

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Uuringu lõppraport

Targo Kalamees, Teet-Andrus Kõiv, Roode Liias, Karl Õiger, Urve Kallavus,
Lauri Mikli, Simo Ilomets, Kalle Kuusk, Mikk Maivel, Alo Mikola, Paul Klõšeiko,
Tõnis Agasild, Endrik Arumägi, Eva Liho, Tanel Ojang, Tanel Tuisk,
Lembi-Merike Raado, Tõnu Jõesaar

Toimetanud: ehitusinsener Targo Kalamees

Projekti vastutav täitja: professor Roode Liias

Autoriõigused: autorid, 2010

ISBN

Eessõna

Käesolev raport võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas ajavahemikul september 2008 kuni oktoober 2010 läbiviidud uuringu „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga” tulemused. Uurimistöö on tehtud Krediidid ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuse KredEx tellimusel ja finantseerimisel. Lisaks KredEx-ile osalesid uurimistöö juhtrühmas veel Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ehitus- ja elamuosakonna ning energeetikaosakonna esindajad:

Krediidid ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutus KredEx: Heikki Parve, Mirja Adler;
Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium: Madis Laaniste, Margus Sarmet,
Pille Arjakas

Tallinna Tehnikaülikooli poolt osalesid uurimistöös järgmised asutused ja isikud:

Ehitiste projekteerimise instituut (ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool, ehituskonstruktioonide õppetool): Targo Kalamees, Karl Õiger, Lauri Mikli, Simo Ilomets, Endrik Arumägi. Kaasa töötasid: Paul Klõšeiko, Tõnis Agasild, Eva Liho, Marko Uuk, Üllar Alev, Kätlin Miilberg, Lembitu Lindmäe, Sten Tuudak, Klaus Treimann, Sandra Vahi, Rain Männikus, Laura Laan, Alari Kompus, Siim Kroodo, Mari Emmus, Andres Käes, Ksenja Kaevu, Kristjan Pever, Kitty Saar.

Keskonnatehnika instituut (kütte ja ventilatsiooni õppetool): Teet-Andrus Kõiv, Kalle Kuusk, Mikk Maivel, Alo Mikola, Anti Hamburg.

Ehitustootluse instituut (ehitusökonoomika ja -juhtimise õppetool, ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratoorium): Roode Liias, Lembi-Merike Raado, Margit Rosenberg, Tiina Hain, Juri Hmelnitski, Kaasa töötas: Tanel Ojang.

Materjaluuringu teaduskeskus: Urve Kallavus.

Uurimisraporti erinevate peatükkide kirjutamisel on osalenud järgmised isikud:

Targo Kalamees: ptk. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14; Teet-Andrus Kõiv: ptk. 8, 10, 11, 14; Roode Liias: ptk. 13; Karl Õiger: ptk. 2, 14; Urve Kallavus: ptk. 9; Lauri Mikli: ptk. 6; Simo Ilomets: ptk. 2, 3, 5; Kalle Kuusk: ptk. 11, 14; Mikk Maivel: ptk. 11, 14; Alo Mikola: ptk. 8, 10, 14; Paul Klõšeiko: ptk. 2, 14; Tõnis Agasild: ptk. 2, 14; Endrik Arumägi: ptk. 4; Eva Liho: ptk. 13; Tanel Ojang: ptk. 12; Lembi-Merike Raado: ptk. 2; Tõnu Jõesaar (Termopilt Tartu OÜ): ptk. 12.7. Uurimisraporti sisulise poole on toimetanud Targo Kalamees ja keelelise poole Mari-Ann Tamme.

Täname uurimistöö rahastajaid ning uuritud elamute elanikke ja korteriühistute esimehi/-naisi oma panuse eest uurimistöö õnnestumisesse. Eesti Korteriühistute Liit on tänatud abi eest uurimisobjektide leidmisel. Balti Vara Fassaadid OÜ, SIA Caparol Baltica Eesti, AS Telinek ja Rockwool OÜ on tänatud abi eest välisseina lisasoojustamise uuringu läbiviimisel. Täname Clik AS-i abi eest tehnosüsteemide maksumuse koostamisel, Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia instituuti väliskliimaandmete ja Eesti Energia AS-i uuritud elamute energiaandmete eest.

Tallinnas, november 2010

Tegijad

Sisukord

1	Sissejuhatus	7
2	Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid	9
2.1	Seinte olukord	9
2.1.1	Seinte lahendused ja materjalid	9
2.1.2	Välisseinte peamised probleemid	11
2.2	Katuste olukord	25
2.2.1	Katuste lahendused	25
2.2.2	Katuste põhilised puudused	26
2.3	Rõdude ja varikatuste olukord	28
2.4	Vundamentide, soklite ja keldripõrandate olukord	29
2.5	Vahelagede, treppide ja trepikodade olukord	29
2.6	Avatäidete olukord	30
2.7	Tuleohutus	30
3	Külmasillad	31
3.1	Meetodid	31
3.1.1	Külmasildade kriitiline tase	31
3.1.2	Külmasilla hindamine termograafia infrapuna kaamera abil	33
3.1.3	Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega	34
3.2	Tulemused	35
3.2.1	Termograafia mõõtmistulemused	35
3.2.2	Arvutustulemused	37
3.2.3	Tulemuste hindamine	46
3.3	Külmasildadega arvestamine elamu soojuskadude arvutamisel	47
4	Hoonepiirete õhupidavus	49
4.1	Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine	50
4.2	Õhupidavuse hindamise meetodid	51
4.3	Tulemused	53
5	Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus	56
5.1	Seinte soojusjuhtivuse mõõtmised	57
5.1.1	Meetodid	57
5.1.2	Tulemused	58
5.1.3	Tulemuste hindamine	61
5.2	Mineraalvillast ja vahtpolüstüreenist lisasoojustuse liitsüsteemi soojus- ja niiskustehniline võrdlus keraamilistest tellistest seinal	62
5.2.1	Meetodid	62
5.2.2	Tulemused	64
5.2.3	Tulemuste hindamine	70
5.3	Seestpoolt lisasoojustatud tellisseina soojus- ja niiskustehniline analüüs	71
5.3.1	Meetodid	71
5.3.2	Tulemused	72
6	Sisepiirdetarindite helipidavus	75
6.1	Meetodid	75
6.1.1	Sisepiirdetarindite helipidavuse kvaliteedi otsustamise alused	75
6.1.2	Sisepiirdetarindite helipidavuse hindamismeetodid	76
6.2	Tulemused	77
6.2.1	Helipidavuse mõõtmistulemused eksploatatsioonitingimustes	77
6.2.2	Helipidavuse arvutustulemused	78

7	Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites	79
7.1	Meetodid	81
7.1.1	Mõõtmised	81
7.1.2	Väliskliima	82
7.1.3	Sisetemperatuuri hindamiskriteeriumid	83
7.1.4	Siseõhu niiskuskooormuse arvutus	84
7.2	Tulemused	85
7.2.1	Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist	85
7.2.2	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel	86
7.2.3	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel	87
7.3	Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele	89
7.4	Niiskuskooormused korterites	91
8	Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet	94
8.1	Meetodid	96
8.1.1	Mõõtmised	96
8.1.2	Siseõhu CO ₂ sisalduse hindamiskriteeriumid	97
8.1.3	Ainevahetusliku CO ₂ meetod	98
8.1.4	Eluruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid	100
8.1.5	Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid	101
8.2	Tulemused	101
8.2.1	Siseõhu CO ₂ sisalduse mõõtmised korterites	101
8.2.2	Magamistubade õhuvahetus	103
8.2.3	Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetus	106
9	Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline uurimine	109
9.1	Materjalide pinnalt võetud proovide analüüsimine	110
9.2	Õhuproovide analüüs	111
9.3	Veega liikuvate soolade analüüs tellistes	112
10	Tehnosüsteemide olukord	115
10.1	Ventilatsioon	115
10.1.1	Telliskorterelamute ventilatsioonisüsteemide iseloomustus	115
10.1.2	Ventilatsiooni tehniline seisukord	116
10.1.3	Küttesüsteem ja soojusvarustus	119
10.1.4	Elektrisüsteemid	121
10.1.5	Veevarustus ja kanalisatsioon	122
11	Telliselamute energiatarbimise analüüs	124
11.1	Mõõdetud energiatarbimise analüüs	124
11.1.1	Elektritarbimise analüüs	124
11.1.2	Gaasitarbimise analüüs	125
11.1.3	Vee tarbimise ja vee soojendamise energiatarbimise analüüs	126
11.1.4	Ruumide kütmiseks ja ventileerimiseks tarbitud soojusenergia analüüs	128
11.1.5	Kaalutud energiaerikasutuse analüüs	130
11.2	Telliselamute energiatõhususe ja selle ehitusmajanduslik arvutuslik analüüs	132
11.2.1	Meetodid	132
11.2.2	Energiaarvutuste tulemused	135
12	Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud: kokkuvõte ankeetküsitlusest	144
12.1	Elamistingimused	144
12.2	Akende iseloomustus	145
12.3	Niiskuskahjustused	145
12.4	Kütte- ja ventilatsiooniprobleemid	146
12.5	Müra- ja terviseprobleemid	147

12.6	Korterite sanitaarremont	148
12.7	Elanike hinnang korterite sisekliimale energiaauditite põhjal	149
12.7.1	Siseõhu temperatuur	149
12.7.2	Hallitus korterites	150
13	Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest	153
13.1	Piirdetarindid ja ehituskonstruksioonid	156
13.1.1	Välisseinad	156
13.1.2	Rõdud, varikatused	162
13.1.3	Katused	163
13.1.4	Külmasillad	167
13.1.5	Vahelaed	167
13.1.6	Avatäited: aknad ja ukse	167
13.1.7	Trepid, trepikojad	169
13.1.8	Keldriseinad, sokkel	169
13.1.9	Niisked ja märjad ruumid	169
13.1.10	Müratõrje ja helipidavus	170
13.2	Tehnosüsteemid	170
13.2.1	Soojusvarustus	170
13.2.2	Küte	170
13.2.3	Ventilatsioon	172
13.2.4	Veevarustus	184
13.2.5	Kanalisatsioon	185
13.3	Energiatõhusus	185
14	Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs	192
14.1	Meetodid	192
14.2	Tulemused	198
14.3	Kokkuvõte	211
15	Järeldused	215
16	Kasutatud kirjandus	220

1 Sissejuhatus

Uuringu objektiks oli selgitada välja tüüpprojektide alusel Eesti erinevates piirkondades ehitatud ning erinevas vanuses olevate tellistest ehitatud korterelamute kaardistamine, ehitustehnilise seisukorra hindamine ja elanike hinnangute väljaselgitamine nende omandis olevate korterite ning hoonete seisundi kohta.

Uuringu eesmärgiks olnud telliselamute ehitustehnilise seisukorra väljaselgitamiseks oli lepinguline kohustus:

- kaardistada 25 erinevas vanuses ja erinevas piirkonnas asuva korterelamu ehitustehniline ja sisekliima seisukord;
- süstematiseerida kaardistamisel saadud andmed, et need oleksid kasutatavad analüüsideks ning probleemide lahenduste väljatöötamiseks;
- analüüsida kaardistamisel saadud andmeid ja anda ülevaade uuritud korterelamute ehitustehnilisest ja sisekliimaatilisest olukorrast ning hinnata nende vastupidavust;
- kaardistamisel saadud andmete põhjal koostada ülevaade tellisest korterelamute juures esinevatest peamistest probleemidest ning välja töötada üldised põhimõttelised lahendused selliste probleemide kõrvaldamiseks.

Uuringu raames tuli keskenduda järgmistele töödele:

- uuringu objekti täpsem määratlemine, alusmaterjalide kogumine ja vormistamine;
- hoonete konstruktsioonide uuringud;
- hoonete ehitusfüüsikalised uuringud;
- hoonetes sisekliima uuringud;
- hoonesiseste kommunikatsioonide uuringud;
- korteriomanike hinnangute ja strateegiliste hoiakute uurimine.

Iga objekti juures tehti ehitustehniline analüüs kogu elamule, ehitusfüüsikalised ja pikemad sisekliima uuringud vähemalt ühes korteris.

Kuna 78 % Eesti elamufondist on koondunud Harju, Ida-Viru, Tartu ja Pärnu maakonda, valiti käesolevas uuringus enamik uuringuobjektidest nendest kohtadest. Uuritud elamute ja korterite jaotus vastavalt asukohale ja ehitusaastale vt. Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Uuritud elamute ja korterite jaotus vastavalt asukohale ja ehitusaastale.

Asukoht	Objektide arv vastavalt elamu ehitusaastale							
	1945-1970		1971-1980		1981-1990		Kokku	
	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid
Tallinn	5	3	15	8	7	4	27	15
Virumaa	2	2	2	2	1	1	5	5
Pärnu	1	1	5	2	1	1	7	4
Tartu	2	2	2	2	5	2	9	6
Kokku	10	8	24	14	14	8	48	30

Uurimisobjektide valik tehti eelkõige Eesti Korterühistute Liidu poolt pakutud korterelamute seast. Pärast hoonete valikut võis valimist eraldada kuut levinumat korterelamu tüüpi, vt. Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Uuringus osalenud peamised telliskorterelamute tüübid.



4-5 korruseline 2-4 trepikojaga tüüpelamud I-317 ja I-318 (8 korterelamut)



5-9 korruseline keraamilistest tellistest sektsioonelamu (5 korterelamut)



Ühe trepikojaga silikaattellistest kuni 5-korruseline punktalamu (4 korterelamut)



Arh. R. Karp-i 10-korruseline silikaattellistest elamu (3 korterelamut)



Uuem silikaattellistest kuni 5-korruseline mitme trepikojaga korterelamu (5 korterelamut)



Teise maailmasõja järgsed esinduslamud (1 korterelamut)

Uurimistöö lõppraport on sisu järgi jaotatud kahte ossa:

- olemasoleva olukorra kaardistamine (ptk. 2-14);
- kokkuvõtte põhimõttelistest renoveerimislahendustest (ptk. 15).

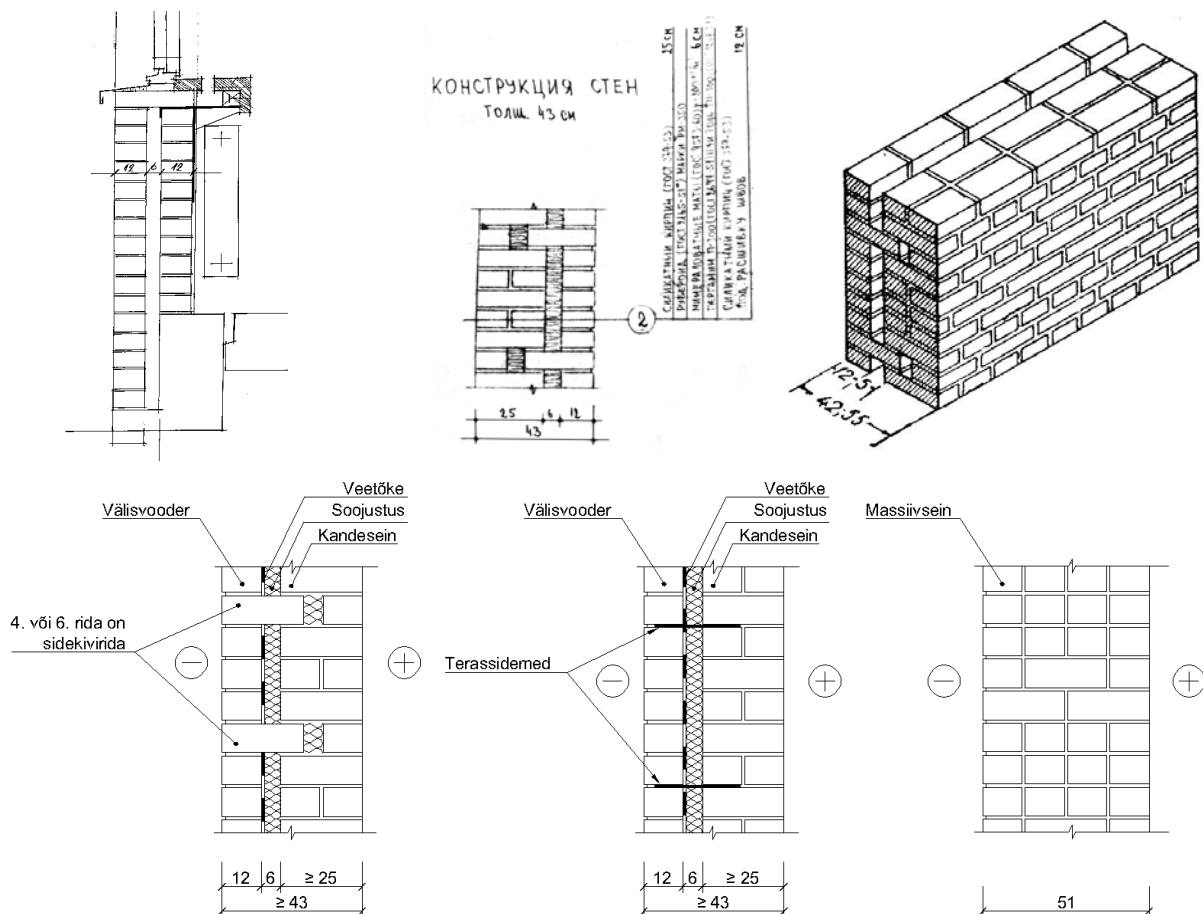
2 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

2.1 Seinte olukord

2.1.1 Seinte lahendused ja materjalid

Telliselamute välisseinad on lahendatud nii kihiliste seintena kui ka massiivseintena, vt. Joonis 2.1. Massiivseinte puhul on tavaliselt tegemist kaks kiviseintega paksusega 51 cm.

Mitmekihilised tarindid on harilikult kandvas osas silikaattellisest, samas voodrikiht võib olla nii keraamilistest kärgtellistest kui ka silikaatkividest. 6 cm vahe fassaadi ja kandva kihi vahel on täidetud mineraalvillaga. Fassaadikiht on seotud kandva seinaga kas horisontaalsete või vertikaalsete sidekiviridadega, jäigalt mörti kinnitatud terassidemete või nende mõlema kombinatsiooniga. Seotis on projekteeritud horisontaalselt (sidekivirida iga 4.–6. kivirida), vertikaalselt ~1,5–2 m sammuga, terassidemeid (üldjuhul tsinkimata Ø4...6 mm) paigaldati ~4 sidet/m².



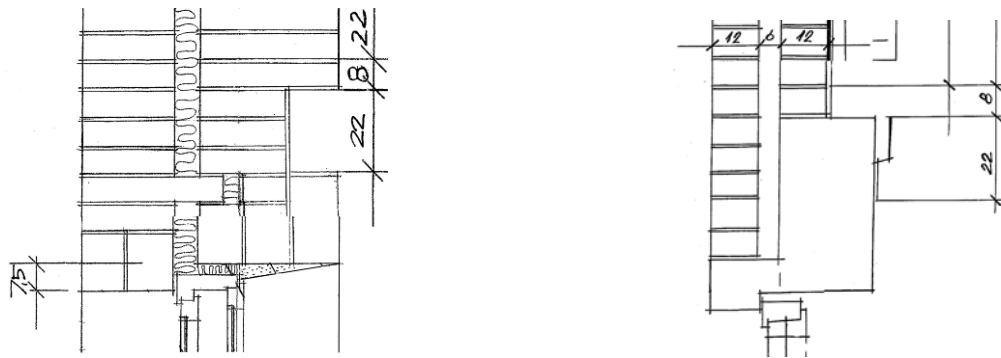
Joonis 2.1 Telliselamute peamised välisseinte lahendused.

12 cm paksune tellisest välisvooder ei ole vihmatihe. Tugevama kaldvihmaga märgub fassaad ja vesi tungib fassaadikivide taha. Isoleerimaks soojustust läbi fassaadi tungiva vihmavee eest, on soojustuse pind enamasti kaetud tõrvapapist või ruberoidist veetõkkega (vt. Joonis 2.2). Niiskustehniliselt ei ole selline lahendus parim, kuna soojustuse välispinnas on veeaurutihe materjal, mis takistab seinast niiskuse väljakuivamist. Projektides võib olla ette nähtud ka pargamiinist/tõrvapapist/ruberoidist kiht aurutõkkeks soojustuse ja kandva kihi vahele. Selline lahendus avastati vaid ühel, 1989. aastal ehitatud hoonel. Valdavalt oli soojustus välisvoodriga otseses kontaktis ja välisvooder on projekteeritud mittetuulutatavaks.



Joonis 2.2 Tellisvoodri ja soojustuse vahel võib olla tõrvapapp või ruberoid.

Aknasillused võivad olla raudbetoonist lihttalad või lõugtalad, vt. Joonis 2.3. Samas vanematel hoonetel on sillusteks kasutatud ka tellissilluseid (nii teraslehega toetatult kui ka ilma).



Joonis 2.3 Välisseinte silluste lahendusi: monteeritavad raudbetoonsillused (vasakul) ja raudbetoonist lõugtala (paremal).

Tellishoonete korterisisesed ja mittekandvad vaheseinad on laotud 12 cm paksustena. Korterivaheliste vaheseinte paksus on 25...38 cm või sõltuvalt nõuetest kandevõimele paksemgi.

NSVL-is toodeti silikaatkive standardmõõtudega 250x120x65 mm või 250x120x88 mm; tugevusmarkidega 75, 100, 125, 150, 200 ja 250, st. et 5 kivi keskmine survetugevus on vastavalt 7,5; 10; 12,5; 15, 20; 25 MPa. Tugevusomaduste määramise juures arvestati ka lubatud minimaalseid üksikuid tugevusnäitajaid ja esitati nõue paindetugevuse näitajatele. Hariliku silikaatkivi veeimavus kuni 16% ja külmakindlus vahelduval külmutamisel-sulatamisel vähemalt 15 tsüklit (tingimuseks oli, et pärast 15 tsüklit peab survetugevus olema vähemalt 75% esialgsest).

Keraamilised täis- ja õõnestellised standardmõõtmetega 250x120x65 mm, markidega survetugevuse järgi 50, 75, 125, 150; 200, 250 ja 300. Nõutud survetugevus 5 kivi keskmisena vastavalt 5, 10, 12,5, 15, 20, 25 ja 30 MPa. Normeeritud veeimavus plastsel meetodil vormitud keraamilisel tellisel margiga kuni 150 oli vähemalt 8% ja kõrgematel tugevustel vähemalt 6%. Veeimavus ületas tavapäraselt tunduvalt nimetatud väärtusi. Külmakindlus vahelduval külmutamisel-sulatamisel pidi olema suurem kui 15 tsüklit. Keraamiliste telliste püsivusomadused olenevad suurel määral nende põletusest. Oli väga tavaline, et esines alapõletust ja seetõttu tõusis veeimavus.

2.1.2 Välisseinte peamised probleemid

Läbilõikunud sidemed, eemaldunud voodrikiht

Paljudel elamutel esines tõsiseid probleeme fassaadikihi ja kandva seiniosa vaheliste sidemetega: tõsiseim probleem on tellisest sidekividega. Välisseintel, kus silikaattellistest kandesein ja keraamilistest tellistest välisvooder on ühendatud tellissidemetega, on suur tõenäosus, et sidekivid on purunenud. Sidekivide purunemine võib viia välisvoodri kandeseinast eemaldumiseni (Joonis 2.4) või halvimal juhul varisemiseni (Joonis 2.5).

Sidekivide purunemise peamiseks põhjusteks on keraamiliste telliste ja silikaattelliste erinev soojuspaisumine ja -deformatsioon, kandvale seinaosale pikaajaliselt mõjuvast koormusest põhjustatud roomedeformatsioon, ebapiisavalt seotud välisvooder või pinnase vajumine.

Terassidemete juures on probleemiks asjaolu, et kasutati tsinkimata traatankruid, mis paiknevad niiskes (vihmavesi, veeauru kondensaad) ja agressiivses keskkonnas (klaasvatis fenoolid, väävel jne.).



Joonis 2.4 Tellisest sidekivi on purunenud ja välisvooder on ~10 cm väljapoole liikunud (vasakul). Fassaadi sidumiseks kandva seina külge on kasutatud ankruid (paremal).



Joonis 2.5 Tellissidemete purunemise (vasakul) tagajärjeks võib olla tellisvoodri varing (paremal).

Telliste külmakindlus

Külmakindlus on materjali omadus veega küllastunult taluda lagunemata vahelduvaid külmumis-sulamistsükleid. Eesti kliimas on sagedased ajad, millal tellisvoodri temperatuur kõigub nulltemperatuuri ümber ja hoone kasutusea jooksul peab fassaad taluma arvukaid külmumis-sulamistsükleid. Seetõttu on telliselamute välisfassaadi säilivuse tagamiseks väga tähtis telliste külmakindlus.

Külmakindlus piiritletakse minimaalse külmutustsüklite arvuga, mida tellis oluliste muutusteta ja kahjustusteta peab suutma taluda. Tellise külmakindlus on tavaliselt 15–50 tsüklit, mis tähendab vigastuste ilmnemist pärast nimetatud külmutus-sulatustsüklite arvu. Ühe tsükli tingimused imiteerivad vahelduva külmumise-sulamise protsessi looduses ja on määratud vastavates katsetamise standardites.

Telliste külmakindlust vähendavad avatud poorid, mille kaudu saab vesi kapillaarjõudude mõjul tellisesse imenduda. Samas aitavad lahtised poorid müüritise ladumisel tekitada naket mördi ja kivi vahel. Suletud poorid seevastu suurendavad külmakindlust, sest nende arvelt võivad veega täitunud poorid jäätudes paisuda ilma kivimi struktuuri lõhkumata.

Veeimavus ja seega külmakindlus sõltuvad põletustemperatuurist. Mida kõrgem põletustemperatuur, seda vähem on tellises nii avatud kui ka suletud poore ja seda suurem on külmakindlus ja survetugevus.

Kui välisvooder on märgunud, kaasneb külmumis-sulamistsüklitele tellise pealispinna koorumine (murenemine) (vt. Joonis 2.6). Külmakahjustuste põhjuseks on lahtistesse pooridesse imbuva vesi, mille maht jäätudes suureneb ning tekkivad lisapinged lagundavad järk-järgult tellise struktuuri (vt. Joonis 2.7).



Joonis 2.6 Külmakahjustustega keraamilistest tellistest (vasakul) ja silikaattellistest (paremal) välisvooder.



Joonis 2.7 Eriti tugev on probleem suurema vihma/veekoormusega kohtades, näiteks parapeti (vasakul) või sokli (paremal) juures.

Telliste külmakindluse laboratoorse uuringu meetodid

Telliste külmakindluse uuringu eesmärk oli selgitada välja telliste jääkülmakindlus ja fassaadide kaitsmise vajadus. Uuringu käigus eemaldati fassaadidest telliseid kokku 12 elamult (6 silikaattelistest ja 6 keraamilistest tellistest elamut Tallinnast, Sakust, Tartust, Pärnust ja Sillamäelt). Kokku võeti 69 proovi (30 keraamilist tellist ja 39 silikaattelist). Proovid võeti erinevatelt kõrgustelt (Joonis 2.8) ja katseteks võeti ainult visuaalselt terved tellised.

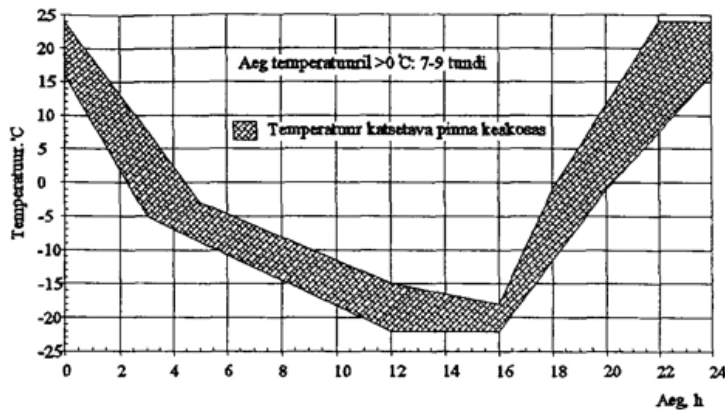


Joonis 2.8 Telliste valik ja eemaldamine fassaadist.

TTÜ ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis saeti fassaaditellistest välja katsekehad ja tehti külmakindluse katsetused. Töö käigus ilmnisid probleemid seoses keraamiliste telliste külmakindluse määramise standardi puudumisega. Seetõttu katsetati saadud katsekehi kolmel erineval meetodil:

- Normaalebetooni katsetamise standardil (EVS 814) põhinenud katsetustel saeti laboris välja tellisest 12x6,5x12 cm katsekehad. Katsekehad asetati kummiümbrisesse, mis omakorda ümbritseti viiest küljest soojusisolatsiooniga (vahtpolüstüreen), nii et avatuks veele jäi vaid üks katsekeha külg (vt. Joonis 2.9). Katsekehade katsetatavaks pinnaks külmutus-sulatuskatsetel oli tellise välispind fassaadis. Pärast 7, 14, 28, 42 ja 56 tsüklit määrati katsekeha katsetatavalt pinnalt murenenud materjali kogus massikaona pinnaühiku kohta (kg/m^2).
- Silikaattellise külmakindluse standardi (EVS-EN 772-18) meetodil katsetades saeti katsetellistest katsekehad, mis pandi vette $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (pikim mõõde vertikaalsuunas). Esmalt uputati katsekehad umbes veerandi kõrguse sügavuselt, ühe tunni möödudes uputati katsekehad poole kõrguseni, seejärel tunni möödudes kolmveerandi kõrguseni ja 24 tunni möödudes uputati katsekehad täielikult. Järgmise 24 tunni möödudes tõsteti katsekehad veest välja, lasti veel ära voolata ja alustati külmutustsüklit. Pärast külmutustsüklit sulatati katsekehad, uputades need vette vähemalt kaheks tunniks. Kokku viidi läbi 50 külmutus-sulatustsüklit. Pärast katset protokolliti katsekeha nähtavad vigastused. Kui katsekehal esinesid vigastused, viidi samade katsekehadega läbi survetugevuse katse.
- Keraamiliste ja silikaattelliste ning kivide katsetamise GOST 7025 meetodil katsetades saeti laboris välja katsekeha paksusega ~50 mm risti fassaadipinnaga. Katsekehade külmutamine toimus õhu sundtsirkulatsiooniga termoklaavis temperatuuril $(-18 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ kestusega 4...16

tundi ja sulatamine tavalises vees temperatuuril $(+18 \pm 2)^\circ\text{C}$ kestusega 2 tundi. Seega ühe külmutustsükli pikkuseks, külmutamine + sulatamine oli 6...18 tundi. Katse algul ja pärast 25, 50, 75 ning 100 külmutustsüklit toimus katsekehade välisvaatlus ja massi muutuse määramine. Külmakindlust rahuldavaks tulemuseks antud tsüklite arvu juures loeti massikao ja kahjustuste puudumist.

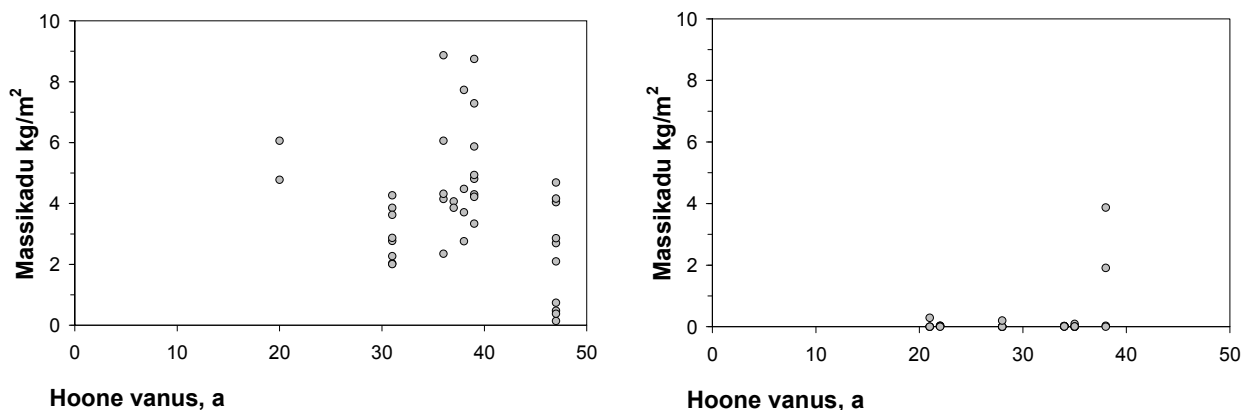


Joonis 2.9 Külmutuskeskkonna temperatuuri/ajatsükkel (EVS 814:2003) katsetatava katsekeha pinna keskel (vasakul). Silikaattellise katsekeha pärast 56 külmutus-sulatustsüklit (paremal).

