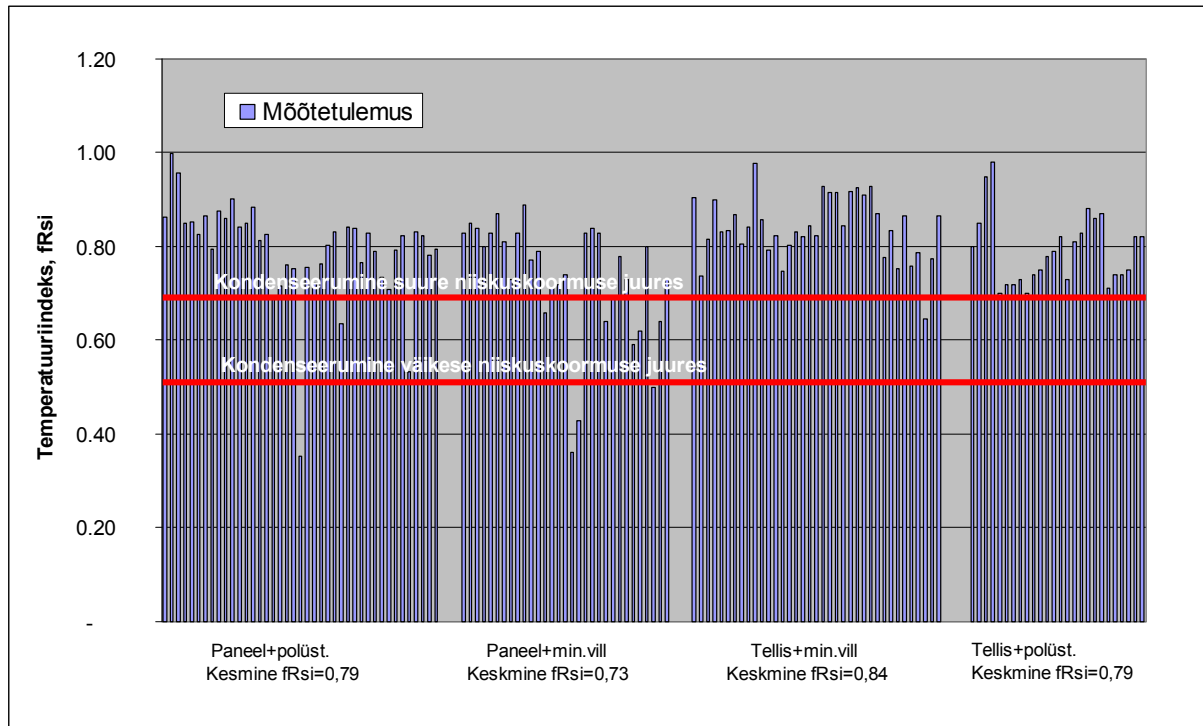
Joonis 4.6 Vahelae ja välisseina liitekoht tellismajas

Külmasildade kriitilisuse hindamiseks kasutati temperatuurindeksit,  $fR_{si}$ , mida arutati termograafiast saadud andmete põhjal. Kui võtta aluseks hallituse ja kondensaadi vältimise kriteerium madala niiskuskooormuse juures, võib öelda, et praktiliselt kõigis uuritavates majades on see kriteerium täidetud. Kõrge niiskuskooormuse juures vastasid temperatuurindeksid kondensaadi vältimise kriteeriumile, kuid hallituse vältimise kriteerium oli osades sõlmedes rahuldamata (vt. Joonis 4.7 ja Joonis 4.8). Korterite vaatlusel hallituse kasvu vastavate sõlmede sisepindadel ei tuvastatud.



Joonis 4.7 Uuritavate majade temperatuurindeksite hallituse kriteerium.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 4.8 Uuritavade majade temperatuuriindeksite kondenseerumise kriteerium.

Võrreldes temperatuuriindekseid majade kaupa selgub, et tellismajade keskmine temperatuuriindeks  $fR_{si}$  on 0,82 ning paneelmajadel  $fR_{si}=0,76$ , mis tähendab seda, et külmasillad tellismajades on vähem kriitilisemad kui paneelmajades. Uuritavate hoonete täpsemad temperatuuriindeksite arvutustulemused on esitatud raporti lisa.

### 4.2.3 Kokkuvõte

Üldiselt võib öelda, et kõigi nelja uuritava korterite õhupidavus on hea. Energiatõhususe miinimumnõuetes esitatud kriteeriumit  $q_{50} = 3,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  ületatakse keskmiselt kõigest  $0,57 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Õhupidavuse erinevusi põhikonstruktsioonide tüüpide vahel ei esinenud. Õhupidavuse erinevused tulenesid pigem hoone vanusest. Samuti mõjutasid korterite õhupidavuse mõõtmistulemusi korteritevahelised ebatihedused. Selleks, et vähendada müraga, tuleohutusega, sisekliimaga ja ventilatsiooniga (halvad lõhnad) seonduvaid probleeme, tuleb korteritevahelised ebatihedused (torude ja juhtmete läbiviigid) likvideerida. Hoonete lisasoojustamine kindlasti suurendas hoonete välispiirete õhupidavust kuna soojustamata paneelmajade keskmine õhulekkearv vastavalt Eesti eluasemefondi suurpaneel elamute seisukorra uuringule on  $4,16 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ .

Välisseinte lisasoojustamisega vähendati oluliselt ka külmasildade mõju ehk sisepindadel ei tekkinud enam veeaur kondensaati ega hallitust. Kohtades, kus puudus soojustus (lodža -või rõduplaadi liitekoht välisseinaga) või kus soojustus oli ebakvaliteetselt paigaldatud (akna ümbrused) on oht veeauru kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks. Seetõttu tuleb soojustada ka rõdu ja lodžaga piirnevad seinad ning võimaluse korral ka akna paled.

## 5 Elamute kütte ja ventilatsiooni toimivuse hinnang

Välispiiretega tagatakse hoone soojuspidavus ja õhutihedus ehk takistavad väliskliima mõju sisekeskkonnale. Hoonetes tagavad mugava ja kvaliteetse sisekliima kütte- ja ventilatsiooni süsteem. Vastavalt hoone kasutusele on kehtestatud sisekliima parameetritele normväärtused (EVS-EN 15251:2007) [5]. Sisekliima analüüsi tulemustena saab väita, et sisekliima mugavuskriteeriumid reeglina pole tagatud.

Soojussõlme küttegaafik on seotud välistemperatuuriga, kui välistemperatuuri muutumisel sisetemperatuur kõigub, võib väita, et hoone soojussõlm küttegaafik on vale.

### 5.1 Küttesüsteemi toimivuse hinnang uuritavates korterelamutes

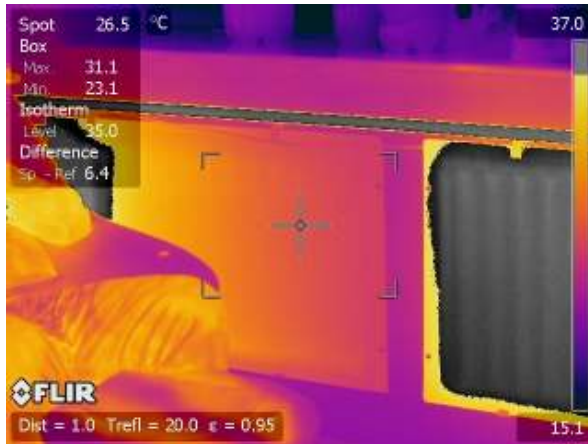
Küttesüsteemi toimivuse hindamiseks on uuringus kasutatud korterite sisetemperatuuri mõõtmistulemusi, kohapealseid vaatlustulemusi ning termopilte korterite küttekehadest. Hindamise põhialuseks olnud sisetemperatuuride mõõtmistulemusi võrreldi vaatlustulemuste, ankeetiküsitluste tulemuste ja korteris läbiviidu visuaalse hindamisega.

Korterelamus kolmel üksteise suhtes kohakuti asuvate korterite sisetemperatuuride mõõtmistulemuste alusel saab hinnata püstikute tasakaalustatust. Sisetemperatuuride kõikumine erinevatel välistemperatuuridel näitab soojussõlme küttegaafiku (välistemperatuurist sõltuva kütteevee temperatuuri tõusunurk ja graafiku tase) seadistuse täpsust. Uuritavates hoonetes küsitluse põhjal oli küttesüsteemi tasakaalustamine teostatud peale välispiirete soojustamist paneel+vahtpolüstüreen korterelamul. Sisekliima mõõtmistulemuste alusel koostatud graafiku (Joonis 2. 6) võime välja lugeda, et korruste lõikes sisetemperatuurid kõiguvad väikestes piirides (0,5 °C). Uuringuperioodi kestel oli antud hoone sisetemperatuur vahemikus 20-23°C 93,7% ajast (Tabel 5. 1). Samast tabelist võime välja lugeda, et kõige suuremad temperatuuri kõikumised uuringuperioodi kestel oli hoones tellis+vill, mille alusel võib väita et antud hoone soojussõlme küttegaafik pole paigas. Samuti on hoone korruste lõikes suured temperatuuri kõikumised (Joonis 2. 9), mille alusel saab väita, et küttesüsteem vajab tasakaalustamist. Küttekehade termografeerimise ja vaatlustulemuste käigus selgus, et tellis+vill korterelamu esimese korruse korteri elutoas üks küttekehadest ei soojene ühtlaselt (Joonis 5. 1). Seega võib ühe põhjusena temperatuuride erinevust põhjendada ka osaliselt sellega. Paneel+vill korterelamu uuritavate korterite sisetemperatuur oli mõõtmisperioodil 92,9% ajast üle 23 kraadi, mis viitab valele küttegaafikule ja tasakaalustamata küttesüsteemile. See aga tähendab et kütteeenergia tarbimine pole optimaalne. Lähtuvalt varasematest uuringutes võib väita, et ühe kraadine temperatuuri alandamine vähendab kütteeenergia tarbimist orienteeruvalt viis protsenti.

Tabel 5. 1 Uuritavate objektide ööpäeva keskmiste sisetemperatuuride protsentuaalne kestvus uuringuperioodi vältel

Temperatuur °C	Paneel+vahtpolüstüreen	Paneel+vill	Tellis+vahtpolüstüreen	Tellis+vill	Keskmine
alla 18	0	0	0	1.2	0.3
18-20	0.8	21.3	0	14.3	9.9
20-23	93.7	67.9	7.1	53.5	59.9
23-25	5.6	10.0	79.2	30.6	27.1
üle 25	0	0.8	13.7	0.4	2.8

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 5. 1 Tellis+vill korterelamu I korruse elutoa küttekahade termopilt

### 5.2 Ventilatsioon toimivuse hinnang uuritavates korterelamutes

Süsihappegaasi kontsentratsiooni analüüsi graafikutel võime välja lugeda (Joonis 2. 16, Joonis 2. 19), et viiendate korruste kontsentratsioon on ajaliselt kõige pikemalt üle piirkontsentratsiooni. Tubade õhuvahetuse hulka on võimalik leida CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni järgi [7], mille alusel on võimalik hinnata ligikaudselt korteri õhuvahetust. Õhuvooluhulga leidmiseks ruumis on kasutatud alljärgnevat valemit:

$$\frac{L}{V} \times \tau = -\ln \frac{\frac{m}{L} + C_v - C}{\frac{m}{L} + C_v - C_0}$$

L	[m <sup>3</sup> /h]	õhuvooluhulk ruumis
m	[g/h]	CO <sub>2</sub> toodang ruumis
V	[m <sup>3</sup> ]	ruumi ruumala
C <sub>v</sub>	[g/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> tase välisõhus
C	[g/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> tase ruumis mõõteperioodi lõpus
C <sub>0</sub>	[g/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> tase ruumis mõõteperioodi alguses (eelmise mõõteperioodi lõpus)
τ	[h]	aeg

Õhuvooluhulga ruumis alusel saame arvutada välja hinnangulise õhuvahetuse korteris (Tabel 5. 2). Korterite keskmise õhuvahetuse alusel on hinnatud ka hoone terviklikku õhuvahetust, mida kasutati kütteenenergia erikulu arvutustes (vt. ka ptk. 6.2.1).

Vastavalt sisekliima standardis (EVS-EN 15251:2007) [5] toodud õhuvahetuse soovituslikele normväärtustele inimese kohta (magamistuba 0,7 l/(s·m<sup>2</sup>) või 6 l/(s·inim.); elutuba 0,7 l/(s·m<sup>2</sup>)) (EVS 845-1:2004) [4] teostatud õhuvahetuse kordarvude kalkulatsioonide alusel peab see olema minimaalselt 0,6 korda tunnis. Antud kordarv rahuldaks sisekliima kvaliteedi tingimusi. Õhuvahetuse puudulikkust kinnitavad väljatõmbeplafoonide juures teostatud õhuliikumiskiiruste mõõtmised.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 5. 2 Hinnangulised õhuvahetused uuritavates korterites

Hoone	Korrus	Hinnanguline õhuvahetuskordsus korterites, 1/h	Hinnanguline õhuvahetuskordsus korterelamus, 1/h
Paneel+vahtpolüstüreen	I korrus	0.35	0.30
	III korrus	0.54	
	V korrus	0.30	
Paneel+vill	III korrus	0.40	0.32
	V korrus	0.34	
Tellis+vahtpolüstüreen	I korrus	0.28	0.28
	V korrus	0.31	
Tellis+vill	I korrus	0.33	0.28
	III korrus	0.30	
	V korrus	0.30	

Vaatlustulemuste põhjal võib öelda, et väljatõmbe plafoonid asuvad osades korterites WC-de kappide taga (Lisa 1), see vähendab väljatõmbe õhuhulkade hulka veelgi (Joonis 5. 2).



Joonis 5. 2 Väljatõmberest asub WC-sse paigaldatud kapi taga

Maja tervikliku õhuvahetust mõjutavad lisaks korteritele ka trepikojad. Kõikides uuritavates elamutes oli suletud uute pakettakendega trepikodade pealevoolu õhuhulk. Välisuste kaudu sisenev välisõhu kogus sõltub elanike uste avamistes, mis aga ei ole piisav õhuvahetuse tagamiseks. Analüüsitava korterite õhuvahetuse arvutuste juures (Tabel 5. 2) on arvestatud, et analüüsitava ruumi üks analüüsitava perioodi kontsentratsiooni tõusu arvestades oli suletud, paneel+vahtpolüstüreen korterelamu III korruse korteri puhul võib selles kahelda. Hoone tervikliku hinnangulise õhuvahetuse määramisel on võetud aluseks arvatud ja vaatlustulemuste põhjal järeldatud tõenäone tulemus.

### **5.3 Kokkuvõtte kütte ja ventilatsiooni toimivuse hinnangust uuritavates korterelamutes**

Lähtudes uuringumaterjalidele ja elanike küsitlustele, saame ühe põhjusena välja tuua küttesüsteemi tasakaalustamata jätmise peale hoone soojustamist. Hoonetes on 1990-ndate keskel paigaldatud uued sojussõlmed koos selle juhtimisautomaatikaga, mis järgib toonases (renoveerimata korterelamu) olukorras seadistatud küttegaafikut (kütteevee temperatuuri sõltuvust välistemperatuurist), Kortere lamute renoveerimisega on sojussõlme küttegaafik muutunud. Üksnens küttegaafiku alandamisega pole võimalik täpselt graafikut paika reguleerida, sisetemperatuuri ühtlustamiseks korterites on vaja esmalt paika seada uus küttegaafik ning seejärel küttesüsteemi püstikud tasakaalustada. Oluline on olemasolev küttesüsteem viia reguleeritavaks küttekeha tasandil termostaatventiilidega, mis võimaldab täpsemini nende soojusväljastavust reguleerida. Komplekselt renoveeritud küttesüsteemi oluliseks plussiks on efektiivsem sisemiste soojuskoormustest tekkinud energia kasutamine ning see võimaldab luua inimestele ühtlaselt mugava siseõhu temperatuuri.

Hoonetesse ehitusaegselt projekteeritud ja välja ehitatud ventilatsioon tänastes tingimustes ei tööta. Vanade puitraamide õhutuspiiludega aknad on asendatud õhutihedate pakettakendega. Peamiselt toimib ruumide õhuvahetus tänu välispiirete õhuleketele (infiltratsioonile). Ruumi tuulutatakse akende kaudu harva, kuna sisenev külm õhk tekitab inimestes ebamugavustunnet. Seoses vähese sissetuleva õhuga on halb ka korterite sanitaarruumide kaudu väljatõmme. Õhuliikumise kiiruste mõõtmised näitasid, et reeglina õhuliikumiskiirused väljatõmbeplafoonide juures olid väikesed. Ruumide halba ventileeritust tõestavad ka siseõhu niiskusteanalüüs, niiskuskoormuste kalkulatsioonid, õhumikrobioloogiline analüüs, süsihappegaasi kõrged kontsentratsioonid ja viimase järgi teostatud õhuvahetuse kalkulatsioonid (Tabel 5. 2).



## 6. Energiakasutuse analüüs

Energiakasutuse analüüsi teostamise eesmärgiks oli hinnata soojusenergia tarbimist osaliselt renoveeritud kortermajades. Samuti oli eesmärgiks analüüsida energiakulu kokkuhoidu ehitusaegsele tarbimisega võrreldes ja esitada võimalik energiasäästu potentsiaal edasiste rekonstrueerimismeetmete rakendamisel. Hinnangu aluseks olid intervjuud korteriühistute esimeestega, rekonstrueerimistööde projektid, välisseina soojusjuhtivuse analüüs, sisekliima mõõtmiste tulemused ja kohapealsed vaatlustulemused.

Hoone soojusenergia kulu analüüsis lähtuti korteriühistu esimeestelt saadud vähemalt kolme aasta jooksul mõõdetud tarbimisandmetest. Uuritavates kortermajades toimub soojatarbevee ja kütteeenergia kulu mõõtmine ühise soojusenergia kulu mõõtjaga. Analüüsimaks hoone soojuskadusid ehk kütteeenergia kulu lahutati mõõdetud sooja tarbevee kuluandmete alusel sooja tarbevee soojendamise energiakulu kogu soojusenergia tarbest. Kuna kütteeenergia kulu sõltub piirkondlikust väliskliimast, on oluline taandada tegelikud mõõdetud kütteeenergia tarbimisandmed normaalaasta kraadpäevadele. Kahe aasta normaalaastale taandatud kütteeenergia kuluandmete arvestusliku keskmise alusel võrreldi saadud energiakulu kraadpäevade arvutusmeetodi [15] alusel arvutuslike kütteeenergia kuludega. Arvutusliku kütteeenergia kulu sõltub välispiirete soojusjuhtivustest ning ventilatsioonisüsteemist ja õhuvahetuse intensiivsusest.

### 6.1 Mõõdetud soojusenergia tarbimisandmete analüüs

Nelja uuritava korterelamu mõõdetud soojusenergia kulu andmed kanti kuude kaupa analüüsi tabelitesse [Lisa 5.1]. Soojale tarbeveele kuluva energiatarbe aluseks oli mõõdetud soojatarbevee kogus ning energiakulu arvutustes lähtuti, et veesoojendamiseks on selle temperatuuri vaja tõsta 50 kraadi. Saadud energiatarbimine lahutati üldisest soojusenergia tarbimisest, saades kütteeenergia kulu. Normaalaastale taandamisel kasutati TTÜ keskkonnatehnika instituudi 2006 aastal koostatud „Eesti kraadpäevad“ III piirkonna (Tallinna) kraadpäeva andmeid tasakaalutemperatuuri 17 °C. Kütteeenergiatarbimine tarbimise hindamiseks on energiakulu taandatud köetavale pinnale aastas, mis võimaldab võrrelda kuluandmeid. Saadud kütteeenergia eritarbimised näitavad hoone soojuskadusid läbi välispiirete ja ventilatsiooni, mis mõjutab hoone energiatõhususarvu kõige rohkem. Energiatõhususe arv koosneb lisaks kütteeenergiale veel soojatarbevee soojendamise energiat ja elektrienergia tarvet. Eelnimetatud kaks viimast on erinevate elamute osas üldiselt samas suurusjärgus. Elektritarbimised vastavalt 25-40 kWh/m<sup>2</sup>\*a, sõltuvalt söögitegemiseks kasutatavast energiaallikast [1] ja soojatarbevee erikulu 29.8-37 kWh/m<sup>2</sup>\*a, sõltuvalt elanike asustustihedusest ning tarbimis-harjumustest. Aastate jooksul seoses ökonoomsemate elektriseadmete, valgusallikate kasutuselevõtuga on elektrienergia eritarbimine vähenenud, ning on suurusjärgus 10-20% väiksem võrreldes varasema tarbimisega. Soojatarbevee erikulu hoonetes on võimalik vähendada ainult inimeste tarbimisharjumusi muutes ning soojatarbevee süsteemi rekonstrueerimisega energiasäästu üle paari protsendi saavutada on keeruline. Hoonete rekonstrueerimisel saavutatud energiasääst ei tulene üksnes hoone piirdetarindite soojustamisest vaid nagu sisekliima analüüsid näitasid hoone õhutihedamaks muutmisest õhutihedamate akendega, mis on peaaegu täielikult sulgenud värske välisõhu pääsemist hoonesse. Kütte ja ventilatsiooni hinnangus (vt. ka ptk 5.2) süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusu järgi kalkuleeritud õhuvahetuse kordarvud näitavad, et õhuvahetus on muutunud vaadeldud hoonetes puudulikuks. Seega mõõdetud kütteeenergia eritarbimiste sääst tuleneb lisaks hoone välispiirete soojustamisest ka õhuvahetuse vähenemisest (Tabel 6. 1, Tabel 6. 12).