Telliste külmakindluse laboratoorse uuringu tulemused

Võrdsustades tellisfassaadi kestvuse nõuded betoonfassaadi kestvusega võiks telliste külmakindlust hinnata normaalbetooni katsetamise standardil (EVS 814) abil. Elamute fassaadidele võib kohandada keskkonnaklassi XF1, st. mõeldukalt veega küllastunud, ilma jäitevastase aineta. Külmakindluse näitaja on $S_{56} \leq 0,50$ ehk koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit peab olema väiksem kui $0,50 \text{ kg/m}^2$ või kui S_{56}/S_{28} on väiksem, siis $2S_{56} \leq 1,00$ ehk koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $1,00 \text{ kg/m}^2$.

Vastavalt katsetulemustele saab väita, et betoonist fassaadimaterjaliga võrreldes on silikaatmüüritise külmakindlus oluliselt madalam, sõltumata ehitusaastast, ja kui kohandada tellisfassaadile betooni külmakindluse katsemeetodit, on hoonete seisukord külmakindluse seisukohast murettekitav (vt. Joonis 2.10). Samas tuleb esile, et normaalbetooni katsetamise meetod ei sobi keraamiliste fassaaditelliste katsetamiseks. Keraamiliste telliste massikadu pärast 56 külmutus-sulatustsüklit on enamikul proovidel null, samas tegelikkuses avalduvad külmakahjustused Eestis just keraamilistest tellistest fassaadidel. Põhjus katse käigus saadud väikesele massikaole seisneb tõenäoliselt katsekeha standardijärgses ettevalmistuses. Katsekeha tihendatakse hermeetiliselt servadest nii, et vesi ei pääse tellise horisontaalpinnani. Tegelikult on tellise horisontaalpinnad puhtal vuugil laotud fassaadil osaliselt avatud. Tellise horisontaalpinna veeimavus on suurem kui vertikaalpinna oma ja avatud horisontaalpinna kaudu imendub tellisesse vesi. Katse käigus seda ei toimunud, mistõttu ei saa katsetulemustest järeldada, et keraamilised tellised on silikaattellistest külmakindlamad. Muidugi võib oma osa mängida ka asjaolu, et katsetuseks võeti vaid visuaalselt terved tellised ja nende külmakindlus ei olegi ammendunud. Keraamiliste ja silikaatkivi fassaadimaterjalide võrdsustamine külmakindluse katsetingimuste osas võib olla ka problemaatiline sellepärast, et kasutatud müüritise veeimavus ja veeimendumiskiirus ületavad mitu korda betooni vastavaid näitajaid.



Joonis 2.10 Silikaattellistest (vasakul) ja keraamilistest tellistest (paremal) katsekehade massikadu pärast 56. külmutus-sulatustsükli.

Suurpaneelalamute fassaadide väike jääkkülmakindlus oli nende suur probleem (Kalamees jt. 2009). Võrreldes sama meetodikaga (EVS 814) katsetatud suurpaneelalamute fassaadide ja tellisfassaadide külmakindluse tulemusi, jäävad need samasse vahemikku.

Puhasvuukmüüritise puhul peab vuugimördi külmakindlus vastama müürikivi vastavale näitajale. Mõrdi madal külmakindlus, pragunemine ja suur veeimavus põhjustavad vee tungimist tellistesse eriti (õõnestellistesse) ja nende pealispinna kiirendatud lagunemist.

Saamaks pilti keraamiliste ja silikaatkivi müüritiste praegusest olukorrast ja külmakindlusest antud betooni meetodika järgi katsetades, oleks tulemuste tõlgendamisel mõistlik lähtuda hindamisest pärast 15. külmutus-sulatustsükli, lähtudes neile materjalidele iseloomulikest valmistusnäitajatest.

Kahe hoone fassaaditelliseid katsetati ka silikaattelliste külmakindluse määramise standardi (EVS-EN 772-18) kohaselt. Nende katsete järgi oli survetugevus tellistel, millel 50 külmutus-sulatustsükli jooksul nähtavaid vigastusi ei tekkinud, üle 28 MPa (vt. Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Silikaattellistest proovikehade survetugevus pärast 50-ndat külmutustsükli.

Hoone	Survetugevus pärast külmutus-sulatustsükleid, MPa			
3120	54,2	29,0	34,5	70,3
3130	50,3	28,1	52,9	48,1

Kuna sobivaid Eesti ja rahvusvahelisi (EN, ISO) standardeid keraamiliste telliste katsetuseks uuringu tegemise käigus ei olnud, katsetati keraamilisi telliseid ka GOST 7025 standardi alusel, vt. Tabel 2.2.

Keraamilistest tellistest tähistusega 1140 väljalõigatud katsekehadel pärast 100. külmutus-sulatustsükli massikadu ei esinenud, seejuures katsekehadel nr. 1 ja 2 ilmnisid õõnte vaheseintes üksikud praod.

Keraamilistest tellistest tähistusega 1240 väljalõigatud katsekehal nr. 3 algas pärast 55. ja katsekehal nr. 1 pärast 62. külmutus-sulatustsükli õõnte vaheseinte kihiline lagunemine. Katsekehade keskmine massikadu pärast 75. külmutustsükli oli 4,6 %. Pärast 100. külmutustsükli olid katsekehad nr. 1 ja 3 lagunenud, ülejäänud kolmel katsekehal pragusid ja massikadu ei esinenud.

Keraamilisest tellisest tähistusega 2150 väljalõigatud katsekeha nr. 5 lagunes pärast 58. külmutus-sulatustsükli kaheks tükiks. Katsekehadel pärast 100. külmutus-sulatustsükli massikadu ei esinenud, seejuures katsekehadel nr. 5 ja 6 ilmnisid õõnte vaheseintes üksikud praod.

Katsekehade massi suurenemine on tingitud külmumisel-sulamisele tekkinud mikropragude täiendavast veeimavusest (veega täitumisest). Pragude tekke tagajärjel imendub tellisesse rohkem vett, mis külmudes paisub ja lagundab tellist.

Tabel 2.2 Keraamilistest tellistest katsekehade massi muutus pärast külmutus-sulatustsükleid GOST 7025 järgi.

Hoone ja proovikeha	Katsekeha mass pärast külmutustsükleid, g					Massi muutus, % pärast külmutustsükleid			
	0	25	50	75	100	75		100	
	külmutustsükli					üksik	keskm.	üksik	keskm.
1140	-1	923	927	929	930	931	0,8	0,9	
	-2	831	834	836	838	840	0,8	1,1	
	-3	866	871	873	875	876	1,0	0,6	0,8
	-4	848	851	852	853	854	0,6	0,7	
	-5	807	810	809	806	806	-0,1	-0,1	
1240	-1	797	801	803	770	lagunenud	-3,4		
	-2	823	825	826	827	831	0,5	1,0	
	-3	823	826	819	638	lagunenud	-22,5	-4,6	-
	-4	715	720	721	723	724	1,1	1,3	
	-5	738	742	744	746	748	1,1	1,4	
2150	-5	642	645	645	645	646	0,5	0,6	
	-6	864	866	867	868	872	0,5	0,5	0,7
	-7	726	728	728	730	731	0,6	0,7	

Müüritise ilmastikukahjustused olenevad peale müüritise liigestatuse ja seal esinevate avade jms. ka fassaadide paigutusest ilmakaarte suhtes. Lõuna-edelasuunda jäävate fassaadide kahjustused on alati suuremad teiste ilmakaartega võrreldes. Lisaks mõjutab fassaadi püsivust suurte puude ja metsa lähedus.

Katsetulemuste alusel võib tõdeda, et eri aegadel püstitatud silikaatkiviehitistes on telliste külmakindlus kuni kolmanda korruse suhteliselt hea ja halveneb alates neljanda korruse kõrgusest. Akendealuses müüritise osas, kus eeldatavasti on suurem pealevoolava vee kahjustus, on silikaatkivide külmakindlus oluliselt langenud.

Kokkuvõtvalt võib visuaalsete vaatluste ja laboratoorsete uuringute alusel kinnitada telliselamute fassaadide vähese külmakindluse probleemi. Looduslikud külmutus-sulatustsüklid kahjustavad eelkõige keraamilistest tellistest fassaadi. Probleemidest külmakindlusega annavad eelkõige märku suurte vihmakoormustega pindade lagunemine ning tellisepuru ja -tükid ümber hoone perimeetri. Silikaatkividest suuremaid tükke murdub lahti tavaliselt vaid väga suure vihmakoormusega kohtades, sealt kust vesi ei ole saanud kiiresti minema voolata.

Veekahjustused

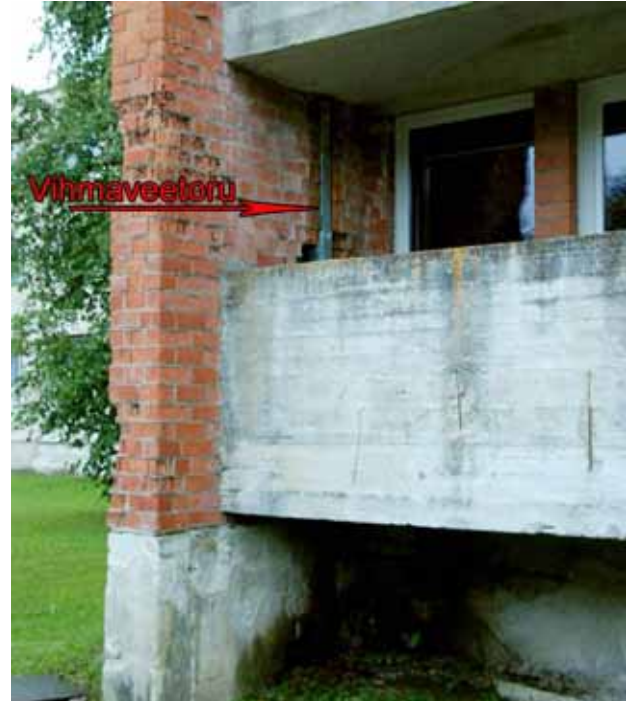
Telliste väikese külmakindluse ja suure veekoormuse tõttu on osade hoonete fassaadid hakanud lagunema. Tihti on fassaaditelliste lagunemise probleemide peamine põhjus suur veekoormus. Peamiselt vihmajärgse või lumesulamise tõttu tellisfassaadidele sattuv vesi põhjustab probleeme eelkõige telliste külmakindluse ammendumise, seinte märgumise, fassaadidel mikrobioloogilise kasvu tõttu.

Vesi imbib seintesse näiteks lekkiva veetõkke või sadeveesüsteemi (vt. Joonis 2.11) tõttu. Riskialtid lahendused ja peamised veekahjustuste põhjused telliselamutel on:

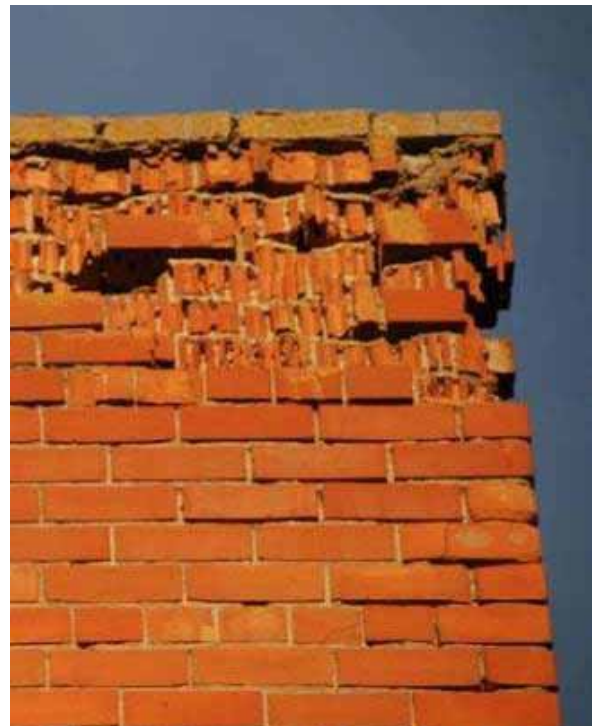
- Puuduvad aknaplekid või lekkiv parapett (lahendatud valtsimata või tihendamata ülekatttega; läbi roostetanud) (vt. Joonis 2.12).
- Looduslikult suurem veekoormus kõrgematel korrustel.
- Hoonel kasvav taimestik või lähedal olevad puud.
- Fassaadidetailid (maanduse- ja antennikaablid, fassaadil olev reklaam jne.), mis toovad vee fassaadile vastu seina jms. (vt. Joonis 2.13).
- Ventilatsioonikorstnas kondenseeruv veeaur (Joonis 2.14).

Talvisel ajal on fassaaditellise kuivamine madala õhutemperatuuri, kõrge õhuniiskuse ja vähese päikese kiirguse tõttu aeglane.

Veekahjustuste tagajärjel lagunenud kivid juhivad üha enam vett müüritisse, kahjustus levib edasi kuni lõpuks kaotab voodrikiht terviklikkuse. Vesi märgab voodrikihi taga olevat soojustust, niiskus levib ka kandvasse müüritisse, purunemisel tekkinud avadest toimub infiltratsioon ja minetatakse suur osa soojustusmaterjali soojapidavusest. Lisaks kannatab ka hoonete esteetiline väärtus. Kui kahjustuse tekkepõhjust ei kõrvaldata, lagunevad ka krohvitud või asendatud tellised.



Joonis 2.11 Seina uputanud vihmaveetoru võib kõrvaldamata lekke korral suurt kahju tekitada. Külma kindlus on ammendunud ka mõned aastad tagasi asendatud tellistel (all paremal).



Joonis 2.12 Puudulikud katteplekid tekitavad telliste lagunemise.



Joonis 2.13 Mööda kaableid fassaadile sattuv vesi põhjustab telliste lagunemise.



Joonis 2.14 Fassaaditelliste lagunemist võib põhjustada ka ventilatsioonikorstna ülemises osas kondenseeruv veeaur ja korstna puudulikud katteplekid.

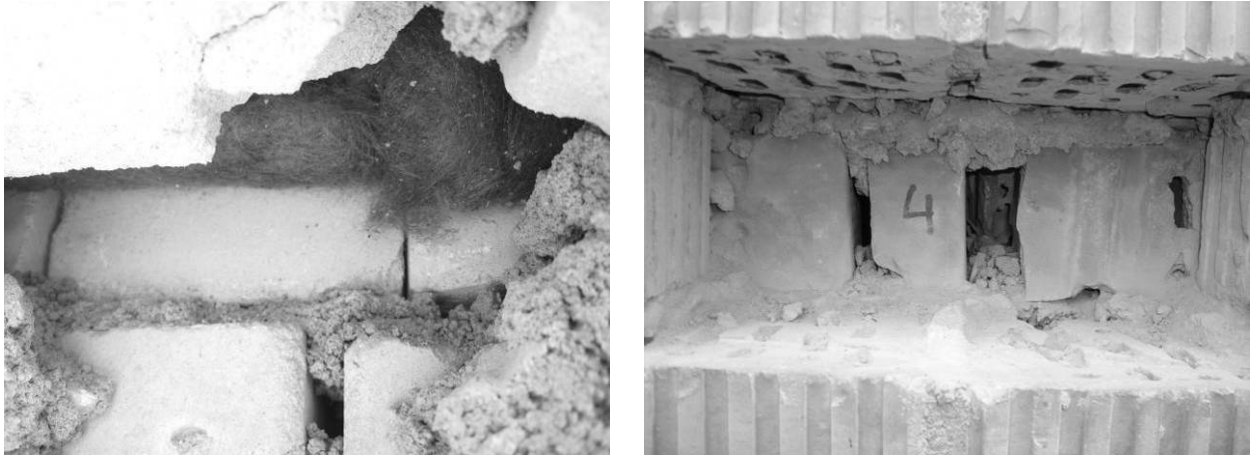
Müüritise kandevõime ja kvaliteet

Tellismüüritise kandevõime sõltub eelkõige telliste ja müürimördi omadustest ning müüritise ladumise tingimustest ja kvaliteedist. Kuna müürseppade kvaliteet oli kõikuv, võib vanemate hoonete juures kohata väga ebakvaliteetset müüritööd (Joonis 2.15, Joonis 2.16). Telliste kaootiline ladu on eriti suur probleem just täidisridades. Täidisridades võib esineda väga erineva kvaliteediga telliseid ning mördikihi paksus võib olla väga suur.

Telliste mõõtude kõikumise ja ebaühtlase vuugi paksuse tõttu võivad piirsituatsioonis tellised puruneda paindele ja lõikele. Surve mõjul tellistes ja mördis piki- ja põikisuunaliste deformatsioonide tõttu tekkivate erinevate põikideformatsioonide tõttu võib tellistest tekkida tõmbepinged. Kui tellised müüritises ei toetu mördile mitte kogu pinnaga, vaid üksikutest kohtadest, siis tekivad tellises peale survepingete ka painde- ja lõikepinged. Kui telliste valmistamise käigus tehti kvaliteedikontrolli ja järelevalvet (telliste kui valmistoodangu katsetamisega oli seda ka lihtsam teha), siis müürimördi kvaliteet võis kõikuda suures ulatuses. Mida nõrgem on mört, seda varem tekivad üksikutesse tellistesse praod ning seda varem võib toimuda müüritise purunemine. Kuna ladumisel on kerge jätta vertikaalvuugid täitmata, halvendab see müüritise monoliitsust. Lisaks sellele, et tühjade vertikaalvuukide kohal olevates tellistes tekivad tõmbe- ja lõikepingete kontsentratsioonid (mille tõttu müüritis puruneb varem), vähendavad tühjad vuugid ka seinte õhupidavust ja helipidavust ning halvendavad seinte niiskustehnilist toimivust.



Joonis 2.15 Vanemate hoonete müüritise ladumiskvaliteet võib kohati olla väga-väga halb.



Joonis 2.16 Lohakalt laotud kandesein: mördiga täitmata püstvuugid, kaootiline seotis, üksikud kivid jne.

Põhjustatuna hoone vajumisest, roomedeformatsioonidest, puuduliku kvaliteediga vuugimördist või silluse ladumise kvaliteedist olid mitmete uuritud hoonete juures tellissillused kas mõne sentimeetri võrra oma esialgsest asendist nihkunud või suisa seinast lahti murdunud (vt. Joonis 2.17). Kuigi silluste purunemine ei pruugi avaldada hoone tugevusele väga suurt mõju, võivad kukkuvad telliskivid kahjustada alumisi kortereid või vigastada möödakäijaid.



Joonis 2.17 Purunenud tellissillused, samuti on näha praod ja kunagisest aknapleki puudumisest kahjustunud tellised.

Tellisseintes pragude (vt. Joonis 2.18) avanemise põhjus võib olla seotud mitme teguri koosmõjuga: müüritise kvaliteet, vundamendi vajumised, ebaõiged koormused, hoone ümbruse transpordist tulenev vibratsioon, müüritise erinevate osade erinevad koormused või deformatsioonid, ebapiisav hulk deformatsioonivuuke vms. Pragude pikkus erinevatel hoonetel varieerus paarikümnest sentimeetrist praktiliselt terve hoone kõrguseni.



Joonis 2.18 Praod hoone pöikikandeseintes (vasakul) ja otsaseinas (paremal), mis on tekkinud vundamendi vajumisest ja müüritise ebakvaliteetsusest.

Telliste survetugevus

Tellise kui konstruktiivse ehitusmaterjali üheks tähtsaimaks omaduseks on survetugevus. Telliste survetugevust katsetati standardite EVS-EN 771 alusel TTÜ ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis. Uuringu käigus eemaldati fassaadidest telliseid kokku 12 elamult (6 silikaattellistest ja 5 keraamilistest tellistest elamut Tallinnast, Sakust, Tartust, Pärnust ja Sillamäelt). Kokku võeti 39 proovi (13 keraamilist tellist ja 26 silikaattellist). Katsetamiseks valiti tellised, millel puudusid visuaalsed külmakahjustuste tunnused. Enne katsetamist silikaatkivid poolitati (survetugevus määrati iga kivi ühe poolega, kuna teise poolega sooritati külmakindluse katse) ja püstõõntega keraamilisel tellisel lõigati ära purunenud otsad. Silikaatkivide survepinnad tasandati väiksemate ebatasasuste puhul lihvimise teel ning suuremate puhul tsementmördiga. Keraamilise tellise survepinnad tasandati lõikamise teel. Survetugevus määrati risti sängituspinnaga ning võrreldavate tulemuste saamiseks kõigil kividel õhukuivas olekus.

Kuna antud katsetuste puhul ei ole tegemist ühesuguse kuju ja mõõtudega katsekehadega ja erineb ka katsetatavate proovikehade kuju standardsete katsemeetodite nõuetest, teostati survetugevuse näitaja ümberarvestused olenevalt proovikeha kujust:

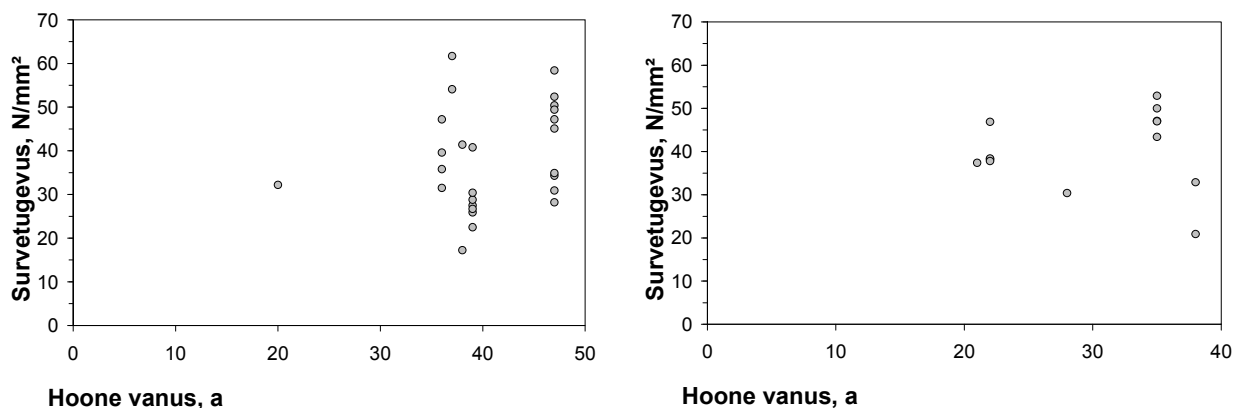
- Silindrite kõrgus 100 ja läbimõõt 100 mm: kujukoeffitsient võiks sellise proovikeha puhul olla kuubiga võrreldava survetugevuse väärtuse saamiseks 1,12 kordne. Seega, silindrilise proovikehaga määratud redutseeritud survetugevus $12,7 \times 1,12 = 14,2$ MPa.
- Risttahukakujulised proovikehad ei ole kuubid, nende külje pikkus ja kõrgus erinevad vähemalt 2 korda, seega tuleks teha täpsemad arvestused kujukoeffitsiendi määramiseks. GOST-i katsetamistoodika nõudis silikaatkivide katsetamisel survele kahe pooliku kivi ülestikku paigutamist. Seega on saadud tulemused olulisel määral erinevad (suuremad) standardse katsetamistoodikaga saadavatest tulemustest.

Katsetatud elamute ehitusaeg jääb ajavahemikku, mil üldiselt fassaaditellistelt nõutav keskmine survetugevus oli 25 N/mm^2 . Vajalik survetugevus oli 15 N/mm^2 . Kõikide katsetatud telliste survetugevus oli $>15 \text{ N/mm}^2$ (vt. Joonis 2.19). Vaatamata pikaaegsele ilmastiku mõjule eksploatatsiooni aja vältel ei ole fassaadis kasutatud tervete, suurte kahjustusteta silikaatkivide

tugevus oluliselt langenud. Kuigi fassaaditelliste katsed näitavad piisavat survetugevust, peab arvestama asjaolu, et katsetatud tellised olid ilma näiliste kahjustusteta.

Müüritise tugevuse hindamisel tuleb arvestada ka mördi survetugevusega ja mördi-kivi vahelise nakketugevusega. Kuna tellised eemaldati seintest vuukide tühjaks puurimise teel, oli võimalik anda subjektiivne ja suhteline hinnang ka mördi tugevusele. Uuritud hoonete puhul oli kõikumine võrdlemisi suur – alates mördist, mida oli võimalik ilma tööriistadeta ära pühkida, kuni materjalini, tänu millele nüristusid ja purunesid puurid.

Kandvates vaheseintes olevatesse pragudesse tuleb suhtuda äärmise tõsidusega, sest need võivada viidata probleemidele vundamentides või kogu hoone kandevõimes. Praod mittekanvates vaheseintes hoone kui terviku kandevõimet üldjuhul ei ohusta. Mittekandvate vaheseinte puuduste peamised tagajärjed on väiksem helipidavus ja õhupidavus (neist viimasega kaasnevad lõhnad, alanenud tuleohutus jms) ning kahjustused lokaalse varingu tagajärjel.



Joonis 2.19 Silikaattelliste (vasakul) ja keraamiliste telliste (paremal) survetugevus.

Välisseinte soojusjuhtivus

Tarindite avamisel oli tavaline, et lisaks sidekividele leidis soojustuseks ettenähtud vahes ka mörti ja muud ehitusprügi, mis kohati tekitas sidekivide peale täiendava ~10 cm kõrguse külmasillariba. Mörti leidis tihtipeale ka seal, kus sidekiviridu läheduses polnud. Villa vajumist, mida harilikult peetakse külmasildade tekitajaks, enamikus elamutes ei täheldatud, kuid paiguti puudus tarindis vill sootuks, vt. Joonis 2.20.

Kuigi mitmetel elamutel on tarindeid asutud lisasoojustama, leidub näiteid, kus seda on tehtud valesid lahendusi või valesid töövõtteid kasutades. Soojustust projekteerides pole tarindite liitekohad lahti joonistatud ja on piiratud vaid ehitusloa jaoks vajalike üldvaadetega. Sellisel puhul ei ole ehitajal konkreetset lahendust, mille järgi ehitada ja järelevalvel ei ole ka lahendust, mille alusel ehitatud hinnata. Ehitusprotsess platsil on kiire ja seal projekteerimiseks aega ei jää. **Renoveerimise lisasoojustuse projektis peab olema esitatud esitada kõikide oluliste sõlmede ja detailide lahendused** (möötkavas 1:10...1:25 s.o. tööprojekti tasemel). Lisaks tüüptarindite lahendusele tuleb lahendada ka erinevate tarindite ja avatäidete liitumised. Temperatuurivälja arvutustega tõendatakse, et välispiiretes olevate külmasildade lisajuhtivus ei ületaks energiaarvutustes kasutatud külmasildade lisajuhtivust ning külmasilla temperatuurindeks on turvalises piirkonnas ($\leq 0,8$). Antakse juhised hoonepiirete õhupidavuse saavutamiseks.



Joonis 2.20 Telliselamu välisseina puudulik soojustus.

Järgnevad fotod (vt. Joonis 2.21) on elamust, mis eemalt vaadates paistis korralikult renoveeritud hoonena, lähemalt uurides esineb aga tõsist ehituspraaki. Sellise ebakvaliteetse soojustuslahenduse korral ei ole võimalik loota suurt energiasäästu ja investeeringu tasuvus väheneb. Lisasoojustustööd tuleb teostada väga hoolikalt.



Joonis 2.21 Ehituslahendusi lähemalt vaadates ilmneb tõsist ehituspraaki: paigaldamata aknaplekkide tõttu on soojustus kaitsmata (vasakul), puuduliku seina liitekohalahtenduse tõttu on tekitatud külmasild (paremal).

Teine suurem probleem, mis kerkis üles lisaks puudulikule ehituskvaliteedile, oli tellisseinte seespoolne lisasoojustamine. Lisasoojustatud seintel tellisseina sisepinnatemperatuur langeb, mis põhjustab suhtelise niiskuse tõusu, luues soodsa pinnase hallituse kasvuks (vt. Joonis 2.22). Selline seinasisene varjatud hallituse kasv on probleemne, kuna elanikud ei märka seda ja ei võta ette meetmeid selle kõrvaldamiseks.

Telliselamute seespoolne lisasoojustamine ei ole aktsepteeritav.

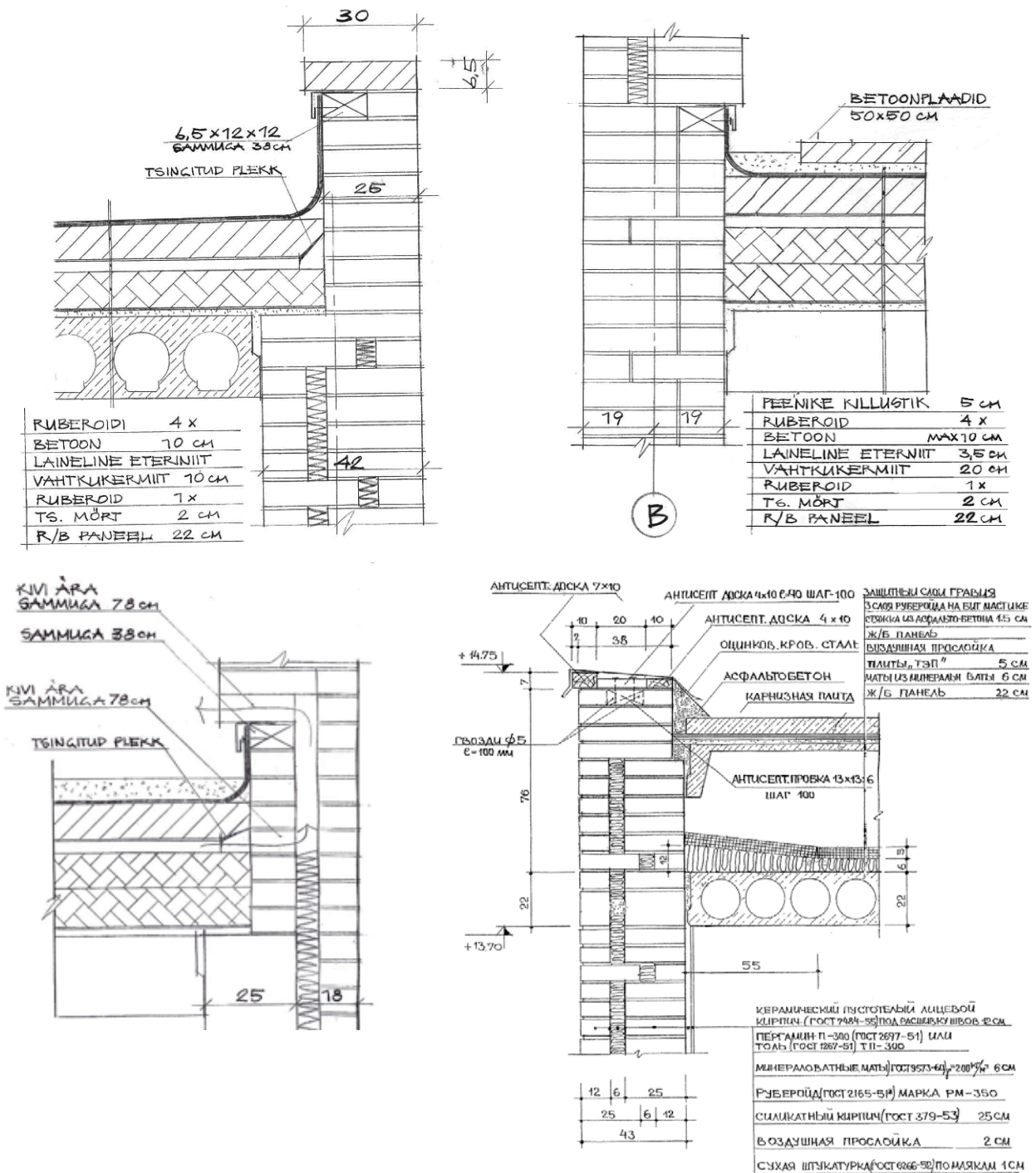


Joonis 2.22 Sisemise lisasoojustuse tõttu tekkinud hallitus vana seina sisepinnale.