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 6. 1 Uuritavate hoonete soojusenergia kulud ja eritarbimised

Hoone tüüp	Aasta	Möödetud soojusenergia tarbimine	Möödetud veetarbe	Soe tarbevesi	Soojus-tarbimine soojale tarbeveele	Soojus-tarbimine kütteks	Kraadpäevadega korrigeeritud soojusenergia kütteks	Kütteenenergia eritarbimine	Soojatarbevee soojendamise energia eritarbimine
		MWh	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	MWh	MWh	MWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Paneel+ vahtpolüstüreen	2003.a	695.6	4874	1940.4	112.7	582.9	571.7	173.6	34.2
	2007.a	501.3	4068	1743.1	101.2	400.1	448.9	136.3	30.7
	2008.a	407.9	4031	1693.0	98.3	309.6	365.7	111.0	29.8
	2009.a	423.6	4255	1787.0	103.7	319.8	337.5	102.5	31.5
Paneel+ Vill	2003.a	744.3	5129	2308.1	134.0	610.3	598.5	181.4	40.6
	2007.a	628.0	4612	2075.6	120.5	507.5	569.4	172.6	36.5
	2008.a	483.0	4456	2005.2	116.4	366.6	433.0	131.2	35.3
	2009.a	484.5	4185	1883.3	109.3	375.1	395.9	120.0	33.1
Tellis+ vahtpolüstüreen	2005.a	488.0	3954	1700.2	98.7	389.3	413.1	129.1	30.8
	2007.a	376.0	4020	1728.6	100.4	275.6	309.3	96.7	31.4
	2008.a	341.0	3997	1718.7	99.8	241.2	284.9	89.0	31.2
	2009.a	378.0	3854	1657.2	96.2	281.8	297.4	92.9	30.1
Tellis+ vill	2007.a	917.9	8425	3707.0	215.2	702.7	788.4	134.9	36.8
	2008.a	676.5	7774	3420.6	198.6	477.9	564.5	96.6	34.0
	2009.a	703.3	7621	3353.2	194.7	508.6	536.7	91.9	33.3

## 6.2 Arvutuslikud soojusbilansid uuritavates korterelamutes

Uuritavates hoonetes oli kõigis nn loomulik ventilatsioon, kus õhuvahetuse kogus sõltub välispiireste õhutihedusest, väljatõmbekanalid kõrgusest, läbimõõdust, sise- ja välistemperatuuride vahelst. Uuringus on arvatud õhuvahetuse kordarvud tulenevalt süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusust vaadeldaval perioodil (vt. ka ptk. 5.2).

Välispiiretest katusekonstruktsiooni soojusjuhtivuse väärtused on saadud „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehnilise seisukorra ning prognoositava eluea uuringust“ [1] ja „Nõukogudeaegsete raudbetoonist suupaneelilamute tüüpsete katuse soojus- ja niiskusearvutused“ [8] tüüpsetele katusekonstruktsioonidele. Keldriala soojusjuhtivus välispiirdena sõltub suurel määral sokliseinte soojustusest ja keldri kõetavusest. Arvutustes kasutatud soojusjuhtivuse väärtused on kogemuslikud. Akende soojusjuhtivused on võetud kogu aknapaketi kohta.

### 6.2.1 Uuritavate kortermajas kütteenergia arvutuslik tarbimine praeguses olukorras

Hinnangulise soojuskao kalkulatsioon alltoodud tabelites on arvatud:

$$\text{Hinnanaguline soojuskadu läbi välispiirete} = A_{vp} \times U_{vp} \times KP \times 24 \times 10^{-3} = [\text{kWh/a}]$$

$$\text{Hinnanaguline soojuskadu läbi ventilatsiooni} = \frac{K \times V}{3600} \times c \times \rho \times KP \times 24 \times 10^{-3} = [\text{kWh/a}]$$

Hinnanguliste soojuskadude summa annab aastase energiatarbimise, seejärel saab välja arvutada aastase kütteenergia eritarbimise. Analüüsitud hoonete energiakulud läbi välispiirete on toodud alljärgnevas tabelites (Tabel 6. 2, Tabel 6. 3, Tabel 6. 4, Tabel 6. 5).

Tabel 6. 2 Olemasolev paneel+ vahtpolüstüreen korterelamu kütteenergiatarve

Olemasolev olukord	$t_b=17.42^\circ\text{C}$ $KP= 4364^\circ\text{C/d}$		
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanaguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnanagulised soojuskadod $\text{kWh/a}$
Soojustatud seinaga osa	911.00	0.25	23854
Soojustamata rõdutagused	805.00	0.50	42156
Katuslagi	777.00	0.35	28483
Põrand	777.00	0.70	56966
Uued aknad	277.56	1.60	46513
Trepikoja aknad	17.42	1.60	2919
Vanad aknad	172.15	2.70	48682
Uksed	7.60	2.60	2070
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanaguline õhuvahetuskordarv $1/\text{h}$	Hinnanagulised soojuskadod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8900	0.3	93681
			$\Sigma$ 345323

Kütteenergia eritarve

104.8  $(\text{kWh}/\text{m}^2\text{a})$

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsilise olukorra uuring**

Tabel 6. 3 Olemasolev paneel+ vill korterelamu kütteenergiatarve

Olemasolev olukord		$t_b=18.01^\circ\text{C}$ KP=4565 $^\circ\text{C/d}$	
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Soojustatud sein osa	867.00	0.28	26597
Soojustamata rõdutagused	739.46	1.20	97218
Katuslagi	762.96	0.26	21733
Põrand	762.96	0.50	41795
Uued aknad	316.77	1.60	55529
Trepikoja aknad	17.02	1.60	2984
Vanad aknad	151.43	2.70	44795
Uksed	8.36	1.60	1465
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetulise tegur 1/h	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8910	0.32	104646
$\Sigma$			396762

Kütteenergia eritarve

120.2 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

Tabel 6. 4 Olemasolev tellis+ vahtpolüstüreen korterelamu kütteenergiatarve

Olemasolev olukord		$t_b=17.03^\circ\text{C}$ KP=4230 $^\circ\text{C/d}$	
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Soojustatud otsaseinad	407.55	0.31	12826
Soojustatud külgseinad	1435.74	0.31	45184
Katuslagi	742.00	0.18	13559
Põrand	742.00	0.30	22598
Uued aknad	493.83	1.60	80214
Trepikoja aknad	215.04	1.60	34929
Vanad aknad	16.00	2.70	4386
Uksed	9.40	2.70	2577
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8640	0.3	82275
$\Sigma$			298548

Kütteenergia eritarve

93.3 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring**

Tabel 6. 5 Olemasolev tellis+ vill korterelamu kütteenergiatarve

Olemasolev olukord	$t_b=16.64\text{ °C}$ $KP=4102\text{ °C/d}$		
Piirdetarind või selle osa	Pindala $m^2$	Hinnanguline U-väärtus, $W/(m^2K)$	Hinnangulised soojuskaod $kWh/a$
Soojustatud seined	3269.00	0.30	96548
Soojustamata lodzaseinad	551.00	1.05	56957
Katuslagi	1564.00	0.74	113940
Põrand	1564.00	0.25	38493
Uued aknad	679.00	1.60	106954
Trepikoja aknad	27.57	1.60	4343
Vanad aknad	170.00	2.70	45188
Uksed	54.80	1.00	5395
Rõdu ukсед	100.50	1.60	15830
	Ruumala $m^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod $kWh/a$
Õhuvahetus	15775	0.3	145673
			$\Sigma$ 629321

Kütteenergia eritarve

107.7 ( $kWh/m^2a$ )

Uuritud paneelkorterelamutes suur osa soojuskadudest läheb läbi rõdu- ja lodžataguste soojustamata välisseinte, mille hinnanguline suurus on 45% kogu välisseina pindalast (Tabel 6. 6, Tabel 6. 7). Akende suure osakaalu tõttu kortermajades on ka soojuskadu läbi akende märkimisväärne. Tulenevalt edasistest rekonstrueerimisvõimalustest tuleks välipiirete edasisel energiatõhususe tõstmisel antud piirete soojuspidavuse tõstmisele tähelepanu pöörata. Kõigis uuritavates korterelamutes oli keskmiseks õhuvahetuse kordarvuks hinnanguliselt 0,3 korda tunnis, mis ei rahulda selgelt sisekliima kvaliteedi nõudeid, seega oli energiakasutuse analüüsi üheks eesmärgiks tuua välja hoonete kütteenergia eritarbed juhul kui olemasoleva hoonete teostada ventilatsiooni süsteemi rekonstrueerimine viies õhuvahetus väärtuseni 0,6 korda tunnis.

## 6.2.2 Uuritavate korterelamute soojusbilansid ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimisel

Hoonete kohta on koostatud täiendavad soojusbilansid kui hoonetes rekonstrueeritakse ventilatsioonisüsteemid (Tabel 6. 8, Tabel 6. 9, Tabel 6. 10, Tabel 6. 11). Korterelamute ventilatsioonisüsteemi tõhustamine mõjutab hoone soojusenergia eritarbe kulude suurenemist, mille tagajärjel energiakulude kalkuleerimiseks kraadpäevade summa suureneb (tasakaalu temperatuur on suurem), arvutused tasakaalu temperatuuri kohta on teostatud tabelarvutustarkvara Excel abil (Lisa 4.1.1.2; 4.2.1.2; 4.3.2.2; 4.4.1.2).

Tabel 6. 8 Rekonstrueeritud ventilatsioonisüsteemiga paneel+ vahtpolüstüreen korterelamu kütteenergiatarve

Ventilatsiooni tagamine	$t_b=18.18$ KP=4625°C/d		
Piirdetarind või selle osa	Pindala m <sup>2</sup>	Hinnanguline U-väärtus, W/(m <sup>2</sup> K)	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Soojustatud seinaga osa	911.00	0.25	25280
Soojustamata rõdutagused	805.00	0.50	44678
Katuslagi	777.00	0.35	30186
Põrand	777.00	0.70	60373
Uued aknad	277.56	1.60	49295
Trepikoja aknad	17.42	1.60	3094
Vanad aknad	172.15	2.70	51593
Uksed	7.60	2.60	2193
	Ruumala m <sup>3</sup>	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Õhuvahetus	8900	0.6	198568
		Σ	465260

Kütteenergia eritarve

141.2 (kWh/m<sup>2</sup>a)

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring**

Tabel 6. 9 Rekonstrueeritud ventilatsioonisüsteemiga paneel+ vill korterelamu kütteenergiatarve

Ventilatsiooni tagamine		$t_b=18.66$ KP=4792°C/d	
Piirdetarind või selle osa	Pindala m <sup>2</sup>	Hinnanguline U-väärtus, W/(m <sup>2</sup> K)	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Soojustamata rõdutagused	739.46	1.20	102053
Soojustatud seinad	867.00	0.28	27919
Katuslagi	762.96	0.26	22814
Põrand	762.96	0.50	43873
Uued aknad	316.77	1.60	58290
Trepikoja aknad	17.02	1.60	3132
Vanad aknad	151.43	2.70	47022
Uksed	8.36	1.60	1538
	Ruumala m <sup>3</sup>	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Õhuvahetus	8910	0.6	196212
			Σ
			502854

Kütteenergia eritarve

152.4 (kWh/m<sup>2</sup>a)

Tabel 6. 10 Rekonstrueeritud ventilatsioonisüsteemiga tellis+ vahtpolüstüreen korterelamu kütteenergiatarve

Ventilatsiooni tagamine		$t_b=18.10$ KP=4597°C/d	
Piirdetarind või selle osa	Pindala m <sup>2</sup>	Hinnanguline U-väärtus, W/(m <sup>2</sup> K)	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Soojustatud otsaseinad	407.55	0.31	13939
Soojustatud külgliseinad	1435.74	0.31	49105
Katuslagi	742.00	0.18	14735
Põrand	742.00	0.30	24559
Uued aknad	493.83	1.60	87173
Trepikoja aknad	215.04	1.60	37960
Vanad aknad	16.00	2.70	4766
Uksed	9.40	2.70	2800
	Ruumala m <sup>3</sup>	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Õhuvahetus	8640	0.6	191600
			Σ
			426637

Kütteenergia eritarve

133.3 (kWh/m<sup>2</sup>a)

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 6. 11 Rekonstrueeritud ventilatsioonisüsteemiga tellis+ vill korterelamu kütteenergiatarve

Ventilatsiooni tagamine		$t_b=17.34$ KP=4336°C/d	
Piirdetarind või selle osa	Pindala m <sup>2</sup>	Hinnanguline U-väärtus, W/(m <sup>2</sup> K)	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Soojustatud seinad	3269.00	0.30	102056
Soojustamata lodža seinad	551.00	1.05	60206
Katuslagi	1564.00	0.74	120440
Põrand	1564.00	0.25	40689
Uued aknad	679.00	1.60	113055
Trepikoja aknad	27.57	1.60	4590
Vanad aknad	170.00	2.70	47765
Uksed	54.80	1.00	5703
Rõdu ukсед	100.50	1.60	16733
	Ruumala m <sup>3</sup>	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod kWh/a
Õhuvahetus	15775	0.6	329964
Σ			841201

Kütteenergia eritarve

144.0 (kWh/m<sup>2</sup>a)

Antud analüüsi põhjal võib öelda et hoone ventilatsiooni rekonstrueerimine suurendab korterelamu kütteenergia eritarvet minimaalselt 30 kWh/m<sup>2</sup>a. Sellest saab järeldada, et kortermajades saavutatav energiasääst ei tulene üksnes hoone välispiirete soojustamisest vaid ka õhuvahetuse kordarvu vähenemisest. Seega pole õige vaadelda hoone mõõdetud tarbekulude langust üksnes hoone piirdetarindite isoleerimisest saadud säästust. Hoone õhuvahetus 0,3 1/h ei taga hoonetes tervislikku ja kvaliteetset sisekliimat ning ventilatsiooni rekonstrueerimine tuleb teostada esmajärgus.

### 6.2.3 Kokkuvõtte korterelamute arvutuslikest kütteenergia erikulude analüüsist.

Uuritavate korterelamute arvutuslike kütteenergia bilansside koostamisel selgus, et paneelkorterelamutel välisseinte soojustamine polnud lahendatud terviklikult. Soojustamata on jäetud rõdude ja lodžade tagused. Samuti on lahendamata jäänud sokli soojustamine. Kõige väiksem kütteenergia erikulu on hoonetes tellis+vahtpolüstüreen (Tabel 6. 12), mis on tingitud hoone välispiirete kompleksest soojustamisest, kuid välisseinte soojusjuhtivuste kalkulatsioonides selgub, et välisseinte soojusjuhtivus 0,31 (W/m<sup>2</sup>\*K), ei taga energiatõhususe miinimumnõuetes toodud soovituslikku välisseinte soojusjuhtivus teguri kriteeriumit (alla 0,25 W/m<sup>2</sup>\*K). Ainukesena täidab soovitusliku väärtust paneel+vahtpolüstüreeni välissein (U=0,25 W/m<sup>2</sup>\*K), mis on tingitud vana hoone välisseina konstruktsiooni väiksemast soojusjuhtivusest. Analüüsides kütteenergia erikuluseid selgub, et hoone osalise renoveerimisega on halvendatud õhuvahetus mille tulemusena on saavutatud energia sääst, kuid energiasääst ei tohi tuleneda sisekliima halvenemisest. Allolevalt tabelist võib välja lugeda, et ventilatsiooni tagamine antud hoonetes suurendaks kütteenergia eritarbimist nendes orienteeruvalt 25%.



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 6. 12 Kütteenergia eritarbimiste suurenemine seoses ventilatsiooni rekonstrueerimisel olemasolevas olukorras

Hoone tüüp	Olemasolevas olukorras kütteenergia eritarbimine	Ventilatsiooni tagamine olemasolevates hoonetes kütteenergia eritarbimine	Kütteenergia erikulu suurenemine
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	%
Paneel+ vahtpolüstüreen	104.8	141.2	26
Paneel+ vill	120.2	152.4	21
Tellis+ vahtpolüstüreen	93.3	133.3	30
Tellis+ vill	107.7	144.0	25

### 6.3 Küttebilansside võrdlus

Uuringus käsitletud kortermajade arvutuslike küttebilansside koostamise aluseks olid mõõdetud energiatarbimise andmed. Hoonete mõõdetud ja arvutuslike küttebilansside tabelis (Tabel 6. 13) on välja toodud kahe viimase aasta tarbimisandmete alusel hinnatud kütteenergia eritarbimine ja

Tabel 6. 13 Kütteenergia eritarbimiste võrdlus

Hoone tüüp	Aasta	Mõõdetud kütteenergia eritarbimine	Arvutuslik kütteenergia eritarbimine
		kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Paneel+ vahtpolüstüreen	2008.a	111.0	104.8
	2009.a	102.5	
Paneel+ vill	2008.a	131.2	120.2
	2009.a	120.0	
Tellis+ vahtpolüstüreen	2008.a	89.0	93.3
	2009.a	92.9	
Tellis+ vill	2008.a	96.6	107.7
	2009.a	91.9	

Hoonete tegeliku ja arvutusliku kütteenergia erikulude arv erineb sõltuvalt välispiirete hinnangulisest soojusjuhtivustegurist, õhuvahetuse kordarvudest, eeldatud vabasoojuskoormustest, arvutuslikust tasakaalutemperatuurist ja välispiirete pindade mõõtmete mõõtetäpsusest.

Kõige suurem erinevus nn tegeliku ja arvutusliku kütteenergia erikulu vahel oli hoones tellis + vill, mille põhjusteks on analüüsitava korterite põhjal eeldatud valesid sisemisi soojuskoormusteid, arvutuslikku tasakaalutemperatuuri või eeldatud õhuvahetuse kordsust. Olulise tegurina mõjutab selle hoone puhul kütteenergia kulu lodžade osaline kinniehitamine, mille hulka on eeldatud objekti vaatlustulemuste alusel, see aga mõjutab soojuse erikulu lodža piirdetarindite kaudu. Arvutuslikes küttebilanssides on lahendusena esitatud kõigi lodžade kinniehitamine, mis tagaks optimaalsema soojusenergia kasutuse (vt. ka ptk 6.2).

## 6.4 Lahendusettepanekud rekonstrueerimiseks

### tüüpsete

### korterelamute

Hoone renoveerimisega alustamine on aeganõudev protsess, mis saab alguse tellija lähteülesande koostamisest ehk millisen renoveeritavat hoonet nähakse. Sageli puudub tellijal nägemus kõigist ehitustehnilisest küsimustest, mida hoone terviklik renoveerimisprotsess sisaldama peaks. Peamiselt mõeldakse hoone kompleksse renoveerimise all hoone piirdetarindite soojustamist, nii sise- kui ka välisviimistluse uuendamist, lekkivate tehnokommunikatsioonide torustiku vahetamist ja elektrisüsteemi kaasajastamist. Reeglina jäetakse renoveerimistööde hulgast välja ventilatsioonisüsteemi renoveerimine.

Kui korteriühistul on plaanis alustada hoone rekonstrueerimisega, on soovitatav tellida rekonstrueerimistööde lähteülesanne ehk energiaaudit, mis sisaldab soovitusi suuremateks hoone rekonstrueerimistöödeks ning teavet nende mõjust hoone sisekliimale ja energiatarbimisele. Hoone energiaaudit sisaldab endas kahte kuni nelja rekonstrueerimispaketti, millest iga järgmine sisaldab hoone energiatarbimise tõstmiseks rohkem töid. Rekonstrueerimispakettide koostamine peab lähtuma põhimõttest, et esmatähtis on hoone ohutuse ja tervisliku sisekliima tagamine, seejärel tuleb energiasääst ning elanike mugavustaseme parandamine. Sõltuvalt renoveerimistööde ulatusest on renoveerimistööd jaotatud kolmeks tasemeks: A, B ja C.

- Taseme A juures on silmas peetud eelkõige hoone ohutust (kandevõimet; tule-, kasutus- ja keskkonnaohutust) ning tervislikkust. Lahenduste puhul keskendutakse hoonete esitatavate oluliste nõuete miinimumi täitmisele tegemata järeleandmisi tervislikkuse ja turvalisuse osas.
- Taseme B renoveerimislahenduste abil on võimalik parandada rohkem hoone energiatarbimist ning pikendada säilivust ja kasutusiga.
- Taseme C renoveerimislahendused parandavad oluliselt hoonete kvaliteeti ja pakuvad elanikele täiendavaid mugavusi. Peamiselt kuuluvad paketi C renoveerimistööde juurde tehnosüsteemide automatiseerimine, millest kortermajale täiendav energiasääst on võrreldes investeeringute rahalise mahuga väike. Samuti kuuluvad siia tööd, mille korral kahjustunud tarindid vahetatakse välja või ehitatakse uued. Teatud osas võib C tasemele renoveeritud hoonet võrrelda uue hoonega.

Tasemele C rekonstrueeritud hoone rekonstrueerimismeetmete tasuvusaeg on reeglina pikem kui hoone kasutusiga (50 aastat). Uuringu käigus analüüsitavate hoonete puhul on eesmärgiks saavutada tase B, kuid selleks tuleb hoonete sisekliima viia vastavusse tasemega A ehk tagada hoonetes tervislik sisekliima.

### 6.4.1 Osaliselt renoveeritud kortermajade rekonstrueerimise lahendusettepanekud uuritud kortermajade näitel

Hinnates uuritavate osaliselt renoveeritud korterelamute küttenenergia tarbimist, on siin näidatud tabelites hinnatud eri välispiirete täiendavat soojustamist ja vanade akende-uste väljavahetamist uute energiasäästlikumate vastu – küttenenergia erikasutuse kokkuhoiu võimalusi. Iga uuritava hoone kohta on koostatud täiendav rekonstrueerimispakett.

Rekonstrueerimispakettides on hinnatud ülejäänud välispiirete soojustamise ja ventilatsiooni välja ehitamise mõju küttenenergia eritarbimisele. Energiakasutuse arvutamisel on lähtutud küttesüsteemi reguleeritavaks viimisest ning tasakaalustamisest, mis võimaldab vabasoojust (lisasoojus inimestest, elektriseadmetest, valgustusest ja päikesest) efektiivsemalt kasutada.