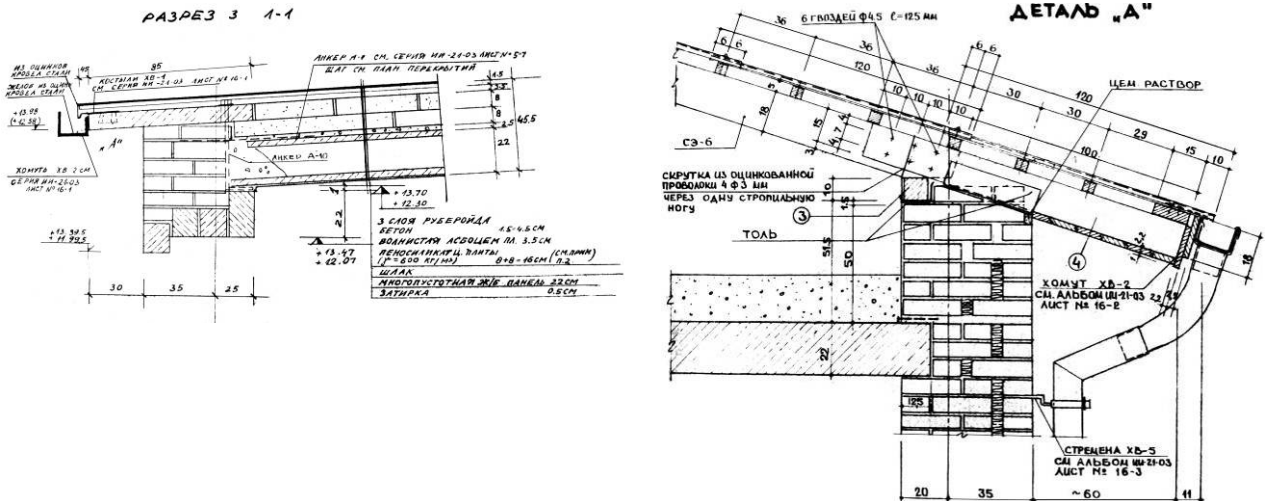
2.2 Katuste olukord

2.2.1 Katuste lahendused

Uuritud elamud olid nii kaldkatustega (vanemate 1-317 ja 1-318 tüüpi hoonete lahendus), kui lamekatusega (uuemate hoonete lahendus). Kaldkatuste puhul oli esialgselt tegemist eterniitplaatidest katusekattega. Lamekatustel oli esialgse projektlahenduse järgi veetõkkeks tavaliselt kuummastiksiga liimitud neli kihti ruberoidi. Katuslagede ja pööningu vahelagede soojustuseks on harilikult kasutatud 60 mm mineraalvatti + 50 mm TEP-plaati või 10–20 cm gaaskukermiitplaate või 20 cm liiva.



Joonis 2.23 Lamekatuste lahendusi.



Joonis 2.24 Kaldkatuste räсталahendusi.

2.2.2 Katuste põhilised puudused

Üldjuhul olid projektijärgsed eterniitkatused (kaldkatused) ja ruberoidkatused (lamekatused) 20–30 aasta jooksul jõudnud staadiumisse, kus oli tekkinud vajadus katusekatte asendamiseks. Vaadeldud lamekatusega hoonetest kõikidel on viimase 15 aasta jooksul katusekatte uuendatud või parandatud. Eterniitkatused on tüüpiliselt asendatud profiilplekist katustega koos aluskatte paigaldamisega pleki alla. Lamekatused on tavaliselt renoveeritud SBS kummibituumenrullmaterjali paigaldamisega. Katusekatte uuendamise käigus oli lamekatust lisasoojustatud kahjuks vaid ~1/3 elamute juures.

Katuste läbijookse esines nii lamekatuste kui ka kaldkatuste juures. Peamised katuste läbijooksude kohad olid korstnate juures, katuse ja välisseinte liitumiskohtades, katustest läbiviikude juures, katuseluukide juures (vt. Joonis 2.25). Katuselekke tagajärjeks on lagunev katusekonstruktsioon, vee sattumine alustarinditesse või seintesse (vt. Joonis 2.26).



Joonis 2.25 Tüüpilised kaldkatuste läbijooksu kohad on korstnate, katuseluukide ja teiste katusest läbiviikude juures (vasakul).



Joonis 2.26 Katuse lekke (vasakul) ja katuselt seinale langenud vee tõttu kahjustunud ülemise korruse välisseinad.



Joonis 2.27 Veekahjustustega katusekonstruktsioonid (paremal). Katusel kasvav taimestik takistab vee äravoolu ja kahjustab katusekatet (vasakul).

2010. aasta külm talv tõi hästi välja vanemate elamute katuste puudulike soojustuse. Jääpurikad katuseräästas on kindel märk katuse puudulikust soojustusest (vt. Joonis 2.28). Jääpurikate tõttu ei ole puudulik soojustus ainult energiatõhususe probleem, vaid on eluohtlik inimestele.



Joonis 2.28 Jääpurikad katuseräästas on kindel märk katuse puudulikust soojustusest.

Telliselamute katuste peamised probleemid on:

- katustekatte ebatihedus;
- külmasillad, eriti välisseina ja katuslae liitekohas ning lodžade, šahtide ja läbiviikude juures;
- suur soojusjuhtivus;
- konvektsiooni ja difusiooni teel siseruumidest tuulutusvahesse või pööningule sattunud veeauru kondenseerumine;
- katuslae või pööningu ebapiisav tuulutus;
- lekked katusekatte ülespöörete juures;
- veeloigud katusel, ebapiisavad kalded (eriti korstnate ja muude läbiviikude juures), ummistunud sadevee äravoolud;
- lagunenenud ja remonti vajavad korstnad.

2.3 Rõdude ja varikatuste olukord

Rõdude ja lodžade üldine seisukord oli rahuldav ning probleemid oli väiksemad kui raudbetoon-suurpaneelilamutel. Teatavaid puudusi esines rõdude ja lodžade piirete juures. Siiski esines raudbetoonist trepikoja sissepääsude varikatustel ja rõdu/lodža pörandate juures betooni olulist lagunemist ja armatuuri paljandumist (vt. Joonis 2.29). Sellistel juhtudel tuleb kindlasti varikatus rekonstrueerida, kuna varikatus on muutunud juba eluohtlikuks. Teine võimalus on ehitada lagunenenud varikatuse asemele uus.



Joonis 2.29 Lagunenud lodža pörand (vasakul) ja trepikoja sissepääsu varikatus (paremal).

Praeguseks on paljud lodžad renoveeritud piiretega ning kinni ehitatud. Kahjuks on rõdude ja lodžade kinniehitamine kaootiline ja ilma ühtse lahenduseta. Selline lähenemine saastab väga oluliselt linnakeskkonda (vt. Joonis 2.30).



Joonis 2.30 Suvaliselt kinniehitatud lodžad ja rõdud.

Teine probleem, mis on seotud rõdude ja lodžade kinniehitamisega, on kinniehitamise järgne võimalik hallituse kasv piirete sisepindadel.



Joonis 2.31 Hallituse kasv lodža seinte sisepindadel.

On tavapärane, et rõdul või lodžal kuivatatakse pesu või rõdul või lodžal akna/ukse kaudu tuulutatakse siseruume. Kui rõdu või lodža ehitatakse kinni, välisseinad jäetakse lisasoojustamata, on kinniehitatud rõdu või lodža pinnatemperatuur on väga madal. Rõdu või lodža kinniehitamisega üldjuhul selle ventileerimisele tähelepanu ei pöörata. Kuna kinniehitamisega on rõdu või lodža kasutus muutunud sarnaseks teiste siseruumidega või isegi suurenenud (pesukuivatus), on õhu veeaurusisaldus seal kõrge. Madala temperatuuri ja kõrge veeaurusisalduse tõttu on rõdul või lodžal tarindite sisepinna suhteline niiskus väga kõrge, võimaldades hallituse ulatuslikku kasvu (vt. Joonis 2.31). Kui korterelamus planeeritakse rõdude või lodžade kinniehitamist, tuleb seda teha ühtse lahenduse kohaselt. Lodžade puhul võib kaaluda muuta lodža täielikult siseruumiks. Sellisel puhul kaovad probleemsed külmasillad ja väheneb ka elamu välisseinte pindala. See vähendab elamu kütteenergiakulu. Lodža või rõdu ehitamisel kinniseks kütmata ruumiks tuleb seal tagada õhuvahetus. Kinniehitatud lodžal või rõdul pesu kuivatamine ei ole soovitatav.

2.4 Vundamentide, soklite ja keldripõrandate olukord

Vaadeldud elamutel oli peamiselt raudbetoonplokkidest või paekivist (vanemad 1-317 ja 1-317 tüüpi elamud) lintvundament või raudbetoonist vaivundament.

Märkimisväärsed puudused vundamentide ja soklite juures olid järgnevad:

- vundamenti ebaühtlane vajumine ning sellest tingitud kahjustused;
- soklikahjustused (peamiselt krohvikahjustused lekkiva vihmaveearavoolu ja ebaõige krohvi tõttu);
- sokli sillutisriba valed kalded;
- kahjustunud sokli sillutisriba.

Keldripõrandate peamiseks probleemina võib esile tuua põrandate suure soojusjuhtivuse. Mitmed esimese korruse korteri elanikud kurtsid külmade põrandate üle.

2.5 Vahelagede, treppide ja trepikodade olukord

Telliskorterelamutel on vahelaed üldiselt lahendatud raudbetoonist õõnespaneelidega. Vanematel elamutel võib esineda ka puittaladel vahelagesid.

Vahelagede üldine seisund on rahuldav. Suuremate probleemidena võib esile tõsta vahelagede helipidavuse ning niiskete ja märgade ruumide veeisolatsiooni kahjustused või puudumise.

Puidust kandekonstruktsiooniga vahelagede korral tuleb rekonstrueerimise käigus pöörata tähelepanu ka vahelaetuleohutuse tagamisele.

Trepid ja trepikojad on konstruktiivselt heas seisukorras, kuigi vajavad kohati sanitaarremonti.

2.6 Avatäidete olukord

Telliselamute ehitusjärgne akende ja rõduuste lahendus on tavaliselt kahe puitraamiga ja kahe klaasiga (vanemad elamud) või ühe puitraamiga ja kahe-kolme klaasiga.

Ehitusjärgsetel akendel ja ustel on nii sooja-, õhu- kui ka helipidavus väike. Akende soojuslähivuseks võib hinnata $U \approx 3...2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Tänapäevaste akende soojuslähivus on kuni kolm korda väiksem. Õhuleke läbi akna ebatiheduste oli vajalik loomuliku ventilatsiooni toimimiseks: aken oli üks peamine värske õhu juurdevoolu allikas. Probleem on aga selles, et juhitud õhulekke tõttu võivad õhukogused ületada mitmekordselt vajaliku õhuvahetuse, mille tagajärjeks on suur energiakulu.

Lisaks uste ja akende väikesele sooja-, õhu- kui ka helipidavusele on nende tehnilise seisukorra peamised probleemid järgnevad:

- Kõiki eluruumide aknaid ei ole võimalik tuulutuseks avada (sulused ei ole töökorras või puuduvad, aknad on „kinni värvitud“)..
- Akendelt on värv maha koorunud ja puit on niiskuskahjustustega (eriti maapinna lähedal olevad keldriaknad).

2.7 Tuleohutus

Tuleohutuse seisukohalt on vanemate telliskorterelamute peamised probleemid:

- Elamu puudulik jaotus tuletõkkeseksioonideks. Arvestades, et iga tänapäeval projekteeritud ja ehitatud korter peab olema eraldi tuletõkkeseksioon, võiks sellest lähtuda ka vanade elamute korrastamisel. Korteriuste asendamisel on esmane eesmärk turvalisus kuritegevuse suhtes ning suuremas osas pole ka uued ukse tulekahjus käitumise osas sertifitseeritud (tuletõkkeustel peab olema näidatud: tulepüsivusklass, kasutusjuhendi tähis (või sertifikaadi number), valmistaja nimi, valmistusaasta);
- Tehnosüsteemide tuletõkketarinditest läbiviigid ei ole tihendatud nõutava tulepüsivusega;
- Takistatud on ohutu evakuatsioon ja raskendatud päästetööde teostamise võimalikkus. Kui trepikojas esines peaväljapääsule lisaks ka tagavaraväljapääs, siis pea alati oli see lukus, mis raskendab oluliselt evakuatsiooni ja päästetööde tagamist;
- Põlevmaterjali kuhjumine keldritesse, trepikodadesse ja koridoridesse;
- Puudulik tuleohutuspäigaldis tulekahju avastamiseks, tule ning suitsu leviku takistamiseks ja ohutu evakuatsiooni läbiviimiseks. Paljudel juhtudel puudusid korterites suitsuandurid; kuigi elamutes peab autonoomne tulekahjusignalsatsiooniandur asuma korterite vähemalt ühes ruumis, on tulekahju kiire avastamise tagamiseks soovitatav andurid paigaldada igasse tuppa.

3 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine, katuslae ja välisseina liitumine jne.) või ehitustehnilised (välisvoodri sidemed, läbiviigud tarinditest jne). Sisetemperatuuri lokaalset alanemist võivad põhjustada ka vea soojustuse paigalduses, soojustuse puudumine, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes lekked õhutõkkes ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus. Eestimaises külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalam sisepinna temperatuur ja sellest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, sisepinna määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni tarindi sisepinnal või selle sees. Veeaur kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kui suhteline niiskus on 100%. Hallituse kasvuks sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril algab 75...80% juurest;
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures on hoone soojuskadudes külmasildade osakaal kasvanud;
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest.

Kuna välispiirete (välisseinte, põrandate ja katuste) soojuskaod arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvatud pindala järgi, tuleb külmasildade lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse külmasildade lisajuhtivustega: joonkülmasillad Ψ , W/(m·K) ja punktkülmasillad χ , W/(tk·K). Lisajuhtivus on soojuskadu vattides läbi külmasilla, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne lisajuhtivus keskmiseks välispiirde soojusjuhtivuseks, jagades välispiirde summaarse lisajuhtivuse välispiirde pindalaga.

3.1 Meetodid

3.1.1 Külmasildade kriitiline tase

Külmasillast põhjustatud sisepinna madalama temperatuuri kriitilisuse taseme määrab sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe, e. temperatuuriindeks f_{Rsi} : (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788):

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (3.1)$$

kus:

f_{Rsi}	temperatuuriindeks, -;
t_{si}	sisepinnatemperatuur, °C;
t_i	siseõhu temperatuur, °C;
t_e	välisõhu temperatuur, °C;
R_T	piirdetarindi kogusoojustakistus, m ² ·K/W;
R_{si}	piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m ² ·K/W.

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

Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad eelkõige:

- piirdetarindi toimivuse kriteerium;
- ehitise kasutustingimused;
- väliskliima;
- sisekliima;
- niiskuskooormused;
- kasutatavad ehitusmaterjalid.

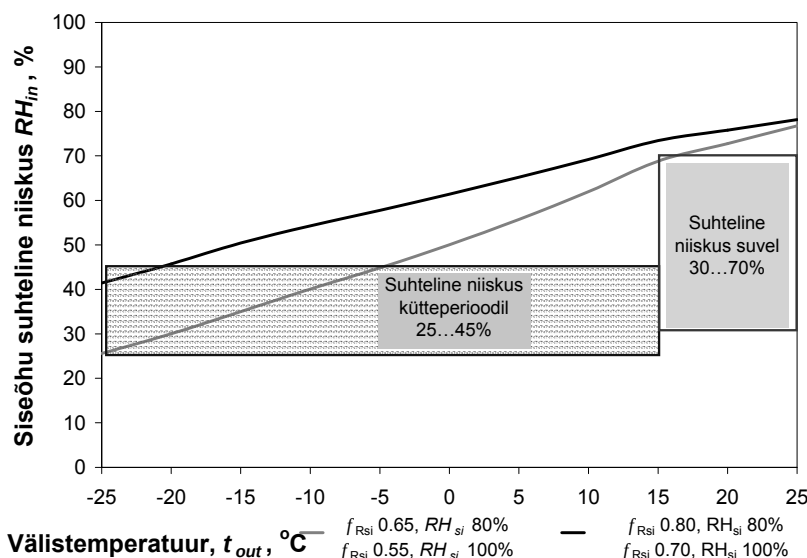
Eesti jaoks on temperatuuriindeksi piirsuurused arvutatud välja lähtuvalt niiskuskooormusest ning hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumise vältimise kriteeriumitest (vt. Tabel 3.1). Valdavalt tuleb kasutada hallituse tekke vältimise kriteeriumit. Kui näiteks akendel aktsepteeritakse lühiajaliselt veeauru kondenseerumist, võib seal kasutada ka kondenseerumise vältimise kriteeriumit. Kui ruumides on niiskuskooormus suurem (puudulik ventilatsioon, suur niiskustootlus), peavad hoonepiirded ja nende liitekohad olema paremini soojustatud.

Temperatuuriindeksi piirväärtusi tuleb võrrelda normaaltingimustes tehtud termograafiliste mõõtmistulemustega, st. mitte täiendava alarõhu tingimustes tehtud mõõtetulemustega. Hoone normaaltingimuste mõõtmine tuleb läbi viia töötava ventilatsiooniga. Kui hoones on suur alarõhk (näiteks väljatõmbe ventilatsioon + ebapiisav värske õhu juurdevool), siis näeb õhulekkekohtade mõju pinnatemperatuurile ka ilma täiendava alarõhu tekitamiseta.

Tabel 3.1 Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused Eestis.

Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi f_{Rsi} - piirsuurus (mõõdetud või arvutatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuselisa talvel $+6 \text{ g/m}^3$ ja suvel $+2,5 \text{ g/m}^3$ (suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamud)	0,8	0,7
Niiskuselisa talvel $+4 \text{ g/m}^3$ ja suvel $+1,5 \text{ g/m}^3$ (väikese asustustihedusega ja hea ventilatsiooniga elamud)	0,65	0,55

Piirdetarindite ja külmasildade temperatuuriindeks määrab ka selle, kui kõrgeks võib tõusta siseõhu suhteline niiskus, ilma et veeaur kondenseeruks külmasillale või sinna tekiks soodus keskkond hallituse kasvuks (vt Joonis 3.1). Jooniselt on näha, et kui ei ole selgelt tõestatud madalam niiskuskooormus või kui siseõhu suhteline niiskus võib talvel tõusta kuni 45%, tuleb kasutada temperatuuriindeksi piirväärtust 0,8.



Joonis 3.1 Siseõhu suhtelise niiskuse ja temperatuuriindeksi vaheline sõltuvus erinevatel välisõhu temperatuuridel.

3.1.2 Külmasilla hindamine termograafia infrapuna kaamera abil

Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o. $-273,15\text{ °C}$, kiirgab soojusenergiat. Termovisiooni abil mõõdetakse kehalt või esemelt kiirgunud või peegeldunud soojusenergiat ning teades keskkonnatingimusi ja kiirgava pinna omadusi, saab arvutada selle pinna temperatuuri.

Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid ilma tarindeid avamata. Termograafia abil on võimalik eelkõige:

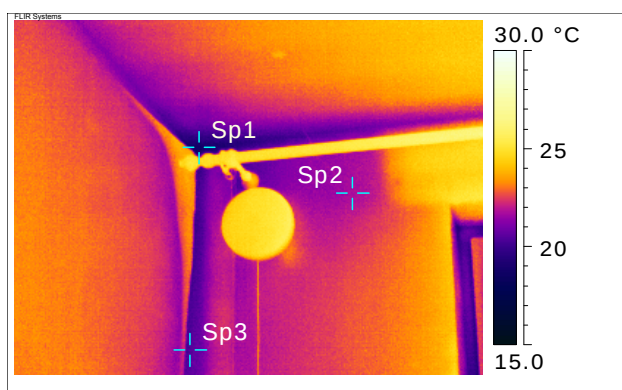
- määrata hoonepiirete pinnatemperatuuride ebaühtlust, mis viitab soojusjuhtivuse ja niiskussisalduse ebaühtlusele;
- hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojusjuhtivus;
- leida õhulekkekohti ja hinnata nende suurust, tehes termograafilised mõõtmised normaalingimustes ja ala- või ülerõhu tingimuses;
- hinnata ehituskvaliteeti: külmasillad, õhulekkekohad ja puudulik soojustus on tingitud eelkõige halvast ehituskvaliteedist;
- leida seina- ja põrandasiseseid veetorusid ning ülekuumenenud elektrijuhtmeid.

Termograafia abil ei saa mõõta hoonepiirete soojusjuhtivust.

Keskkonnatingimuste mõju mõõtetulemustele ning sisepinnatakistuse hindamise ebatäpsus on liiga suur, et termograafia abil määrata hoonepiirete soojusjuhtivust. Termokaamera abil mõõdetakse vaid hetkelist pinnatemperatuuri. Termografeerimise õnnestumise eeldused on: kvaliteetsed mõõteriistad, kogenud mõõtja, termopiltide korrektne tõlgendus.

Uurimistöös kasutati FLIR Systems E320 – termokaamerat (mõõtevahemik $-20\text{ °C} \dots +500\text{ °C}$, tundlikkus: $0,10\text{ °C}$, mõõtmistäpsus: $\pm 2\text{ °C}$, $+2\%$ (kordusmõõtmisel: $\pm 1\text{ °C}$, $+1\%$), sensor: 320×240 pikslit). Termograafilised mõõtmised tehti peamiselt korteri tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaalingimustes). Valitud korterites tehti mõõtmised kaks korda: et leida õhulekete asukohad, tehti termopildid samadest kohtadest uuesti pärast korteri vähemalt pooletunnist alarõhu tingimustes olemist. Läbi õhulekkekohtade hoonesse sisenenud külm välisõhk jahutab piirde sisepinda ja temperatuuride erinevus kahe termopildi vahel viitab õhulekkele. Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus $>20\text{ K}$. Lisaks mõõtmisaegsele sise- ja välistemperatuurile on ka äärmiselt oluline, et mõõtmisele eelnevalt oleks selline temperatuuride vahe ühtlaselt püsinud.

Paremini soojustatud piirete sisepinna temperatuur on kõrgem ja seetõttu on suurem ka temperatuuriindeks. Külmasilla juures on sisepinna temperatuur madalam, mistõttu on seal suhteline niiskus kõrgem. Kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada mikroorganismide kasvu (vt. Joonis 3.2).



		Sisepinnatemperatuur		Temperatuuriindeks	
Välistemperatuur	-2 °C	Sp1	$17,4\text{ °C}$	$f_{Rsi}\text{ Sp1}$	0,72
Sisetemperatuur	$+25\text{ °C}$	Sp2	$20,1\text{ °C}$	$f_{Rsi}\text{ Sp2}$	0,82
		Sp3	$19,1\text{ °C}$	$f_{Rsi}\text{ Sp3}$	0,78

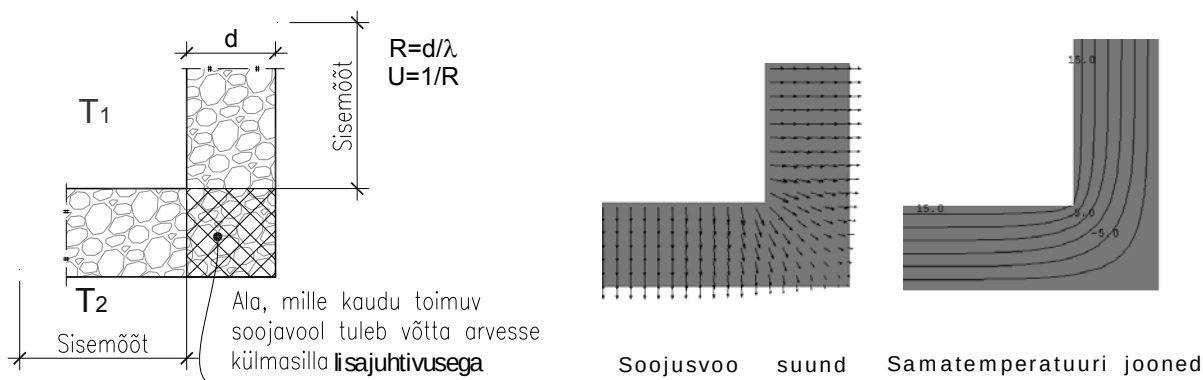
Joonis 3.2 Termograafia kasutamine pinnatemperatuuride mõõtmisel külmasildade kriitilisuse hindamisel.

3.1.3 Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega

Külmasilla temperatuurivälja arvutuse abil saab:

- hinnata külmasilla kriitilisust;
- määrata külmasilla soojuse lisajuhtivuse suurus.

Külmasilla kriitilisust saab hinnata arvutusliku temperatuurindeksi abil. Külmasilla soojuse lisajuhtivus on oluline info hoone soojuskadude hindamisel. Kuna soojuskadusid hinnatakse piirdetarindite sisemõõtude järgi, ei saa soojuskadusid hinnata näiteks ilma välisnurgade külmasildu arvestamata (vt. Joonis 3.3).



Joonis 3.3 Geomeetriline külmasild välisseina välisnurgas.

Käesolevas uuringus on kasutatud temperatuurivälja programmi THERM 6.1. Arvutustes määrati kõikidele pindade temperatuurid ja soojustakistused (vt. Tabel 3.2) ning materjalide soojuseri juhtivused (vt. Tabel 3.3). Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati soojusvool läbi tarindite liitekohtade, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Külmasilla soojuse lisajuhtivuse arvutustes ja külmasilla temperatuurindeksi arvutustes on kasutatud erinevaid sisepinnatakistuste suurusi, sest energiaarvutus (külmasilla lisajuhtivus) tehakse keskmiste suuruste järgi, niiskustehnilise toimivuse arvutus (külmasilla temperatuurindeks) tehakse kriitiliste suuruste alusel (üldiselt kasutatakse kriitilisuse taset, kus 90% olukordadest ei ületa määratud taset ja 10% olukordadest ületab määratud taset). EVS-EN ISO 10211-1:2000 standard soovib külmasilla kriitilisuse arvutustes kasutada järgmisi sisepinna soojustakistusi:

- aknaklaas $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- ruumi ülemine osa $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- ruumi alumine osa $R_{si} = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- piirdepind, mis on kapi taga $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

EVS-EN ISO 13788:2001 standard soovib külmasilla kriitilisuse arvutustes kasutada järgmisi sisepinna takistusi:

- aknaklaas $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- ruumi ülejäänud osad $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Tabel 3.2 Arvutustes kasutatud pinna soojustakistuste suurused

	Pinna soojustakistus sõltuvalt soojusvoolu suunast		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)	Alla (põrand)
R_{si} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) (külmasilla lisajuhtivuse arvutustes)	0,10	0,13	0,17
R_{si} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) (külmasilla temperatuurindeksi arvutustes)	0,17	0,25 (seina alaosas) 0,20 (seina ülaosas)	0,25
R_{se} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	0,04	0,04	0,04

Tabel 3.3 Arvutustes kasutatud materjaliomadused

Materjal	Soojuserihtivus λ , W/(m·K)
Silikaattellistest müüritis	0,9
Õõnes silikaattellistest müüritis	0,7
Keraamilistest tellistest müüritis	0,7
Raudbetoonpaneel või -plaat	2,0
Puit	0,14
Saepuru	0,09
Klaasvatt	0,07
TEP-plaat	0,16
Vahtkukermiit	0,16
Vahtsilikaatsiit	0,2

3.2 Tulemused

3.2.1 Termograafia mõõtmistulemused

Hoonepiirete termografeerimine viidi läbi 15 uuritavas elamus. Termografeerimised viidi läbi nii hoone seest- kui ka väljastpoolt. Seest termografeerimine võimaldab paremini hinnata külmasildade kriitilisust. Väljast termografeerimine võimaldab visualiseerida külmasildade ulatust ja peamisi paiknemiskohti. Termografeerimise tulemused näitasid, et peamised soojuslekkekohad telliselamutel on:

- välisseina (nii külj- kui ka otsaseina) ja katuslae liitekoht (vt. Joonis 3.4);
- rõdu või lodža liitekoht välisseinaga (vt. Joonis 3.5);
- avatäidete ümbrus (vt. Joonis 3.6);
- sokli ja välisseina liitekoht (vt. Joonis 3.7);
- sidekiviread välisseinas (vt. Joonis 3.8).

Hoone välispidisel termografeerimisel on termopiltidel suurema soojusjuhtivusega alad (külmasillad) eristatavad heledamate/kollaste toonide ning seespidisel termografeerimisel tumedamate/sinakasmustade toonide järgi.

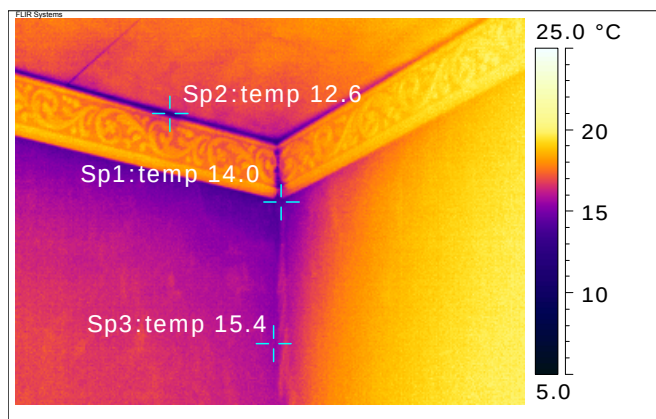


Välistemperatuur

-5 °C

Sisetemperatuur

+21 °C



$f_{Rsi} \text{ Sp1}$

0,72

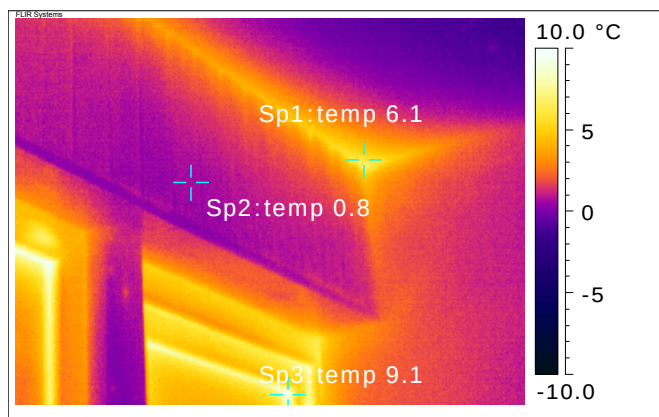
$f_{Rsi} \text{ Sp2}$

0,73

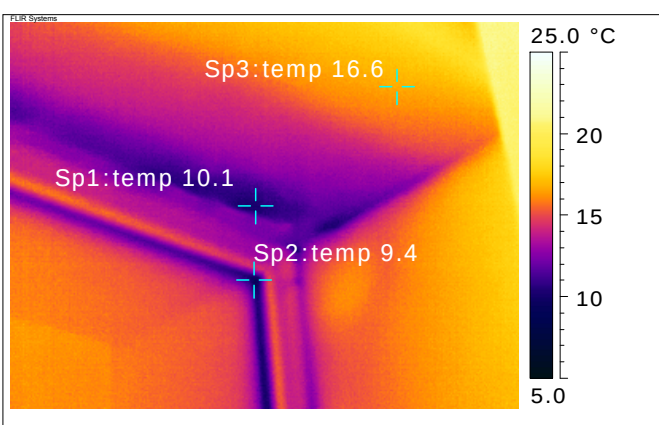
$f_{Rsi} \text{ Sp3}$

0,78

Joonis 3.4 Välisseina ja katuslae liitekoht.



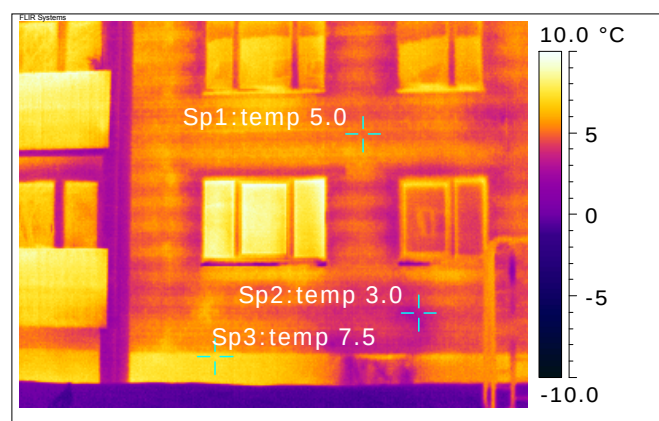
Joonis 3.5 Lodža liitumine välisseinaga.



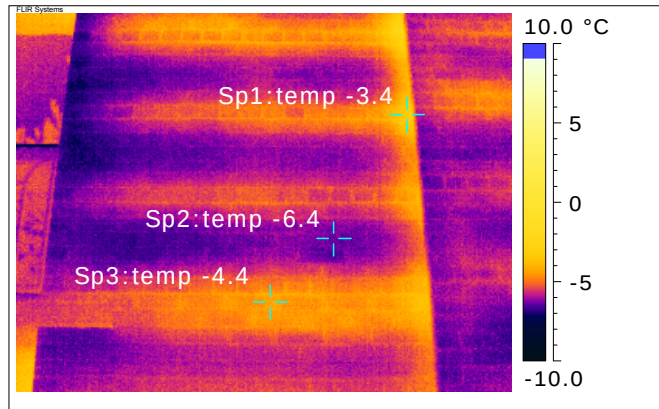
Välistemperatuur -6 °C
Sisetemperatuur +21 °C

f_{Rsi} Sp1 0,60
 f_{Rsi} Sp2 0,57
 f_{Rsi} Sp3 0,84

Joonis 3.6 Akna ümbrus.



Joonis 3.7 Sokli ülaosa.



Joonis 3.8 Sidekiviread välisseinas.

3.2.2 Arvutustulemused

Lisaks termograafiale keskenduti käesolevas uuringus ka külmasildade arvutuslikule analüüsile, sest:

- vanemate telliselamute energiaarvutuste jaoks ei ole olemas soojuse lisajuhtivuste suurus;
- infrapunatermograafia mõõtmisel on ääritingimuste mõju mõõtetulemuse täpsusele liiga suur.

Arvutuslikult analüüsiti järgmisi tarindite liitekohti:

- välisseina välisnurk;
- välisseina ja vahelae liitekoht;
- välisseina ja siseseina liitekoht; viilkatuse ja välisseina liitekoht;
- parapett;
- akna liitumine välisseinaga.

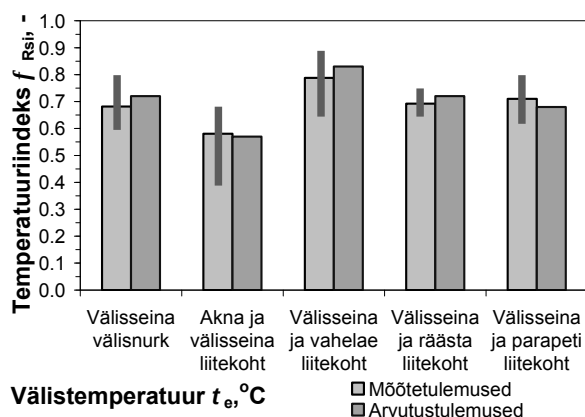
Eelnevalt kontrolliti mõõtetulemuste ja arvutustulemuste kokkulangevust temperatuuriindeksite abil, vt. Joonis 3.9. Arvutuslikud suurused leiti erinevate piirete tüüpide kaupa, samuti termografeeriti erinevat tüüpi välispiirdeid ja nende liitekohti. Tulemuste võrdluse lihtsustamiseks on hea kokkulangevuse korral kasutatud aritmeetilist keskmist, suurema varieeruvuse korral väärtuste vahemikku.

Arvutuslike ning mõõdetud temperatuuriindeksite suuruste erinevus on väike ja tuleneb eelkõige ehitatud lahenduse ja projektlahenduse erinevusest ning reaalistest materjali omadustest (arvutustes on lähtutud keskmistest suurustest või väikese varuga tagavara kasuks). Samuti tuleb arvestada pinna- ja õhutemperatuuride muutumisega mõõtmisele eelnenud ajal ning mõõteveaga. Joonisel olevad kaks horisontaaljoont näitavad hallituse kasvu piirsuursusi: väikese niiskuskooormuse korral $f_{Rsi} > 0,65$, suure niiskuskooormuse korral $f_{Rsi} > 0,8$. Need kaks piirsuurst näitavad ilmekalt, et olemasoleva sisekliima korral on hallituse tekkimine tellismajade külmasildadel paratamatus. Sisekliima olulise parandamise korral (tõhustatud ventilatsioon, korralik küte) on võimalik riski vähendada teatud sõlmede juures. Kompleksne lähenemine eeldab siiski lisaks tõhustatud ventilatsioonile ja korralikule küttele ka piirete lisasoojustamist.

Hoone soojuskadude arvutamiseks on vaja teada, kui palju läheb toasooja õue külmasildade kaudu. Seda saab hinnata külmasilla lisajuhtivuste suuruse abil. Konkreetse sõlme külmasilla lisajuhtivus sõltub materjaliomadustest ja materjalide paiknemisest piirdetarindis. Käesoleva projekti raames arvutati valitud uurimise all olevatele hoonetele külmasilla juhtivused. Tulenevalt projektis toodud materjalidest ning nende omadustest ja paiknemisest on ka külmasilla mõju erinev. Järgnevatel joonistel on toodud mõned näited külmasilla erinevast mõjust.

Joonis 3.10 toodud lahendusel jätkuvad aga tellisseotised ka õõnespaneeli ja saepuru tasapinnas. Lisaks on seinas saepuru ja õõnespaneeli vahel 25 mm paksune mördikiht, mis juhib hästi soojust. Niisiis pääseb soojus välja nii lae ja seina liitekohast kui ka seina ülemisest osast. Oluline on ka tõik, et saepuru ei kata sellel variandil kogu paneeli pinda. Joonis 3.11-l

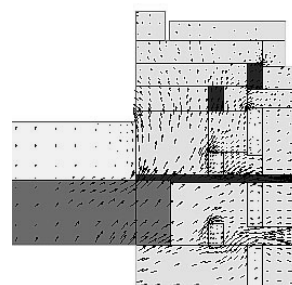
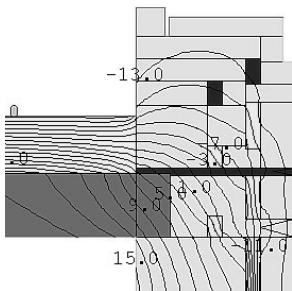
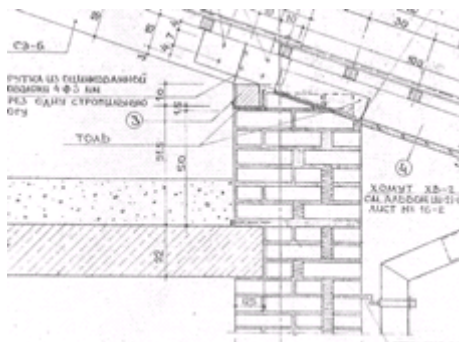
toodud lahenduse väiksem külmasild on põhjustatud pidevast soojustusest, mis ulatub kuni 140 mm kõrgusele saepuru ülemisest pinnast. Erinevate sõlmvariantide puhul jäi viilkatuse ja välisseina liitekohta lisajuhtivus vahemikku $\Psi = 0,41 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ kuni $0,58 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ning temperatuuriindeks $f_{Rsi} = 0,70 \dots 0,74$.



Joonis 3.9 Temperatuuriindeksite mõõte- ja arvutustulemuste võrdlus.

Välissein: 38 cm silikaattelliskivi + 5 cm mineraalvatti/tellissidemed + 12 cm silikaattelliskivi

Lagi: 22 cm õõnespaneel + 20 cm saepuru



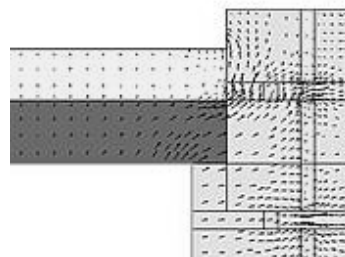
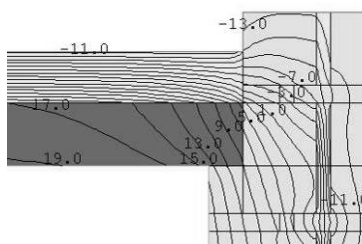
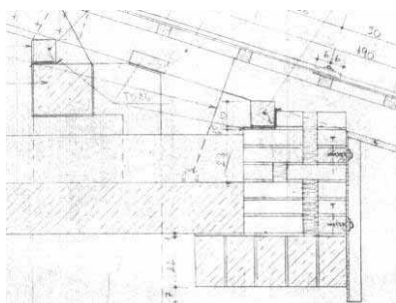
Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0,70

Soojuse lisajuhtivus Ψ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,58

Joonis 3.10 55 cm paksuse tellisseina ja viilkatuse liitekohta vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, tüüpprojekt 1E-318-32), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Välissein: 38 cm silikaattellist + 5 cm mineraalvatti + 12 cm silikaattellist

Lagi: 22 cm õõnespaneel + 18 cm saepuru



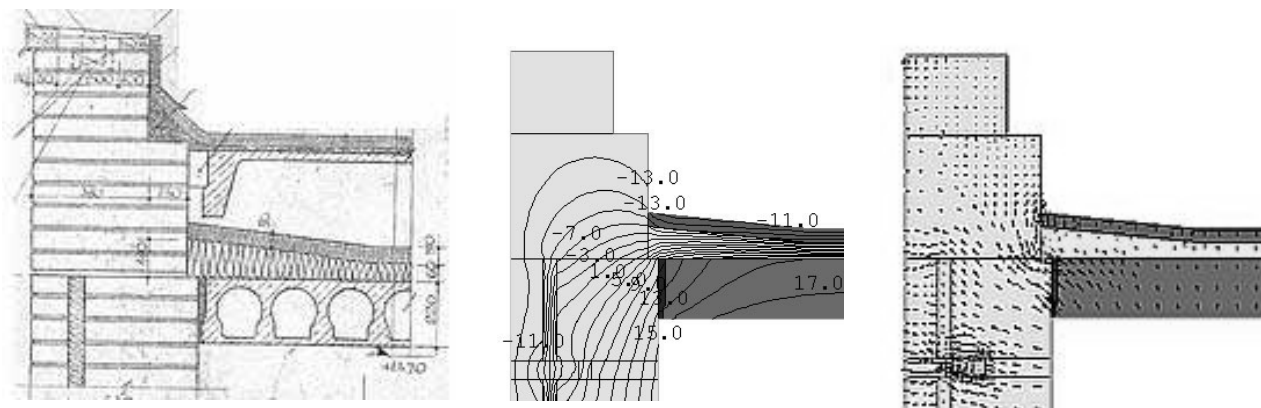
Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0,74

Soojuse lisajuhtivus Ψ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,41

Joonis 3.11 55 cm paksuse tellisseina ja viilkatuse liitekohta vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, tüüpprojekt 1E-318A-32), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Välisseina ja katuslae parapetiga sõlme analüüsiti viie erineva lahenduse korral. Järgnevatel joonistel on toodud kahe erineva sõlme arvutustulemused. Erinevate sõlmvariantide puhul jäi katuslae ja välisseina liitekohta lisajuhtivus vahemikku $\Psi = 0,33 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ kuni $0,45 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ning temperatuuriindeks $f_{Rsi} = 0,62 \dots 0,74$. Tulemuste kasutamisel praktikas tuleks siiski arvestada ka võimalusega, et soojuse lisajuhtivus külmasilla kaudu on suurem ja temperatuuriindeks madalam kui käesolevas uuringus pakutud.

Välissein: 38 cm silikaattelliskivi – 5 cm mineraalvatti/tellissidemed + 12 cm silikaattelliskivi
Lagi: 22 cm õõnespaneel + 6 cm mineraalvatti (seina ja lae liitekohas on mineraalvati paksus 12 cm)

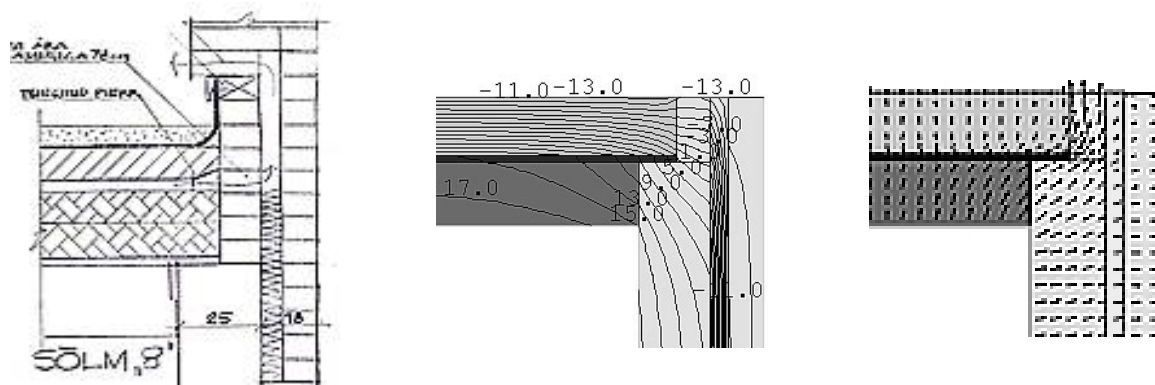


Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0.74

Soojuse lisajuhtivus Ψ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,45

Joonis 3.12 55 cm paksuse tellisseina ja katuslae parapetiga liitekohta vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, tüüpprojekt DV/N-57-3), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Välissein: 25 cm silikaattellist + 5 cm mineraalvatti + 12 cm silikaattellist
Lagi: 22 cm õõnespaneel + 20 cm vahtkukermiit.



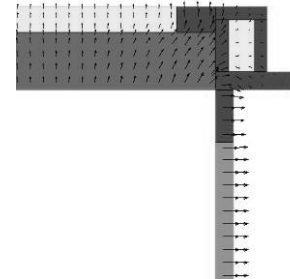
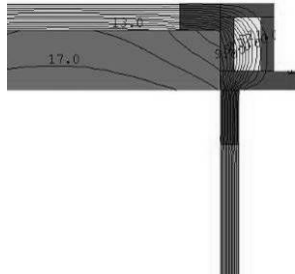
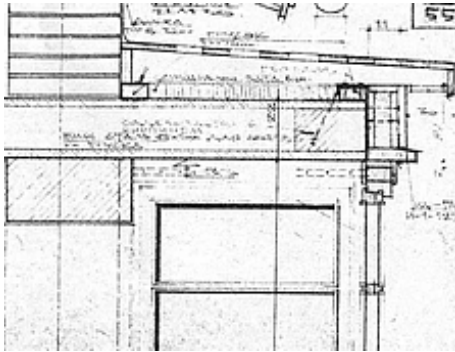
Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0.77

Soojuse lisajuhtivus Ψ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,33

Joonis 3.13 42 cm paksuse tellisseina ja viilkatuse liitekohta vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, TK-94-VI), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Elamutüüpide 317 ja 318 puhul on kasutatud ka fassaadist väljaulatuvaid seinaoosi, katusega liitumise juures on külmasilla lisajuhtivus $\Psi = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ja temperatuuriindeksiks $f_{Rsi} = 0,76$, vt. Joonis 3.14. Seega on olukord märgatavalt parem kui parapeti ja viilkatusega sõlmede puhul. Põhjuseks on see sellest, et katuse nurgas oleva puidu soojuseri juhtivus on ca 6 korda väiksem kui näiteks silikaattellisel.

Välissein: Aken
Katus: 22 cm õõnespaneel + 10 cm mineraalvatti

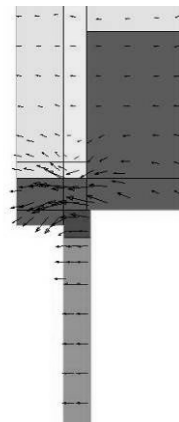
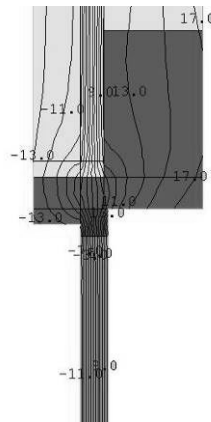
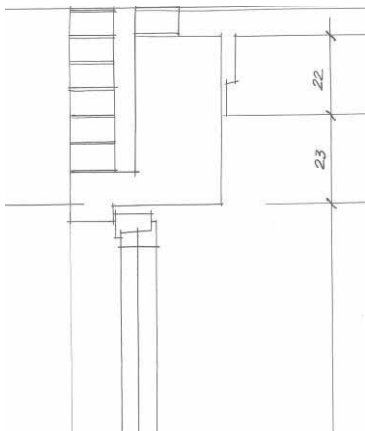


Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0.76
Soojuse lisajuhtivus Ψ , W/(m·K) 0,17

Joonis 3.14 Fassaadierkeri välisseina ja katusel liitekohaga vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, tüüpprojekt 1-317A-143), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Lisaks välisseina ja katusel liitekohale töid termograafilised mõõtmised välja ka teise telliselamute soojustehniliselt kriitilise külmasilla: akna liitumine välisseinaga. Kriitilisim lahendus on siin raudbetoonist lõugtalasillusega akna ülemine osa, vt. Joonis 3.15.

Välissein: 25 cm silikaattellist + 5 cm mineraalvatti + 12 cm silikaattellist
Sillus: Külmakatkestuseta raudbetoonist lõugtalasillus



Temperatuuriindeks f_{Rsi} 0.58
Soojuse lisajuhtivus Ψ , W/(m·K) 0,49

Joonis 3.15 Lõugtalasilluse ja akna liitekohaga vertikaallõige arhiivijoonisel (vasakul, TK-94-VI), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Akna külgedel ja all on tavaliselt laotud tellisseina külgmise ja ülemise kivirida ilma soojustuseta. Tulenevalt tellise betoonist väiksema soojusjuhtivusest, on ka külmasilla lisajuhtivus akna külgedel ja all mõnevõrra väiksem: $\Psi = 0,35...0,49$ W/(m·K) ja temperatuuriindeksiks $f_{Rsi} = 0,57$. Kui eeldada, et akna küljed on 1,5 korda pikemad kui alumine ja ülemine osa, siis saab keskmiseks lisajuhtivuseks akna perimeetri kohta 0,41 W/(m·K). Selle arvu kasutamine lihtsustab arvutusi.

Kandeseina ja fassaadivoodri vahelised sidemed moodustavad seinas külmasilla. Joonis 3.16-I on toodud võrdsete materjalikihtide paksustega soojustatud ja ilma tuulutusega tellisseinad. Vasakpoolne sein on tellistest sidekividega ja parempoolne sein on sidemeteta. Kui tellissidemete asemel on kasutatud terastraadist sidemeid, siis on need kaetud

korrosioonikaitseks tsementmördiga, mis tekitab samuti joonkülmasilla. Tellise ja soojustusmaterjali soojuseriitvused erinevad oluliselt, mis suurendab ka seina soojusjuhtivust. Tellissidemed suurendavad seina soojusjuhtivust ~20...25%. Seetõttu ei saa tellissidemetega tellisseina soojusjuhtivust arvutada soojuslikult homogeensete kihtidega seina soojusjuhtivuse arvutusmetoodika järgi.



Joonis 3.16 Tellisest sidemetega (vasakul) ja traatsidemetega (paremal) tuulutusvaheta soojustatud tellissein.

Telliselamute külmasildade soojuse lisajuhtivused vt. Tabel 3.4. Tabelis on võrdluseks toodud ka TTÜ suurpaneelilamute uuringus (Kalamees jt. 2009) arvutatud suurused, Energiatõhususe miinimumnõuete määramises esitatud (parema puudumisel kasutatavad) uutele hoonete sobivad suurused ja standardi EVS-EN ISO14683 suurused.

Need külmasilla lisajuhtivused kehtivad soojuskadude arvutuse kohta, kus hoonet käsitletakse kui ühte terviklikku tsooni. Kui telliselamute välisseina ja siseseina liitekohas konstruktiivsetel põhjustel külmasilda tekitavaid elemente ei ole, võib seal võtta lisajuhtivuse suuruseks nulli, kui arvutus tehakse välisseina sisemõõtude alusel. Juhul kui energiaarvutustes kasutatakse ruumi sisemõõte (vaheseinast vaheseinani), siis saab lisajuhtivuse arvutada, teades vaheseina paksust ja välisseina soojusjuhtivust:

$$\Psi = U_{\text{välissein}} \cdot b_{\text{vahesein}} \quad (3.2)$$

kus

Ψ külmasilla soojuse lisajuhtivus, W/(m·K);
 $U_{\text{välissein}}$ välisseina soojusjuhtivus, W/(m²·K);
 b_{vahesein} vaheseina paksus, m.

Sama põhimõtte kehtib vahelae ja lisasoojustatud välisseina liitumisel.

Tabel 3.4 Külmasilla lisajuhtivuste suurused telliskorterelamutes ja võrdlus suurpaneel- ja välisnurk, energiatõhususe miinimumnõuete määruse ning standardi suurusel.

Külmasilla asukoht	Lisasoojustuse paksus, mm	Joonkülmasilla lisajuhtivus Ψ , W/(m·K)			
		Tellis-korterelamud	Suurpaneel-korterelamud*	VV. määrus nr. 258 (uued elamud)	EVS-EN ISO14683
Välisseina välisnurk	Lisasoojustamata	0,23–0,29	1,17		0,10
	100	0,17	0,34		-
	150–200	0,15	0,26	0,08	-
Välisseina ja siseseina liitekoht (konstr. külmasild puudub)	Lisasoojustamata	0,00	1,03		0,05
	100	0,00	0,13		-
	150–200	0,00	0,08	-	-
Välisseina ja vahela (sh. keldri vahela) liitekoht	Lisasoojustamata	0,01	0,77		0,05
	100	0,00	0,10		-
	150–200	0,00	0,05	-	-
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	Lisasoojustamata	0,41...0,58	-		0,55
	100	0,41...0,49	-		-
	150–200	0,42...0,49	-	0,09	-
Parapett	Lisasoojustamata	0,33...0,48	0,49		0,55
	100	0,26	0,40		-
	150–200	0,21	0,40	0,09	-
Erkeri katus	Lisasoojustamata	0,17	-		-
	100	0,10	-		-
	150–200	0,09	-	0,09	-
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	Lisasoojustamata	0,35...0,49	0,07		0,60
	100	0,35...0,49	0,12		-
	150–200	0,36...0,51	0,14	0,03	-
Akna liitumine välisseinaga, soojustatud aknapale	Lisasoojustamata	0,35...0,49	0,07		0,20
	100	0,11	0,07		-
	150–200	0,11	0,07	-	-
Rõdu liitumine välisseinaga	Lisasoojustamata	0,01	0,77		-
	100*2	0,11	0,48		-
	150–200*2	0,13	0,43	-	-

* – Suurpaneel- ja välisnurkade puhul vaadati variante, kus olemasoleva seina soojustuseks oli 100 mm vahtpolüstüreen.

*2 – Rõduplaati ei soojustatud.

Külmasilla temperatuuriindeksi suurused telliskorterelamutes ja võrdlus suurpaneel- ja välisnurk, energiatõhususe miinimumnõuete määruse ning standardi suurusel tulemustega vt. Tabel 3.5. Kriitilisi külmasildu ($f_{Rsi} \leq 0,8$) on telliselamutes vähem võrreldes suurpaneel- ja välisnurkade suurusel.

Tabel 3.5 Külmasilla temperatuuriindeksite suurused telliskorterelamutes ja võrdlus suurpaneel-alamute tulemustega.

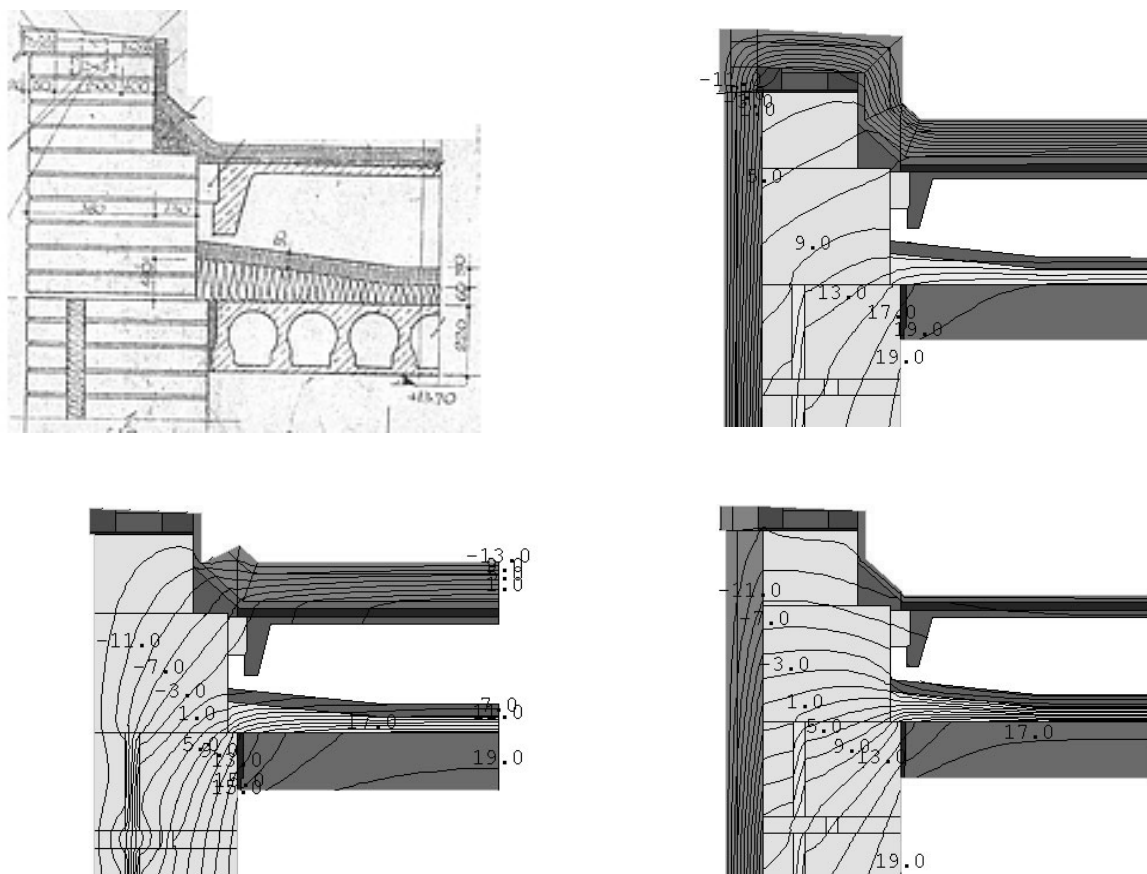
Külmasilla asukoht	Lisasoojustuse paksus, mm	Külmasilla temperatuuriindeks f_{Rsi} , -	
		Telliskorterelamud	Suurpaneel-korterelamud*
Välisseina välisnurk	Lisasoojustamata	0,72	0,70
	100	0,88	0,90
	150–200	0,91	0,90
Välisseina ja siseselina liitekoht	Lisasoojustamata	0,85	0,70
	100	0,94	0,90
	150–200	0,96	0,95
Välisseina ja vahelae (sh. keldri vahelae) liitekoht	Lisasoojustamata	0,83	0,65
	100	0,95	0,90
	150–200	0,96	0,90
Viilkatuse ja välisseina liitekoht	Lisasoojustamata	0,72	-
	100	0,83	-
	150–200	0,83	-
Parapett	Lisasoojustamata	0,62...0,74	0,60
	100	0,88	0,65
	150–200	0,90	0,65
Erkeri katus	Lisasoojustamata	0,76	-
	100	0,89	-
	150–200	0,92	-
Akna liitumine välisseinaga, soojustamata aknapale	Lisasoojustamata	0,57	0,70
	100	0,65	0,75
	150–200	0,66	0,75
Akna liitumine välisseinaga, soojustatud aknapale	Lisasoojustamata	0,57	0,70
	100	0,83	0,85
	150–200	0,85	0,85
Rõdu liitumine välisseinaga	Lisasoojustamata	0,85	0,65
	100	0,90	0,80
	150–200	0,91	0,80

* – Suurpaneel-alamute puhul vaadati variante, kus olemasoleva seinä soojustuseks oli 100 mm vahtpolüstüreen.

Külmasilla mõju analüüs katuslae lisasoojustamisel

Telliselamute konstruktiivsest lahendusest tingituna on parapett suureks külmasillaks. Külmasillad välispiiretes põhjustavad lisasoojuskadu ja võivad olla hallituse kasvu või veeauru kondenseerumise põhjuseks. Külmasildade likvideerimiseks ja soojuskadude vähendamiseks tuleb välispiirded väljast lisasoojustada. Välispiirete lisasoojustamisele tuleb läheneda komplekselt: likvideerida külmasillad ja tagada piirete väike soojusjuhtivus, pöörates erilist tähelepanu välispiirete liitekohtadele.

Kahjuks kohtab tihti lahendust, et lisasoojustatakse (150 mm paksuselt) vaid välisseinad (tavaliselt kahjuks ainult otsaseinad) või ainult katus. Järgnevalt on analüüsitud, kuidas mõjutab tarindite üksikult soojustamine piirdetarindi soojus- ja niiskustehnilist käitumist, vt. Joonis 3.17.



Joonis 3.17 Analüüsitud katuslagi (vasakul ülal), komplekselt lisasoojustatud parapetisõlm (paremal ülal). Alumistel joonistel on soojustatud ainult katuslagi (vasakul) või välissein (paremal).

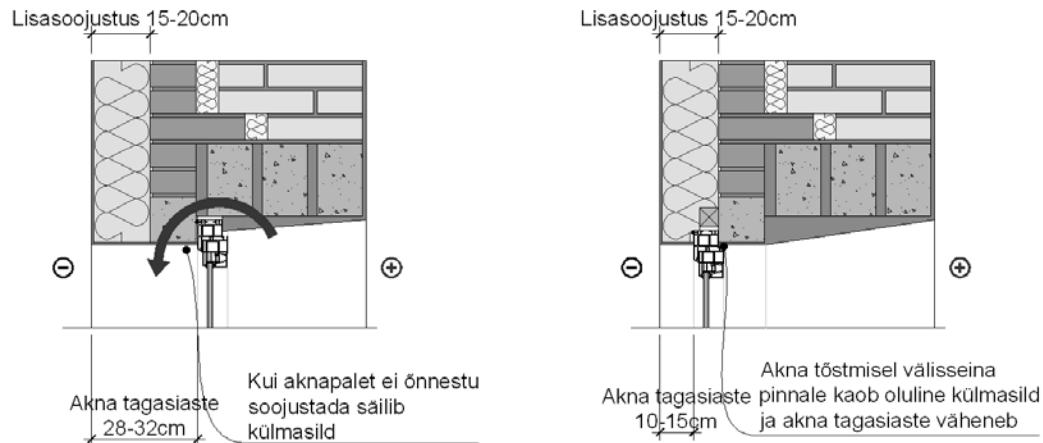
Arvutustulemustest (Tabel 3.6) järeldub, et parim lahendus on välisseina ja katuslae kompleksel lisasoojustamisel. Ainult välisseina või ainult katuslae lisasoojustamise korral külmasilda ei likvideerita, säilivad soojuslekked ning risk hallituse tekkeks ja veeauru kondenseerumiseks.

Tabel 3.6 Lisasoojustamise variantide mõju välisseina ja katuslae soojus- ja niiskustehnilisele toimivusele

	Lisa-soojustamata	Lisasoojustus välisseinas ja katuslael	Lisasoojustus ainult välisseinas	Lisasoojustus ainult katuslael
Temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,74	0,90	0,83	0,77
Soojuse lisajuhtivus Ψ , W/(m·K)	0,45	0,24	0,34	0,53

Külmasilla mõju analüüs akna lisasoojustamisel

Telliselamutel paikneb aken välisseina välispinnast 12 cm tagasiastega ja aknaraam paikneb tellise või silluse taga. Tihti on aknaraam tellise või silluse taga nii peidus, et aknapale väljastpoolt lisasoojustamine on raskendatud. Kui aknapalet ei õnnestu soojustada, säilib külmasild akna ja välisseina liitekohas, mida saab vähendada akna välisseinapinnale tõstmisega, vt. Joonis 3.18.

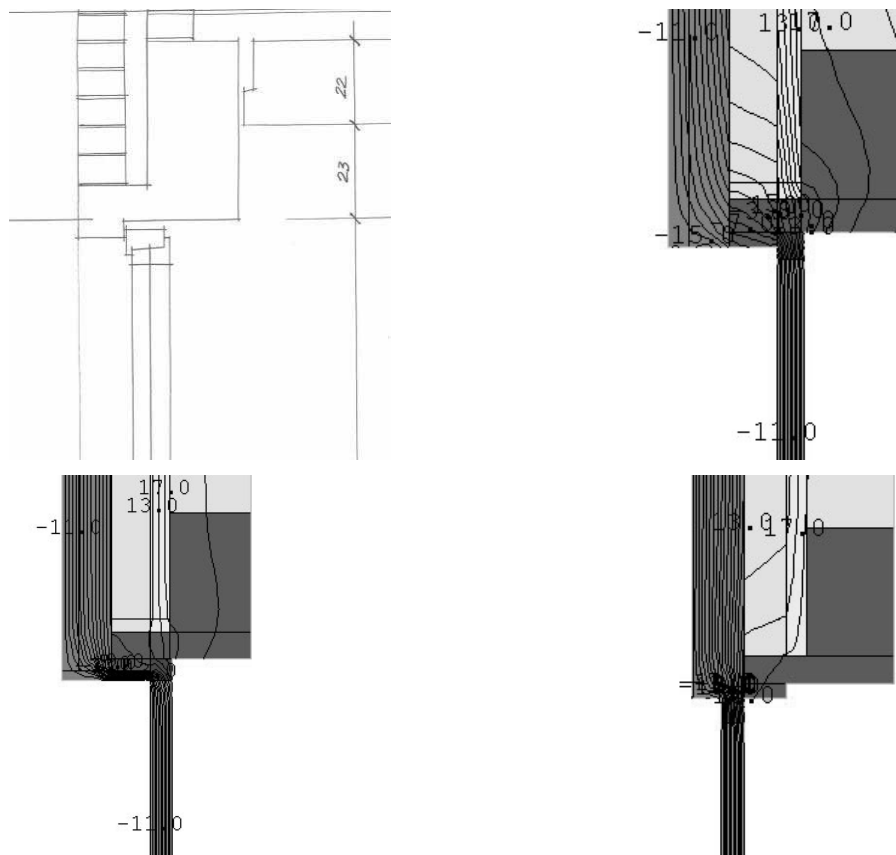


Joonis 3.18 Akna ja seina liitekohas olevat olulist külmasilda (vasakul) saab kaotada ja akna tagasiastet vähendada akna välisseinapinnale tõstmise (paremal).