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

**6.4.1.1 Paneel+ vahtpolüstüreen korterelamu täiendav rekonstrueerimispakett**

Rekonstrueerimispaketis sisalduvad järgnevad tööd:

- 1 Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine- värskeõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe väljaehitamine
- 2 Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- 3 Rõdutaguste seinte ja sokli soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga.
- 4 Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine

Tabel 6. 14 Paneel+vahtpolüstüreen rekonstrueerimispakett

Täiendav rekonstrueerimine		$t_b=16.43$	KP=4033°C/d
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Varasemalt soojustatud sein osa	911.00	0.20	17636
Soojustatud rõdutagused	805.00	0.20	15584
Katuslagi	777.00	0.30	22562
Põrand	777.00	0.20	15041
Uued aknad	277.56	1.60	42985
Trepikoja aknad	17.42	1.60	2698
Vanad aknad vahetatud	172.15	1.60	26660
Uksed	7.60	2.60	1913
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8900	0.6	173151
$\Sigma$			318230

Kütteenergia eritarve

96.6 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

### 6.4.1.2 Paneel+ vill korterelamu täiendav rekonstrueerimispakett

Rekonstrueerimispaketis sisalduvad järgnevad tööd:

- 1 Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine- värskeõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe väljaehitamine
- 2 Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- 3 Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm villaga.
- 4 Sokli soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga
- 5 Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

Tabel 6. 15 Paneel+vill rekonstrueerimispakett

Täiendav rekonstrueerimine		$t_b = 16.25$ KP=3974°C/d	
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Varasemalt soojustatud sein osa	739.46	0.26	18336.95
Soojustatud rõdutagused	867.00	0.26	21499.66
Katuslagi	762.96	0.26	18919.70
Põrand	762.96	0.25	18192.02
Uued aknad	316.77	1.60	48339.61
Trepikoja aknad	17.02	1.60	2597.28
Vanad aknad	151.43	1.60	23108.46
Uksed	8.36	1.60	1275.75
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8910	0.6	170810
$\Sigma$			323079

Kütteenergia eritarve

97.9 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

**6.4.1.3 Tellis+ vahtpolüstüreen korterelamu täiendav rekonstrueerimispakett**

Rekonstrueerimispaketis sisalduvad järgnevad tööd:

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine- värskeõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe väljaehitamine
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
3. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine

Tabel 6. 16 Tellis+vahtpolüstüreen rekonstrueerimispakett

Täiendav rekonstrueerimine	$t_b = 16.66 \text{ } \text{KP} = 4108^\circ\text{C/d}$		
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Soojustatud otsaseinad	407.55	0.31	12456
Soojustatud külgseinad	1435.74	0.31	43881
Katuslagi	742.00	0.18	13168
Põrand	742.00	0.30	21947
Uued aknad	493.83	1.60	77900
Trepikoja aknad	215.04	1.60	33922
Olemasolevas olukorras vahetamata akende vahetus	16.00	1.60	2524
Uksed	9.40	2.70	2502
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv $1/\text{h}$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	8640	0.6	171219
		$\Sigma$	379519

Kütteenergia eritarve

118.6 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

#### 6.4.1.4 Tellis+ vill korterelamu täiendav rekonstrueerimispakett

Rekonstrueerimispaketis sisalduvad järgnevad tööd:

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine- värskeõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe väljaehitamine
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min}= 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
3. Lodžade kinniehitamine, kus aknad paigaldada lodžade ette ( $U_{\min}= 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
4. Katuse soojustamine 150 mm villaga.
5. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine

Tabel 6. 17 Tellis+vill rekonstrueerimispakett

Täiendav rekonstrueerimine	$t_b=16.89 \text{ KP}=4184^\circ\text{C/d}$		
Piirdetarind või selle osa	Pindala $\text{m}^2$	Hinnanguline U-väärtus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Soojustatud seined	3269.00	0.30	98478
Soojustamata lodžaseinad	326.00	0.30	9821
Katuslagi	1564.00	0.19	29840
Põrand	1564.00	0.25	39263
Uued aknad	950.00	1.60	152632
Trepikoja aknad	27.57	1.60	4430
Uksed	54.80	1.00	5503
	Ruumala $\text{m}^3$	Hinnanguline õhuvahetuskordarv 1/h	Hinnangulised soojuskaod $\text{kWh/a}$
Õhuvahetus	16535	0.6	333736
		$\Sigma$	673702

Kütteenergia eritarve

110.0 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ )

### 6.4.2 Täiendava välispiirete soojustamise ja õhuvahetuse tagamise mõju kütteenergia eritarbimisele uuritavates korterelamutes

Võrreldes uuritavatele korterelamutele tehtud arvutuslikele kütteenergia bilanssidega saame vaadelda täiendavate rekonstrueerimise meetmete mõju kütteenergia erikulu muutumisele (Tabel 6. 18). Tabelist võime välja lugeda, et täiendavad rekonstrueerimistööd vähendavad kulusid uuritavates paneelkorterimajades. Peamiselt tuleb kokkuhoid rõdu ja lodža taguste soojustamisest, mille pindala kogu välisseinte pindalast on orienteeruvalt 45%. Kõigi hoonete korral on arvestatud, et rekonstrueerimisega tagatakse õhuvahetus 0,6 korda tunnis. Sellest tulenevalt on suurenenud telliskorterelamute kütteenergia erikulu. Tellise + vahtpolüstüreeni erikulu suurenemine tuleneb võrreldes olemasoleva olukorraga vähesest välispiirete rekonstrueerimise võimalustest. Sellel hoonel on võimalik saavutada energia kokkuhoidu paketi näidatu põhjal kahe korteri akende vahetusest ja küttesüsteemi rekonstrueerimisel vabasoojuse efektiivsemast kasutamisest.

Tabel 6. 18

Hoone tüüp	Olemasolevas olukorras kütteenergia erikulu	Ventilatsiooni tagamine+ lisa renoveerimismeetmete rakendamisega saavutatud kütteenergia erikulu	Muutus
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	%
Paneel+ vahtpolüstüreen	104.8	96,6	+8
Paneel+ vill	120.2	97,9	+18
Tellis+ vahtpolüstüreen	93.3	118,6	-21
Tellis+ vill	107.7	110,0	-2

### 6.4.3 Teoreetilise kütteenergia erikulu leidmine vastavalt energiatõhususe klassile

Energiatõhususe miinimumnõuete määrusest [2], mis jõustus 1.01.2008 lähtuvalt ei ole lubatud rekonstrueeritud kortermajadele energiatõhusus arvu üle 200 kWh/m<sup>2</sup>\*a, mis annab energiatõhususe klassiks minimaalselt „D“. Võttes aluseks, et kortermaja kütteenergia kui ka sooja tarbevee energia saadakse kaugküttevõrgust, mille kaalumistegur vastavalt määrusele [2] on 0,9 ja elektrivõrgust saavad toite valgustus ja elektriseadmed, mille kaalumistegur on 1,5, võime arvutusega ligikaudselt määrata maksimaalse võimaliku soojuskao väärtuse läbi välispiirete ja ventilatsiooni kaudu.

$$ET / KEK = \Phi_{el} \times kt + \Phi_{kv} \times kt + \Phi_{sv} \times kt \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$$

$\Phi_{el}$  [kWh/m<sup>2</sup>a] - elektri eritarve

$\Phi_{kv}$  [kWh/m<sup>2</sup>a] - kütteenergia eritarve (sh ventilatsioon)

$\Phi_{sv}$  [kWh/m<sup>2</sup>a] - soojavee soojendamise energia eritarve

$ET / KEK$  [kWh/m<sup>2</sup>a] - energiatõhususarv/kaalutud energia erikasutus

$kt$  - kaalumistegur

Kütteenergia eritarbe kulu leidmine vastavalt:

$$\Phi_{kv} = \frac{ET / KEK - (\Phi_{el} \times kt) - (\Phi_{sv} \times kt)}{kt} = [\text{kWh/m}^2\text{a}]$$

Võttes aluseks suurpaneel-elamute kui ka tellis elamute energiatarbe andmeid, võtame soojatarbevee erikulu aluseks 32 (kWh/m<sup>2</sup>\*a) ja elektrienergia eritarbe aluseks 36 (kWh/m<sup>2</sup>\*a)

$$\Phi_{kv} = \frac{200 - (36 \times 1,5) - (32 \times 0,9)}{0,9} = 130,2 [\text{kWh/m}^2\text{a}]$$

Suurusjärg 130 kWh/m<sup>2</sup>\*a annab hea ülevaate ka uuritavate objektide kütteenergia eritarbimistest (Tabel 6. 13). Hoonetes ventilatsiooni rekonstrueerides ei tagata samas praegu kehtivaid energiatõhususe miinimumnõudeid üheski uuritavas korterelamus. Kõige lähemal teoreetilisele erikulule on tellis + vahtpolüstüreen (133,3 kWh/m<sup>2</sup> × a) (Tabel 6. 12), millel välispiirete soojustamisele on renoveerimisel lähenetud komplekselt. Välispiirete täiendava soojustamise, akende-uste vahetusega ja õhuvahetuse (0,6 korda tunnis) tagamisega on „D“ energiatõhususe klassi saavutamisega probleem kõigis uuritavates hoonetes (Tabel 6. 18).

Kui korteriühistul oleks soov saavutada energiatõhususklass „C“, oleks hoone energiatõhususarv vastavalt maksimaalselt 150 (kWh/m<sup>2</sup>\*a).

$$\Phi_{kv} = \frac{150 - (36 \times 1,5) - (32 \times 0,9)}{0,9} = 74,7 [\text{kWh/m}^2\text{a}]$$

Niisuguse arvutuse korral saadud kütteenergia erikulu 75 (kWh/m<sup>2</sup> × a) on üksnes välispiirete soojustamise, akende-uste vahetuse ja ventilatsiooni tõhustamisega raske, kui mitte võimatu, saavutada. Selleks tuleb leida võimalusi väljatõmbeõhu soojuse kasutamiseks.



#### 6.4.4 Teoreetiline arvutusnäide ventilatsiooni väljatõmbeõhu soojuse kasutamine sooja tarbevee- ja kütteenergiaks

Näiteülesanne on teostatud kraadpäevade arvutusmetoodikaga [15] ning hoone mahulised näitajad vastavad reaalse objekti omale. Arvutusnäite eesmärgiks on vaadelda välispiirete soojustamise ja akende-uste vahetamisega saavutatavat energiasäästu. Rekonstrueerimise käigus tuleb tagada samaväärne õhuvahetus värskeõhuklappide rajamisega välisseintesse ning mehaanilise väljatõmbega.

Arvutusnäite teoreetilise arvutuse aluseks on võetud 5-kordne 60-ne korteriga tüüpne paneelilamu. Sisekliima kvaliteedi ja mugavuse tagamiseks on arvutustes kasutatud õhuvahetust 0,6 korda tunnis. Ülejäänud välispiirete soojusjuhtivuse tegurid vastavad keskmistele kolmkümmend aastat tagasi ehitatud suurpaneelilamu näitajatele. Täpsete vabasoojuskoormustega pole arvestatud vaid on lähtutud kraadpäevade leidmisel enne rekonstrueerimist tasakaalutemperatuurist 17 °C ja peale renoveerimist 15°C.

$$H_v = K \times V \times c \times \rho$$

$K$	[1/h]	- õhuvahetuse kordsus
$V$	[m <sup>3</sup> ]	- hoone ventileeritav kubatuur
$c$	[J/kg °C]	- õhu erisoojus (1005)
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	- õhu tihedus (1,2)
$H_{vp}$	[W/°C]	- hoone erisoojuskaod läbi välispiirete

$$H_{vp} = U \times A$$

$U$	[W/m <sup>2</sup> K]	- soojusjuhtivus
$A$	[m <sup>2</sup> ]	- välispiire pindala

Hoone erisoojuskaod läbi ventilatsiooni:

$$V = 8900 \text{ m}^3$$
$$K = 0,6 \text{ 1/h}$$

$$H_v = \frac{0,6 \times 8900}{3600} \times 1005 \times 1,2 = 1788,9 [\text{W}/^\circ\text{C}]$$

Hoone erisoojuskaod läbi välispiirete:

$A_{vs} = 1716 \text{ m}^2$	$U_{vs} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_{vs} = 1544,4 \text{ W}/^\circ\text{C}$
$A_a = 467 \text{ m}^2$	$U_a = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_a = 1260,9 \text{ W}/^\circ\text{C}$
$A_u = 7,6 \text{ m}^2$	$U_u = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_u = 20,5 \text{ W}/^\circ\text{C}$
$A_k = 777 \text{ m}^2$	$U_k = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_k = 621,6 \text{ W}/^\circ\text{C}$
$A_p = 777 \text{ m}^2$	$U_p = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_p = 543,9 \text{ W}/^\circ\text{C}$
$H_{vp} = 3991,3 \text{ W}/^\circ\text{C}$		

$$H = H_v + H_{vp}$$

$H$	[W/°C]	- hoone erisoojuskaod
$H_v$	[W/°C]	- hoone erisoojuskaod läbi ventilatsiooni

$$H = 1788,9 + 3991,3 = 5780,2 (\text{W}/^\circ\text{C})$$

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

$$\Phi_{kv} = \frac{(H \times KP \times 24 \times 10^{-3})}{A_{kp}} = [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

$KP$  [ $^{\circ}\text{C/d}$ ] - kraadpäevad

$A_{kp}$  [ $\text{m}^2$ ] - köetav pind

$$\Phi_{kv} = \frac{(5780,2 \times 4220 + \times 24 \times 10^{-3})}{3294} = 178 [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

Hinnates antud hoone energiatõhusust koos soojatarbevee erikulu ja elektrienergia erikuluga vastavalt punktis 6.1.1 toodule saame välja arvutada hoone energiatõhususarvu,

$$ET / KEK = \Phi_{el} \times kt + \Phi_{kv} \times kt + \Phi_{sv} \times kt$$

$$ET / KEK = 36 \times 1,5 + 178 \times 0,9 + 32 \times 0,9 = 243 [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

mis annab meile hoone energiatõhususe klassiks „E“. Antud hoone kõik välisseinad (kaasa arvatud rõdutagused) ja sokkel soojustatakse 150 mm soojusisolatsiooni kihiga mille soojuseri juhtivus on  $0,04 \text{ W/m} \times ^{\circ}\text{C}$ . Katusele lisatakse 200 mm soojusisolatsiooni ning hoone kõik aknad vahetatakse välja kaasaegsete pakettakende vastu, mille soojusjuhtivus on  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Õhuvahetuse kordarv jääb samaks, seega ka ventilatsiooni erisoojuskadu, muutuvad välispiirete soojusjuhtivused ning seoses sellega ka välispiirete erisoojuskadu.

Hoone erisoojuskaod läbi välispiirete:

$$A_{vs} = 1716 \text{ m}^2 \quad U_{vs} = 0,205 \text{ W/m}^2\text{K} \quad H_{vs} = 353,5 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$A_a = 467 \text{ m}^2 \quad U_a = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K} \quad H_a = 747,4 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$A_u = 7,6 \text{ m}^2 \quad U_u = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K} \quad H_u = 12,2 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$A_k = 777 \text{ m}^2 \quad U_k = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K} \quad H_k = 124,3 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$A_p = 777 \text{ m}^2 \quad U_p = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K} \quad H_p = 155,4 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$H_{vp} = 1392,8 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

$$H = 1788,9 + 1392,8 = 3181,7 \text{ (W/}^{\circ}\text{C)}$$

$$\Phi_{kv} = \frac{(3181,7 \times 3577 + \times 24 \times 10^{-3})}{3294} = 83 (\text{kWh/m}^2 \times \text{a})$$

$$ET / KEK = 36 \times 1,5 + 83 \times 0,9 + 32 \times 0,9 = 157,5 [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

Saavutatav energiasääst on

$$\eta = \frac{243 - 157,5}{243} \times 100 = 35,2\%$$

Sellest arvutusest võib järeldada, et üldiselt pole võimalik kogu energia eritarbimisest välispiirete soojustamise ja akende-uste vahetamisega üle 40% saastu saavutada. Lahendust vajab ventilatsiooni väljatõmbe soojuse kasutamine, kas sissepuhkeõhu soojendamiseks või väljatõmbe õhu soojuse soojuspumba vahendusel kasutamine soojatarbevee valmistamiseks ja kütteks. Väljatõmbeõhu soojuse kasutamine sissepuhke õhu soojendamiseks nõuab hoones ümberehitustöid. Suurpaneel-korterelamute uuringu lõppraportis toodud variantlahendused soojustagastiga ventilatsioonisüsteemides, kus korteris paikneb individuaalne seade nõuab torustike paigalduseks lae all ruumi. Kõrguse 2,5 m juures topelt lae allapoole toomine, aga pole visuaalselt sobiv. Variantlahendus, kus eluruumides asuvad välisseintesse rajatud väikesed soojusvahetitega agregaadid tekitavad samal ajal müra, mis raskendab nende

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

paigaldamist magamistubadesse. Antud lahendusvariandid on teostatavad ning võimaldavad olulist energiasäästu, kuid häirivad seejuures elanike mugavust. Variantlahendusena sobiks hoonesse rajada nn soojustagastusega süsteem, kus väljatõmbeõhu soojust kasutatakse soojatarbevee soojendamiseks ja kütteks soojuspumba vahendusel. Väljatõmme tagatakse väljatõmbe ventilaatoritega.

Arvutame välja sama hoone teoreetilise soojuspumbaga saadava energia koguse.

$$Q_v = \frac{K \times V}{3600} \times c \times \rho \times \Delta t = [\text{W}]$$

$Q_v$  [W] - soojuspumba genereeritav võimsus

$\Delta t$  [°C] - väljatõmbeõhu ja soojuspumba läbinud õhu temperatuuride vahe

$$Q_v = \frac{0,6 \times 8900}{3600} \times 1005 \times 1,2 \times 10 = 17889 [\text{W}]$$

Hoone arvestuslik soojatarbevee erikasutusest lähtuvalt saame välja arvutada keskmise tunni soojuskoormuse.

$$Q_{sv} = \frac{\Phi_{sv} \times A_{kp}}{365 \times 24} = [\text{W}]$$

$$Q_{sv} = \frac{32 \times 10^3 \times 3294}{365 \times 24} = 12033 [\text{W}]$$

Sellest arvutusest võib järeldada, et soojuspumbaga on võimalik väljatõmbeõhu soojustega tagada sooja tarbevee soojendamine ning kütteperioodil osaliselt energiat suunata ka küttesüsteemi.

$$Q_{jkv} = Q_v - Q_{sv}$$

$Q_{jkv}$  [W] - jääk küttevõimsuseks

$$Q_{jkv} = 17889 - 12033 = 5856 [\text{W}]$$

Arvestuslikult võtame aluseks, et antud energiat on võimalik kasutada hoone kütteks aastas 7-kuulisel perioodil. Arvutame välja soojuspumba poolt toodetud kütteenergia erikulu kütteks aastaks

$$\Phi_{kvsp} = \frac{Q_{jkv} \times 7 \times 30 \times 24}{A_{kp}} = [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

$\Phi_{kvsp}$  (kWh/m<sup>2</sup> × a) - soojuspumba poolt toodetud energia kütteenergiaks

$$\Phi_{kvsp} = \frac{5856 \times 10^{-3} \times 7 \times 30 \times 24}{3294} = 9 [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

Teades soojuspumba COP-d saame välja arvutada uue energiatarbimise. Näites võtame COP väärtuseks 3,6. Soojuspump kasutab primaarenergiana elektrienergiat. Väljatõmmatava õhu soojust kasutamiseks soojavee tootmiseks ja ka osaliselt kütteks. Tuleb elektrienergia primaarenergiana kasutada energiakandja kaalumistegurit 1,5.

$$ET / KEK = \Phi_{el} \times kt + (\Phi_{kv} - \Phi_{kvsp}) \times kt + \frac{\Phi_{kvsp}}{COP} \times kt + \frac{\Phi_{sv}}{COP} \times kt$$

$$ET / KEK = 36 \times 1,5 + (83 - 9) \times 0,9 + \frac{9}{3,6} \times 1,5 + \frac{32}{3,6} \times 1,5 = 137,7 [\text{kWh/m}^2 \text{a}]$$

$$\eta = \frac{243 - 137,7}{243} \times 100 = 43,3\%$$

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Näite kokkuvõtteks võib järeldada, et keskmise kortermaja energiasäästu üle 40% saavutada on raske. Selleks on üks võimalikke rekonstrueerimislahendusi lisaks soojustamisele, ventilatsiooni väljatõmbeõhu energia ära kasutamine. Energia säästmine õhuvahetuse vähendamisega ei ole lubatud tervisliku sisekliima tagamiseks eluhoonetes.

Energiasäästu saavutamine üle 50% on sama tüüphoone põhjal raske. Rida rekonstrueerimislahendusi, mis puudutab hoone piirdetarindite veel soojapidavamaks muutmist, on võimalik kasutada kolme- või neljakordse klaaspaketiga aknaid ning lisasoojustus täiendada 50 mm võrra. Näites kasutatud väljatõmbeõhu soojuspumpa, kus õhuvool läbib soojusvahetit, jahtub õhk soojuspumba kontuuris liikuva külmaagensi mõjul orienteeruvalt 10 kraadi. Kui soojusvahetist on võimalik suuremat temperatuuride vahet kätte saada on võimalik soojuspumba toodetud soojust kütteks suuremal määral kasutada. Samuti sõltub kasutatava soojuse hulk soojuspumba COP väärtusest ja süsteemi ehitusest.

Kindlasti kehtib antud arvutusnäide juhul kui rekonstrueerimise käigus muudetakse küttesüsteem reguleeritavaks ja tasakaalustatakse, mis tagab hoonetes võimaliku maksimaalse vabasoojuse tõhusa kasutamise.