Järgnevalt on analüüsitud akna liitumise lahenduste mõju külmasilla kriitilisusele (temperatuurindeks) ja piirete soojuskadudele (külmasilla lisajuhtivus) 15 cm paksuse lisasoojustuse korral (vt. Joonis 3.19) erinevate akna ja välisseina liitumiste puhul:

- soojustamata pale,
- 25 mm paksuselt lisasoojustatud pale,
- akna tõstmisega lisasoojustuse tasapinda.

Arvutustulemustest (Tabel 3.7) järeldub, et soojus- ja niiskustehniliselt parim lahendus on akna viimine olemasoleva välisseina tasapinnale. Lisasoojustamata aknapaalede korral külmasilda ei likvideerita, säilivad soojuslekke ning risk hallituse tekkeks ja veeauru kondenseerumiseks.



Joonis 3.19 Analüüsitud akna silluse sõlm (vasakul ülal), 15 cm paksune lisasoojustus soojustamata palega (paremal ülal), soojustatud palega (vasakul all) ning akna tõstmisega lisasoojustuse tasapinda (paremal all).

Tabel 3.7 Lisasoojustamise variantide mõju akna soojus- ja niiskustehnilisele toimivusele (lõige lõugtala silluse juurest).

	Lisa-soojustamata	15 cm paksune lisasoojustus soojustamata palega	15 cm paksune lisasoojustus soojustatud palega	15 cm paksune lisasoojustus ja aken soojustuse tasapinnas
Temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,57	0,66	0,85	0,90
Külmasilla soojuse lisajuhtivus Ψ , W/(m·K)	0,49	0,51	0,11	0,03

3.2.3 Tulemuste hindamine

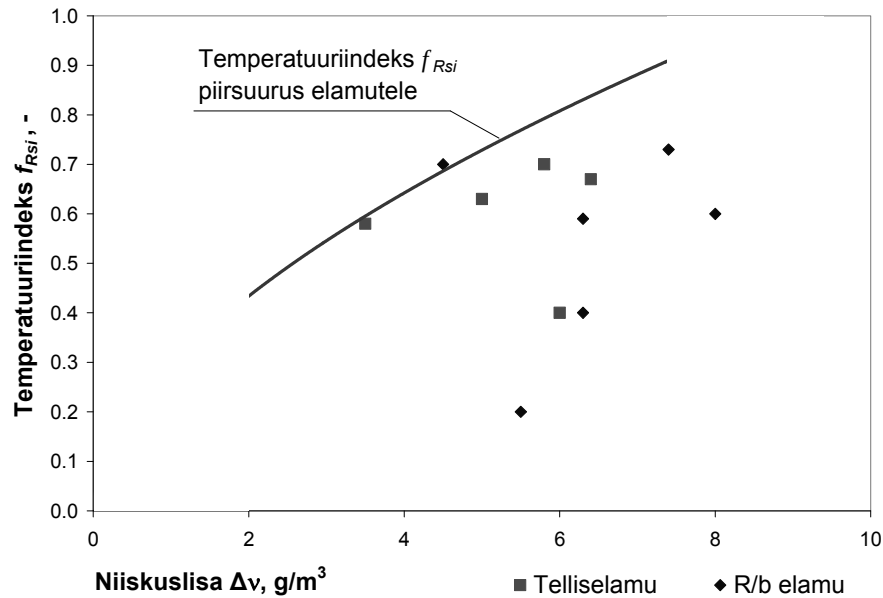
Külmasillad on põhjustatud peamiselt telliselamute konstruktsioonilistest iseärasustest, kus seina sees olev soojustus ei jätku välispiirete liitekohtades ega välisseintes (sidekivid). Kriitilisi külmasildu ($f_{Rsi} < 0,8$) esines 92 % kohtades. Kuues korteris esines külmasildade sisepinnal hallituse kasvu, eelkõige välisseinte liitekohtades katus- ja vahelaega. Renoveerides ventilatsiooni nii, et õhuvooluhulgad tagavad ruumides madala niiskuskooormuse, jääb pooltesse korteritesse veel kriitilisi külmasildu ($f_{Rsi} < 0,65$). Seetõttu on külmasilla probleemide kõrvaldamiseks hoonepiirete lisasoojustamine hädavajalik.

Võrreldes suurpaneelalamutega, on telliselamud külmasildade osas mõnevõrra paremas seisukorras. Soojusjuhtivus külmasildade kaudu on väiksem ja ka niiskustehniliselt on külmasillad vähem kriitilised. Samas on oluline külmasild telliskorterelamute akende ümbruses, eriti silluse juures. Teine kriitilise külmasilla asukoht on välisseina ja katuse liitumiskohas.

15–20 cm paksune lisasoojustus vähendab soojuskadusid külmasildade kaudu kõige enam. Ventilatsiooni renoveerimise korral on 10 cm soojustus piisav vältimaks hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumisega seotud probleeme. Teades, et soojustuse paksuse osakaal kogu lisasoojustuse hinnas (viimistlus, tellingud, töö jne.) on väike võrreldes paksemast soojustusest saadava energiasäästuga, tuleks kasutada paksemat soojustust. Lõplikud valikud soojustuse paksuse osas sõltuvad ka hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide lahendustest.

Külmasildu likvideerides tuleb piirdetarindid lisasoojustada komplekselt: välissein ja katus koos ning aknad tuleb tõsta lisasoojustuse sisse, olemasoleva välisseina välistasapinda.

Korterites, kus tehti termograafilised mõõtmised ja kus oli külmasildadel ka visuaalselt tuvastatav hallituse kasv, hinnati niiskuskooormuse ja külmasilla kriitilisuse suhet, vt. Joonis 3.20. Külmasilla temperatuuriindeksi ja korteri talveperioodi niiskuslisa võrdlus näitab, et elamute temperatuuriindeksi piirsuuruse kasutamine (vt. Tabel 3.1) aitab vältida külmasildadel hallituse teket. Mida kõrgem on niiskuskooormus, seda väiksema külmasilla juures on hallituse kasv võimalik.



Joonis 3.20 Külmasilla temperatuuriindeksi ja korteri talveperioodi niiskulusi võrdlus.

3.3 Külmasildadega arvestamine elamu soojuskadude arvutamisel

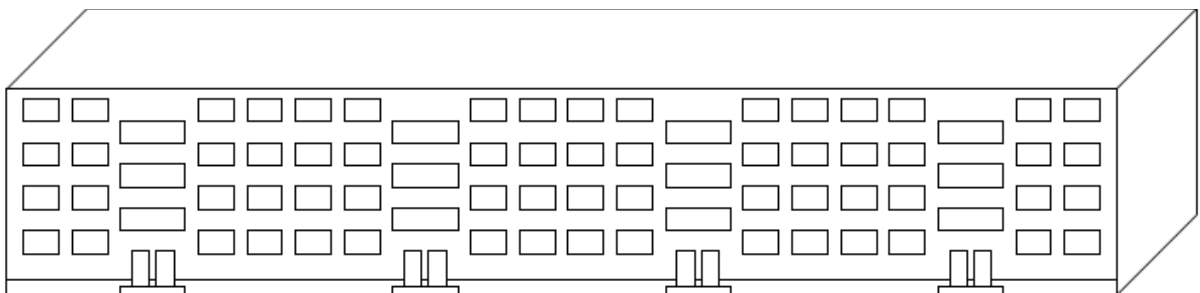
Kuna telliselamute välispiirded sisaldavad olulisi külmasildu, tuleb nendega hoone soojuskadude leidmisel arvestada. Külmasildu võib arvestada eraldi „piirdekomponendina“ või võtta külmasillad arvesse välispiirete redutseeritud soojusjuhtivuses, U_i^{red} :

$$U_{välispiire}^{red} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{A_{välispiire}} + \frac{\sum \Psi \cdot l + \sum \chi \cdot n}{A_{välispiire}}, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

kus:

U_i	välispiirde soojusjuhtivus, W/(m ² ·K);
A_i	välispiirde pindala, m ² ;
Ψ	joonkülmasilla lisajuhtivus, W/(m·K);
l	joonkülmasilla pikkus, m;
χ	punktkülmasilla lisajuhtivus, W/(m·K)
n	punktkülmasildade arv, tk
$A_{välispiire}$	kõikide välispiirete pindala, m ² .

Järgnevalt on toodud näide, kuidas arvestada külmasildadega 4-korruselise nelja trepikojaga elamu välisseina redutseeritud soojusjuhtivuse leidmisel. Hoone pikkus on 68,4 m, laius 13 m ja kõrgus 12,7 m.



Joonis 3.21 Hoone skemaatiline üldvaade.

Arvestame, et tellissidemetega seinte paksus on 42 cm (25 cm silikaattellist + 5 cm mineraalvatti + 12 cm silikaattellist). Võttes arvesse sidekiviridade põhjustatud lisasoojuskaod, saame seina soojusjuhtivuseks $U_{sein}=0,93 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Akna laius on 2,2 m ja kõrgus 1,4 m.

Arvestada tuleb külmasildadega välisseinte välisnurgas, parapeti juures ning akna ja välisseina liitekohas. Võimalik on leida kogu välisseina külmasildade lisajuhtivuste summa (vt. Tabel 3.8):

Tabel 3.8 Lisasoojustamata 4-korruselise telliselamu seinte külmasillad.

Külmasilla asukoht	Külmasilla jm	Ψ , W(m·K)	$\Psi \cdot l$, W/K
Välisseina välisnurk	51	0,26	13
Katuslae ja välisseina liitekoht	163	0,39/2 (pool katuslaele)	64/2
Aken	1166	0,41	478
Kokku:			515

Jagades välisseina lisajuhtivuste summa välisseinte pindalale (avatäited välja arvatud: 1557 m²), saab külmasildadest tuleneva keskmise lisasoojuskaod:

$$U_{\Psi} = \frac{515 \text{ W/K}}{1557 \text{ m}^2} = 0,33 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

$$U_{välispiire}^{red} = 0,93 + 0,33 = 1,26 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

On näha, et tulenevalt külmasildadest välisseinas sõlmedes võib välisseina soojusjuhtivus suurened oluliselt. Külmasildade osakaal seina redutseeritud soojusjuhtivuses on ~26%.

Vaadates nüüd sama hoone redutseeritud soojusjuhtivuse suurust, kui välisseinad on lisasoojustatud ning välisseinte soojusjuhtivuseks on 0,20 W/(m²·K) (~20 cm soojustust). Võrdleme kahte lahendust: esiteks, kus aknad jäävad oma endisele asukohale ja teiseks, kus aknad tõstetakse välisseinale soojustuse sisse.

Tabel 3.9 Lisasoojustatud 4-korruselise telliselamu seinte külmasillad.

Külmasilla asukoht	Külmasilla pikkus jm	Ψ , W(m·K)	$\Psi \cdot l$, W/K
Välisseina välisnurk	51	0,15	8
Katuslae ja välisseina liitekoht	163	0,21/2 (pool katuslaele)	34/2
Aken vanas asukohas / Aken lisasoojustuses	1166	0,11 / 0,03	128 / 35
Kokku:			153 / 60

Jagades välisseina lisajuhtivuste summa välisseinte pindalale (avatäited välja arvatud: 1557 m²), saab külmasildadest tuleneva keskmise lisasoojuskaod olukorrale, kus aknad jäävad vanasse asukohta $U_{\Psi} = \frac{153 \text{ W/K}}{1557 \text{ m}^2} = 0,10 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ja olukorrale, kus aknad asuvad uues

kohas $U_{\Psi} = \frac{60 \text{ W/K}}{1557 \text{ m}^2} = 0,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Lisasoojustatud seinte redutseeritud soojusjuhtivus on

$$\text{vastavalt } U_{välispiire}^{red} = 0,20 + 0,10 = 0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \text{ või } U_{välispiire}^{red} = 0,20 + 0,04 = 0,24 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

Akende paigaldamisega välisseinale soojustuse tasapinda väheneb oluliselt külmasildade mõju. Kui olemasoleval elamul on enamik aknaid vahetamata, on otstarbekas kaaluda kõikide akende vahetust koos akende tõstmisega välisseinale soojustuse tasapinda.

4 Hoonepiirete õhupidavus

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub planeerimatus ja kontrollimatus õhuvoolus läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes. Hoonepiirete õhupidavus mõjutab järgmiseid tegureid:

- hoonete energiatõhusus,
- niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, veeauru kondenseerumine,
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine korterite vahel,
- piirdepindade alajahtumine,
- sisekliima kvaliteet, tuuletõmbus,
- ventilatsioonisüsteemide toimivus,
- müraprobleemid,
- tuleohutus.

Hoonepiirete õhupidavus mängib hoonete energiatõhususe analüüsis olulist rolli ning mõjutab otseselt elamu kütte- ja jahutuskulusid. Hoonepiirete soojusjuhtivuse vähenemisega kasvab suhteline kulutus õhuvahetusele (ventilatsioon ja infiltratsioon). Hoonel, mille välispiirete õhuleke on suur, võib piirete õhulekkekohtade kaudu toimuv õhuvahetus olla samas suurusjärgus või suuremgi kui ventilatsiooniseadmete poolt vahetatava õhu hulk. Tavapärase hoone energiakulu võib olla oluliselt suurem kui väga väikese õhulekkega hoonel. Õhulekkearvu ühe ühiku muutus mõjutab elamu kütteenengiakulu 7% ja koguenergiakulu orienteeruvalt 4% (Jokisalo & Kurnitski 2002, Binamu 2002).

Piirdetarindis, milles on palju ebatihedusi, võib niiskuse konvektsioon kanda edasi tunduvalt suuremaid niiskuse koguseid, kui niiskuse difusioon seda suudab (Hagentoft & Harderup 1995). Kuigi hoone piire võib olla projekteeritud niiskustehniliselt turvaliselt toimivaks veeauru difusiooni suhtes, võib niiskuse konvektsioon põhjustada lubamatult kõrgeid niiskustasemeid (Janssens & Hens 2003).

Uuringud on tõestanud, et õhulekete teel kandub siseruumidesse hallituseoseid, radooni (Airaksinen jt. 2004, Mattson jt. 2002, Backman jt. 2000, Wang & Ward 2003) või õhusaastet garaazist (Emmerich jt. 2003, Batterman jt. 2007).

Eestis tehtud uuring (Kalamees 2007) näitas, et kui hoonepiirded lekkisid rohkem kui standardis esitatud (EPN 11.1 1995,2003, EVS 837-1:2003) piirarv $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, siis kurtsid elanikud külmade põrandate üle.

Piirete ebapiisavat õhupidavust ei saa käsitleda kui loomulikku ventilatsiooni. Läbi piirete ebatiheduste toimuv õhu liikumine ei ole kontrollitav, reguleeritav ega vajadusel filtreeritav. Kui näiteks niiskuskahjustuste tagajärjel on piirdesse tekkinud hallitust või mädanikku, kannab õhk hallituse eosed siseruumi. Ka loomuliku ventilatsiooniga hoonete piirded saavad olla õhupidavad. Värske õhk pääseb sel juhul ruumi läbi värske õhu klappide (tagada tuleb ka õhu eelsoojendus). Ventilatsioon on sel juhul reguleeritav, kontrollitav ja õhk vajadusel filtreeritav. Kvaliteetse sisekliima kujundamisel mängivad peamist rolli eelkõige toimiv kütte- ja ventilatsioonisüsteem ning ehitusfüüsikaliselt korrektselt toimivad hoonepiirded.

Võimaliku tulekahju puhkemise korral peab tule ja suitsu levik ehitises olema takistatud (RT I 2004, 75, 525). Hoonepiirete õhupidavus mõjutab tuleohutust eelkõige tulekahju algstaadiumis tekkiva suitsu leviku kaudu läbi piirete (Marchant 2000). Ehitise tuletõkketarindite tulepüsivuse määratluses tähendab tähis E tarindi tihedust ehk terviklikkust teatud aja jooksul. See määrab tuleohutusest lähtuvalt tarindi õhupidavuse nõude üldiselt. Täpsemalt tähistab suitsu läbitungimise piirangut tähis S.

Kasvamas on elanike nõudmised hoonete sisekliima suhtes. Mõeldes hea sisekliima juures ka küttekuludele, on otstarbekas kasutada soojustagastusega ventilatsiooniagregaati, kus tubadesse sisepuhutav õhk soojendatakse väljatõmbeõhu soojusega. Kui piirded ei ole õhupidavad, siis vahetub suur osa õhku soojustagastit läbimata. See põhjustab suuremat energiakulu ja vähendab soojustagasti positiivset mõju. Kuna õhupidavate piiretega hoone

energiakulu on väiksem, võimaldab see saada hoonele parema energiamärgise. Seega, õhupidavad piirded vähendavad hoone energiakulu.

Tuleb aga rõhutada, et õhupidavate piiretega peab kaasas käima toimiv, efektiivne ja tasakaalustatud ventilatsioonisüsteem. Kui õhupidavate piiretega hoonel ei ole toimivat ventilatsioonisüsteemi, siis õhk siseruumides ei vahetu ja sisekliima saab rikutud. Ventilatsioon peab tagama piisava õhuvahetuse ja ei tohi halvendada hoone soojuslikku mugavust (tuuletõmbus, värske õhu klappidest sissevoolav külm õhk) ega akustilist kvaliteeti (seadmete müra, õhu liikumiskiirus, ventiilid, seadistus või ebapiisav mürasummutus), mis sunniks kasutajaid projekteeritud ventilatsiooni muutma või seda mitte kasutama. Ventilatsioonisüsteemid piirete õhupidavuse mõõtetulemust otseselt ei mõjuta, sest värske õhu klapid, õhu sissepuhke- ja väljatõmbeventiilid kaetakse mõõtmise ajaks teibiga kinni.

Õhuvool läbi hoonepiirde ebatiheduste ehk infiltratsioon ja tema suurus sõltuvad:

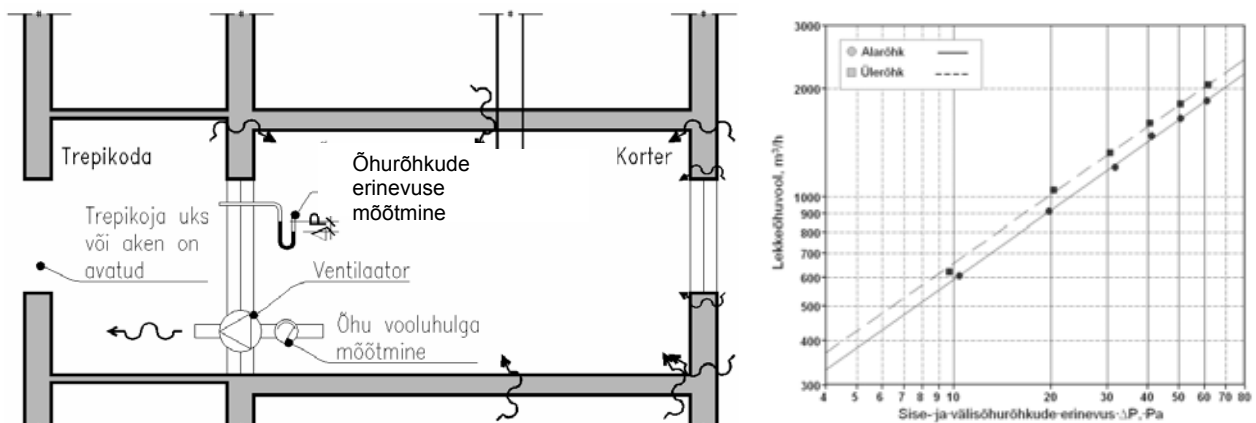
- hoonepiirete õhupidavusest,
- õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret,
- kasutatavate materjalide omadustest,
- ventilatsiooni tasakaalustusest,
- kliimatingimustest.

Kogu hoone õhupidavust mõjutavad kokkuvõttes kõikide piirete, liitekohtade, akende ja uste jne õhupidavused. Õhupidavuse tagamine nõuab tihti keerukaid, lõpuni läbimõeldud ja kompleksseid lahendusi. Piirde detailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt teostatud.

4.1 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine

Hoonepiirete õhupidavus mõõdeti vastavalt standardile EVS EN 13829:2001 "Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method".

Korteri välisukse avasse paigaldati mõõteseade, mis koosnes muudetava suurusega raamist, õhutihedast kangast, ventilaatorist ja mõõte- ning juhtimiseadmetest (vt. Joonis 4.1).



Joonis 4.1 Korteri piirete õhupidavuse mõõtepõhimõte (vasakul). Õhulekke graafik: lekkeõhuvoolu sõltuvus õhurõhkude erinevusest (paremal).

Mõõteseade ventilaator tekitas sise- ja väliskeskkonna vahele soovitud õhurõhkude erinevuse. Katse käigus mõõdeti õhuvooluhulka, mis oli vajalik tekitatud rõhuerinevuse hoidmiseks. Sama õhuhulk, mis läbis ventilaatorit, tuli ka korterisse läbi piirde ja pragude. Lekkeõhu hulka mõõdeti erinevate õhurõhkude, nii alarõhu kui ka ülerõhu tingimustes, 10 Pa sammuga, 10...±60 Pa. Alarõhu- ja ülerõhu mõõtmistulemuste trendijoonelt loetakse lekke õhuvooluhulk 50 Pa juures, millest arvutati keskväärtus (vt. Joonis 4.1, paremal).

Enne ja pärast lekkeõhuhulga mõõtmist mõõdeti sise- ja väliskeskkonna vaheline loomulik õhurõhkude erinevuse suurus ning sise- ja välisõhu temperatuurid. Nende alusel korregeeriti mõõtetulemust.

Korteri piirete õhupidavuse mõõtmiseks suleti kõik välispiirdes olevad suletavad avad ehk ukseid ja aknad normaalasendis suletud, värsket õhu klapiid ja ventilatsioonilavad teibiti kinni. Sisemised vahelused jäeti avatuks. Lisaks kontrolliti, et haisulukkudes oleks vesi.

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv q_{50} (ühik $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), mis näitab õhuvooluhulka (m^3/h), mis läbib 1 m^2 suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on õhurõhkude erinevus 50 Pa. Kuna õhupidavust eraldi piirete kaupa mõõta pole välitingimustes võimalik, mõõdeti kogu korteri õhupidavus ja väljendati see kõikide piirete keskmise õhulekkena. Lisaks on õhupidavust iseloomustatud ka n_{50} arvu abil. n_{50} mõõtühikuks on 1/h ja see väljendab õhuvahetuskordsust, kui õhurõhkude erinevus kahel pool piiret on 50 Pa. Õhupidavuse mõõtemeetod on mõlemal puhul sama. Kui tulemus esitatakse õhulekkearvuna (ühik $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri välispiirete sisepindalaga (sh. vahelaed ja korteritevahelised vaheseinad) ja kui õhupidavust väljendatakse õhuvahetuskordsusena n_{50} (ühik 1/h), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri siseruumide kubatuuriga.

Korteri piirete õhupidavust võib iseloomustada ka õhulekkepindalaga, mida õhk läbib teatud rõhuerinevuste juures. See aitab paremini visualiseerida, kui suur auk on välispiirdes. Kasutatakse kahte õhulekkepindala:

- EqLA (Equivalent Leakage Area);
- ELA (Effective Leakage Area).

EqLA on defineeritud Kanada rahvusliku uurimisasutuse (Canadian National Research Council) poolt ja see näitab ümmarguse teravaservalise ava pindala, mille kaudu lekib sama palju õhku, kui läbi kõikide piirete 10 Pa juures. ELA on defineeritud Lawrence Berkeley laboratooriumis USA-s ja see näitab torujase ava pindala, mille kaudu lekib sama palju õhku, kui läbi kõikide piirete 4 Pa juures. Tulemustes on õhulekkepindalad EqLA ja ELA jagatud läbi eramu välispiirete pindalaga ja näitavad keskmist lekkepindala ühe ruutmeetri välispiirde pindala kohta.

4.2 Õhupidavuse hindamise meetodid

Eestis kehtestati nõuded hoonepiirete õhupidavusele juba 1995. aasta Eesti projekteerimise eelnormiga "EPN 11.1 Piirdetarindid", mis 2003. aastal muudeti Eesti standardiks EVS 837-1:2003. Õhulekkearvu piirväärtuseks on seatud elamutel $3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja muudel hoonetel $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Rootsis oli pikka aega nõue (BBR BFS 1998:38), et hoonete välispiirded peavad olema nii õhutihedad, et keskmine õhuleke 50 Pa õhurõhu erinevuse juures ei ületaks elamute puhul $0,8 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ($2,9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) ja muudel hoonetel $1,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ($5,8 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$). Energiatõhususe miinimumnõuete kehtestamisega kaotasid kehtivuse spetsiifilised nõuded hoonepiiretele, kui energiatõhususe miinimumnõuete tagamiseks ehitatakse hoonepiirded õhupidavaks. Kanada elamufondi energiatõhususe parandamise programmi R-2000 (NRCan 2004) järgi peab olema tagatud hoonepiirete õhupidavus $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$ ja õhulekke pindala 10 Pa juures ei tohi ületada $0,7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$. Saksamaal (DIN 4108-7:2001-08) on nõue, et loomuliku ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus n_{50} peab olema $< 3 \text{ 1/h}$ ja mehaanilise ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$; passiivmajade (Passivhaus, Minenergie®) õhupidavuse nõue on $n_{50} < 0,6 \text{ 1/h}$. Norras (REN TEKNISK 1997) on hoonepiirete õhupidavusele esitatud järgmised nõuded: väikeelamutel ja ridaelamutel $n_{50} < 4 \text{ 1/h}$, muudel kuni kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 3 \text{ 1/h}$ ja muudel üle kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$. Šveitsis on loomuliku ventilatsiooniga ühepereelamute välispiirete õhupidavuse nõue $n_{50} < 2...4,5 \text{ 1/h}$ ja mitmepereelamutel $n_{50} < 2,5...3,5 \text{ 1/h}$; mehaanilise ventilatsiooniga või jahutusega hoonete õhupidavuse nõue on $n_{50} < 1 \text{ 1/h}$ (SIA 180. Soomes nõudeid hoonepiirete õhupidavusele sätestatud ei ole. Soome ehitusmääruses C3 2007) on toodud hoonepiirete õhupidavuse taotluslik tase $n_{50} < 1 \text{ 1/h}$ ja energiaarvutustes (D5 2007) kasutatakse õhupidavuse baassuurst $n_{50} = 4 \text{ 1/h}$. Inglismaal ja Walesis on õhulekkearvu piirsuurus $10 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (energiatõhususe

miinimumnõuete täitmiseks peab tihti kasutama väiksemat õhulekkearvu) (L1A 2006, L2A 2006).

Hoonepiirete õhupidavus sõltub kasutatavatest ehitusmaterjalidest, ehitustehnoloogiast ja töö kvaliteedist. Standardites prEN 15242 (vt. Tabel 4.1) ja ISO/FDIS 13789 (vt. Tabel 4.2) ning juhendis D5 (vt. Tabel 4.3) on toodud hoonepiirete õhulekkearvu iseloomustamiseks erinevaid suurusid.

Tabel 4.1 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt standardile prEN 15242.

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhulekkearv, $m^3/(h \cdot m^2)$		
		q_4 , Pa	q_{10} , Pa	q_{50} , Pa
Eramu	väike	0,5	1	2,5
	keskmine	1	2	5
	suur	2	3,5	10
Korterelamud, büroohooned	väike	0,5	1	2,5
	keskmine	1	2	5
	suur	2	3,5	10
Tööstushooned	väike	1	2	5
	keskmine	2	3,5	10
	suur	4	7	20

Tabel 4.2 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt standardile ISO/FDIS 13789.

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50} , 1/h
Eramu	madal	<4
	keskmine	4...10
	suur	>10
Korterelamud	madal	<2
	keskmine	2...5
	suur	>5

Tabel 4.3 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt Soome määrusele D5.

Õhupidavus	Detailide lahendus	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50} , 1/h
Õhupidav hoone	vuukide ja liitekohtade õhupidavusele on pööratud erilist tähelepanu nii projekteerimisel, ehitamisel kui ka järelevalvel	väikemajad: 1...3, korterelamud ja bürood: 0,5...1,5
Keskmine õhupidavus	vuukide ja liitekohtade õhupidavusele projekteerimisel, ehitamisel kui ka järelevalvel lähtutakse tavalisest ehituspraktikast	väikemajad: 3...5, korterelamud ja bürood: 1,5...3
Piirded ei ole õhupidavad	õhupidavusele ei ole tähelepanu pööratud ei projekteerimisel, ehitamisel ega ka järelevalvel	väikemajad: 5...10, korterelamud ja bürood: 3...7

4.3 Tulemused

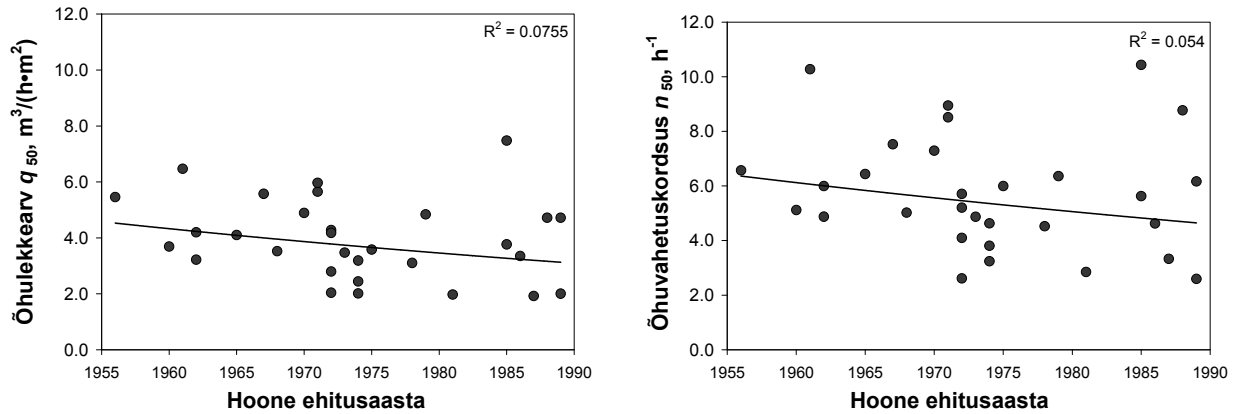
Hoonepiirete õhupidavust mõõdeti 30 korteris õhulekketestiga ja tulemused on esitatud kahel viisil:

- õhulekkearv q_{50} $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, mis iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jaotatuna korteri piirdetarindite pindalale,
- õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50} h^{-1} , mis iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jaotatuna korteri sisekubatuurile.

Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja õhuvahetuvus 50 Pa juures oli $n_{50} = 5,7 \text{ h}^{-1}$ (vt. Tabel 4.4). Kuna mõõtmised tehti korterite kaupa, sisalduvad nendes mõõdetulemustes ka korteritevaheliste piirete (vaheseinad, vahelaed) õhulekked. Esineb nõrk seos, et uuem maja on õhupidavam (vt. Joonis 4.2).