### 6.5 Kokkuvõtte energiatarbe analüüsist

Uuringu põhjal võib öelda, et hoonete rekonstrueerimise kavandamisel ja töö tegemisel jäetakse reeglina lahendamata ventilatsioonisüsteemi küsimus. Seda tehakse kas teadmatusel, tööde keerukusest või asjaolust, et ventilatsiooni renoveerides ja kvaliteetse siseõhu tagamisel eluruumides ei saavutata energiasäästu ning rekonstrueerimistööd energiakulude vähenemisele mõju ei avalda. Esiplaanile on seatud hoone välispiirete soojustamine ning akende ja uste vahetus. Selle tulemusena on hoonetes õhuvahetus vähenenud. Kokkuvõttes annab see küll energiasäästu, kuid halvenenud sisekliima arvelt. Olemasolevates hoonetes suureneks õhuvahetuse tagamisega kütteenergia eritarbimine kõigis hoonetes orienteeruvalt 25%. Energiatõhususe miinimumnõuete järgi on nõutud rekonstrueeritavatele hoonetele minimaalselt „D” energiataõhususklassi ( $200 \text{ kWh/m}^2 \times \text{a}$ ). Uuritud hoonete ventilatsiooni tagamist „D” klassi välispiirete lisasoojustamiseta saavutada pole võimalik. Energiatõhususklassi „C” ( $150 \text{ kWh/m}^2 \times \text{a}$ ), tuleks leida lisaks hoone välispiirete lisasoojustamisele võimalusi ventilatsiooni väljatõmbeõhu soojuse kasutamiseks hoone sooja tarbevee ja/või kütteenergiaks. Võimaliku variantlahendusena on uuringu aruandes käsitletud soojuspumba vahendusel energia andmist hoone energiasüsteemidele. Variantlahenduse tegeliku energiasäästu hindamiseks tuleb teha täiendavad uuringud reaalse objekti näitel.

Uuritavate hoonete välisseinte soojusisolatsiooni paksus 100 mm pole piisav energiataõhususe miinimumnõuetes esitatud seinakonstruktsiooni soojusjuhtivusteguri saavutamiseks ( $0,25 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ ) ja võimalusel on soovitatav kasutada 150 mm või paksemat soojusisolatsiooni kihti. Uuritavate hoonete korral võib esitada ka probleemi, et hoone välispiirete soojustamist ei ole tehtud komplekselt. Uuritud paneelkortermajades on jäetud soojustamata rõdude ja lodžade tagused, mis moodustavad kogu välisseinte pindalast orienteeruvalt 45%, see aga mõjutab oluliselt hoone kütteenergiatarvet.

## 7 Elanike küsitluse tulemuste analüüs

Uuringu käigus on ankeediküsitlus läbiviidud intervjuu vormis, kus küsimustele vastused andsid elanikud ise. Vastused on saadud kõigilt 12 korteriomanikult. Ankeedid olid piisavalt mahukad, sisaldades küsimusi korteri tehnilise seisundi, ruumide kasutuse ja rahulolu ning ruumide sisekliima kohta. Vastanute hulgas olid kõik omatarbe-kasutajad ehk omanikud, kellest mõned olid elanud majas alates hoone ehitamisest ja mõned vaid aasta.

Keskmiselt on küsitletav elanud uuritavas korteris 11 aastat ning elanike arv keskmiselt korteri kohta oli 2,9. Kõikide korterite kasutusintensiivsus on nii suvel kui talvel praktiliselt sama.

Uuringust selgus, et kõikides korterites on tehtud erineva mahu ning kvaliteediga renoveerimistöid, põhiliselt on vahetatud vanad aknad uute PVC akende vastu, millest 12-s uuringus osalevast korterist on osaliselt või täielikult vahetatud vanad aknad uute vastu 11. Ühes korteris ei olnud hoone aknaid alates hoone ehitamisest vahetatud. Kortertes on teostatud veel WC/vannitoa remonte, soojustatud kortereid seestpoolt ning uuendatud siseviimistlust.

9-s korteris kurdetakse aknapindade uduseks muutumise üle, mis suures osas tähendab, et eelnev vanadest ebatihedatest akendest tulenev õhuvahetus on veel minimaalsemaks viidud. 4-s korteris esineb vastanute väitel hallitust. 8-s kuivatatakse pesu 1-3 korda nädalas siseruumides ning kõikides korterites on loomulik ventilatsioon, millest 7-s oli paigaldatud mehhaaniline väljatõmme köögist või sanitaarruumist. Üheski korteris pole seintes värskeõhuklappe. Enamik ankeetiküsitlusele vastanutest tõid välja probleeme sisekliimaga. Praktiliselt kõik küsitletud kurdavad õhu umbsuse üle, kuid siseõhu kvaliteet hinnati lõppkokkuvõttes nii kütteperioodil kui suveperioodil rahuldavaks, mis tagatakse akende avamisega ja regulaarse tuulutamisega. Enamik vastanutest ei kurda tervikuna terviseprobleemide üle. Kaks vastanut kurtis uimasuse üle, kaks astmaatiliste ja allergiliste sümptomite üle, mis väljendub kurgu kuivuse ja kõhana. Üks inimene kurtis silmade kipituse ja peavalu üle. Sisekliima parandamiseks on küsitletutest ühe korteri omanikud kasutusele võtnud õhuniistuti.

4-s korteris 12-st hinnati siseõhu temperatuuri talveperioodil sobilikust madalamaks ja 4-s kõrgemaks. Suveperioodil hinnati 4-s korteris siseõhu temperatuuri sobilikust kõrgemaks. Ühelgi uuritavatest korteritest ei olnud radiaatoritel termostaatventiile ruumitemperatuuri reguleerimiseks.

6-s korteris kurdeti müraprobleemide üle, millest 3-s korteris kurdeti olmemüra kostuvust läbi vahelae, 1-s läbi vaheseinte ja 2-s korteris läbi vahelagede ja vaheseinte. Tehnosüsteemidest tuleneva müra üle ei kurtnud keegi tulenedes ilmselt sellest, et müra tekitavaid tehnoseadmeid nendes kortermajades praktiliselt ei olegi. Ventilatsioon on nõ loomulik ning küttes puudub automaatika ja selle juhtimine.

Päevavalguse piisava puudumise üle koridorides kurdavad 6 küsitletut ning vähese valguse üle korteris kolm vastanut.

## 8 Renoveerimistöde maksumuse hindamine ja tehnilis-majanduslik põhjendus

Projekti raames läbiviidud ehitusmajandusliku analüüsi põhieesmärgiks oli tehnilistest uuringutest tulenevate parandusmeetmete majanduslik hindamine. Teada saamiseks lõppresultaati, tuleb püüda hinnata meetmete investeerimis- ja kasutuskulusid. Tasuvusarvutuste põhieesmärk on leida majanduslikult kõige otstarbekam tehniline lahendus.

Töid teostades tuleb arvesse võtta seda, et energiasäästu ei tohi kunagi saavutada sisekliima kvaliteedi arvelt. Kui leitakse võimalus ja kokkulepe elanike hulgas renoveerimaks hoone komplekselt ja sisekliima parameetreid arvesse võttes, ei pruugi saavutatav tulemus olla veel rahuldav - eksploatatsioonis oleva hoone elanike käitumine mõjutab oluliselt hoone tehnilist seisukorda.

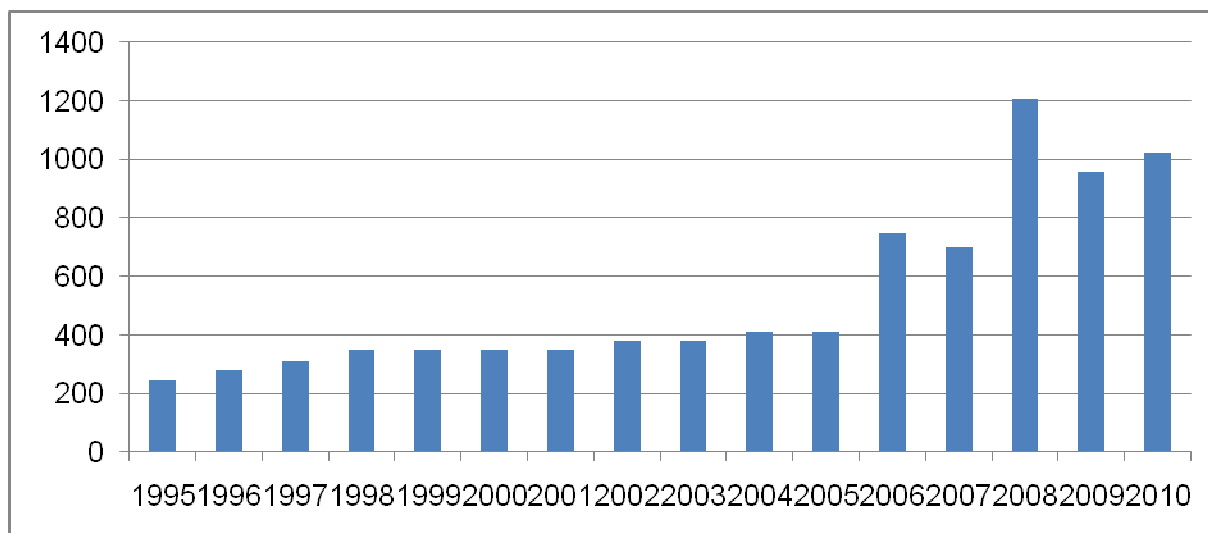
Selleks, et analüüsida läbiviidud remonditöid, tuleb selgeks teha mõjutegurid, mis mängivad olulist rolli tasuvusarvutustes. Eelkõige on olulisteks teguriteks remonditööde hinna ja energiahinna dünaamika (, Joonis 8. 3 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi muutus aastatel 1998-2010 (1997=100)).

Tabel 8. 1 Kütteenergia hind (allikas: Tallina Küte), Tabel 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeks 1997=100 (allikas: Statistikaamet), Joonis 8. 1 Kütteenergia hinna muutus aastatel 1995-2010 (allikas: Tallinna Küte), Joonis 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi dünaamika aastatel 1998-2010 (1997=100), Joonis 8. 3 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi muutus aastatel 1998-2010 (1997=100)).

Tabel 8. 1 Kütteenergia hind (allikas: Tallina Küte)

Aasta	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
kr/MWh	244	281	311	349	349	349	349	379

Aasta	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
kr/MWh	379	410	410	474	700	1208	955	1022

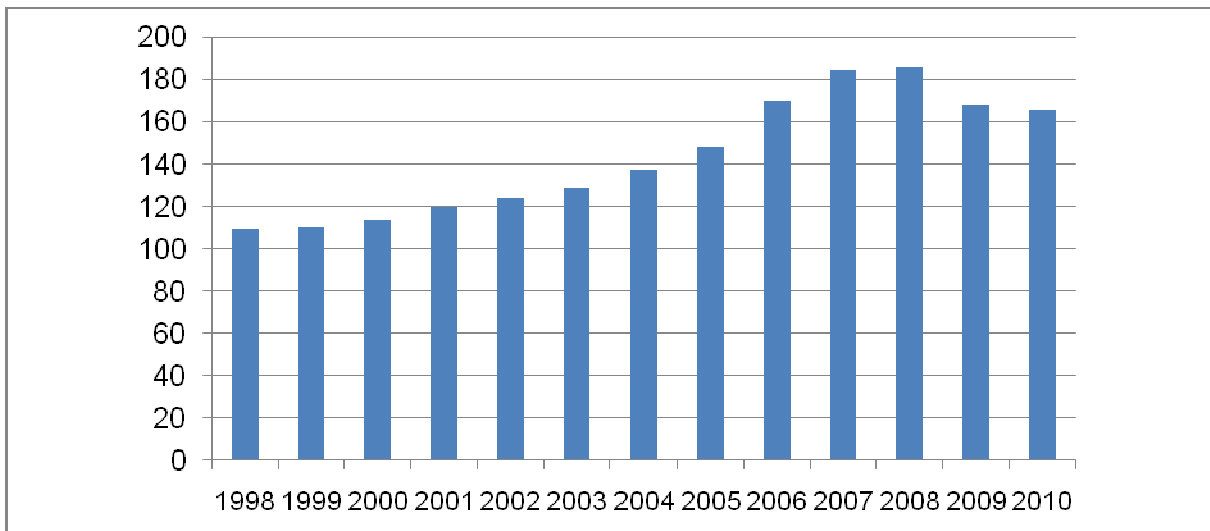


Joonis 8. 1 Kütteenergia hinna muutus aastatel 1995-2010 (allikas: Tallinna Küte)

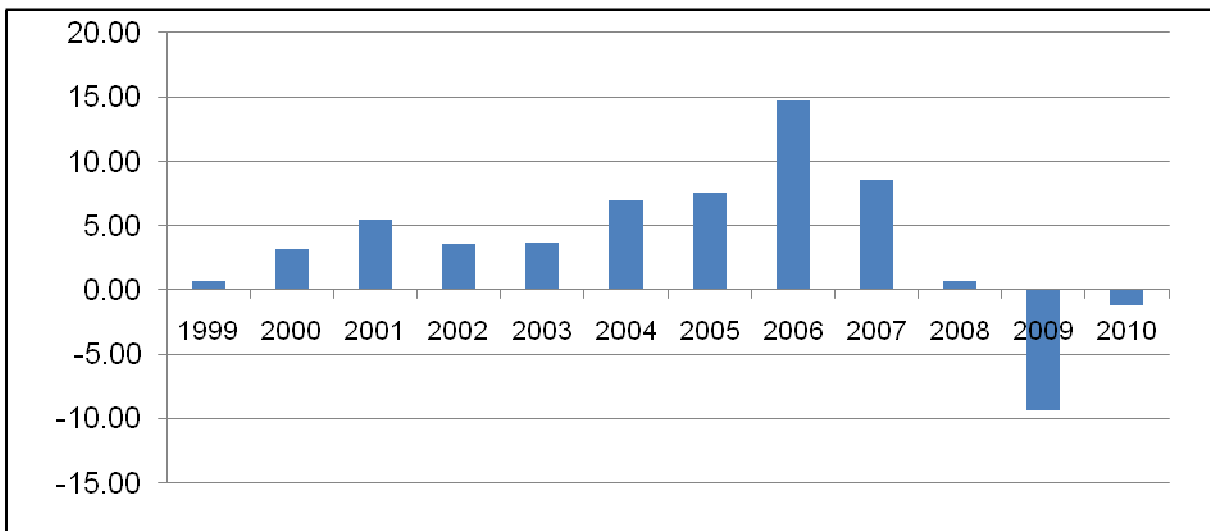
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeks 1997=100 (allikas: Statistikaamet)

Aasta	Indeks	Muutus võrreldes eelneva aastaga
1998	109,31	
1999	110,07	0,70
2000	113,53	3,14
2001	119,75	5,48
2002	123,99	3,54
2003	128,49	3,63
2004	137,44	6,97
2005	147,84	7,57
2006	169,60	14,72
2007	184,11	8,56
2008	185,45	0,73
2009	167,98	-9,42
2010	165,90	-1,24



Joonis 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi dünaamika aastatel 1998-2010 (1997=100)



Joonis 8. 3 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi muutus aastatel 1998-2010 (1997=100)

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Eelpool toodud andmetest on näha, et viimase kümne aasta jooksul on energiahind oluliselt tõusnud ning viimasel paaril aastal on esinenud olulist energiahinna kõikumist. Kuna uuritud hoonetes oli remonditööd teostatud põhiliselt aastatel 2002-2008, on tegelik energiasäästule suunatud remonditööde meetmete tasuvusaeg lühenenud. Lähimateks aastateks võib prognoosida kütteenergiiahinna stabiliseerumist praegusel tasemel või mõõdukat tõusu keskmiselt kuni 5% aastas.

Remonditööde hind (Tabel 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeks 1997=100 (allikas: Statistikaamet), Joonis 8. 2 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi dünaamika aastatel 1998-2010 (1997=100), Joonis 8. 3 Remondi- ja rekonstrueerimishinna indeksi muutus aastatel 1998-2010 (1997=100)) tõusis aastatel 1998-2008 summaarselt 70%. Pärast nõ ehitusbuumi lõppu on ka remonditööde hinnad oluliselt langenud ja jõudnud tänaseks päevaks umbes 2005.aasta tasemele. Lähimaks paariks aastaks võib prognoosida remonditööde hindade mõõdukat kasvu kuni 10% aastas.

### 8.1 Ehitusmajandusliku analüüsi meetoodika

Ehitusmajandusliku analüüsi koostamisel on lähtutud järgmisest meetoodikast:

On valitud uuringus esinevad hoonetüübid:

- paneel+vahtpolüstüreen (B-1.1);
- tellis+vahtpolüstüreen (B-2);
- tellis+vill (B-3);
- paneel+vill (B-4).

Vastavalt elamute tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele (Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad), (vt. ka ptk. 6.4.1) koostati ehitusmahtude arvutus.

Täiendavates renoveerimispakettides sisalduvad tööd:

B-1.1 (paneel+vahtpolüstüreen)

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojuse kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
3. Rõdutaguste seinte ja sokli soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga.
4. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

B-1.2 (paneel+vahtpolüstüreen)

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojuse kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
3. Olemasoleva seina uuesti soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga.
4. Rõdutaguste seinte ja sokli soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga.
5. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

B-1.3 (paneel+vahtpolüstüreen)

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojuse kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
3. Välisseina ja sokli soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga.
4. Rõdutaguste seinte ja sokli soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga.
5. Katuse soojustamine 150 mm villaga.
6. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

B-2 (tellis+vahtpolüstüreen)



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojust kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
3. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

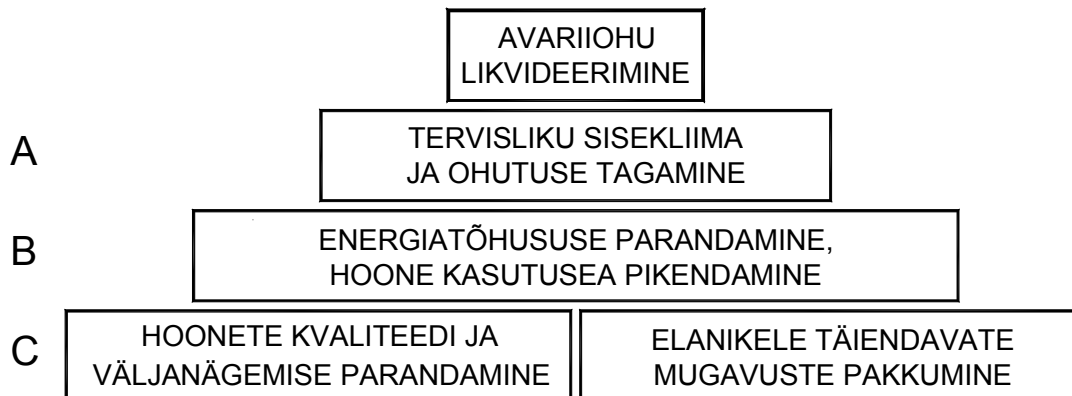
### B-3 (tellis+vill)

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojust kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
3. Lodžade kinniehitamine, kus aknad paigaldada lodžade ette ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
4. Katuse soojustamine 150 mm villaga.
5. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

### B-4 (paneel+vill)

1. Ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimine - värskõhuklappide paigaldamine välisseintesse ning mehhaanilise väljatõmbe soojust kasutamine soojuspumba vahendusel sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks.
2. Vanade akende vahetus uute pakettakende vastu ( $U_{\min} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
3. Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm villaga.
4. Sokli soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga.
5. Küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine.

Renoveerimislahendused võib jagada järgmisteks pakettideks (Joonis 8. 4 Renoveerimistöde otsustusmudeli komponendid): A, B, C (vt. ka ptk. 6.4).



Joonis 8. 4 Renoveerimistöde otsustusmudeli komponendid

Juba olemasolevate renoveeritud hoonete suurema energiasäästu ja parema sisekliima tagamiseks on tulenevalt energiaandmetest välja valitud optimaalsed tehnilised lahendused. Kuna hooneid on renoveeritud, siis täiendavad ettepanekud ei eelda suuremaid muudatusi juba tehtud töödes. Lisatud on igale hoonele üks renoveerimispakett, kuna igas hoones on läbi viidud renoveerimistööd ning energiasäästu parandamiseks jäänud vähe valikuid.

Tasuvusarvutusi tehes pakettides B-1.1, B-1.3, B-2, B-3 ja B-4 ei ole arvestatud eelneva pangalaenuga. Eelnev pangalaen on pakettis B-1.2 on arvesse võetud.

Tasuvusarvutusi tehes peab alati arvestama teostatud renoveerimismeetme elueaga. Kui meetme eluiga on lühem kui tasuvusaeg, siis ei ole selline meede ilmselgelt soovitatav. Kuid antud reeglilt ei saa rakendada alati – hoonete avariihtlikud olukorrad tuleb likvideerida olenemata nende tööde tasuvusest.

Senistes energiasäästumeetmetes on jäetud välja ehitamata ventilatsioonisüsteem. Olenemata süsteemi ehituse hinnast, tuleb vastav töö teostada likvideerimaks avariihtlik teket. Antud uuringus on välja pakutud ventilatsiooni soojuspump, mille väljatõmbe soojust kasutatakse sooja tarbevee süsteemis vee soojendamiseks ja kütteks, millega saavutatakse pakettide

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

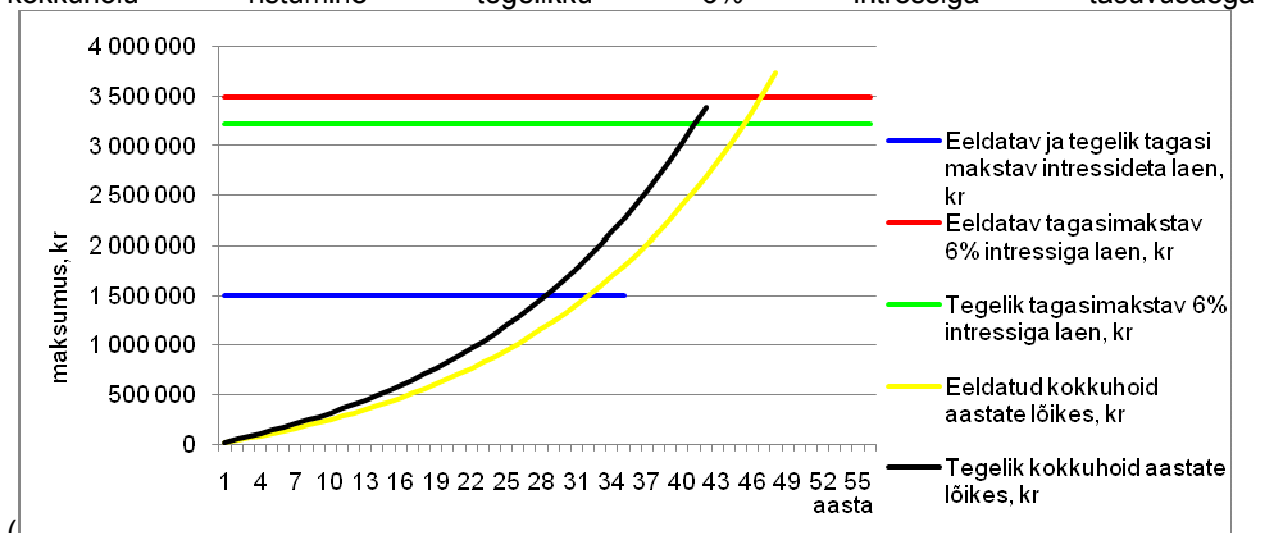
põhisääst. Uuringus olevate objektide puhul annab osalist energiasäästu välispiirete soojajuhtivuse parandamine. Näiteks, kogu välisseina mahus on soojustamata jäetud lodžaseinad, mille maht võrreldes kogu pinnaga on kuni 45%. Kõige viimasena tuleb teostada küttesüsteemi reguleeritavaks viimine ja tasakaalustamine. Töö tulemusena suureneb termiline mugavus ja avaneb võimalus energia kokkuhoiuks, sääst võib kujuneda kuni 5% suuruseks. Temperatuur korterites keskmiselt alaneb ning väheneb alakõetud ja ülekõetud korterite osakaal.

Eraldi on täpsema uurimise alla võetud hoone paneel+vahtpolüstüreen erinevate lahenduste, (Tabel 8. 7, Tabel 8. 8, Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistöid ei ole siiani tehtud, Tabel 8. 10 Arvestades Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistöid ei ole siiani tehtud saadud ehitusmaksumust ning energiasäästu.) leidmine.

Esimese variandina on pakutud renoveerimispaketile lisaks etteantud olemasoleva 100 mm soojustuskihi eemaldamine ning asendamine 200 mm villakihiga (Tabel 8. 7 Lisaks Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad nimetatule, olemasolev soojustus demonteerida ning lisada uus 200 mm kiht. Tabel 8. 7 Lisaks Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad nimetatule, olemasolev soojustus demonteerida ning lisada uus 200 mm kiht., Tabel 8. 8 Arvestades Tabel 8. 7 Lisaks Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad nimetatule, olemasolev soojustus demonteerida ning lisada uus 200 mm kiht. saadud ehitusmaksumust ning energiasäästu.). Tasuvusarvutustes on arvestatud sellega, et eelnevate energiasäästu pakutavate tööde teostamiseks on võetud pangalaen, mille tagasimaksmine jätkub.

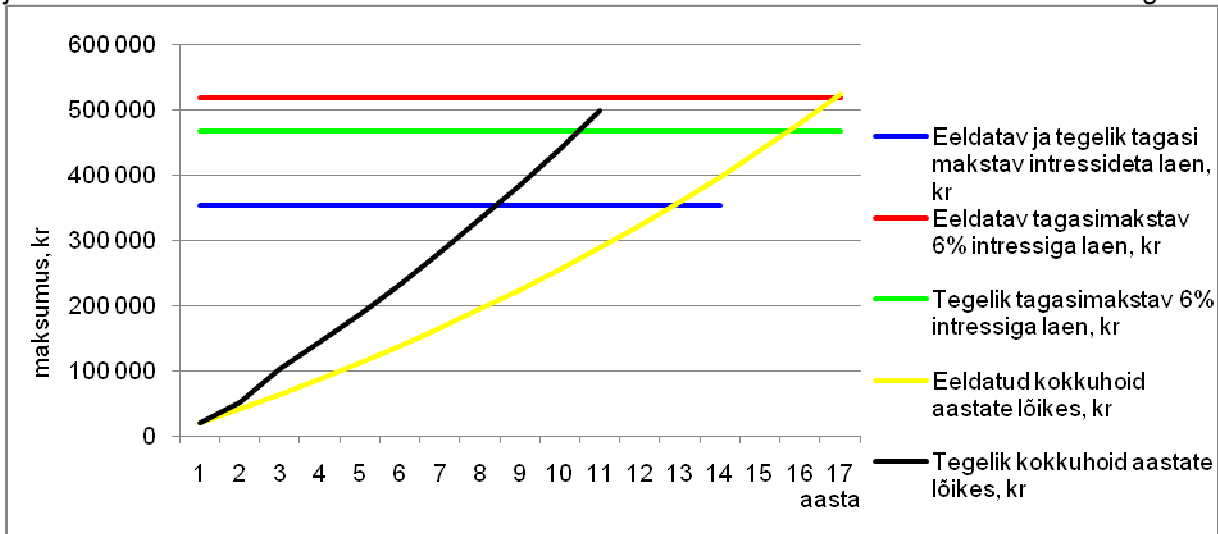
Teist varianti (Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistöid ei ole siiani tehtud, Tabel 8. 10 Arvestades Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistöid ei ole siiani tehtud saadud ehitusmaksumust ning energiasäästu.) on võimalus kasutada korterühistutel, kes pole korterelamu rekonstrueerimist alustanud. Selline lahendus on kõige soovitatavam, kuna korruga tehtud tööd on tehniliselt ja majanduslikult otstarbekamad kui aja jooksul üksikute tööde kaupa realiseeritud.

Analüüsitud on paneel+vahtpolüstüreen hoone näitel teostatud tööde eeldatud ja tegelikke tasuvusaegu. Tasuvusarvutusi tehes ei ole arvestatud maksumuste leidmises individuaalseid investeeringuid inimeste korterites (nt akende vahetus) vaid ühistul võetud üldine laenukoormus. Joonistel tähistavad tagasi makstava intressideta laenu ja aastate lõikes eeldatava kokkuhoiu ristumine eeldatavat lihttasuvusaega; eeldatava 6% intressiga tagasimakstava laenu ja aastates eeldatava kokkuhoiu ristumine eeldatavat 6%-lise intressiga tasuvusaega; tagasi makstava intressideta laenu ja aastate lõikes tegeliku kokkuhoiu ristumine tegelikkude lihttasuvusaega ning tegeliku 6% intressiga tagasimakstava laenu ja aastates tegeliku kokkuhoiu ristumine



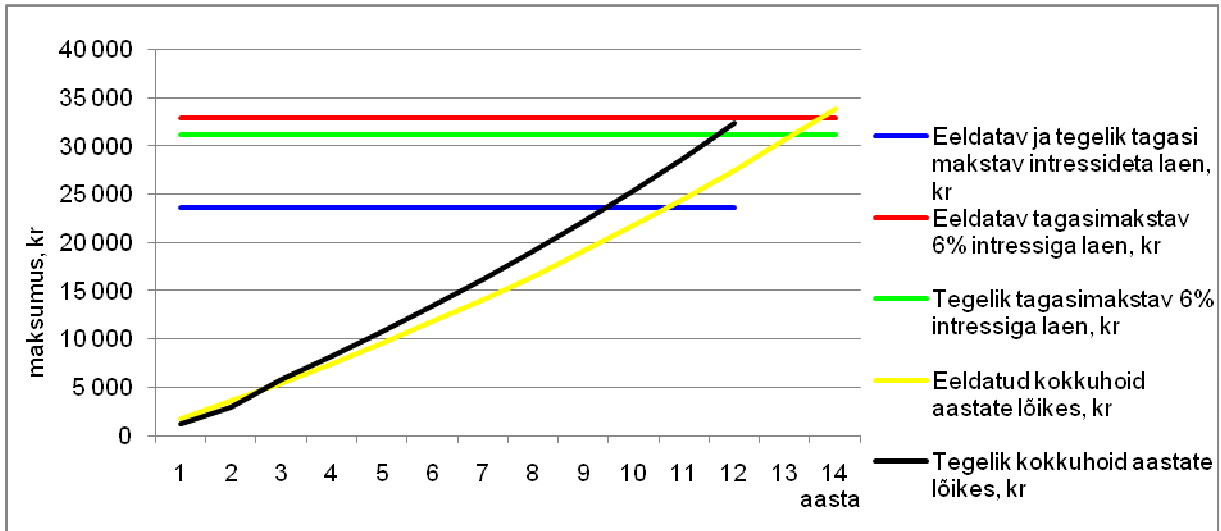
Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Joonis 8. 7 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud välisseina investeeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.,



Joonis 8. 8 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud katuse investeeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.,

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 8. 9 Paneel+vahtpolüstüreen, trepikoja vahetatud akende investeeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.)

Tehtavate tööde maksumuste määramisel kasutatakse konstruktiivemendi maksumuse määramise meetodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjoud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, kasumit ja käibemaksu.

Ökonoomikaarvutustes kasutatavate sisendandmete puhul lähtutakse järgnevalt:

- hoone renoveerimiseks võetava laenu tagasimakset arvestatakse lihttasuvusajana ehk ilma intressideta ning intressimäär kasutamisel lähtutakse 5%; 7,5% ja 10% intressimäärast valitud laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimakse perioodiks on valitud 10 ja 15 aastat;
- energiakandja hinnaks on võetud AS Tallinna Kütte poolt kehtivale hinnakirjale arvutuse tegemise hetkel (2010.a august) kehtinud hind 1021,66 kr/MWh ja Eesti Energia poolt kehtivale hinnakirjale (2010.a august) kehtinud hind 1490 kr/MWh.;
- lihttasuvusaja (st ilma intressideta arvutus) arvutustes eeldatakse energiahinna tõusu 5% aastas ning ei arvestata investeeringute tegemiseks võetud laenu intressimääraga;
- võrdlusarvutustes eeldatakse energiahinna tõusu keskmiselt 5% aastas ning intressimäärasid 0% (ehk lihttasuvusaeg), 5%, 7,5% ja 10%;

Renoveerimispakettide maksumused ja energiasääst väljendatakse järgnevalt:

- renoveerimispaketi üldmaksumus, kr;
- renoveerimispaketi maksumus hoone köetavale pinnale, kr/m<sup>2</sup>;
- renoveerimispaketi elluviimisega saavutatav energiasääst, MWh/aastas;
- laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale, kr/m<sup>2</sup>.

Arvutustulemuste esitamise täpsus on käesolevas töös järgmine:

- renoveerimispaketi ühikmaksumus krooni täpsusega (nt. 1534 krooni/m<sup>2</sup>);
- lihttasuvusaeg täpsusega aasta (nt. 8 aastat).

Märkused renoveerimistöde maksumuste kalkulatsiooni kohta:

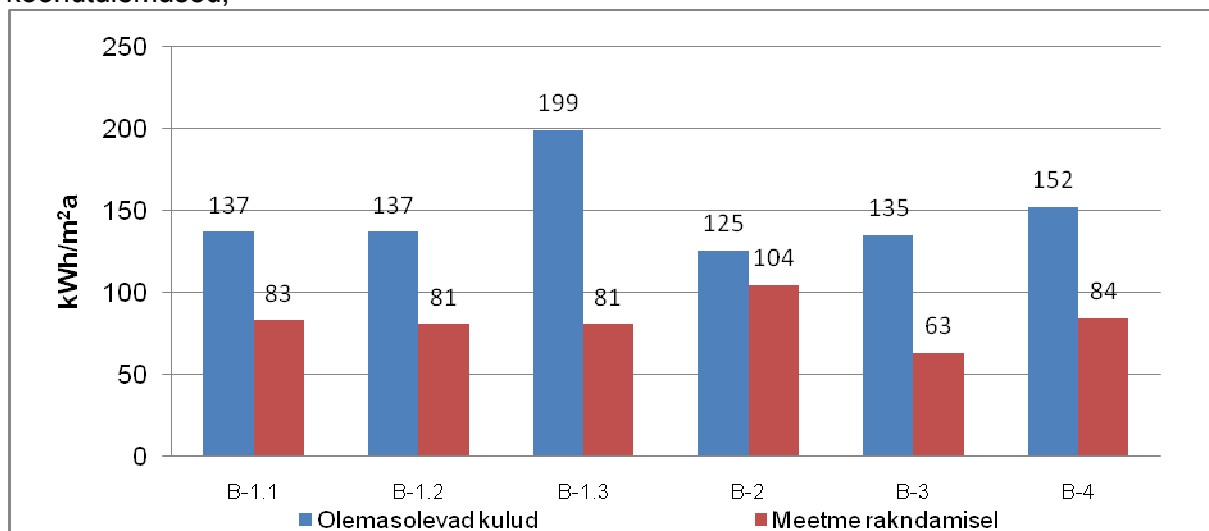
- arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb analoogobjektide tegelikest hinnapakkumistest ning lisaks on küsitud ka konkreetsete hoonete osas ehitustöödele tehtud hinnapakkumisi ja on kasutatud ka hinnainfot tööde tegelikust maksumusest sarnastel objektidel;
- mahuarvutuse tegemisel, energiasäästu arvutamisel ning tööde pakettideks jaotamisel on abimaterjalidena kasutatud näidiselamutele tehtud energiaauditeid;
- arvutustes, kus on arvestatud pangalaenu intressiga, eeldatakse, et renoveerimist rahastatakse täies mahus laenurahaga;

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

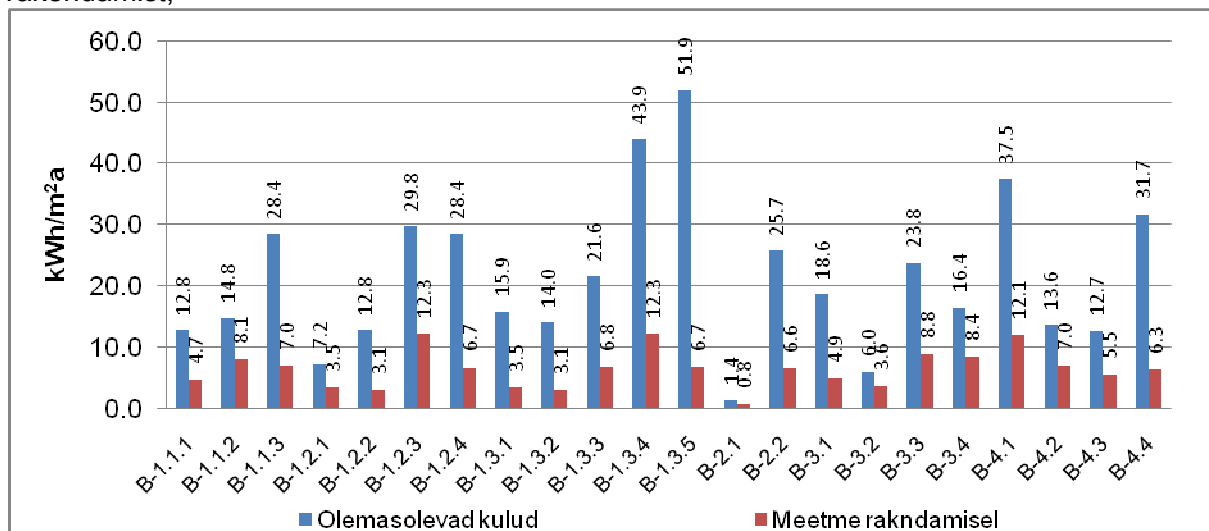
- kui meede viiakse ellu täies ulatuses, eeldatakse olukorda, et eelnevalt ei ole meetme osas töid tehtud;
- arvutused ei sisalda projekteerimiskulusid, lubade ja kooskõlastuste taotlemisega seotud kulutusi; need kulutused on samas vajalikud, kuid neid tuleb arvestada täiendavalt meetmete elluviimisel ning need kulud katab (tavaliselt) renoveerimistööde tellija;
- kulutusi elektrienergia Maksumusarvutuste koondtulemused ja vee tarbimisele meetmete elluviimise käigus [7].

### 8.2 Tulemused

- on Tabel 8. 3 Renoveerimistööde pakettide majandusliku põhjendatuse koondtulemused,



- Joonis 8. 5 Säästupotentsiaal pakettide kaupa. Vee soojendamisele, küttele, ventilatsioonile ja infiltratsioonile kuluv energiaerikulu enne ja pärast meetmete rakendamist,



- Joonis 8. 6 Säästupotentsiaal üksikute tööde kaupa. Küttele, ventilatsioonile ja infiltratsioonile kuluv energiaerikulu enne ja pärast üksikute tööde rakendamist. Arvutustes on arvestatud energiahinna tõusuga keskmiselt 5% aastas.
- Üldiselt kehtib reegel, et mida rohkem investeeritakse olemasolevate või tulevaste kulude vähendamiseks, seda rohkem need ka vähenevad. Samal ajal toob reeglina iga uus investeeringu lisasamm kaasa väiksema kulu vähenemise kui eelmine [17].
- Kui eelnevalt on hoonet renoveeritud ning aja jooksul tekkinud suurte kulude jätkudes vajadus täiendavalt renoveerida, on oluline teha korralik analüüs edaspidiseks

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

otsusteks. Üldjuhul on esimeses etapis võetud pangalaenu tagasimakstavad kulutused piisavalt suured, et maja elanikud täiendavat laenu maksta ei jõua või ei soovi.

- Üldjuhul on oluline hoone renoveerimistöid planeerides teada, et neid töid, mille eluiga on lühem kui arvutustes ilmnenu tasuvusaeg, ei ole mõistlik teha. Vastuvõetav tasuvusaeg võib hinnanguliselt olla maksimaalselt 10-15 aastat. Nelja elamu näitel (Tabel 8. 5 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide lihttasuvusaja arvutus) selgus, et kahel hoonel on kogu paketi lihttasuvuseks 10 ja 13 aastat, ülejäänutel vastavalt 19 ja 26 aastat, mis tähendab, kahel viimasel juhul meetmete eluiga on pikem kui tasuvusaeg. Kui arvestada panga poolt seatud intresse, siis tasuvusajad pikenevad veelgi (Tabel 8. 6 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide tasuvusaja arvutus laenuraha kasutades (intressimäär 5%, 7,5%, 10%)). Meetmeid eraldi realiseerides kogu sääst väheneb ja pikeneb tasuvus. Kuna aga iga pakett sisaldab avariohtliku olukorra vältimiseks ventilatsiooni välja ehitamist, siis meetme eluiga ei arvestata.

- Kõikides uuritud hoonetes on ära jäetud ventilatsiooni välja ehitamine, ehk on saavutatud energiasääst osaliselt sisekliima kvaliteedi arvelt. Vanades hoonetes oli õhuvahetus tagatud akende ebatihedusest tulenevalt, nüüd aga on enamus elanikest paigaldanud uued õhutihedad aknad, mis on viinud minimaalse õhuvahetuseni. Sellest tulenevalt jääb elutegevuse käigus eralduv liigniiskus suures osas välja juhtimata ning otsib kohta läbi hoone tarindite väljuda. Pikemas perspektiivis muudab ventilatsiooni mitte väljaehitamine hoone konstruktsiooni avariohtlikuks.

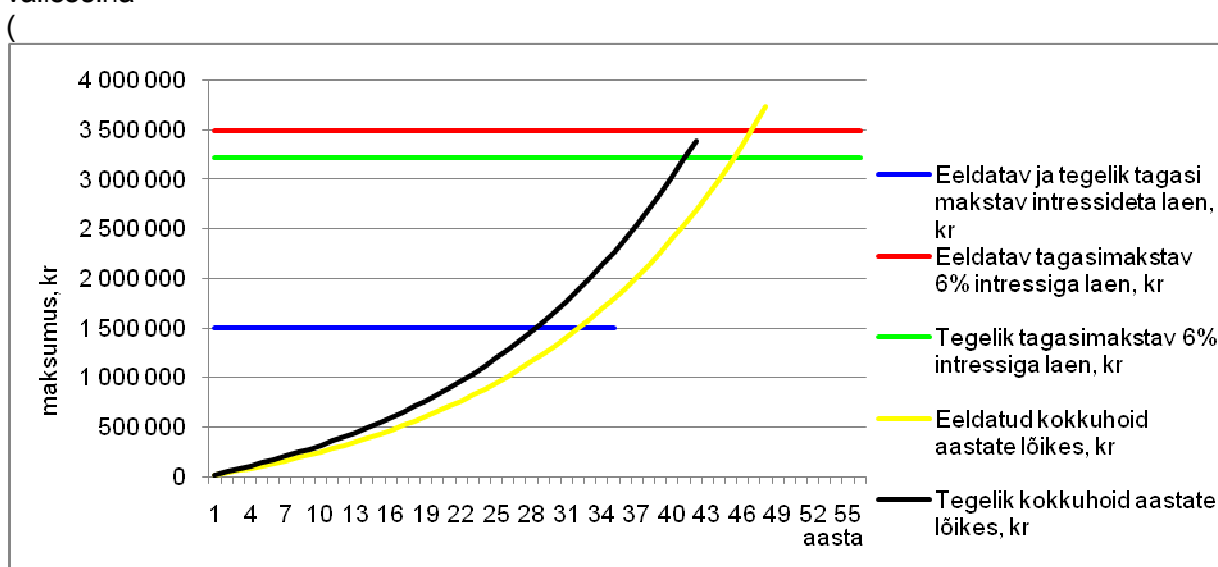
Lahendusena on välja pakutud ventilatsiooni soojuspumpa, mille väljatõmbe soojust kasutatakse soojatarbevee süsteemis vee soojendamiseks ja kütteks. Sääst kütteenegialt ja vee soojendamisel, kui õhuvahetuse kordarv on viidud normaalsele tasemele 0,6 korda tunnis, on 61 - 92 MWh/a. Lisandub elektrikulu seadmete tööks. Ehitustööde ruutmeetri maksumuseks kõetavale pinnale arvestatuna on ligikaudu 325 kr.