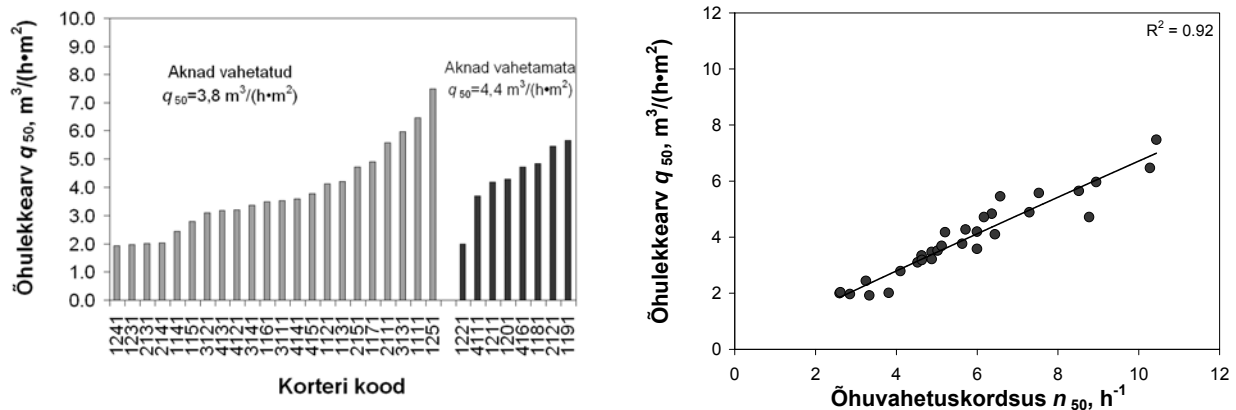
Tabel 4.4 Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

Korteri kood	Õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	Õhuvahetuvus 50Pa juures, n_{50} , $1/\text{h}$	EqLA @ 10Pa, mm^2/m^2	LBL ELA @ 4Pa, mm^2/m^2
1111	6,5	10,3	382	212
1121	4,1	6,4	229	113
1131	4,2	6,0	238	118
1141	2,4	3,2	143	71
1151	2,8	4,1	334	174
1161	3,5	4,9	288	145
1171	4,9	7,3	428	223
1181	4,8	6,4	546	299
1191	5,7	8,5	443	229
1201	4,3	5,7	461	239
1211	4,2	5,2	471	242
1222	2,0	2,6	202	101
1231	2,0	2,9	141	69
1241	1,9	3,3	177	90
1251	7,5	10,4	568	305
2111	5,6	7,5	532	282
2121	5,5	6,6	603	311
2131	2,0	3,8	162	85
2141	2,0	2,6	177	86
2151	4,7	8,8	339	167
3111	3,5	5,0	231	118
3121	3,1	4,5	213	107
3131	6,0	8,9	427	231
3141	3,4	4,6	226	103
4111	3,7	5,1	270	142
4121	3,2	4,9	173	91
4131	3,2	4,6	208	103
4141	3,6	6,0	122	63
4151	3,8	5,6	175	88
4161	4,7	6,2	476	130



Joonis 4.2 Hoone vanuse mõju hoonepiirete õhupidavusele.

Vahetatud ja vahetamata akendega korterite vahel statistiliselt olulisi erinevusi ei olnud (vt. Joonis 4.3 vasakul). Korterite õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suurus ei ole võrdsed, kuna korteritel on välispiirde pindala keskmiselt 30% võrra suurem ja seetõttu on õhulekkearv q_{50} väiksem (vt. Joonis 4.3 paremal). Piirdetarindite pindala ja sisekubatuuri suhe sõltub kompaktsusest, mida mõjutab plaanilahenduse keerukus ja korruse kõrgus.



Joonis 4.3 Õhupidavuse mõõtetulemused vastavalt akna tüübile (vasakul) ja mõõdetud õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suhe korterites (paremal).

Energiaarvutuste korral on energiakasutamise bilansi koostamiseks vaja teada lekkeõhuvoolu, mis sõltub otseselt hoonepiirete õhupidavusest. Vanemate hoonete olulise renoveerimise korral on vaja tõestada hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele. Nende arvutuste jaoks on vaja teada hoone välispiirete õhupidavust: õhulekkearvu q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Hoonepiirete õhupidavus on projekteerija või energiaaudiitori hinnata. Kui hoone õhupidavust ei ole mõõdetud või muul viisil tõendatud, tehakse korterelamute energiaarvutus õhulekkearvu baasväärtustega $6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Käesolevad mõõtmised näitasid, et õhulekkearvu baasväärtus $6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ei ületa oluliselt telliselamutes saadud õhupidavuse mõõtmistulemuste baasväärtust.

Arvutustes kasutatava õhulekkearvu võib tõendada ka muul viisil, näiteks samatüübiliste hoonete olemasolevate mõõtmisandmete analoogia baasil. Sellisel juhul tuleb deklareeritud õhulekkearvu $q_{50, \text{dekl}}$ juures arvestada ka olemasolevate mõõtmistulemuste arvu ja hajuvust ning selle võib arvutada alloleva valemiga 4.1:

$$q_{50, \text{dekl}} = \overline{q_{50}} + k \cdot \sigma_{q_{50}}, \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \quad (4.1)$$

kus

$\overline{q_{50}}$ on antud hoonetüübi keskmine õhulekkearv (saadakse mõõtmistest), $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;
 k on kordaja, mis sõltub mõõdetud hoonete arvust $[-]$, mis arvutatakse valemiga 4.2 ning mis põhineb normaaljaotusejärgse valiku 50 % fraktili 95 % tõenäosusele (uute

elamute ja kvaliteedi tagamise juures kasutatakse teistel alustel põhinevat kordajat vt. RT 80-10974.);

$\sigma_{q_{50}}$ on antud hoonetüübi õhulekkearvude mõõtmistulemuste standardhälve, $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, mis arvutatakse valemiga 4.3.

$$k = \frac{1,645}{\sqrt{n}}, - \quad (4.2)$$

kus

n on mõõdetud hoonete arv.

$$\sigma_{q_{50}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{50,i} - \overline{q_{50}})^2}{n-1}}, \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) \quad (4.3)$$

kus

$q_{50,i}$ mõõdetud hoone õhulekkearv $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Uurimistöös „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ on esitatud suurpaneelidest korterelamute õhupidavuse mõõtmisandmed. Telliselamute ja suurpaneelidelamute õhupidavuse mõõtmistulemustes suuri erinevusi ei ole (vt. Tabel 4.5). Peamised õhulekked kohad mõlema hoonetüübi juures olid avatäited ja nende liitumised seintega. Erinevusena kahe uurimistöö käigus tehtud õhulekete mõõtmiste juures võib märkida seda, et kui suurpaneelidelamutes esinesid õhulekked peamiselt paneelide liitekohtades, siis tellismajades olid õhulekked jaotunud ühtlasemalt kogu piirde ulatuses. Samuti oli tulemuste varieeruvus tellismajade puhul väiksem.

Tabel 4.5 Telliskorterelamute ja suurpaneelidelamute õhupidavuse tulemuste võrdlus.

	Telliskorterelamud (käesolev uuring)		Suurpaneelidelamud (Kalamees jt. 2009)	
	$q_{50}, \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	n_{50}, h^{-1}	$q_{50}, \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	n_{50}, h^{-1}
Keskmine suurus	4,0	5,7	4,0	6,0
Baasväärtus	4,4	6,4	4,7	6,8

Hoonepiirete õhupidavus mängib hoonete energiatõhususe juures olulist rolli ning mõjutab otseselt hoone küttekulusid. Tuleb meeles pidada, et hoonepiirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku. Hoone energiatõhususe tagamiseks ei piisa ainult korralikust kütte- ja ventilatsioonisüsteemist, vaid peab olema tagatud ka hoone piirete õhu- ja soojapidavus. Kui nendest üks ei vasta nõuetele, siis korralikust energiatõhusast elamust on asi kaugel. Parandades hoone õhupidavust, tuleb meeles pidada, et oleks tagatud hoones vajalik õhuvahetus. See tähendab seda, et hoones peab olema korralikult toimiv ventilatsioonisüsteem. Õhupidavate piiretega hoone õhuvahetust on võimalik tagada ainult toimiva ventilatsioonisüsteemiga. Kui pole toimivat ventilatsioonisüsteemi, siis õhupidavate piiretega elamus ei toimu õhuvahetust ning sisekliima saab rikutud.

Vähemalt poole oma ajast veedavad elanikud kodus ning on teada, et on olemas selge seos halva sisekliima ning kehva tervise vahel. Hoonet saab muuta õhupidavamaks ainult koos ventilatsioonisüsteemide renoveerimisega või väljaehitamisega. Toimiv ventilatsioonisüsteem tähendab seda, et on tagatud järgmised punktid:

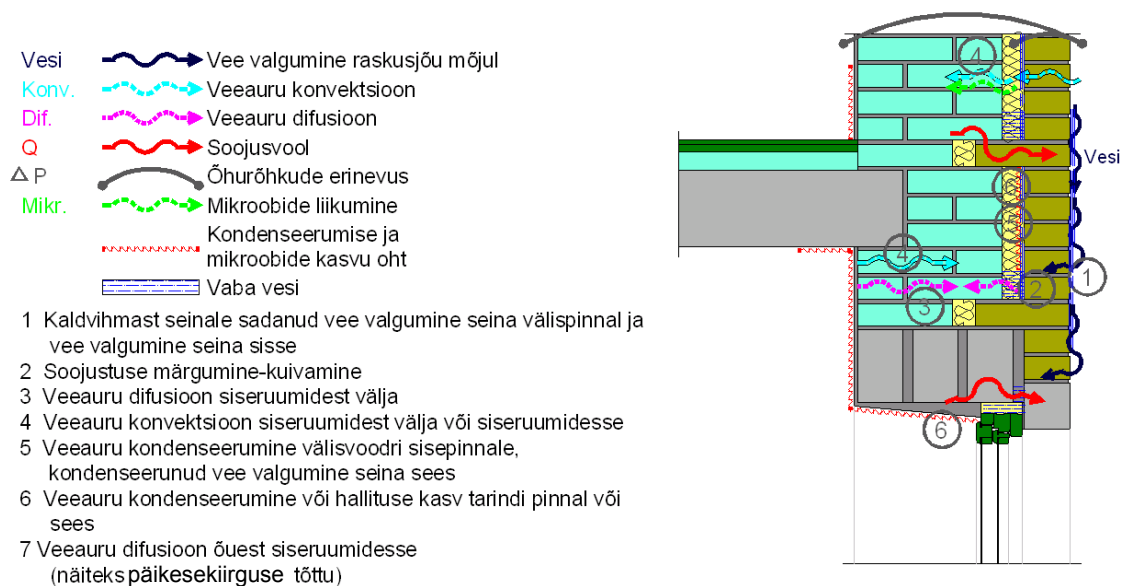
- piisav värske õhu juurdevool ning nõutud õhuvahetus,
- võimalik õhuvooluhulkade reguleerimine,
- süsteem peab olema tasakaalustatud, et vältida liiga suuri õhurõhkude erinevusi,
- lubatud müratase ei tohi olla ületatud,
- inimeste soojuslik mugavus,
- hoone energiatõhusus.

Energiasääst ei tohi halvendada sisekliimat

5 Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus

Hoone kasutamise ajal võib niiskus välisseinas liikuda veeauruna (peamiselt õhu veeauru osarõhkudest põhjustatuna difusiooni teel, õhurõhkude erinevusest põhjustatuna koos õhu liikumisega ehk konvektsiooni teel) või veena (peamiselt kapillaarsel teel, raskusjõu mõjul), vt. Joonis 5.1. Mitmekihilised tellisseinad on projekteeritud ja ehitatud ilma välisvoodritaguse tuulutusaheta. Tugeva kaldvihma tõttu tungib sadevesi läbi välisvoodri seina sisse. Sein ja temas olev soojustus võivad märguda ka difusiooni või konvektsiooni teel liikuva veeauru tõttu.

Veeauru difusiooni teel liikuva niiskuse kogused on üldiselt väikesed võrreldes näiteks õhuleketest põhjustatud veeauru konvektsiooni teel liikuva niiskuse hulga või kaldvihmast fassaadile sadanud ja seina voolanud veekogustega. Märgunud soojustuse probleemid on seotud niiskusest sõltuvate materjaliomaduste muutusega (näiteks soojusjuhtivuse suurenemine), mikroorganismide (hallitus, bakterid) kasvuga, materjalide lagunemisega (mädanik, roostetamine).



Joonis 5.1 Välisseina soojusliku ja niiskusliku toimivuse põhimõtteline skeem.

Peamised tellisseinte niiskustehnilise toimivuse otsustamise alused on:

- hallituse kasv tarindis või selle pinnal peab olema välditud või piiratud;
- veeauru kondenseerumine tarindis või selle pinnal peab olema välditud või piiratud (näiteks kivitarindites $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$);
- puidupõhiste materjalide mädanemine peab olema välditud, mis tähendab üldjuhul seda, et puitmaterjalide kaaluline niiskussisaldus ei või ületada $w \leq 20\%$;
- vältida tuleb niiskuse kogunemist tarindisse, s.t. et võimalikult kondenseerunud veeaur peab välja kuivama (vähemalt aasta jooksul);
- liigniiskus ei või põhjustada tarindite toimivuse halvenemist.

Võrreldes puittarinditega on tellis- ja betoontarindid liigniiskuse suhtes mõnevõrra tolerantsemad, kuna tellis ja betoon kannatavad suuremat niiskuskooormust ja ka lühiajalist veeauru kondenseerumist. Siiski esineb harva vaid täistellisseinu ja liigniiskus võib kahjustada seinas olevaid teisi materjale. Kui puittarindite niiskustehnilise toimivuse tagamiseks on üldjuhul piisav hallituse ja lühiajalise kondensaadi vältimine, siis tellisetarindite puhul võib lahendus olla niiskustehniliselt toimiv ka mõnevõrra suurema niiskustaseme korral. See on üldine seisukoht, kuid täpsema taseme kindlaksmääramine vajab põhjalikumaid lisauuringuid.

Mitmekihilised tellisseinad on üldjuhul soojustatud 5–6 cm paksuse mineraalvatiga. Fassaadikiht on seotud kandva seinaga kas horisontaalsete või vertikaalsete sidekiviridadega, jäigalt mörtil

kinnitatud terrassidemete või nende mõlema kombinatsiooniga. Õhuke soojustus, sidekividest põhjustatud külmasillad ja piirdetarindite läbipuhutavus on peamised põhjused vanemate tellisseinte suurele soojuslähivusele.

Piirdetarindite soojuskadusid saab vähendada nende lisasoojustamise abil. Lisasoojustamise korral väheneb teatud määral energiatarbimine ka sellepärast, et lüheneb kütteperiood. Lisasoojustus tõstab ka seinte sisepinna temperatuuri ja seega väheneb võimalik külmakiirgus välisseintelt. See võimaldab alandada ruumiõhutemperatuuri.

Eestis kasutatakse peamiselt kahte välisseinte lisasoojustamise lahendust:

- tuulutatav fassaadisüsteem: välisseina katmine roovituse vahel paikneva soojustusega; roovitusele tuuletõke ning tuulutusvahega fassaadiplaat;
- mittetuulutatav süsteem e. soojustuse liitsüsteem: soojustuse krohvimise lahendus.

Ehitise terviklikkusest lähtudes ei saa lisasoojustamist vaadelda kunagi omaette. Lisasoojustamine muudab kütte- ja ventilatsioonisüsteemi toimimist. Kütteseadmete koormus väheneb, mis võib alandada aga keskküttekatla kasutegurit. Koos hoonepiirete lisasoojustamisega tuleb renoveerida ka kütte- ja ventilatsioonisüsteemid. Soojuse läbi seinte liikumise vähenemine iseenesest ei mõjuta õhuvahetuse toimivust. Kuna lisasoojustamine muudab piirdetarandid tavaliselt õhupidavamaks, vähendab see läbi tarindi kulgevat õhu ja niiskuse infiltratsiooni ning suurendab siseruumide niiskuskooormust. Loomuliku ja mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooni korral võib tekkida vajadus lisada värske õhu klappe.

Viimasel ajal on Eestis palju poleemikat tekitanud lisasoojustamisel kasutatava soojustus-süsteemi ja soojustusmaterjali mõju tarindi niiskusele. Käesoleva uuringu käigus viidi läbi esmased mõõtmised lisasoojustamise toimivuse analüüsiks:

- olemasolevate ja lisasoojustatud seinte soojusjuhtivus;
- kahe erineva soojustusmaterjaliga soojusisolatsiooni liitsüsteemi võrdlusanalüüs;
- seestpoolt soojustatud tellisseina niiskustehniline toimivus.

5.1 Seinte soojusjuhtivuse mõõtmised

5.1.1 Meetodid

Välisseinte soojusjuhtivuse suuruse hindamiseks kasutati mõõtmisi soojusvoo plaadiga ning arvutusi detailse kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutusprogrammiga.

Seinte soojusjuhtivuse mõõdistamisel kasutati soojusvoolu plaate (Hukseflux HFP01 (mõõtevahemik $-2000...+2000 \text{ W/m}^2$, mõõtetäpsus $+5 \text{ } \%/ -15 \text{ } \%$, suurus $\varnothing 8 \text{ cm}$), ALMEMO FQ90119 ja Ahlborn FQ90117SI (mõõteala $<8 \text{ W/m}^2$ ja $<50 \text{ W/m}^2$, mõõtetäpsus $5 \text{ } \%$, suurused $25 \times 25 \text{ cm}$ ja $10 \times 3 \text{ cm}$)). Soojusvoo plaadiga mõõdetakse vastassuunaliselt ühendatud termopaaride patareis temperatuuride erinevusest tekkivat termoelektromotoorjõudu. Mõõdetav termoelektromotoorjõud on seda suurem, mida suurem on kahel pool plaati olevate temperatuuride erinevus. Mõõdetav termoelektromotoorjõud on võrdeline plaati (ja seina) läbiva soojusvooga. Teades temperatuuride erinevust seina sise- ja välispinnal, on võimalik arvutada seina soojustakistus ja soojusjuhtivus (vt. ka Joonis 5.2):

$$R_T = \frac{T_{si} - T_{se}}{q}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (1)$$

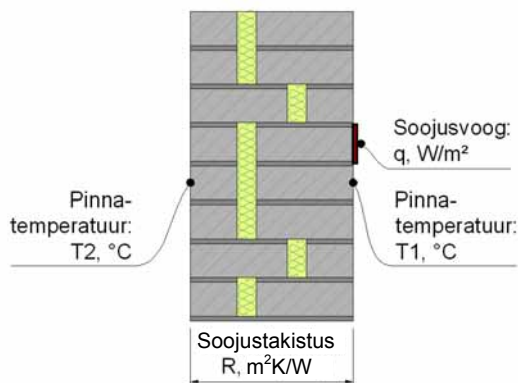
$$U = \frac{1}{(R_{si} + R_T + R_{se})}, \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (2)$$

kus,

R_T	tarindi soojustakistus, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;
T_{si}	sisepinna temperatuur, K;
T_{se}	välispinna temperatuur, K;
q	soojusvoog, W/m^2 ;
R_{si}	sisepinna soojustakistus, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{se} välispinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$.

Kirjeldatud mõõtmismetoodikat käsitleb standard ISO 9869. Soojusvoo mõõtmise praktilise poolega on seotud mitu probleemi. Kuna soojusvoo plaat on väikesemõõduline, mõõdab see konkreetse koha, mitte tarindi keskmist soojusvoogu. Tarindit eelnevalt termografeerides on võimalik valida mõõtmiseks vajalik ja iseloomulik koht. Korterelamutes mõõtmisi tehes oli probleemiks, et vaba seinapinda, mis oleks piisavalt kaugel aknast, küttekehadest ja vaba mööbliesemetest, oli raske leida. Joonisel (vt. Joonis 5.2 paremal) paikneb soojusvoo plaat küll radiaatori läheduses, kuid radiaatori mõju on väike tänu radiaatori kohal olevale riiulile. Tarindi soojusjuhtivuse hindamisel soojusvoo plaadiga on oluline, et mõõteperiood oleks piisavalt pikk: püsivates temperatuuritingimustes vähemalt kolm ööpäeval. Mõõtmiseks on eelistatumad põhjapoolsemad seinad, kus päikese kiirguse mõju on väiksem.



Joonis 5.2 Soojusvoo mõõtmise põhimõtteline skeem (vasakul) ja korterelamu välisseina soojustakistuse mõõtmine (paremal).

Lisaks mõõtmistele hinnati tellisseinte soojusjuhtivust ka detailse kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutusprogrammiga THERM 6.1. Tellisseinte soojusjuhtivuse arvutus kahemõõtmelise temperatuurivälja meetodiga on vajalik, kuna lihtsustatud kaalutud keskmise arvutusmeetod (EVS-EN ISO 6946) ei sobi tarinditele, mille mittehomoogeense kihi erinevate materjalide (soojustus, tellis) soojuseri juhtivus erineb üle viie korra. Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivuste suurused on toodud Tabel 5.1-s.

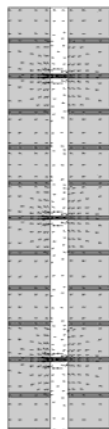
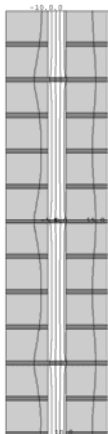
Tabel 5.1 Seina soojusjuhtivuse arvutustes kasutatud materjalide omadused

Materjal	Soojuseri juhtivus λ_d , $W/(m \cdot K)$
Silikaattellismüüritis (täistellis)	0,9
Keraamiline fassaaditellis (õõnestellis)	0,65
Mört	0,6
Mineraalvatt (vana)	0,05...0,07
Vahtpolüstüreen soojustus (uus)	0,045

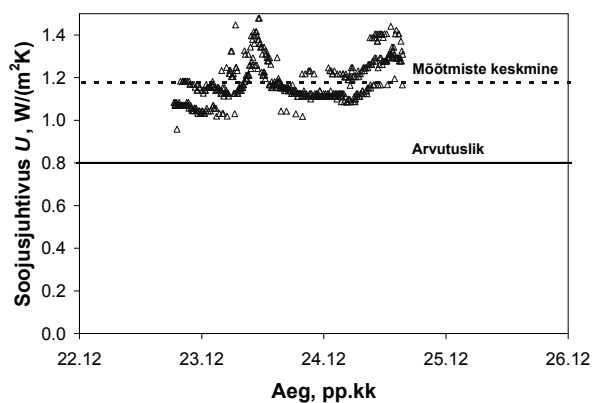
5.1.2 Tulemused

Järgnevatel joonistel (Joonis 5.3...Joonis 5.8) on toodud kokkuvõtte telliselamute välisseinte soojusjuhtivuse mõõtmistulemustest. Vasakpoolisel joonisel on sein lõige koos temperatuurijaotusega ja soojusvoolu suundadega. Parempoolisel graafikul on arvutatud ja mõõdetud soojusjuhtivuse võrdlus.

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord



Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 6 cm
Silikaattellis 12 cm

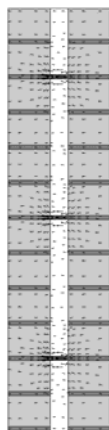
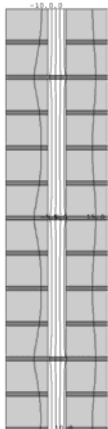


$$U_{\text{mõõdetud}} = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

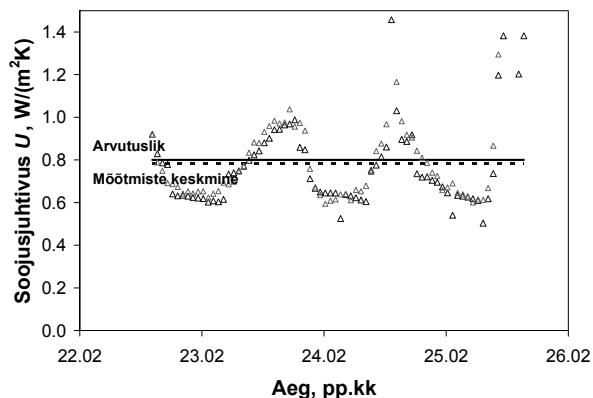
$$U_{\text{arvutatud}} = 0,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} (\lambda_{\text{soojustus}} = 0,05 \text{ W/(m} \cdot \text{K)})$$

$$U_{\text{arvutatud}} = 0,95 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} (\lambda_{\text{soojustus}} = 0,07 \text{ W/(m} \cdot \text{K)})$$

Joonis 5.3 12 cm + 6 cm + 12 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1150).



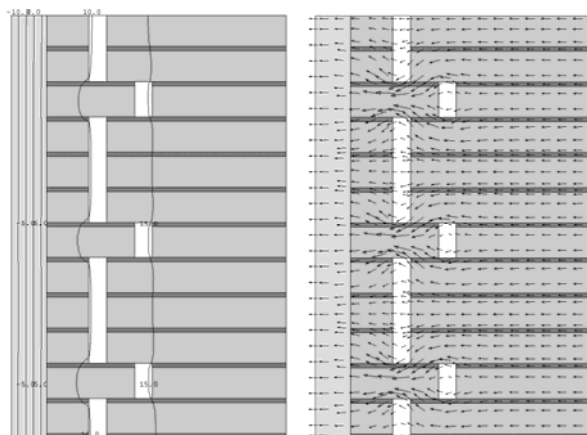
Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 6 cm
Silikaattellis 12 cm



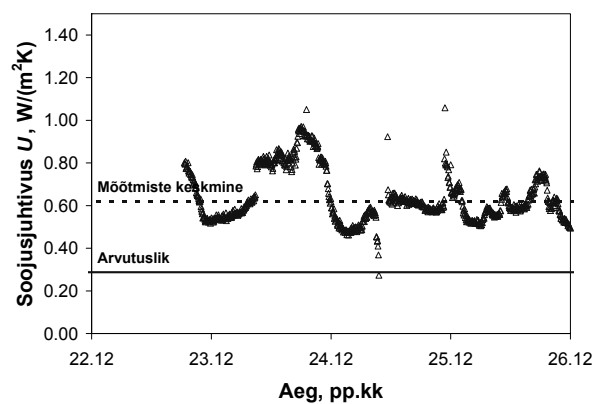
$$U_{\text{mõõdetud}} = 0,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_{\text{arvutatud}} = 0,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Joonis 5.4 12 cm + 6 cm + 12 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1170).



Vahtpolüstüreeniga soojustuse liitsüsteem 10cm
Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 6 cm
Silikaattellis 51 cm

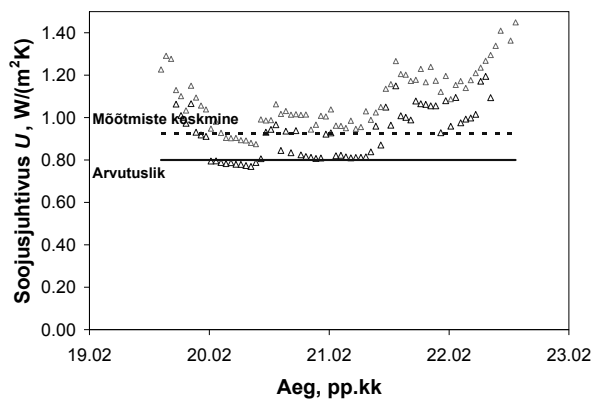
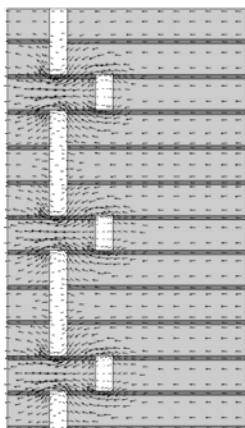
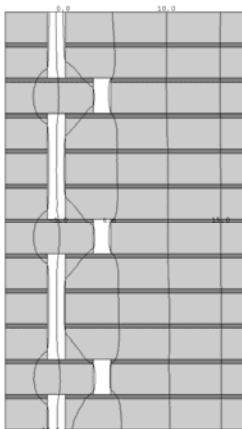


$$U_{\text{mõõdetud}} = 0,62 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_{\text{arvutatud}} = 0,29 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_{\text{arvutatud}} = 0,29 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} (\text{ilma sidekivi taguse soojustuseta})$$

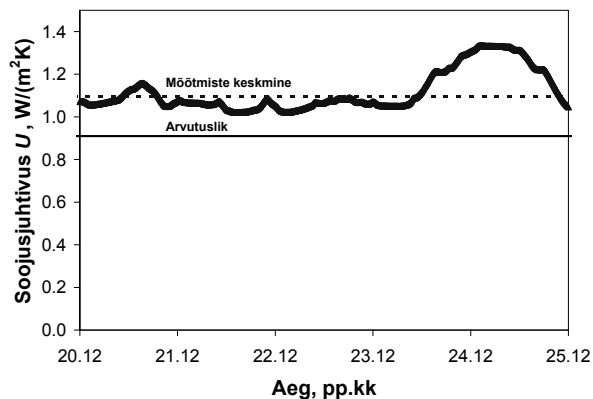
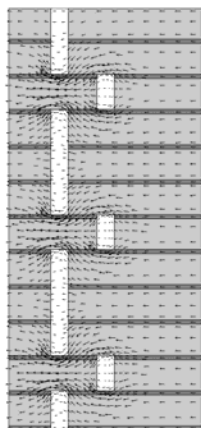
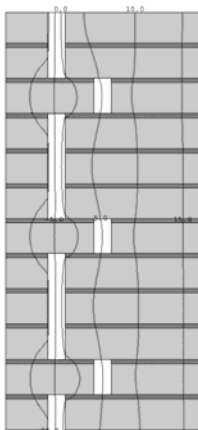
Joonis 5.5 10 cm+12 cm + 6 cm + 51 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1150).



Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 6 cm
Silikaattellis 51 cm

$U_{mõõdetud} = 0,92 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
 $U_{arvutatud} = 0,80 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
 $U_{arvutatud} = 0,84 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (ilma sidekivi taguse soojustuseta)

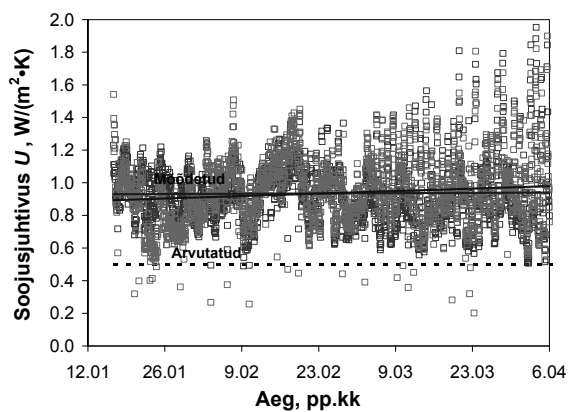
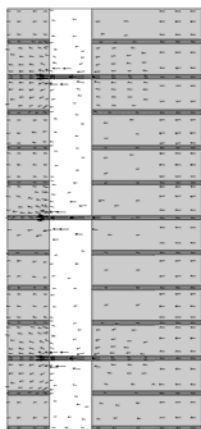
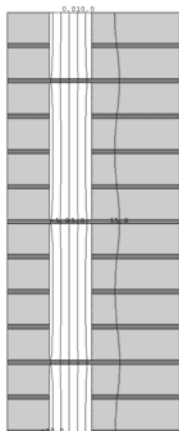
Joonis 5.6 12 cm + 6 cm + 51 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1160).



Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 6 cm
Silikaattellis 38 cm

$U_{mõõdetud} = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
 $U_{arvutatud} = 0,91 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
 $U_{arvutatud} = 0,96 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (ilma sidekivi taguse soojustuseta)

Joonis 5.7 12 cm + 6 cm + 38 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1190).



Silikaattellis 12 cm
Mineraalvatt 12 cm
Silikaattellis 25 cm

$U_{mõõdetud} = 0,95 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
 $U_{arvutatud} = 0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Joonis 5.8 12 cm + 12 cm + 25 cm välisseina soojusjuhtivuse võrdlus (elamus 1230).

5.1.3 Tulemuste hindamine

Soojusjuhtivuse arvutusliku (parim ehitatav olukord) ja mõõdetud (tegelik olukord) suuruste vahe erines keskmiselt 50%. Seina soojuslähivust suurendavad eelkõige soojustuses toimuv õhu liikumine (Joonis 5.9 vasakul) ja soojustuse puudumine või selle asemel olev mört (Joonis 5.9 paremal). Tihti soojustus üldse puudub või on paigaldatud nii halvasti, et välisõhk pääseb soojustuse sisepinnas liikuma ja jahutab selle maha.



Joonis 5.9 Seina soojuslähivust suurendavad eelkõige soojustuses toimuv õhu liikumine (vasakul) ja soojustuse puudumine või selle asemel olev mört (paremal).

Murettekitavaim on, et suurim erinevus (Joonis 5.5) oli lisasoojustatud seinal: tegelik soojusjuhtivus oli üle kahe korra suurem, kui parim võimalik. See viitab soojustustööde tõsistele kvaliteediprobleemidele. Tõenäolist põhjust võib otsida soojustusplaatide traditsioonilises kinnitussviisis, kus soojustusplaat kinnitatakse seina seguga nii, et soojustuse ja vana seina vahele jääb õhuvahe, kuhu pääseb välisõhk, vt. Joonis 5.10.



Joonis 5.10 Ebakvaliteetselt paigaldatud lisasoojustus: ei ole kasutatud soojustuse tasapinnalist liimimist ja välisõhk pääseb soojustatava seina ning soojustuse vahele.

5.2 Mineraalvillast ja vahtpolüstüreenist lisasoojustuse liitsüsteemi soojus- ja niiskustehniline võrdlus keraamilistest tellistest seinal

Viimasel ajal on Eestis palju poleemikat tekitanud lisasoojustamisel kasutatava soojustussüsteemi ja soojustusmaterjali mõju tarindi niiskusrežiimile. Käesoleva uurimisprojekti raames alustati uuringute seeriat, selgitamaks nende erinevate soojustussüsteemide erinevust ja sobivust Eesti kliimasse.