- Kui ventilatsiooni soojatagastusega süsteemi ehituse investeeringuks ressursse ei jagu, tuleb tagada õhuvahetus minimaalselt 0,6 korda tunnis. Sisepuhe läbi välispiirete värskeõhu klappide ja mehaaniline väljatõmme. Sellest tulenevalt energiakulu olemasoleva olukorraga võrreldes oluliselt ei muutu, olenemata välispiirete täiendavast soojusisoleerimisest. Kulud ventilatsioonile suurenevad ligikaudu 30 kWh/m<sup>2</sup>a. Ehitustööde ruutmeetri maksumuseks kõetavale pinnale arvestatuna on ligikaudu 70 kr.
- Uuritavates paneelhoonetes on soojustatud välisseinad, küll aga on jäetud soojustamata lodžatagused seinad, mille maht kogu pinnast on kuni 45%. Piirete soojustamine annab säästu, mida ilma ventilatsiooni väljaehitamisetega ei tohi teha. Kui arvestada ehituse maksumust, siis rõdutaguste soojustamise ehitusmaksumuseks kujuneb 160 kr/kõetava pinna m<sup>2</sup>-le, tasuvusajaks 5% intressiga investeeringu puhul 6 - 17 aastat (Tabel 8. 5).
- Küttesüsteemi tasakaalustamisest tulenev sääst väljendub selles, et piirete kaudu soojakadu väheneb ning sääst võib tulla kuni 5%. Temperatuur korterite keskmiselt alaneb. Väheneb alakõetud ja ülekõetud korterite osakaal, millega saavutatakse termiline mugavus, ehitusmaksumus ligikaudu 65 kr/kõetava pinna m<sup>2</sup>-le.
- Erinevate meetmete rakendamisel saadavad säästud ei ole otseselt liidetavad. Tegelik säästetud energiahulk kujuneb sellest suuremaks – tänu üksikute remondimeetmete rakendamisele alaneb tasakaalu temperatuur ja sääst suureneb ka ehitise osadel, millel energiasäästu tagavaid meetmeid ei rakendata. Mitmeid meetmeid eraldi tehes tekib pigem näiline majanduslik sääst, kuid tagajärjeks võib olla ka tõsiste tehniliste ja tervist ohustavate probleemide teke.
- Kui võtta näitena olukorda, kus paneel+vahtpolüstüreen hoonel lisaks renoveerimispaketile olemasolev 100 mm soojustus demonteerida ning paigaldada 200 mm paksune soojustuskiht, mille soojuslikud omadused on oluliselt paremad, siis energiasääst kujuneb 185 MWh/a (Tabel 8. 7). Tasuvusarvutusi tehes on arvestatud ka

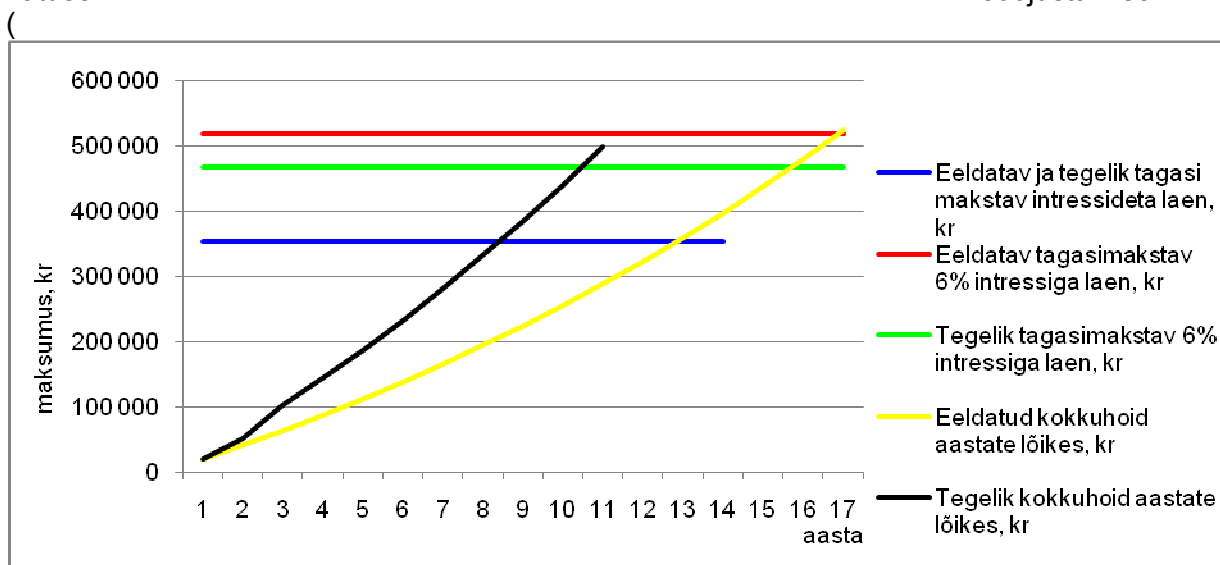
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

juba eelnevat välisseina soojustamiseks võetud pangalaenu tagasimakse vajadusega. Lihttasuvusaeg on 26 aastat, tööde maksumus on 2142 kr/kõetava pinna m<sup>2</sup>-le.

- Ühe variandina on eeldatud paneel+vahtpolüstüreen hoone näitel, et korterelamus ei ole ühtegi meetet energiasäästu parandamiseks ette võetud (Tabel 8. 9). Näide sobib korterühistutele, kes alles plaanivad oma korterelamus läbi viia rekonstrueerimistööd küttekulude vähendamiseks. Puudub eelnevalt võetud laen. Energiakokkuhoid aastas oleks sellisel juhul 390 MWh ning renoveerimistööde lihttasuvusajaks 12 aastat. Tööde maksumus on 1642 kr/kõetava pinna m<sup>2</sup>-le.
- Paneel+vahtpolüstüreen hoone näitel on näha joonistel, et juba elluviidud tööde tegelik tasuvusaeg on lühem kui eeldatud. Tegelik tasuvusaeg põhineb siiani toimunud reaalsel hinnamuutusel ning eeldusel, et energiahinna tõus tulevikus on 5% aastas. Soojustatud välisseina

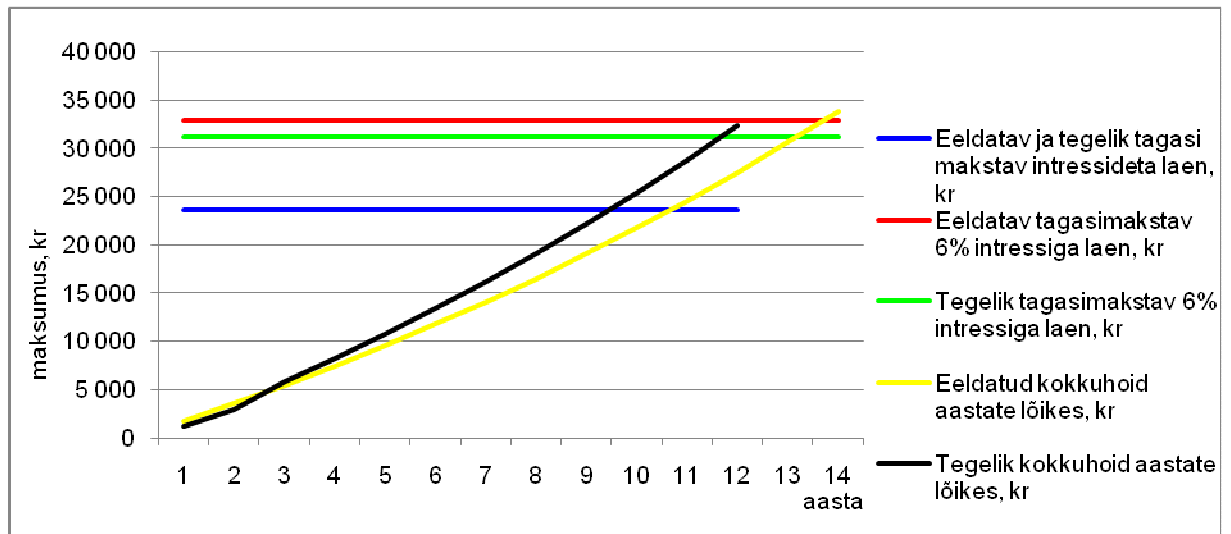


- Joonis 8. 7 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud välisseina investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.) eeldatav lihttasuvusaeg oli 33 aastat, tegelik aga 29 aastat, katuse soojustamisel



- Joonis 8. 8 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud katuse investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.) eeldati lihttasuvuseks 13 aastat, tegelik kujuneb aga 9 aastat ning trepikoja akende vahetusel

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



- 
- Joonis 8. 9 Paneel+vahtpolüstüreen, trepikoja vahetatud akende investeeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.) olid tasuvused vastavalt 11 ja 9.

Seades eesmärgiks nii ohutuse, tervislikkuse kui ka märkimisväärse energiasäästu, oleks soovitatav majanduslikust aspektist lähtudes ellu viia igal hoonel rekonstrueerimispakett kogu mahus.

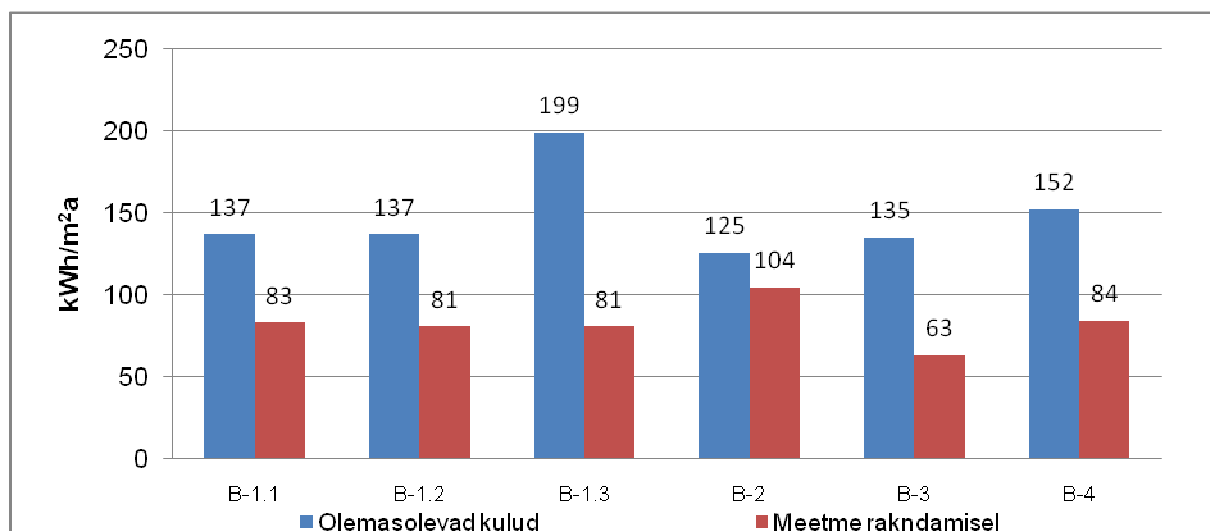


## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

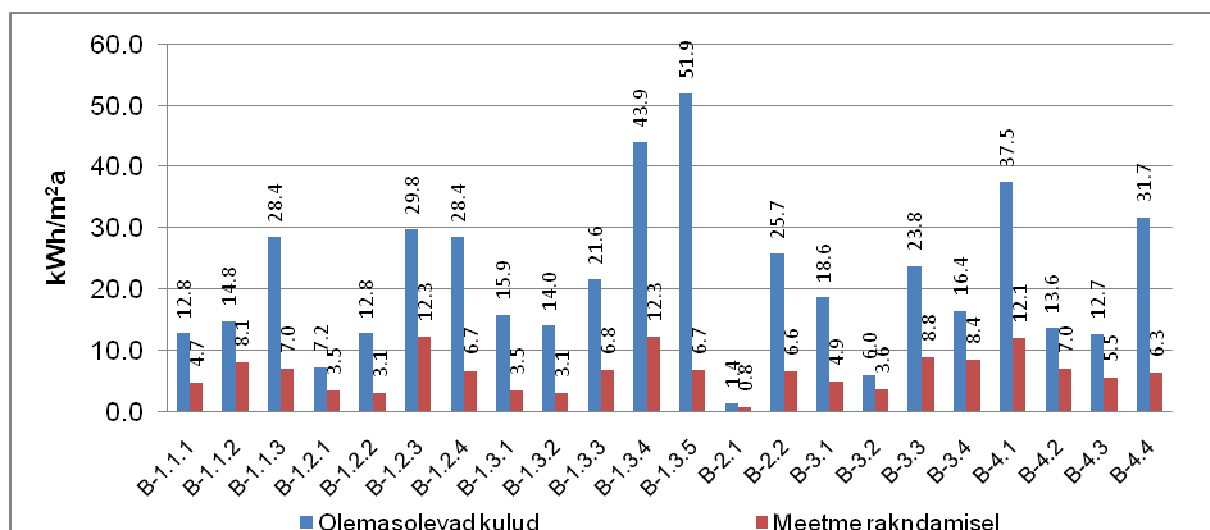
Tabel 8. 3 Renoveerimistöde pakettide majandusliku põhjendatuse koondtulemused

Pakett	Maksumus (tuh. kr)	Maksumus hoone kätavale pinnale, kr	Energia kokkuhoid aastas, kWh/m <sup>2</sup>	Paketi lihttasuvusaeg (a)	Paketi tasuvusaeg (a) i=5%	Paketi tasuvusaeg (a) i=7,5%	Paketi tasuvusaeg (a) i=10%	Laenu tagasimakse kuus kätavale pinnale, kr/m <sup>2</sup>						Investeeringu keskmine tootlus aastas, %					
								Periood 10 a.			Periood 15 a.			Periood 10 a.			Periood 15 a.		
								Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 10%	Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 10%	Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 10%	Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 10%
Paneel+vahtpolüstüreen (5. korrust, 60 korterit, 4 trepikoda, kätav pind 3294 m <sup>2</sup> )																			
B-1.1	2429	737	54	13	17	18	20	8	9	10	6	7	8	5,5	4,9	4,4	5,6	4,8	4,1
B-1.2	7056	2142	56	26	35	39	43	23	26	29	17	20	23	2,0	1,8	1,6	2,1	1,7	1,5
B-1.3	5410	1642	118	12	15	16	18	18	20	22	13	16	18	6,4	5,7	5,1	6,5	5,6	4,8
Tellis+vahtpolüstüreen (5. korrust, 55 korterit, 4 trepikoda, kätav pind 3200 m <sup>2</sup> )																			
B-2	1324	414	22	26	35	39	43	4	5	6	3	4	5	2	1,8	1,6	2,1	1,7	1,5
Tellis+vill (5. korrust, 100 korterit, 7 trepikoda, kätav pind 6124 m <sup>2</sup> )																			
B-3	5749	939	38	19	28	31	34	10	11	13	8	9	10	2,7	2,4	2,1	2,8	2,4	2,0
Paneel+vill (5. korrust, 60 korterit, 4 trepikoda, kätav pind 3300 m <sup>2</sup> )																			
B-4	2538	769	68	10	13	15	16	8	9	10	6	7	8	7,1	6,3	5,6	7,3	6,2	5,3

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 8. 5 Säästupotentsiaal pakettide kaupa. Vee soojendamisele, küttele, ventilatsioonile ja infiltratsioonile kuluv energiaerikulu enne ja pärast meetmete rakendamist



Joonis 8. 6 Säästupotentsiaal üksikute tööde kaupa. Küttele, ventilatsioonile ja infiltratsioonile kuluv energiaerikulu enne ja pärast üksikute tööde rakendamist

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad

Hoone	Piire või selle osa	Parandusmeede	Maht	Ühik	Ühiku hind, kr	Meetme maksumus, (kr)	Meetme maksumus, (EUR)
Paneel+vahtpolüstüreen (B-1.1)	Rõdutaguste seinte ja sokli soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga (B-1.1.1)	Akende ümbruse 100 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	69	m <sup>2</sup>	192	13 210	844
		Seinte soojustuamine 100 mm vahtpolüstüreeniga ja krohvimine	736	m <sup>2</sup>	590	434 358	27 761
	Uued aknad, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K (B-1.1.2)	Vanade akende demonaaž	172	m <sup>2</sup>	200	34 430	2 200
		Uute akende paigaldus, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K	172	m <sup>2</sup>	3 900	671 385	42 909
	Ventilatsioon (B-1.1.3)	Igas korteris värskeõhuklapid. Igas toas 1 tk	120	tk	1 800	216 000	13 805
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	1	kompl	850 000	850 000	54 325
	Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmine ja tasakaalustamine	1	kompl	209 580	209 580	13 395
	<b>Kokku</b>						<b>2 428 963</b>
Tellis+vahtpolüstüreen (B-2)	Uued aknad, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K (B-2.1)	Vanade akende demonaaž	16	m <sup>2</sup>	200	3 200	205
		Uute akende paigaldus, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K	16	m <sup>2</sup>	3 900	62 400	3 988
	Ventilatsioon (B-2.2)	Igas korteris värskeõhuklapid. Igas toas 1 tk	125	tk	1 800	225 000	14 380
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	1	kompl	820 000	820 000	52 408
	Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmine ja tasakaalustamine	1	kompl	213 460	213 460	13 643
	<b>Kokku</b>						<b>1 324 060</b>

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Hoone	Piire või selle osa	Parandusmeede	Maht	Ühik	Ühiku hind, kr	Meetme maksumus, (kr)	Meetme maksumus, (EUR)
Tellis+vill (B-3)	Katuse soojustamine (B-3.1)	Kõvavilla 120 mm + soontega villa 30 mm paigaldus + katusekate 1x	1564	m <sup>2</sup>	1 200	1 876 800	119 949
	Uued aknad, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K (B-3.2)	Vanade akende demonaaž	138,4	m <sup>2</sup>	200	27 680	1 769
		Uute akende paigaldus, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K	138,4	m <sup>2</sup>	3 900	539 760	34 497
	Ventilatsioon (B-3.3)	Igas korteris värskeõhuklapid. Igas toas 1 tk	248	tk	1 800	446 400	28 530
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	1	kompl	1 505 000	1 505 000	96 187
	Lodžade kinniehitamine (B-3.4)	Vanade akende ja uste demonaaž	258	m <sup>2</sup>	200	51 600	3 298
		Akende paigaldamine lodžade ette	258	m <sup>2</sup>	3 900	1 006 200	64 308
	Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmine ja tasakaalustamine	1	kompl	295 970	295 970	18 916
<b>Kokku</b>						<b>5 749 410</b>	<b>367 454</b>
Paneel+vill (B-4)	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm villaga, (B-4.1)	seinte soojustamine 100 mm villaga, katmine tuuletõkkekipsiga ja marmoroc fassaadiga	739	m <sup>2</sup>	720	532 411	34 027
	Uued aknad, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K (B-4.2)	Vanade akende demonaaž	151	m <sup>2</sup>	200	30 286	1 936
		Uute akende paigaldus, mille U=1,6 W/m <sup>2</sup> *K	151	m <sup>2</sup>	3 900	590 577	37 745
	Sokli soojustamine vahtpöüstüreeniga 100 mm (B-4.3)	Akende ümbruse 100 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	7,52	m <sup>2</sup>	120	902	58
		Sokli soojustamine vahtpöüstüreeniga 100 mm	174	m <sup>2</sup>	625	109 050	6 970
	Ventilatsioon (B-4.4)	Igas korteris värskeõhuklapid. Igas toas 1 tk	120	tk	1 800	216 000	13 805
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	1	kompl	850 000	850 000	54 325
	Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmine ja tasakaalustamine	1	kompl	209 580	209 580	13 395
<b>Kokku</b>						<b>2 538 807</b>	<b>162 259</b>

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring**

Tabel 8. 5 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide lihttasuvusaja arvutus

Hoone	Piire või selle osa	Tööde energia-sääst, (MWh)	Paketi energia-sääst, (MWh)	Tööde lihttasuvusaeg (a)*	Paketi lihttasuvusaeg, (a)*
Paneel+vahtpolüstüreen	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga	27	177	13	13
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	22		20	
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks**	71 -29		22	
Tellis+vahtpolüstüreen	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	2	69	21	26
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks**	61 -29		27	
Tellis+vill	Katuse soojustamine	84	235	16	19
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	15		22	
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks**	92 -54		43	
	Lodžade kinniehitamine	49		15	
Paneel+vill	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm villaga	84	224	6	10
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	22		18	
	Sokli soojustamine vahtpolüstüreeniga 100 mm	24		5	
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks**	84 -29		17	

\*Arvestusega, et energia hind tõuseb aastas 5% ning arvatud lihttasuvusaeg ehk ilma intressideta.

\*\*Ventilatsiooni soojuspumba elektrikulu, mille energiakulu erineb kaugküttesoojuse kulust, mistõttu energiakulu tuleb arvestada elektritariifiga. Muud kulud/säästud on arvestatud kaugkütte tariifiga.

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring**

Tabel 8. 6 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide tasuvusaja arvutus laenuraha kasutades (intressimäär 5%, 7,5%, 10%)

Hoone	Piire või selle osa	Tööde tasuvusaeg, (a) i=5%	Tööde tasuvusaeg, (a) i=7,5%	Tööde tasuvusaeg, (a) i=10%	Paketi tasuvusaeg, (a) i=5%	Paketi tasuvusaeg, (a) i=7,5%	Paketi tasuvusaeg, (a) i=10%
Paneel+vahtpolüstüreen	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga	16	18	19	17	18	20
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	26	29	32			
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	29	33	36			
Tellis+vahtpolüstüreen	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	28	31	34	35	39	43
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	37	42	45			
Tellis+vill	Katuse soojustamine	20	22	25	28	31	34
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	30	33	36			
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	60	67	72			
	Lodzade kinniehitamine	19	21	23			
Paneel+vill	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm	7	8	8	13	15	16
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	24	27	29			
	Sokli soojustamine vahtpolüstüreeniga 100 mm	5	6	6			
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	22	25	27			

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 8. 7 Lisaks Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad nimetatule, olemasolev soojustus demonteerida ning lisada uus 200 mm kiht.

Hoone	Piire või selle osa	Parandusmeede	Maht	Ühik	Ühiku hind, kr	Meetme maksumus, (kr)	Energiasääst, (MWh)	Paketi energiasääst, (MWh)	Tööde tasuvusaeg (a)***	Paketi tasuvusaeg, (a)***
Paneel+vahtpolüstüreen (B-1.2)	Olemasoleva välisseina uuesti soojustamine (B-1.2.1)	Välisseina soojustuse demontaaž	911	m <sup>2</sup>	400	364 400	12	185	32	26
		Akende ümbruse 200 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	53	m <sup>2</sup>	247	13 091				
		Seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga	858	m <sup>2</sup>	650	557 700				
	Rõdutaguste seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga (B-1.2.2)	Akende ümbruse 200 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	69	m <sup>2</sup>	320	22 016	32			
		Seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga ja krohvimine	736	m <sup>2</sup>	690	507 978				
	Kõik uued aknad, mille U=0,9 W/m <sup>2</sup> *K (B-1.2.3)	Vanade akende demontaaž	467	m <sup>2</sup>	200	93 400	58			
		Uute akende paigaldus, mille U=0,9 W/m <sup>2</sup> *K	467	m <sup>2</sup>	4 300	2 008 100				
	Ventilatsioon (B-1.2.4)	Igas korteris värskeõhuklapid. Igas toas 1 tk	120	tk	1 800	216 000	72			
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks	1	kompl	850 000	850 000				
		Ventilatsiooni soojuspumba elektrikulu**					-29			
	Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmine ja tasakaalustamine	1	kompl	209582	209582				
	<b>Eelnevate rekonstrueerimistööde laenujääk*</b>						<b>2 213 305</b>			
<b>Ehitusmaksumus KOKKU</b>						<b>4 842 267</b>				
<b>Ehitusmaksumus koos laenujäägiga</b>						<b>7 055 572</b>				

\* Aastatel 2007-2009 võetud hoone rekonstrueerimislaenud, mis sisaldas välisseina soojustamist, katuse soojustamist ning trepikodade akende vahetust. Arvesse on võetud laenust vaid nende töödeks kulunud maksumust ning lisatud sellele arvule intressid 6% ning lahutatud maha kolme aasta tagastatud laenuosa.

\*\* Ventilatsiooni soojuspumba elektrikulu, mille energiakulu erineb kaugküttesoojuse kulust, mistõttu energiakulu tuleb arvestada elektritariifiga. Muud kulud/säästud on arvestatud kaugkütte tariifiga.

\*\*\*Arvestusega, et energia hind tõuseb aastas 5% ning arvatud lihttasuvusaeg ehk ilma intressideta.

**Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring**

Tabel 8. 8 Arvestades Tabel 8. 7 Lisaks Tabel 8. 4 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide hinnad nimetatule, olemasolev soojustus demonteerida ning lisada uus 200 mm kiht. saadud ehitusmaksumust ning energiasäästu.

Lihttasuvusaeg, kui energiahind tõuseb 10% aastas	Energiahinna tõus 10 % aastas. Tasuvusaeg, kui intress 5%	Lihttasuvusaeg, kui energiahind tõuseb 5% aastas	Energiahinna tõus 5 % aastas. Tasuvusaeg, kui intress 5%	Lihttasuvusaeg, kui energiahind ei tõuse aastate lõikes	Energiahind aastas ei tõuse. Tasuvusaeg, kui intress 5%
19	23	26	35	49	131



## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

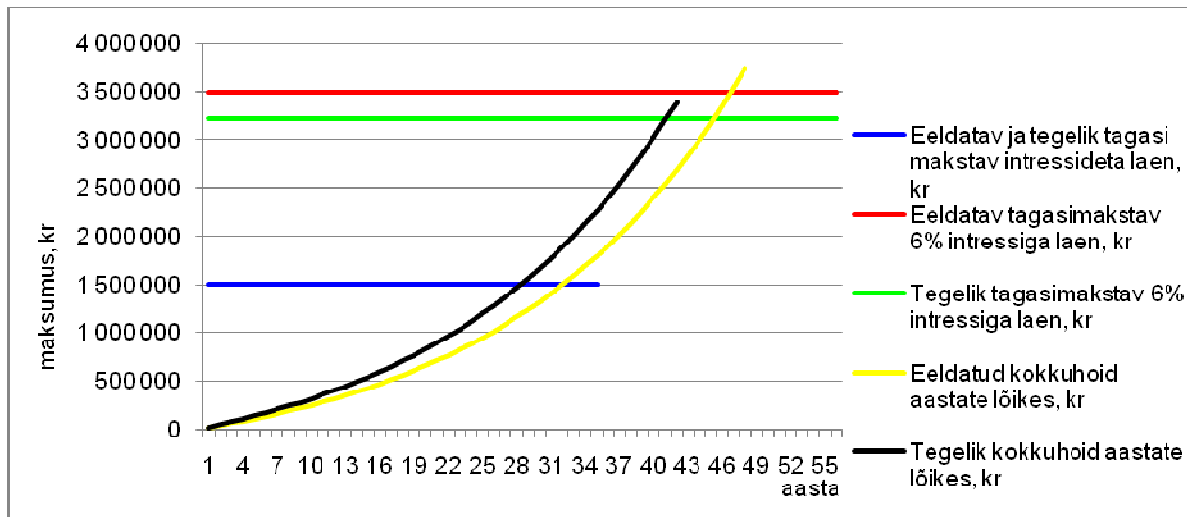
Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistöid ei ole siiani tehtud

Hoone	Piire või selle osa	Parandusmeede	Maht	Ühik	Ühiku hind, kr	Meetme maksumus, (kr)	Energiasääst, (MWh)	Paketi energiasääst, (MWh)	Tööde tasuvusaeg (a) <sup>***</sup>	Paketi tasuvusaeg, (a) <sup>***</sup>
Paneel+vahtpolüstüreen (B-1.3)	Olemasoleva välisseina soojustamine (B-1.3.1)	Akende ümbruse 200 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	53	m <sup>2</sup>	247	13 091	41	390	11	12
		Seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga	858	m <sup>2</sup>	650	557 700				
	Rõdutaguste seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga (B-1.3.2)	Akende ümbruse 200 mm villaga soojustamine 100 mm ulatuses. Tuletõke	69	m <sup>2</sup>	320	22 016	36			
		Seinte soojustamine 200 mm vahtpolüstüreeniga ja krohvimine	736	m <sup>2</sup>	690	507 978				
	Katuse soojustamine (B-1.3.3)	Kõvavilla 120 mm + soontega villa 30 mm paigaldus + katusekate 1x	777	m <sup>2</sup>	1 200	932 400	49			
	Kõik uued aknad, mille U=0,9 W/m <sup>2</sup> *K (B-1.3.4)	Vanade akende demonaaž	467	m <sup>2</sup>	200	93 400	104			
		Uute akende paigaldus, mille U=0,9 W/m <sup>2</sup> *K	467	m <sup>2</sup>	4 300	2 008 100				
	Ventilatsioon (B-1.3.5)	Igas korteris värskõhuklapid. Igas toas 1 tk	120	tk	1 800	216 000	149			
		Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütteks	1	kompl	850 000	850 000				
		Ventilatsiooni soojuspumba elektrikulu							-29	
Küttesüsteemi ümberehitus	Küttesüsteemi reguleeritavaks muutmise ja tasakaalustamine	1	kompl	209582	209582					
<b>Kokku</b>						<b>5 410 267</b>				

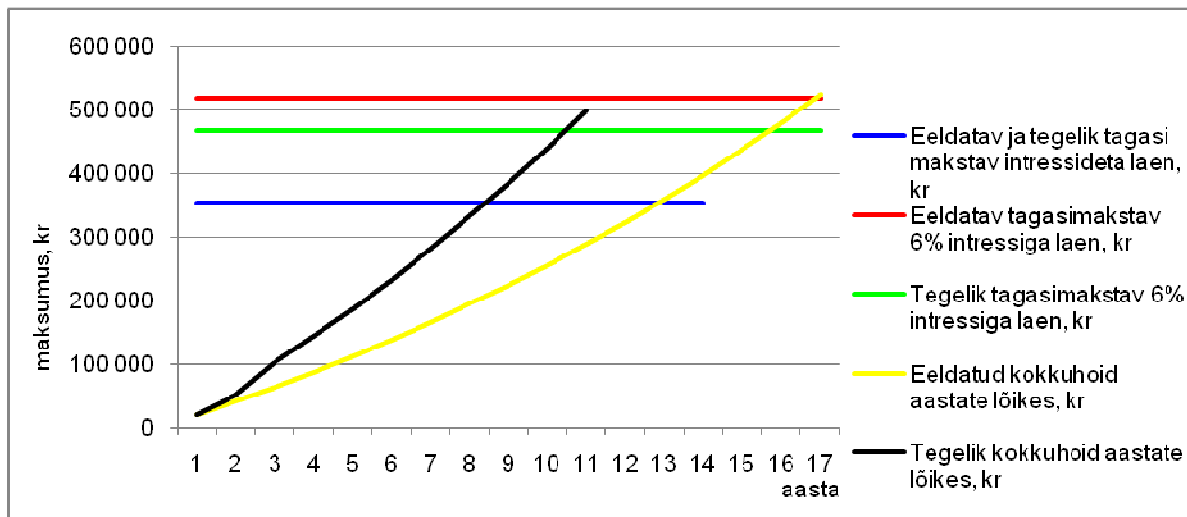
## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Tabel 8. 10 Arvestades Tabel 8. 9 Variant, kus oletatakse, et renoveerimistööd ei ole siiani tehtud saadud ehitusmaksumust ning energiasäästu.

Lihttasuvusaeg, kui energiahind tõuseb 10% aastas	Energiahinna tõus 10% aastas. Tasuvusaeg, kui intress 5%	Lihttasuvusaeg, kui energiahind tõuseb 5% aastas	Energiahinna tõus 5% aastas. Tasuvusaeg, kui intress 5%	Lihttasuvusaeg, kui energiahind ei tõuse aastate lõikes	Energiahind aastas ei tõuse. Tasuvusaeg, kui intress 5%
10	12	12	15	16	23

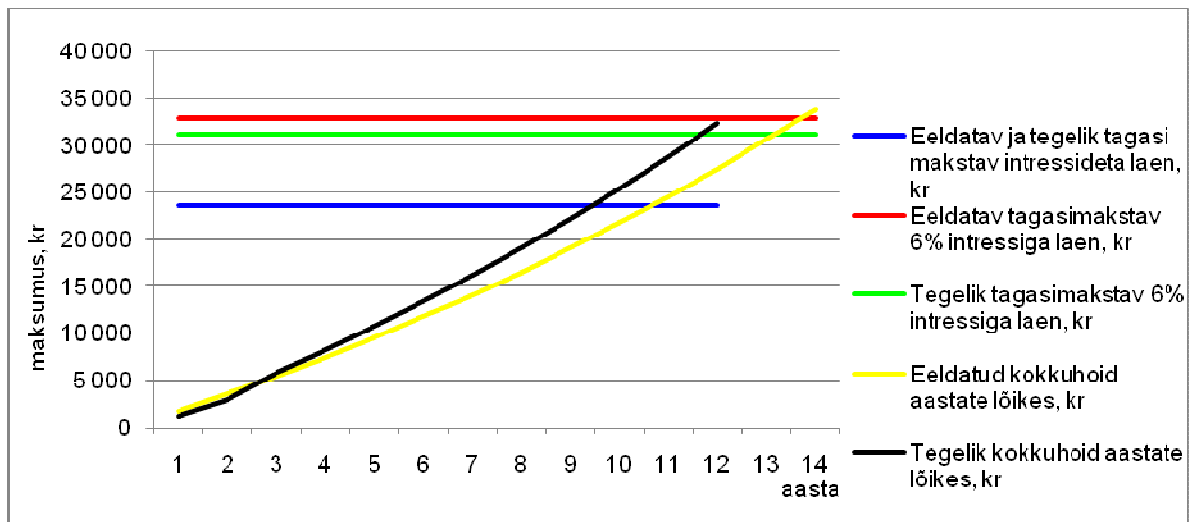


Joonis 8. 7 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud välisseina investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.



Joonis 8. 8 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud katuse investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 8. 9 Paneel+vahtpolüstüreen, trepikoja vahetatud akende investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.

### 8.3 Arvutusnäide

Järgnevalt on toodud näitena 5-korruselise vahtpolüstüreeniga soojustatud hoone renoveerimistööde paketi (Tabel 8. 11 Arvutuste lähteandmed) tehnilis-majanduslikud arvutused koos kommentaaridega. Pakett koosneb renoveerimismeetmetest, mille hinna määramise aluseks on ehitusettevõtjate hinnapakkumised (aastatel 2009/2010) ning analoogsete objektide hinnainfo. Ökonoomika arvutused põhinevad energiatarbe andmetel.

Tabel 8. 11 Arvutuste lähteandmed

Hoone	Parandusmeede	Töö maksumus kokku	Tööde energia-sääst, (MWh)	Paketi energia-sääst, (MWh)	Tööde liht-tasuvusaeg (a)	Paketi liht-tasuvusaeg, (a)
Paneel+vahtpolüstüreen	Rõdutaguste seinte soojustamine 100 mm vahtpolüstüreeniga	447 568	27	177	13	13
	Uued aknad, mille $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	705 815	22		20	
	Ventilatsiooni soojuspump sooja tarbevee soojendamiseks ja kütmiseks	1 066 000	71		22	
	Küttesüsteemi ümberehitus	209 580				
	<b>Kokku</b>	<b>2 428 963</b>				

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

5-korruselise vahtpolüstüreeniga soojustatud hoone renoveerimistööde paketi maksumus on 2 428 963 krooni.

Esmalt arvutame renoveerimistööde maksumuse köetava pinna kohta:

$$\text{Maksumus köetava pinna kohta} = \frac{\text{Renoveerimistööde maksumus (kr)}}{\text{Köetavpind (m}^2\text{)}}, \text{ (kr/m}^2\text{)}$$

$$\text{Maksumus köetava pinna kohta} = \frac{2\,428\,963}{3294} = 737,4 \text{ kr}$$

Järgnevalt arvutame laenu tagasimakse köetava pinna kohta. Selleks peame teadma intressimäära, laenu tagasimakse aega ning seda, kui suur on renoveerimistööde rahastamisel nõutav omafinantseering. Arvutusnäites on eeldatud intressimäära 5%. Laenu tagasimaksiks on valitud 10 aastat. Omafinantseeringuks on arvutustes võetud 0%. Mida suurem oleks omafinantseering, seda väiksem on vajaminev laenusumma. Samas on suurem ka summa, mida korterelamu elanikud peavad eelnevalt koguma. Mida väiksem on renoveerimistööde maksumus ja pangalaenu intressimäär ning mida pikem on laenu tagasimaksmise aeg, seda väiksem on igakuine laenu tagasimakse.

$$\text{Laenu tagasimakse kuus} = \frac{\text{Renoveerimistööde maksumus (kr)} * \text{Annuiteeditegur}}{12}, \text{ (kr)}$$

$$\text{Annuiteeditegur} = \frac{I * (1 + I)^n}{(1 + I)^n - 1}$$

$I$  – intressimäär (esitatakse kümnendmurruna, nt. 5% antakse valemis 0,05)

$n$  – ajavahemike arv (käesolevas näites on laenu tagasimakse ajavahemikud aastates)

$$\text{Annuiteeditegur} = \frac{0,05 * (1 + 0,05)^{10}}{(1 + 0,05)^{10} - 1} = 0,1295$$

$$\text{Laenu tagasimakse kuus} = \frac{2\,428\,963 * 0,1295}{12} = 26\,213 \text{ kr}$$

Seejärel arvutame laenu igakuise tagasimakse köetavale pinnale (krooni täpsusega).

$$\text{Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale} = \frac{\text{Laenu tagasimakse kuus (kr)}}{\text{Hoone köetavpind (m}^2\text{)}}, \text{ kr/köetava pinna m}^2$$

$$\text{Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale} = \frac{26\,213}{3294} = 8 \text{ kr/köetava pinna m}^2$$

Järgnevalt arvutame investeeringu sisemise tasuvuse, mis väljendab seda osa investeeringust, mis nõ tagastub vastava arvestusperioodi vältel. Käesoleva näite puhul säästetakse renoveerimistööde tulemusel energiat ja seega vähenevad ka kulutused energia ostmiseks. Tulemus esitatakse protsentides summast, mis kulub laenu tagasimaksmiseks vastava ajavahemiku jooksul. Mida kõrgem on energiahind ning kokkuhoitav energiahulk ja väiksem pangalaenu intressimäär, seda suurem on teiste algandmete samaks jäämisel investeeringu sisemine tasuvus. Tulemuse esitame üldjuhul protsentides.

$$\begin{aligned} \text{Investeeringu sisemine tasuvus} \\ = \frac{\text{Rahaline sääst, mis tekib energia kokkuhoitust valitud perioodi vältel (kr)}}{\text{Laenu teenindamiseks makstav kogusumma valitud perioodi vältel (kr)}} \end{aligned}$$

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

ehk

$$\frac{\text{Energiasääst remondipaketi rakendamiset (MWh)} * \text{Energia hind} \left(\frac{\text{kr}}{\text{MWh}}\right) * \text{arvutusperiood (a)}}{\text{Kõetav pind(m}^2\text{)} * \text{laenu tagasimakse kuus kõetavale pinnale} \left(\frac{\text{kr}}{\text{m}^2}\right) * \text{arvutusperiood (kuud)}} \\ \text{Investeeringu sisemine tasuvus} = \frac{(177 * 1021,66) - (29 * 1490) * 10}{3294 * 8 * 12 * 10} * 100 = 44\%$$

Näitest järeldub, et kasutatud algandmete puhul tagastub investeeringust 10 aastase laenuperioodi jooksul 44%. Rahalise säästu arvutamisel tuleb arvutuses eeldada kas energia hinna muutumatust valitud ajavahemiku jooksul või hinna stabiilset keskmist muutumist. Laenu teenindamiseks kuluva rahasumma arvutamisel on eeldatud, et intressimäär on kogu ajavahemiku vältel muutumatu. Arvutustes on kasutatud AS Tallinna Kütte soojusenergia hinda 1021,66kr/MWh (seisuga 1.aprill 2010), energiahind ei ole erinevate soojusenergia müüjate puhul sama ja seda tuleb arvestada juba konkreetse hoone kohta tehtavate arvutuste puhul.

Järgnevalt arvutame investeeringu keskmise tootluse.

$$\text{Investeeringu keskmine tootlus aastas} = \frac{\text{Investeeringu sisemine tasuvus (\%)}}{\text{Laenuperioodi pikkus aastates}}, (\%)$$

$$\text{Investeeringu keskmine tootlus aastas} = \frac{44}{10} = 4,4\%$$

Läbiviidud arvutus on tehtud eeldusel, et energia hind jääb arvestusperioodil muutumatuks. Senine hinnaanaluus näitab energiahinna tõusutrendi. Arvestades energiahinna aastase 5% tõusuga muutub investeeringu tasuvus oluliselt:

$$\text{Laenu tagasimakse kuus} = \frac{2\,428\,963 * 0,1295}{12} = 26\,213 \text{ kr}$$

$$\text{Annuiteeditegur} = \frac{0,05 * (1 + 0,05)^{10}}{(1 + 0,05)^{10} - 1} = 0,1295$$

$$\text{Laenu tagasimakse kuus kõetavale pinnale} = \frac{26\,213}{3294} = 8 \text{ kr/kõetava pinna m}^2$$

= Investeeringu sisemine tasuvus =

$$\frac{\text{Rahaline sääst, mis tekitab energia kokkuhoitust valitud perioodi vältel (kr)}}{\text{Laenu teenindamiseks makstav kogusumma valitud perioodi vältel (kr)}} * 100 =$$

$$= \left(\frac{1\,732\,174}{3\,145\,618}\right) * 100 = 55\%$$

$$\text{Investeeringu keskmine tootlus aastas} = \frac{55}{10} = 5,5\%$$

Soovides leida toetuse suurust kõetava pinna ruutmeetrile, et investeering oleks 100% tagastuv, tuleb teha järgmine arvutus.

Läbiviidud arvutus on tehtud eeldusel, et energiahinna tõus arvestusperioodil on 5% ning laenu võetud 10 aastaks. 10 aasta jooksul hoitakse energiasäästu tulemusena kokku 1 972 989 krooni.

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

Laenu teenindamiseks makstav summa valitud aja jooksul on 3 145 618 krooni. Seega investeeringust jääb tagastumata  $3\,145\,618 - 1\,972\,989 = 1\,172\,628$  krooni. Jagades selle summa köetava pinnaga saame:  $1\,172\,628 / 3294 = 356$  krooni, mis oleks ka vajaliku toetuse suurus eeldusel, et investeeringu sisemine tasuvus peaks olema 100% [7].