5.2.1 Meetodid

Erineva soojustussüsteemi ja soojustusmaterjali mõju uurimiseks soojustati keraamilistest tellistest seintega elamu otsasein (kirdesuunaline sein, vt. Joonis 5.11, Joonis 5.12) kahe korruse ulatuses kahel erineval meetodil:

- SILS-A: 100 mm mineraalvillast soojustus + krohvisüsteem;
- SILS-B: 100 mm vahtpolüstüreenist soojustus + krohvisüsteem.

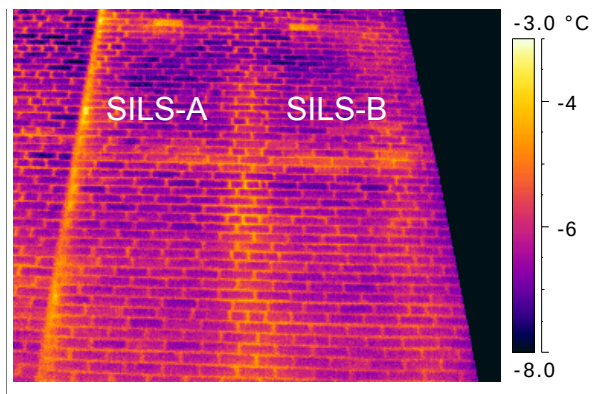
Sein asus kolmetoalises korteris ja oli ilma akende ja radiaatorita, vt. Joonis 5.13. Uuring sai võimalikuks tänu firmadele Balti Vara Fassaadid OÜ, SIA Caparol Baltica Eesti, AS Telinek ja Rockwool OÜ, kes teostasid fassaadide soojustustööd ning tarnisid vajalikud materjalid ja tellingud.

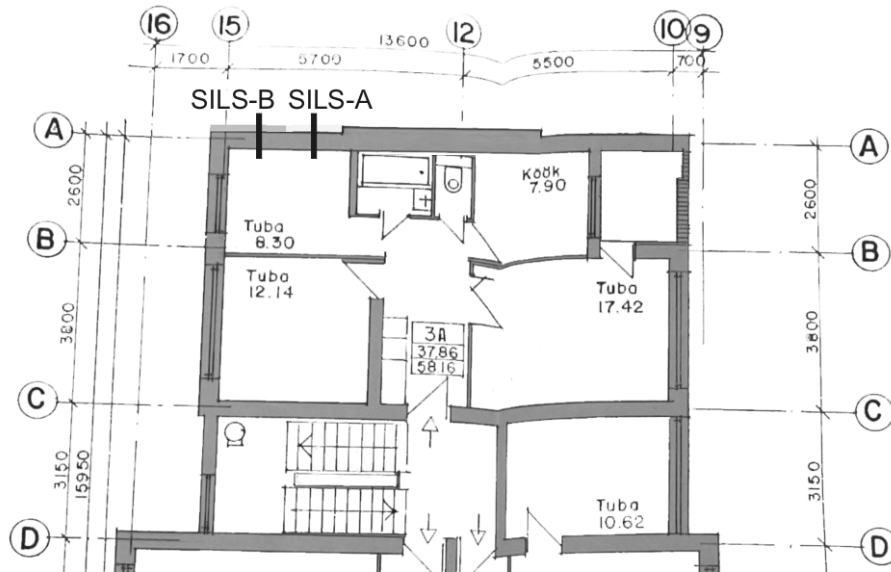


Joonis 5.11 Uuritud seinaposa asus 4. korrusel (vasakul). Korstnapoolne e. vasakpoolne seinaposa oli soojustatud mineraalvillaga e. SILS-A; nurgapoolne e. parempoolne seinaposa oli soojustatud vahtpolüstüreeniga e. SILS B (paremal, foto on tehtud seinatasepinna, alt üles).



Joonis 5.12 Keraamilistest tellistest hoone otsasein, mis soojustati kahe erineva soojustussüsteemiga.





Joonis 5.13 Uuritud välisseina asukoht kolmetoalises korteris 1231.

Mineraalvillaga (SILS-A) ja vahtpolüstüreeniga (SILS-B) lisasoojustatud keraamilistest tellistest seinte lõiked enne ja pärast lisasoojustamist ning andurite paiknemine seinas, vt. Joonis 5.14.

	Sein enne lisasoojustamist: mõõteperiood 2008/2009	Sein pärast lisasoojustamist: mõõteperiood 2009/2010
SILS-A: mineraalvill soojustus 100mm + krohvisüsteem	Keraamiline õõnestellis Mineraalvatt Silikaat-täistellis Krohv	Fassaadikrohv Mineraalvill Liimimisseg Ker. õõnestellis Mineraalvatt Silikaat-täistellis Krohv
SILS-B: vahtpolüstüreen soojustus 100mm + krohvisüsteem	Keraamiline õõnestellis Mineraalvatt Silikaat-täistellis Krohv	Fassaadikrohv Vahtpolüstüreen Liimimisseg Ker. õõnestellis Mineraalvatt Silikaat-täistellis Krohv

Joonis 5.14 Mineraalvillaga (SILS-A) ja vahtpolüstüreeniga (SILS-B) ning lisasoojustatud keraamilistest tellistest seinte lõiked enne (vasakul) ja pärast (paremal) lisasoojustamist ning andurite paiknemine seinas.

Seinaosade soojustus oli omavahel eraldatud, et soojus ja niiskus ei liiguks horisontaalselt seina tasapinnas:

- vana soojustuse tasapinnas tellistest vertikaalsidemega;
- uue lisasoojustuse tasapinnas polüuretaanmontaaživahuga.

Mõõtmised viidi läbi kahe talve jooksul: 2008/2009. aasta talvel soojustamata sein ning 2009/2010. aasta lisasoojustatud sein.

Mõõtevahenditena kasutati järgnevaid andureid:

- temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteandur: Rotronic HygroClip SC05 Ø5mm×51mm; mõõteala -40 kuni +60 °C; 0...100% RH; mõõtetäpsus ±0,3 °C; ±1,5% RH;
- pinnatemperatuuri andur: termistor tüüpi TMC6-HD, mõõteala -40...+100 °C; mõõtetäpsus ±0,25 °C ja termopaar: TC6-K, mõõteala 0...285 °C, mõõtetäpsus ±2,2 °C;
- soojusvoo plaat FQA017CSI 100x30 mm, mõõteala <50W/m²=1mV, mõõtetäpsus 5%;
- õhurõhkude erinevus mõõdeti diferentsiaalmanomeeteriga Magnesense Dwyer MS-221-LCD; mõõteala ±50 Pa, mõõtetäpsus ±2%;
- mõõtetulemused salvestati andmesalvestitega Grant SQ2020-1F8 (mõõteala -20...+65 °C, mõõtetäpsus ±0,1% lugemist ja +0,1% mõõtevahemikust), Hobo U12-013 (mõõteala -20 kuni +70 °C; 5...95% RH, mõõtetäpsus ±0,35 °C; ±2,5% RH) ja Hobo U12-014 (mõõteala 0...1250 °C; mõõtetäpsus ±4 °C või 0,5% lugemist).

Andurid paigaldati seina väljastpoolt ning juhtmed toodi tuppa, kus paiknes ka mitme kanaliga andmesalvesti. Seinaandurite mõõtetulemused salvestati 1 h intervalliga. Andurid paigaldati sidekivide vahelisse osasse, kus sidekivist põhjustatud külmasilla mõju on kõige väiksem.

Esimesel aastal varustati sein järgmiste anduritega:

- SILS-A: 100 mm mineraalvillast soojustus + krohvisüsteem:
 - o A t&RH₁: temperatuuri ja suhtelise niiskuse andur olemasoleva mineraalvatist soojustuse välispinnal, fassaaditellise sisepinnal;
 - o A t_i: temperatuuriandur seina sisepinnal;
 - o A t_e: temperatuuriandur seina välispinnal;
 - o A q: soojusvoo plaat seina sisepinnal.
- SILS-B: 100 mm vahtpolüstüreenist soojustus + krohvisüsteem:
 - o B t&RH₁: temperatuuri ja suhtelise niiskuse andur olemasoleva mineraalvatist soojustuse välispinnal, fassaaditellise sisepinnal;
 - o B t_i: temperatuuriandur seina sisepinnal;
 - o B t_e: temperatuuriandur seina välispinnal;
 - o B q: soojusvoo plaat seina sisepinnal.

Teisel aastal paigaldati lisaks järgmised andurid:

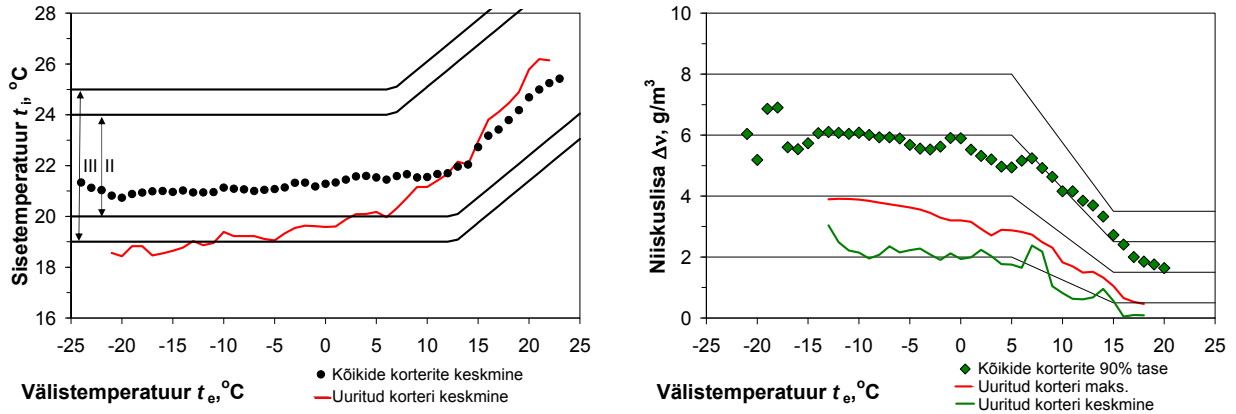
- SILS-A: 100 mm mineraalvillast soojustus + krohvisüsteem:
 - o A t&RH₂: mineraalvillast lisasoojustuse sisepinnal;
 - o A t&RH₃: mineraalvilla välispinnal, õhekrohvi all.
- SILS-B: 100 mm vahtpolüstüreenist soojustus + krohvisüsteem.
 - o B t&RH₂: vahtpolüstüreenist lisasoojustuse sisepinnal;
 - o B t&RH₃: vahtpolüstüreeni välispinnal, õhekrohvi all;

Välispinna temperatuuriandurid A t_e ja B t_e paigaldati ümber krohvi välispinda. Lisaks seina temperatuuride ja niiskuse mõõtmisele mõõdeti ka siseõhu temperatuur ja suhteline niiskus toas ning välisõhu temperatuur ja suhteline niiskus välisõhus.

5.2.2 Tulemused

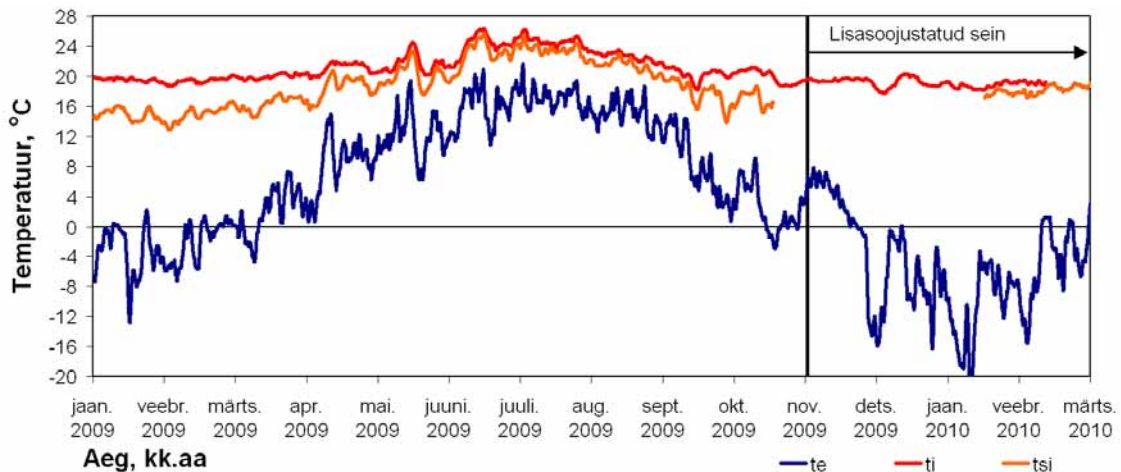
Seina soojus- ja niiskuskooormused: korteri sise- ja väliskliima

Ülevaate korteri soojus- ja niiskuslikust olukorrast saab Joonis 5.15-l toodud sisetemperatuuri (vasakul) ja niiskulisa (paremal) välistemperatuuri sõltuvusest. Korter oli mõnevõrra alaköetud: kütteperioodi keskmine temperatuur oli +19 °C. Korteris oli arvutuslikust niiskuskooormusest väiksem niiskuskooormus: kui vanemate telliselamute niiskulisa arvutussuurus on Δv +6 g/m³, siis korteris oli niiskulisa 90% kriitilisuse tasemel oli Δv +3...4 g/m³.

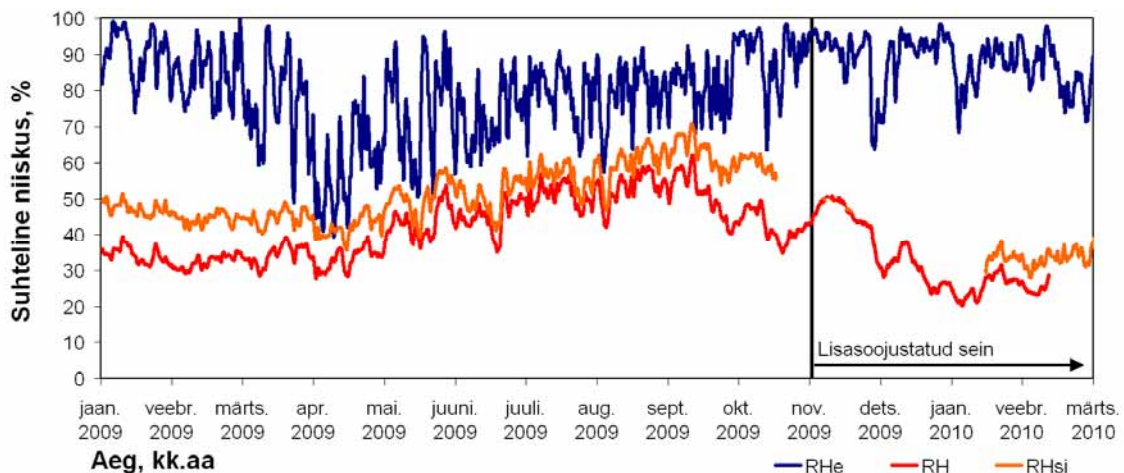


Joonis 5.15 Sisetemperatuuri (vasakul) ja niiskulisa (paremal) sõltuvus välistemperatuurist uuritud korteris 1231.

Välistemperatuur, sisetemperatuur ja sisepinnatemperatuur vt. Joonis 5.16. Pärast seina lisasoojustamist on näha sisepinnatemperatuuri oluline tõus. Kui enne lisasoojustamist oli sisepinnatemperatuur 4...5 °C sisetemperatuurist madalam, siis pärast lisasoojustamist oli temperatuuride erinevus ~1 °C. Seega, pärast lisasoojustamist paraneb oluliselt sisekliima: seinte „külmakiirus“ väheneb ja soojuslik mugavus paraneb. Kõrgema sisepinnatemperatuuri tõttu on ka sisepinna suhteline niiskus madalam (vt. Joonis 5.17).



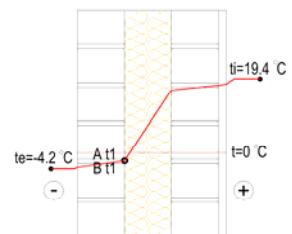
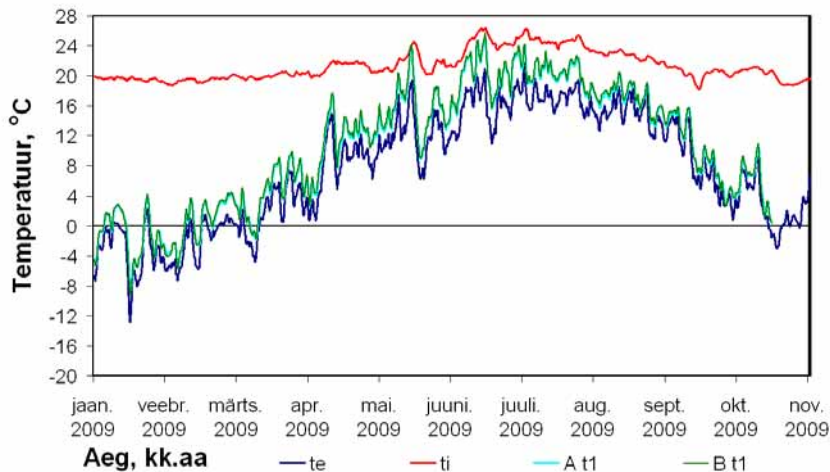
Joonis 5.16 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu temperatuur (t_i), sisepinna temperatuur (t_{si}) ja välisõhu temperatuur (t_e) enne ja pärast lisasoojustamist.



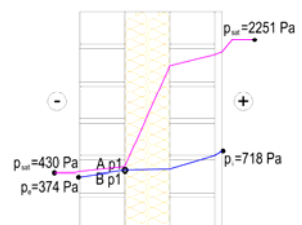
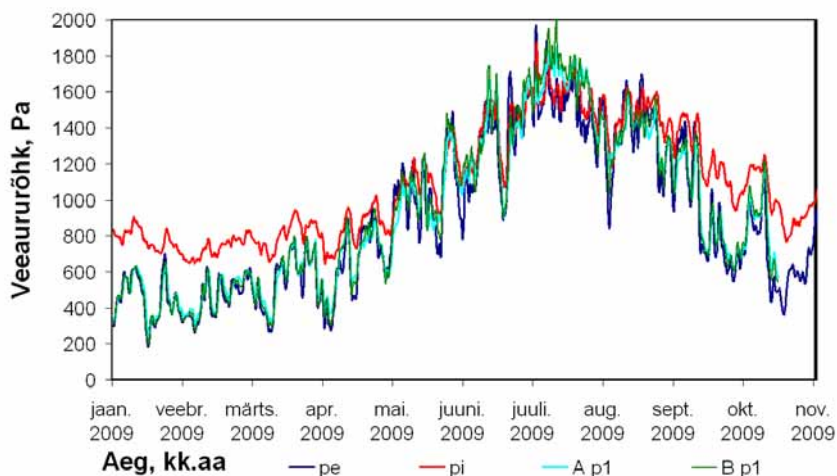
Joonis 5.17 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu suhteline niiskus (RH_i), sisepinna suhteline niiskus (RH_{si}) ja välisõhu suhteline niiskus (RH_e) enne ja pärast lisasoojustamist.

Soojuslik- ja niiskuslik olukord seinas enne lisasoojustamist

Seina uuringu käigus võrreldi kahte seiniosa. Soojustusjärgse olukorra võrdlemiseks peab teadma soojustuseelset olukorda, et võimalikud erinevused selles saaks arvesse võetud hilisemas võrdluses. Temperatuuride erinevus kahe seina sees on väga väike ning temperatuur seinas, vana soojustuse välispinnas ei erine palju välistemperatuurist, vt. Joonis 5.18. Veeauru osarõhu lang seinas toimus peamiselt sisemise tellisvoodri, sisekrohvi ja siseviimistluse tasapinnas, kuna soojustuse välispinna veeauru osarõhk on ligilähedane välisõhu veeauru osarõhuga, vt. Joonis 5.19.

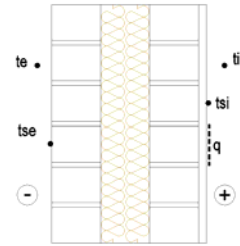
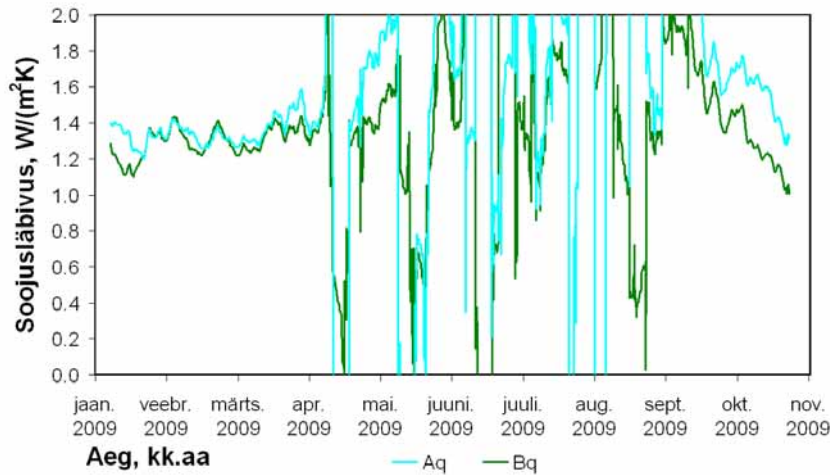


Joonis 5.18 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu temperatuur (t_i), soojustuse välispinna temperatuurid ($A t_1$, $B t_1$) ja välisõhu temperatuur (t_e) enne lisasoojustamist.



Joonis 5.19 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu veeauru osarõhk (p_i), veeauru osarõhk vana soojustuse välispinnal ($A p_1$, $B p_1$) ja välisõhu veeauru osarõhk (p_e) enne lisasoojustamist.

Soojusvoo, pinna- ja õhutemperatuuride mõõtmistulemuste alusel arvatud seina soojuslääbivus talveperioodil oli mõlemal seinaosal sama, vt. Joonis 5.20. Soojuslääbivus on oluliselt suurem arvutuslikust soojuslääbivusest ($\sim 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) eelkõige vana soojustuse ebakorrektselt paigaldusest ja soojustuse sees toimuvast soojuse konvektsioonist. Suveperioodil soojuslääbivuse tulemused kõiguvad tulenevalt fassaadile paistvast päikesest ja väikesest temperatuuride erinevusest tulenevast väikesest mõõtetäpsusest.

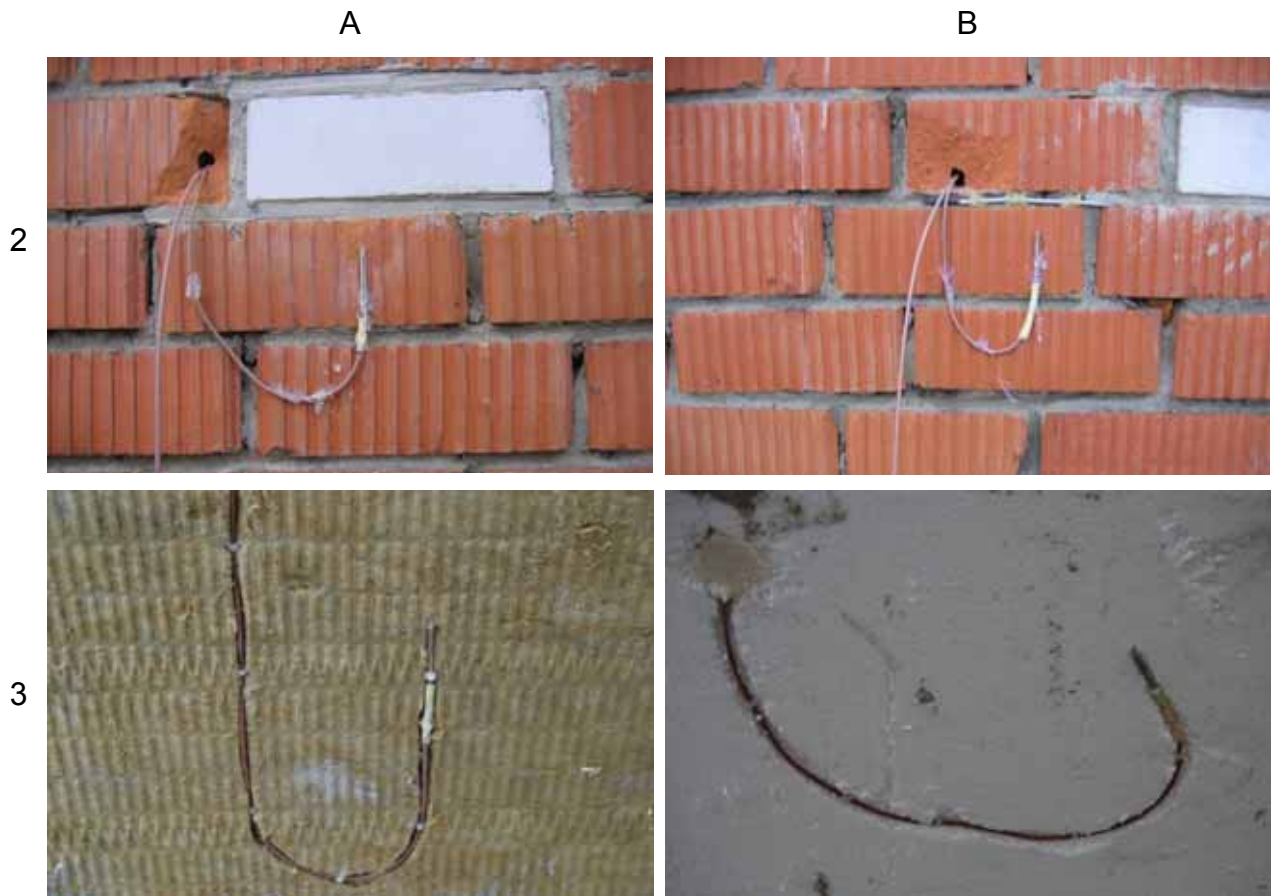


Joonis 5.20 Mõõdetud nädala keskmine soojuslähivus kahel seinasosal enne lisasoojustamist.

Soojuslik- ja niiskuslik olukord seinas pärast lisasoojustamist

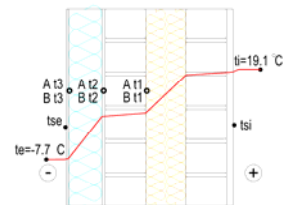
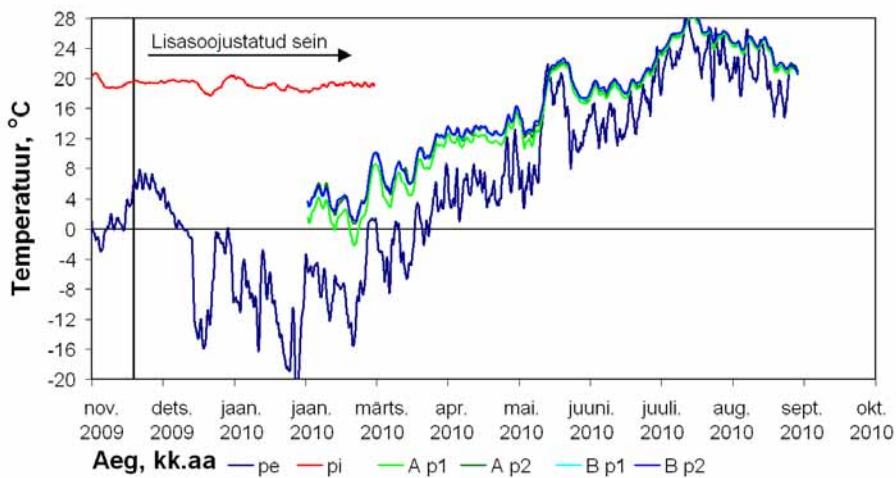
Lisasoojustamise tööd viidi läbi perioodil 16-20.11.2009. Kuna pärast soojustustööde valmimist ja soojustuse krohvimist jäid tellingud ja tellingukate fassaadile ligikaudu kaheks kuuks, on see periood tulemuste analüüsist välja jäetud.

Soojustustööde käigus paigaldati lisaandurid soojustatava tellisseina välispinnale (markeering 2) ja soojustuse välispinnale (krohvi alla, marqueering 3), vt. Joonis 5.21. Joonisel on ka näha, kuidas andurid paigaldati. Olemasoleva tellisseina välimise tellise taguse anduri (markeering 1) paigaldamiseks eemaldati seinast tellis, paigaldati andur olemasoleva tellise sisepinnale ja paigaldati seina tagasi uus tellis. Asendustellisena kasutati silikaattellist, kuna olemasolevat tellist kasutati külmakindluse ja survetugevuse uuringutes. Lisasoojustatud seinandurite (markeeringud 2 ja 3) paigaldamiseks puuriti läbi seina auk, mis pärast andurite läbiviimist tihendati hermeetiliselt.



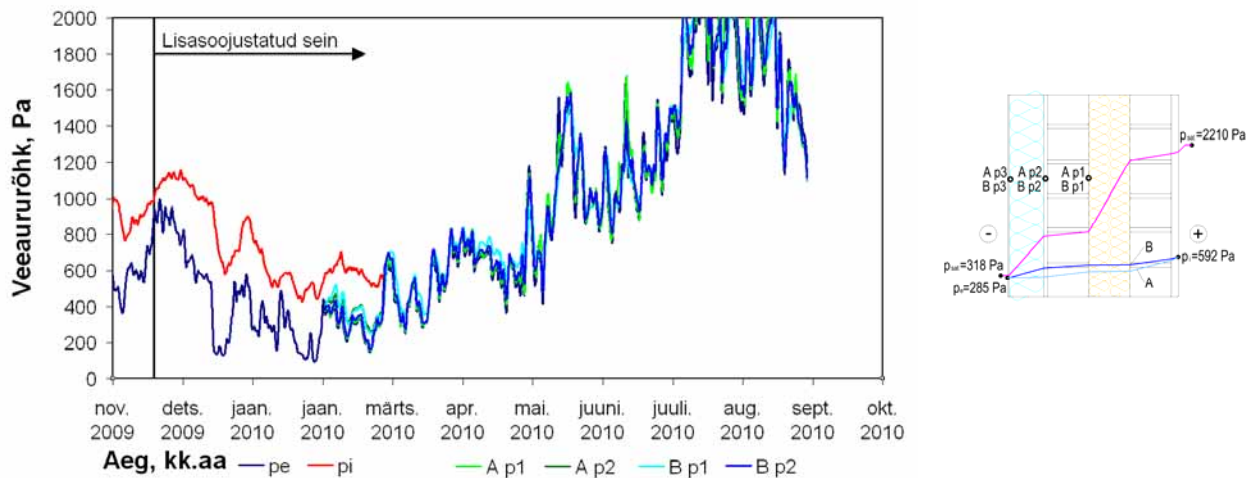
Joonis 5.21 Temperatuuri- ja suhtelise niiskuse andurite 2 (ülal) ja 3 (all) paiknemine katseseinas: SILS A seinal (vasakul) ja SILS B seinal (paremal).

Temperatuur vana fassaadipinna välispinnas ehk lisasoojustuse sisepinnal (vt. Joonis 5.22) on üle 0°C ja väiksema varieeruvusega, kui lisasoojustuse eelsel olukorral. See tähendab ka temperatuurist tingitud deformatsioonide ning külmumis-sulamistsükli vähenemist, mis omakorda pikendab olemasoleva konstruktsiooni eluiga. Lisaks kaitseb lisasoojustus olemasoleva seina välispinda vihma eest, pikendades fassaadi kestvust.



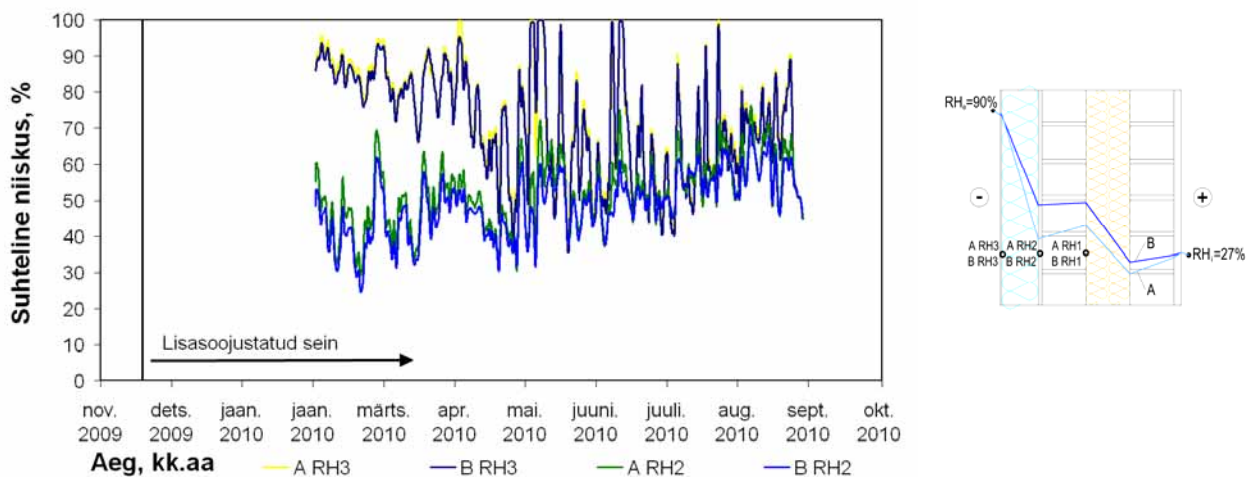
Joonis 5.22 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu temperatuur (t_i), vana soojustuse välispinna temperatuurid ($A t_1$, $B t_1$), lisasoojustuse sisepinna temperatuurid ($A t_2$, $B t_2$) ja välisõhu temperatuur (t_e) pärast lisasoojustamist.