### 8.4 Kokkuvõte

Kokkuvõtteks võib öelda, eelkõige tuleb rekonstrueeritavates hoonetes luua inimeste tervisele ohutu elukeskkond, kuna inimene viibib elu jooksul ruumis 85-90% ajast. Kõikides uuritud hoonetes on ära jäetud ventilatsiooni välja ehitamine, ehk on saavutatud energiasääst osaliselt sisekliima kvaliteedi arvelt. Vanades hoonetes oli õhuvahetus tagatud akende ebatihedusest tulenevalt, nüüd aga on enamus elanikest paigaldanud uued tihedad aknad, mis on viinud minimaalse õhuvahetuseni. Sellest tulenevalt jääb elutegevuse käigus eralduv liigniiskus suures osas välja juhtimata ning otsib kohta läbi hoone tarindite väljuda. Pikemas perspektiivis muudab ventilatsiooni mitte väljaehitamine hoone konstruktsiooni avariohtlikuks.

Üldjuhul on oluline hoone renoveerimistöid planeerides teada, et neid töid, mille eluiga on lühem kui arvutustes ilmnenu tasuvusaeg, ei ole mõistlik teha. Vastuvõetav tasuvusaeg võib hinnanguliselt olla maksimaalselt 10-15 aastat. Nelja elamu näitel (Tabel 8. 5 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide lihttasuvusaja arvutus) selgus, et kahel hoonel on kogu paketi lihttasuvuseks 10 ja 13 aastat, ülejäänutel vastavalt 19 ja 26 aastat, mis tähendab, kahel viimasel juhul meetmete eluiga on pikem kui tasuvusaeg. Kui arvestada panga poolt seatud intresse, siis tasuvusajad pikenevad veelgi (Tabel 8. 6 Vajalike remondimeetmete ja nende pakettide tasuvusaja arvutus laenuraha kasutades (intressimäär 5%, 7,5%, 10%)). Meetmeid eraldi realiseerides kogu sääst väheneb ja pikeneb tasuvus. Kuna aga iga pakett sisaldab avariohtliku olukorra vältimiseks ventilatsiooni välja ehitamist, siis meetme eluiga ei arvestata.

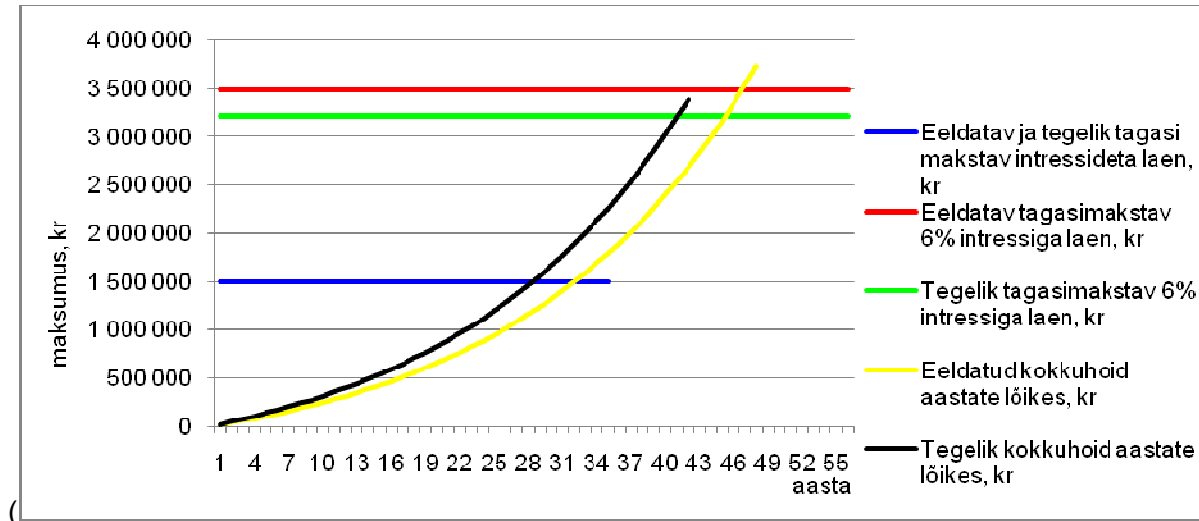
Lahendusena on välja pakutud ventilatsiooni soojuspumpa, mille väljatõmbe soojust kasutatakse soojatarbevee süsteemis vee soojendamiseks. Sääst kütteenergialt, kui õhuvahetuse kordarv on viidud normaalsele tasemele 0,6 korda tunnis, on 61 - 92 MWh/a. Lisandub elektrikulu seadmete tööks. Ehitustööde ruutmeetri maksumuseks köetavale pinnale arvestatuna on ligikaudu 325 kr.

Kui ventilatsiooni soojatagastusega süsteemi ehituse investeeringuks ressursse ei jagu, tuleb tagada õhuvahetus minimaalselt 0,6 korda tunnis. Sissepuhe läbi välispiirete värskeõhu klappide ja mehaaniline väljatõmme. Sellest tulenevalt energiakulu olemasoleva olukorraga võrreldes oluliselt ei muutu, olenemata välispiirete täiendavast soojusisoleerimisest. Kulud ventilatsioonile suurenevad ligikaudu 30 kWh/m<sup>2</sup>a. Ehitustööde ruutmeetri maksumuseks köetavale pinnale arvestatuna on ligikaudu 70 kr.

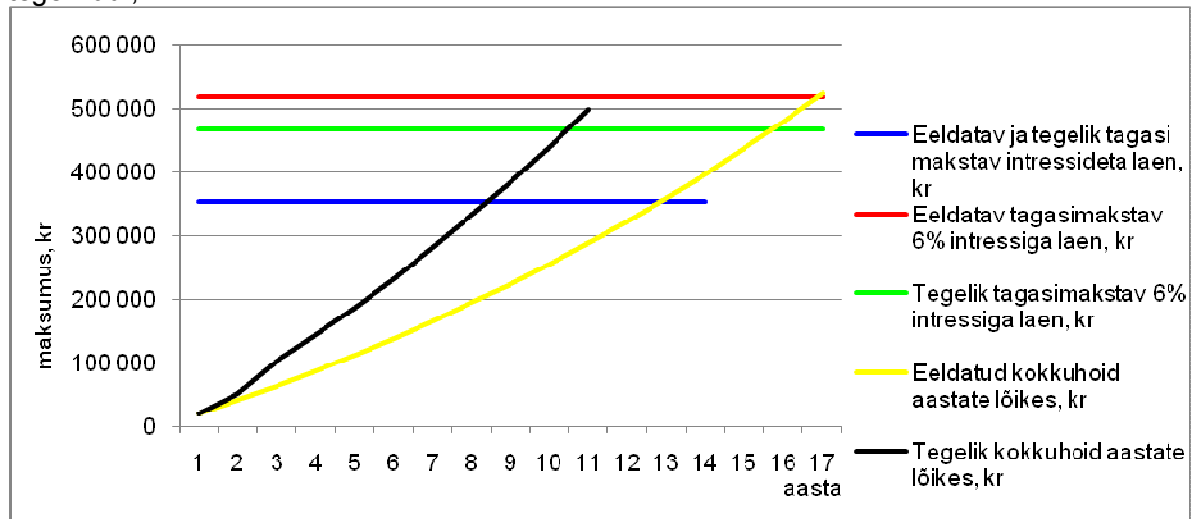
Kui võtta arvesse aastate 1998-2010 kujunenud energiahinna indeksi ning remont-ja rekonstrueerimistööde hinnaindeksi dünaamikat, on teostatud tööde tegelikud tasuvusajad lühemad

Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

kui eeldatud oli

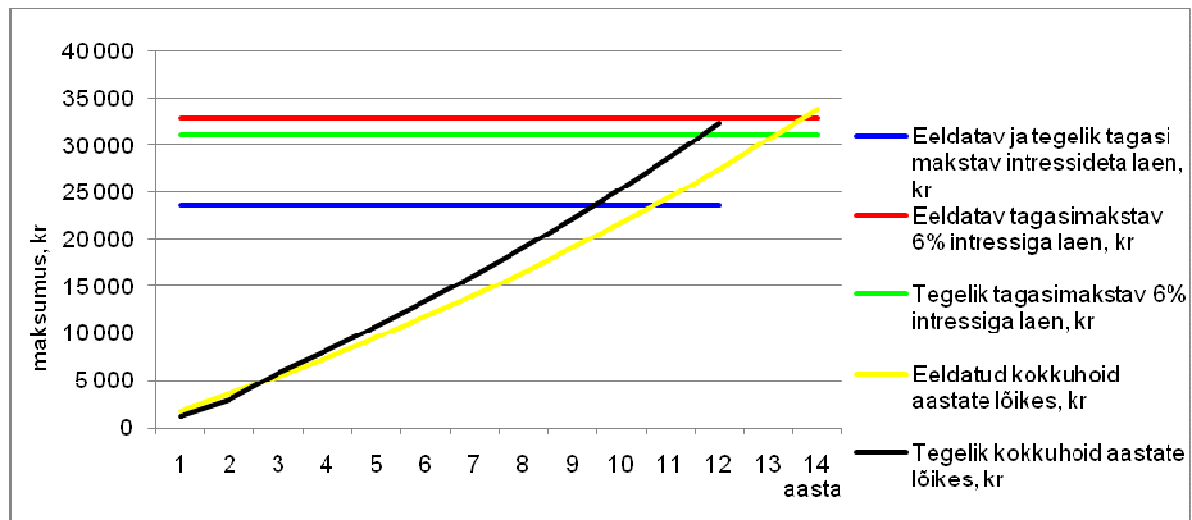


Joonis 8. 7 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud välisseina investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.,



Joonis 8. 8 Paneel+vahtpolüstüreen, soojustatud katuse investeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.,

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring



Joonis 8. 9 Paneel+vahtpolüstüreen, trepikoja vahetatud akende investeeringu tasuvusajad, eeldatud ja tegelikud.)

Seades eesmärgiks nii ohutuse, tervislikkuse kui ka märkimisväärse energiasäästu, oleks soovitatav majanduslikust aspektist lähtudes ellu viia igal hoonel rekonstrueerimispakett kogu mahus (Tabel 8.3, Joonis 8.5, Joonis 8.6)



## 9 Uuringuprojekti kokkuvõte

Hoone renoveerimisega alustamine on aeganõudev protsess, mis saab alguse tellijapoolse lähteülesande koostamisest ehk millisenä näha renoveeritavat hoonet. Sageli puudub tellijal nägemus kõigist ehitustehnilisest küsimustest, mis hoone terviklik renoveerimisprotsess endas sisaldama peaks. Peamiselt mõeldakse hoone komplekse renoveerimise all hoone piirdetarindite soojustamist, nii sise- kui välisviimistluse uuendamist ning lekkivate tehnokommunikatsioonide torustiku vahetamist ja elektrisüsteemi kaasajastamist. Reeglina jäetakse renoveerimistöõde hulgast välja ventilatsioonisüsteemi renoveerimine.

Uuritavate elamute sisekliima uuringute põhjal võib väita, kõige suuremad probleemid korterelamutes on tulenevad ebapiisavast ventilatsioonist. Halva õhuvahetuse tagajärjel on korterite suhteline õhuniiskuse ja süsihappegaasi kontsentratsiooni tasemed kõrged. Süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusu alusel arvatud õhuvahetus näitas, et peaaegu kõigis uuritavates korterites oli ventileeritav õhu kogus kaks korda alla soovitusliku minimaalse taseme. Ebapiisava ventilatsiooni korral on ruumides suur niiskust, mis võib kondenseerudes jahedamale välispiirde sisepinnale põhjustada hallitus, mis omakorda on reaalne oht inimese tervisele. Kõikides uuritavates majades oli olukord ühtlaselt halb ning ei tulnud välja selget vahet tulenevalt kasutatud soojustusmaterjalist. Erandiks oli korter kus oli välissein seest poolt soojustatud.

Lähtudes uuringumaterjalidele ja elanike küsitlustele, saame ühe põhjusena välja tuua küttesüsteemi tasakaalustamata jätmise peale hoone soojustamist. Hoonetes on 1990-ndate keskel paigaldatud uued sojussõlmed koos selle juhtimisautomaatikaga, mis järgib toonases (renoveerimata korterelamu) olukorras seadistatud küttegaafikut (kütteevee temperatuuri sõltuvust välistemperatuurist), Kortere lamute renoveerimisega on sojussõlme küttegaafik muutunud. Üksnens küttegaafiku alandamisega pole võimalik täpselt graafikut paika reguleerida, sisetemperatuuri ühtlustamiseks korterites on vaja esmalt paika seada uus küttegaafik ning seejärel küttesüsteemi püstikud tasakaalustada. Oluline on olemasolev küttesüsteem viia reguleeritavaks küttekeha tasandil termostaatventiilidega, mis võimaldab täpsemini nende soojusväljastavust reguleerida. Komplekselt renoveeritud küttesüsteemi oluliseks plussiks on efektiivsem sisemiste soojuskooormustest tekkinud energia kasutamine ning see võimaldab luua inimestele ühtlaselt mugava siseõhu temperatuuri.

Hoonete lisasoojustamisega on vähendatud küttekulusid ning parandatud välispiirete tehnilist seisukorda, kuid sellegi poolest ei vasta lisasoojustatud hoonete välispiirded energiatõhususe miinimumnõuetele. Tagamaks kõigi uuritavate objektide välisseinte nõuetekohane soojajuhtivus, tuleks 100mm paksuse lisasoojustuse asemel kasutada 150-200mm paksust välispidist lisasoojustust. Raudbetoonpaneelhoonete ja tellishoonete soojustamiseks sobib kasutada nii mineraalvilla kui ka vahtpolüstüreeni kuna soojapidavuse omaduste poolest on nad praktiliselt võrdsed. Välispiirete soojustamisel (eriti vahtpolüstüreeni puhul) tuleb hoolikalt jälgida seda, et lisasoojustus liibuks tihedalt vastu aluspinda, vältimaks veeauru kondenseerumist ja hallituse teket soojustuse taga olevates ebatihedustes. Kindlasti tuleks välispiirdeid soojustada ainult väljast poolt kuna seespidine soojustamine ei likvideeri piirdes olevaid külmasildu ega vähenda soojakadusid. Lisasoojustada tuleks kogu hoone fassaad. Ära ei tohiks unustada rõdu ja lodžaga piirnevaid seinu, mis moodustavad kogu hoone fassaadi pinnast märkimisväärse osa ning nende soojustamata jätmine tähendab jätkuvalt suuri soojakadusid läbi soojustamata välispiirete. Piisava aknaraami laiuse puhul tuleks soojustada ka akna paled.

Lisasoojustatud hoonete välisseinte niiskustehniline seisukord oli hea. Lisasoojustamine on vähendanud soojakadusid ega ole põhjustanud välisseinte liigniiskumist. Eeldatav niiskustehniline

## Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring

erinevus vahtpolüstüreeniga ja mineraalvillaga soojustatud välisseinte vahel ei leidnud käesolevas uuringus kinnitust ehk vahtpolüstüreeniga ja mineraalvillaga soojustatud välisseinte niiskussisaldused oli praktiliselt võrdsed. Katsekehade puurimisel olid kõigi uuritavate hoonete lisasoojustus visuaalselt hinnates kuiv. Veeauru kondenseerumist lisasoojustuse taga ei täheldatud. Ainsaks erinevuseks võib lugeda seda, et talve perioodil välisseintesse kogunenud niiskus kuivas mineraalvillaga soojustatud seintes kiiremini välja kui vahtpolüstüreeniga soojustatud seintes. Uuringu tulemused näitasid, et kevadeks oli uuritavate hoonete (v.a mineraalvillaga soojustatud raudbetoonpaneelhoone) välisseinte niiskussisaldused peaaegu võrdsed ning normi piires. Mineraalvillaga soojustatud raudbetoonist välisseina kõrget niiskussisaldust põhjustas ühte korterisse paigaldatud seespidine lisasoojustus.

Vältimaks niiskustehniliste probleemide teket välispiiretes tuleb tõhustada korterite ventilatsiooni, vähendada ruumide niiskuskooormust (N: piirata pesu kuivatamist siseruumides) ning niiskettesse ruumidesse paigaldada niiskustõkked.

Õhupidavuse erinevusi põhikonstruktsioonide tüüpide vahel ei esinenud. Õhupidavuse erinevused tulenesid pigem hoone vanusest. Selleks, et vähendada müraga, tuleohutusega, sisekliimaga ja ventilatsiooniga (halvad lõhnad) seonduvaid probleeme, tuleb korteritevahelised ebatihedused (torude ja juhtmete läbiviigud) tihendada. Hoonete lisasoojustamine kindlasti suurendas hoonete välispiirete õhupidavust kuna soojustamata paneelmajade keskmine õhulekkearv vastavalt Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute seisukorra uuringule on  $4,16 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Nelja uuritava hoone keskmine õhulekkearv oli käesoleva uuringu põhjal  $3,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ .

Välisseinte lisasoojustamisega vähendati oluliselt ka külmasildade mõju ehk sisepindadel ei tekkinud enam veeauru kondensaati ega hallitust. Kohtades, kus puudus soojustus (lodža -või rõduplaadi liitekoht välisseinaga) või kus soojustus oli ebakvaliteetselt paigaldatud (akna ümbrused) on oht veeauru kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks. Seetõttu tuleb soojustada ka rõdu ja lodžaga piirnevad seinad ning võimaluse korral ka akna paled.

Vastavalt VV määrus nr. 258 „Energiatõhususe miinimumnõuetele“ peavad oluliste renoveeritud kortermajade energiatõhususarv/kaalutud energia erikasutus jääma alla  $200 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ , mis tagab energiatõhususklassi „D“. Uuritavate hoonete arvutuslike energiatarbe erikulude põhjal võib järeldada, et tagades hoonetes nõuetekohase loomuliku ventilatsiooni on seda tulemust raske saavutada. Välispiirete soojustamine pole terviklikult lahendatud ning välispiirete soojusjuhtivused jäävad alla soovituslike soojusjuhtivuse väärtuste. Poole võrra tõhustades hoonetes ventilatsioon, kulub nn loomulikku sissepuhkeõhku soojendamiseks samuti kaks korda rohkem energiat. Uuritavate kortermajade muutmine energiatõhusamaks pole saavutanud tänaste nõuete järgi soovitud tulemust. Hoone hea energiatõhususe saavutamiseks (alla  $150 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ ) tuleb sarnaste korterelamute välisseinad soojustada minimaalselt 150 mm soojusisolatsiooni kihiga, soojustada täiendavalt katus, keldri lagi, sokkel, vahetada välja aknad minimaalselt kolme kihilise klaaspaketi vastu ning kasutada väljatõmbe ventilatsiooni õhu soojust, kas sissepuhkeõhu soojendamiseks või sooja tarbevee, küttevee soojendamiseks.

Üldjuhul on oluline hoone renoveerimistööid planeerides teada, et neid töid, mille eluiga on lühem kui arvutustes ilmnenu tasuvusaeg, ei ole mõistlik teha. Vastuvõetav tasuvusaeg võib hinnanguliselt olla maksimaalselt 10-15 aastat, eeldusel et avariiõhtlikud olukorrad on likvideeritud. Seades eesmärgiks nii ohutuse, tervislikkuse kui ka märkimisväärse energiasäästu, oleks soovitatav majanduslikust aspektist lähtudes kõikidel hoonetel välja pakutud rekonstrueerimislahendused kogu mahus ellu viia. Korraga tehtud tööd on tehniliselt ja majanduslikult otstarbekamad kui aja jooksul üksikute tööde kaupa realiseeritud.

Uuringu tulemustel kerkisid esile, et täiendavat uurimist vajavad välisseinte soojus- ja niiskusrežiim enne ja peale soojustamist. Samuti rekonstrueerimissetepanekutes variantlahendusena teoreetilise arvutusena läbilahendatud ventilatsiooni väljatõmbeõhu soojuse kasutamiste soojuspumba vahendusel sooja tarbevee- ja kütteenergiaks.

## 10 Viidatud kirjandus

1. TTÜ (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool ehitusteaduskond, Tallinn, 2009.
2. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258 (RTI, 28.12.2007, 72, 445).
3. EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.
4. EVS 845-1:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine. Osa 1: Üldnõuded.
5. EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna lähteparameetrid hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast (Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics). Eesti Standardikeskus.
6. EVS-EN ISO 7730:2006 Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Eesti Standardikeskus.
7. Kõiv, T.-A. Indoor climate and ventilation in Tallinn school buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 17-25.
8. Ševeljova, M. Nõukogudeaegsete raudbetoonist suurpaneel-elamute tüüpsete soojus- ja niiskusarvutused. Lõputöö, Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2009.
9. Ehituskonstruktori käsiraamat
10. SNiP II-3-79\*
11. Kalamees, T., Vinha, J. Estonian Climate Analyzes for Selecting Moisture Reference Years for Hygrothermal Calculations. Journal of Thermal Envelope and Building Science 2004; 27 (3): 199-220.
12. Kalamees, T., 2006. Hygrothermal Criteria for Design and Simulation of Buildings. Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn: TTU Press
13. Jõgioja, E., Reinpuu, R., (2005), Lisasoojustusega fibo-plokkidest välisseina niiskusolukorra katseline määramine ehitusjärgsel perioodil. TTK toimetised.
14. Kalamees, T. (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering, 12(3-1), 218 – 229 ([http://www.kirj.ee/public/va\\_te/eng-2006-3\\_1-6.pdf](http://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-3_1-6.pdf)).
15. TTÜ (2006). Eesti kraadpäevad. Tallinna Tehnikaülikool keskkonnatehnika instituut, Tallinn, 2006.
16. EVS-EN 13779:2007. Mitteleluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele (Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems). Eesti Standardikeskus.
17. Abel, E., Voll, H. Hoonete energiatarve ja sisekliima, Tallinn, 2010.
18. Leena Albreht. Ruumiõhu sündroom. Kursusetöö keskkonnatervishoius. Tartu Ülikooli arstiteaduskonna keskkonna- ja töötervishoiu õppetool. <http://www.tervisekaitse.ee/documents/elukeskkond/Ruumi%C3%B5hk.pdf>.
19. Jørgen Bech-Andersen . Sisekliima ja hallitusseened. Tartu, 2005.