Veeauru osarõhu lang seinas toimus peamiselt sisemise tellisvoodri, sisekrohvi ja siseviimistluse tasapinnas, kuna erinevus mõõtekohtade 1, 2 ja 3 veeauru osarõhkude vahel oli väike ja ligilähedane välisõhu veeauru osarõhuga, vt. Joonis 5.23.



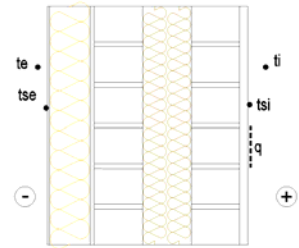
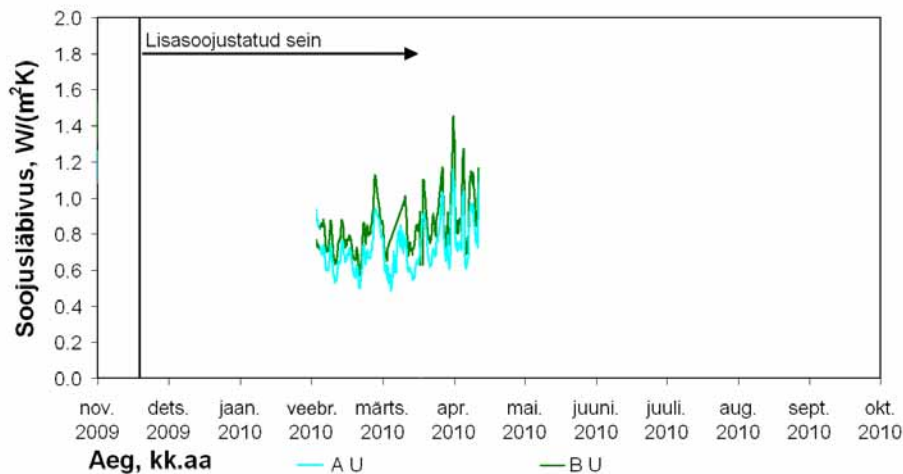
Joonis 5.23 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu veeauru osarõhk (p_i), veeauru osarõhk vana soojustuse välispinnal (Ap_1 , Bp_1), veeauru osarõhk lisasoojustuse sisepinnal (Ap_2 , Bp_2) ja välisõhu veeauru osarõhk (p_e) pärast lisasoojustamist.

Kahe soojustussüsteemi võrdluses lisasoojustuse sise- ja välispinna suhtelise niiskuse osas olulist erinevust ei olnud, vt. Joonis 5.24. Kevadperioodil, kui fassaadile paistev päike suurendab veeauru väljakuivamist, tekib mõlema soojustussüsteemi korral fassaadikrohvi taha veeauru küllastus.



Joonis 5.24 Mõõdetud ööpäeva keskmine suhteline niiskus vana soojustuse välispinnal (Ap_1 , Bp_1) ja suhteline niiskus lisasoojustuse sisepinnal (Ap_2 , Bp_2) pärast lisasoojustamist.

Lisasoojustatud seina soojuslähivused vt. Joonis 5.25. Mineraalvillaga lisasoojustatud seina (SILS-A) soojusjuhtivus on ~12% väiksem vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud seina omast.

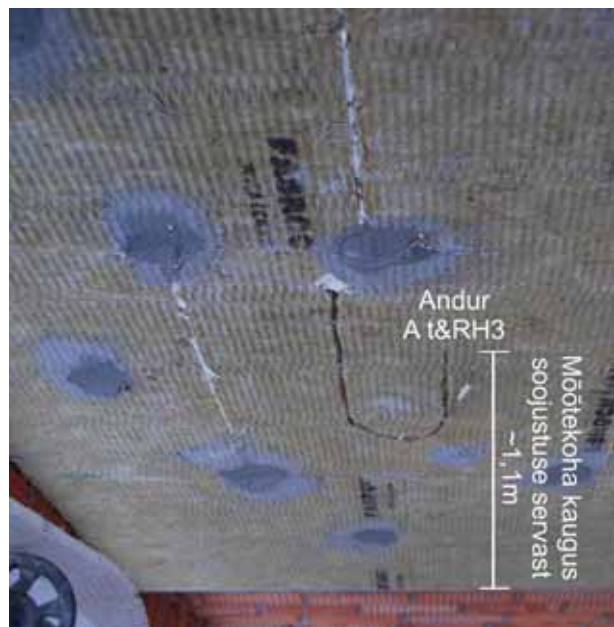
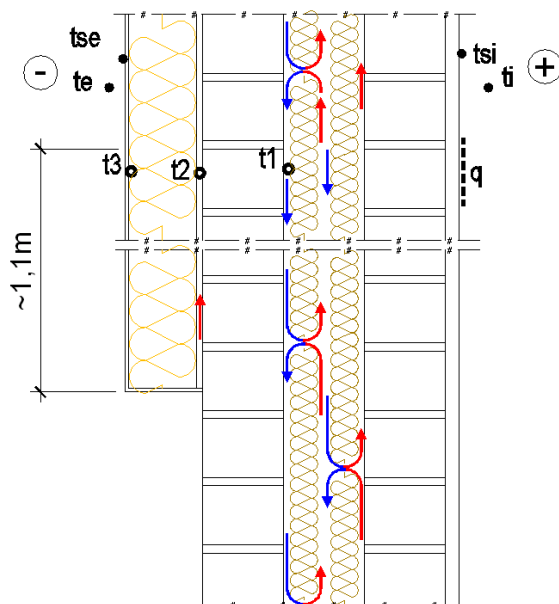


Joonis 5.25 Mõõdetud nädala keskmine soojuslähivus kahel seinaosal pärast lisasoojustamist.

5.2.3 Tulemuste hindamine

Tellisseinte soojuslähivus on oluliselt suurem arvutuslikust soojuslähivusest ($\sim 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) eelkõige vana soojustuse ebakorrektselt paigaldusest ja soojustuse sees toimuvast soojuse konveksioonist.

Materjalikihtide veeaurutakistuse suhte järgi pidanuks nii lisasoojustamata kui ka lisasoojustatud seinas, erinevate materjalikihtide vahel olema ühtlasem veeraururõhu lang. See viitab asjaolule, et lisaks veeauru difusioonile esines ka veeauru konvektiivset liikumist, mis võis toimuda peamiselt vana soojustuse sees Joonis 5.26 esitatud viisil. Soojuse ja niiskuse konveksioon võib olla ka põhjuseks, miks SILS A soojustussüsteemil oli temperatuur ($A \ t_2$) madalam teistest mõõtetulemustest. Kuna soojustusmaterjalide soojuseri juhtivus on sama, viitab see probleemile, et soojustuse taha võis pääseda välisõhk.



Joonis 5.26 Seinasisene konveksioon katseseina sees.

Temperatuuri ja niiskuse andurid asusid $\sim 1,1 \text{ m}$ kaugusel soojustuse servast. Selline soojustuse üleulatus mõõtekohast sai valitud esmaste arvutuste alusel, mis tagasid soojusjuhtivusest tuleneva mõju likvideerimise soojuse kahesuunalisele liikumisele. Alles andurite paigaldamisel seina avades selgus, et vana soojustus seina sees kohati puudus ja kohati olid soojustuses läbivad õhuvoolukanalid. Järgmiste analoogsete uuringute korral tuleb soojustada kogu sein

tervikuna. Tulenevalt piiratud ressursist ei olnud kahjuks käesoleva uuringu raames võimalik soojustada kogu seina tervikuna.

Võrreldes välisseinte lisasoojustuse liitsüsteemi (krohvitud soojustus) niiskustehnilist toimivust tuulutusvahega varustatud fassaadiga lisasoojustuse lahendusega on viimane niiskustehniliselt turvalisem lahendus. Tuulutusvahega varustatud fassaadi korral on välissein kaldvihma eest paremini kaitstud. Lisasoojustuse liitsüsteemi (krohvitud soojustus) korral peab kaitse kaldvihma eest tagama krohvi kiht. Krohvi pinnal tekib kiiresti allavalguv veekiht, mis leides ebatihedused krohvis või tarindi liitekohtades, valgub seina ja põhjustab hulganisti niiskusprobleeme. Detailide ja liitekohtade läbimõeldud projekteerimine ning hoolikas teostus on äärmiselt olulised.

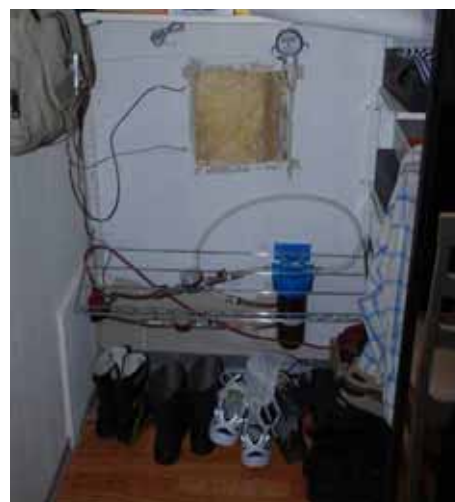
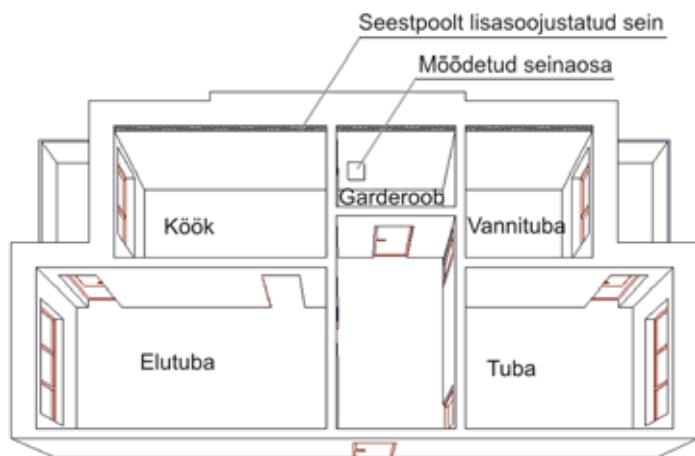
Uuringuid lisasoojustamisel kasutatava soojustussüsteemi ja soojustusmaterjali mõjuvälja selgitamiseks tarindi niiskusrežiimile tuleb jätkata. Käesolev teatud mõttes pilootuuring andis olulist informatsiooni edasiste uuringute läbiviimiseks, just uuringute praktilise teostamise poole pealt. Oluline on lisaks tellisestele uurida ka teiste alusseinamaterjalide (näiteks kergbetoon) toimivust. Lisaks mõõtmistele on vaja teostada ka arvutuslikke analüüse.

5.3 Seestpoolt lisasoojustatud tellisseina soojus- ja niiskustehniline analüüs

Ühes uuringu all olnud korteris oli välissein soojustatud seestpoolt. Korterielanike vastutulelikkus ja lahkus võimaldas mõõta selle seina soojus- ja niiskuslikku toimivust. Mõõtmised viidi läbi 1,5 aasta jooksul, millesse mahtus kaks talve: 17.12.2008...31.03.2010.

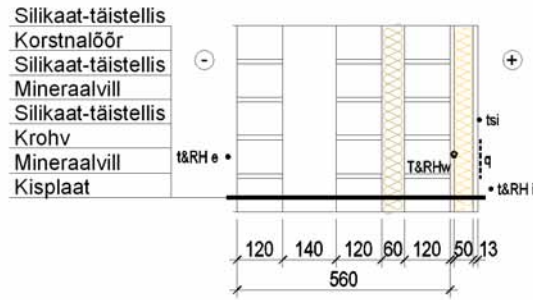
5.3.1 Meetodid

Silikaattelistest sein oli seestpoolt soojustatud 50 mm paksuse mineraalvillaga, mis oli kaetud 13 mm paksuse kipsplaadi kihiga, vt. Joonis 5.27.



Joonis 5.27 Uuritud seestpoolt lisasoojustatud seinä asukoht korteris 1221 (vasakul) ja foto garderoobis asunud mõõtekohast (paremal).

Seina lõige ja andurite paiknemine seinas, vt. Joonis 5.28. Mõõtmise praktilise poole pealt tuli otsus teha parima mõõtmise asukoha ja võimaliku mõõtmise asukoha vahel. Parim asukoht oli välisseinaosa ilma ventilatsioonikorstnata, võimalik oli mõõtmisi teha garderoobis, kus mõõteseadmed ei häirinud elanikke ja oli võimalik teha seina sisse ava. ventilatsioonikorstnaga seiniosa olukord on niiskustehniliselt kergemas olukorras, kuna kandeseina taga ei ole otse külm välisõhk.



Joonis 5.28 Seestpoolt 50 mm paksuse mineraalvillaga lisasoojustatud silikaattellistest seina lõige ning andurite paiknemine seinas.

Sein varustati kogu mõõteperioodiks järgmiste anduritega:

- $t\&RH_w$: temperatuuri ja suhtelise niiskuse andur olemasoleva seina sisepinnal ehk seespoolse lisasoojustuse välispinnal;
- q : soojusvoo plaat;
- t_i : pinnatemperatuuri andur;

Lisaks seinale mõõdeti sise- ja välisõhuõhu temperatuur ja suhteline niiskus. Sisekliima mõõdeti nii garderoobis kui ka toas.

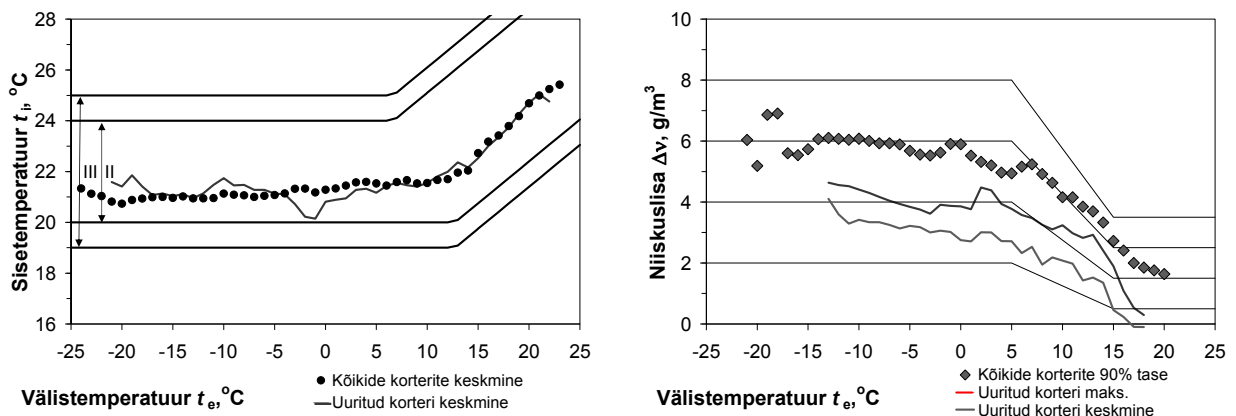
Mõõtevahenditena kasutati järgnevaid andureid:

- temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteandur: Rotronic HygroClip SC05 $\varnothing 5\text{mm} \times 51\text{mm}$; mõõteala -40 kuni $+60$ °C; $0 \dots 100\%$ RH; mõõtetäpsus $\pm 0,3$ °C; $\pm 1,5$ % RH;
- pinnatemperatuuri andur: termistor TMC6-HD tüüpi, mõõteala $-40 \dots +100$ °C; mõõtetäpsus $\pm 0,25$ °C ja termopaar: TC6-K, mõõteala $0 \dots 285$ °C, mõõtetäpsus $\pm 2,2$ °C;
- soojusvoo plaat FQA017CSI 100×30 mm, mõõteala < 50 W/m², mõõtetäpsus 5%;
- õhurõhkude erinevus mõõdeti diferentsiaalmanomeeteriga Magnesense Dwyer MS-221-LCD; mõõteala ± 50 Pa, mõõtetäpsus $\pm 2\%$;
- mõõtetulemused salvestati andmesalvestitega Grant SQ1020-1F8 (mõõteala $-20 \dots +65$ °C, mõõtetäpsus $\pm 0,1\%$ lugemist ja $+0,1\%$ mõõtevahemikust) ja Hobo U12-014.

5.3.2 Tulemused

Seina soojus- ja niiskuskooormused: korteri sise- ja väliskliima

Ülevaate korteri soojus- ja niiskuslikust olukorrast saab Joonis 5.29-I toodud sisetemperatuuri ja niiskuslisa välistemperatuuri sõltuvusest. Korter oli normaalselt köetud, kuid normatiivsest niiskuskooormusest väiksema niiskuskooormusega: kui vanemate telliselamute niiskuslisa arvutussuurus on $\Delta v +6$ g/m³, siis korteris oli niiskuslisa $\Delta v +4$ g/m³.

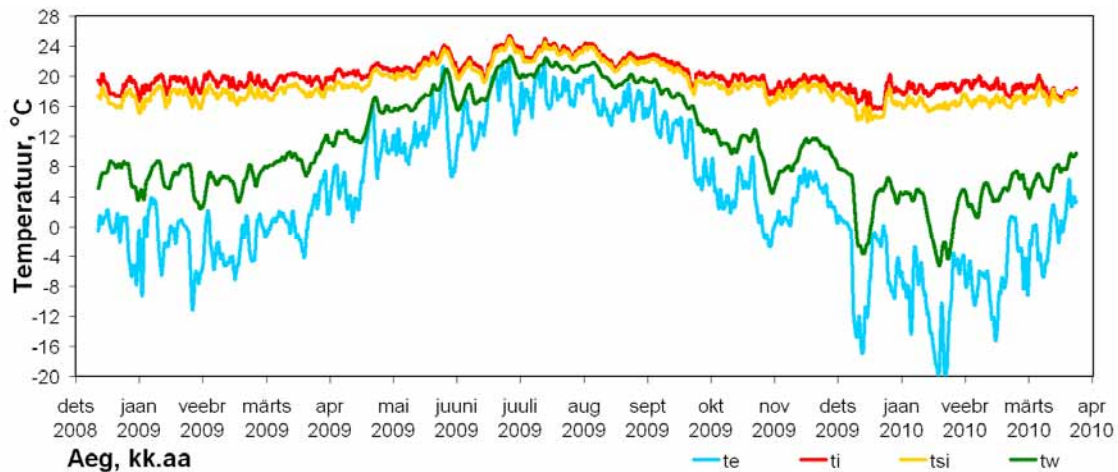


Joonis 5.29 Sisetemperatuuri (vasakul) ja niiskuslisa (paremal) sõltuvus välistemperatuurist uuritud korteris 1221

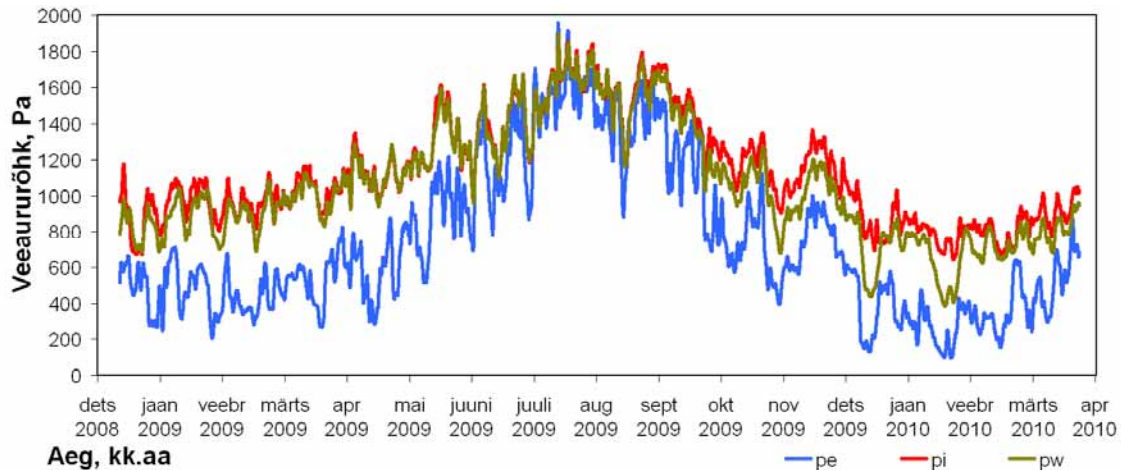
Seestpoolt lisasoojustatud seina soojuslik- ja niiskuslik olukord

Välistemperatuur, temperatuur seina sees, sisepinnatemperatuur ja sisetemperatuur vt. Joonis 5.30. Temperatuur seina sees, soojustuse välispinnas, on oluliselt madalam sisetemperatuurist. See viitab lisasoojustuseks olnud 50 mm mineraalvilla suuremale soojustakistusele võrreldes olemasoleva seina soojustakistusega. Tellisseina ja seespoolse lisasoojustuse vahelist madalamat pinnatemperatuuri kriitilisust võib hinnata temperatuuriindeksiga f_{Rsi} (vt. osa 3.1.1), kuna siseõhu ja lisasoojustuse välispinna veeauru osarõhud on sarnased, vt. Joonis 5.31. Tellisseina ja seespoolse lisasoojustuse vahelise pinna temperatuuriindeks $f_{Rsi}=0,4$ on oluliselt väiksem, kui aktsepteeritav $f_{Rsi} \geq 0,8$.

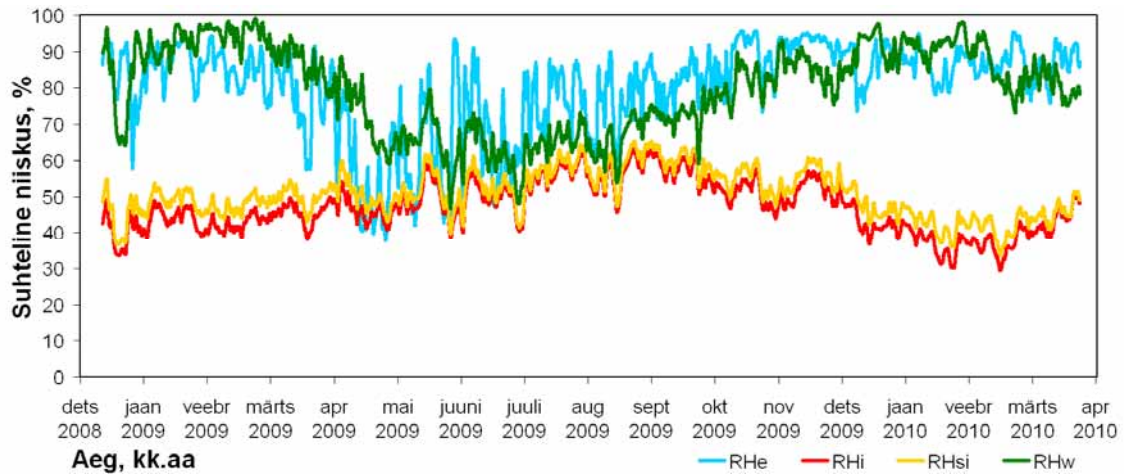
Suhteline niiskus seina sees on püsivalt kõrge (vt. Joonis 5.32) ja ~36% ajast on ületatud hallituse tekkeks (Hukka&Viitanen 1999) soodsad tingimused (vt. Joonis 5.33). Seina avamisel oli soojustatud tellissein kaetud veeauru kondensaadiga ja mineraalvillast võetud proovid tõestasid seal hallitusseente (*Aspergillus spp.*, *Cladosporium spp.*) kasvu.



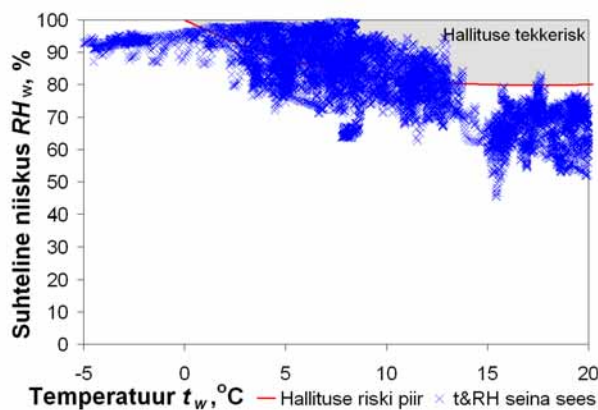
Joonis 5.30 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu temperatuur (t_i), seina sisepinna temperatuur (t_{si}), soojustuse välispinna temperatuur (t_w) ja välisõhu temperatuur (t_e).



Joonis 5.31 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu veeauru osarõhk (p_i), veeauru osarõhk seina sees (p_w) ja välisõhu veeauru osarõhk (p_e).



Joonis 5.32 Mõõdetud ööpäeva keskmine siseõhu suhteline niiskus (RH_i), sisepinna suhteline niiskus (RH_{si}), suhteline niiskus seina sees (RH_w) ja välisõhu suhteline niiskus (RH_e).



Joonis 5.33 Mõõdetud temperatuur ja suhteline niiskus lisasoojustatud seina sees on soodsad hallituse tekkeks (vasakul). Seestpoolt lisasoojustatud tellissein on kaetud veeauru kondensaadiga ja hallitusega (paremal).

Tellisseinte seespoolne lisasoojustamine soojustusvillaga on lubamatu!!!

6 Sisepiirdetarindite helipidavus

Ehitusseaduse kohaselt tuleb ehitises vältida müra ülemäärast levikut. Müra leviku tõkestamine on üks kuuest ehitisele esitatavast olulisest nõudest. Müra võib olla tasemel, mis ei ohusta inimese elu ega tervist ning võimaldab rahuldavates tingimustes elada või töötada. Müra tungib korterisse nii väliskeskkonnast, teistest korteritest kui ka trepikojast. Lisaks levib müra korterisisese tubade vahel.

Käesoleva uuringu eesmärgiks oli selgitada vanemate telliselamute sisepiirete helipidavuse vastavust tänapäeva nõuetele ja soovitudele. Sisepiirete helipidavust hinnati kahte tüüpi enam levinud telliselamu tüüpides (tüüpseeriad 1-317 ja 1-318). Nende elamute konstruktiivse süsteemi moodustavad korteritevahelised tellistest kandeseinad ja nendele, pikikandeseinte korral ka tellistest välisseintele, toetuvad 220 mm paksused raudbetoonist õõnespaneelid.

6.1 Meetodid

6.1.1 Sisepiirdetarindite helipidavuse kvaliteedi otsustamise alused

Hinnangu staadiumis on kõige olulisem vastu võtta õige otsus hindamise kriteeriumite ja hindamise meetodite valiku kohta.

Ajavahemikul 1961–1990 lähtuti korterelamute projekteerimisel СНиП II – Л.1-71 nõuetest ($R'_{w (sein)} = \geq 52$ dB, $R'_{w (vahelagi)} = \geq 51$ dB ja $L'_{n,w} \leq 63$ dB).

Elukeskkonna kaitseks müra eest kehtestatud müra normtasemed sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määrusega nr. 42: Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid. Selle määruse alusel loetakse inimtegevusest põhjustatud müra ehitises vastuvõetavaks, kui ehitis vastab Eesti standardi EVS 842:2003 "Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest" soovitudele. Miinimumnõuded, millele korterite eluruumide vahelised piirded peavad vastama on (EVS 842:2003):

- Õhumüra isolatsiooniindeks $R'_{w} \geq 55$ dB
- Löögimürataseme indeks $L'_{n,w} \leq 53$ dB

Kõrvuti eeltooduga kehtestab EVS 842:2003 nõuded ka välispiirete helipidavusele. Varasemalt need nõuded puudusid. Kuna need nõuded sõltuvad välismüra tasemest, s.o. hoone asukohast, siis üldise iseloomuga juhiseid hoonete seisundi parandamiseks sellest seisukohast anda pole võimalik.

Üha enam leiab Eestis kasutamist Põhjamaade standard INSTA 122:1998, kus on kasutusele võetud hoonete akustikaalane klassifikatsioon: heliklassid A, B, C, D.

- heliklass A: eriti head akustikatingimused, kus elanikke võivad häirida ainult juhuslikud helid või müra; eeldatakse, et enam kui 90% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks;
- heliklass B: akustikatingimused on märgatavalt paremad kui minimaalsetele nõuetele vastava C klassi korral; elanikud võivad olla müra häiritud mõningatel juhtudel. Eeldatakse, et 70% kuni 85% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks. Vähem kui 10% hindab akustilisi tingimusi halbadeks;
- heliklass C: minimaalsed nõuded kehtestamiseks uutele ehitistele; eeldatakse, et 50% kuni 65% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks. Vähem kui 30 % hindab akustilisi tingimusi halbadeks;
- heliklass D: heliisolatsiooniklass vanematele, halvamate akustiliste tingimustega ehitistele, nt remonti vajavad ehitised; ei ole mõeldud uutele ehitistele; eeldatakse, et 30% kuni 45% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks. 25% kuni 50% hindab akustilisi tingimusi halbadeks.

Kui uue hoone akustilise kvaliteedi taseme saavutamine on kallid ja aktsepteeritakse madalat akustilist kvaliteeti, võib vanade ja renoveeritavate hoonete akustilise kvaliteedi hindamisel lähtuda D klassi nõuetest. INSTA 122:1998 soovitusel piirete helipidavusele vt. Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Hoonete akustiline klassifikatsioon (INSTA 122:1998)

Heliisolatsiooni klass	Heliklass			
	A	B	C	D
Korteritevaheline õhumüra isolatsiooniindeks R'_w (dB)	63	58	55	50
Sama korteri ruumide ja vähemalt ühe eluruumi vahel	48	43	-	-
Taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}$ (dB)	43	48	53	58

Piirete helipidavuse osas valiti hindamiskriteeriumiteks EVS 842:2003 ja INSTA 122:1998 soovitusel, mis kajastavad tänapäeva inimeste vajadusi Euroopa arenenud riikides.

6.1.2 Sisepiirdetarindite helipidavuse hindamismeetodid

Helipidavuse hindamiseks oli vaja:

- hinnata telliselamute helipidavust eksploatatsioonitingimustes mõõdistamise ja arvutuse teel;
- selgitada nende helipidavuse vastavust EVS 842:2003 ja INSTA 122 soovitudele;
- hinnata erinevaid helipidavuse parandamise võimalusi vastavalt EVS-EN 12354-1 ja EVS-EN 12354-2.

EVS 842:2003 on kehtestanud ka standardid, millede järgi tuleb hinnata piirete helipidavust nii katseliselt kui ka arvutuslikult, sealhulgas ka nõude, et hindamise peab läbi viima akrediteeritud mõõtelabor. Antud töös osalenud Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ on helipidavuse mõõtmise osas Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteeritud (tunnistus L 186).

Analoogselt suurpaneelilamute uuringuga tuleb ära märkida raskusi eksploatatsioonitingimustes mõõtmiste läbiviimisel seoses helipidavust suurendava tubades paikneva mööbli, omavahel seotud korterite elanike suhtumisega, kes mitte alati ei võimalda oma kortereid kasutada (tööl, haiged, väikesed lapsed jne.). Sellega seoses seeriaviisilisi mõõtmisi läbi viia ei õnnestunud ja saadud katsete tulemusi tuleb käsitleda kui esialgseid, mis on vajalikud konstruktiivsete lahenduste võrdlemiseks ja arvutuslike tulemuste hindamiseks.

Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt töö käigus kasutatud mõõtmis- ja arvutusmeetodeid, keskendades tähelepanu tulemuste usaldusväärsusele:

- EVS – EN ISO 140-4:1988. Standard annab juhise õhuheliisolatsiooni välimõõtmisteks sõltuvalt sagedusest. Katseandmete töötlus õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w leidmiseks vastab ISO 712-1:1996 nõuetele. Katsete täpsust erinevates olukordades hinnati EVS-EN ISO 140-14:2004 järgi, mis difuusse helivälja tingimustes annab läbiviidud katsete standardhällbeks sagedusvahemikus 100-3200Hz vastavalt 3,5-0,4dB. Arvestades, et möbleeritud korterites difuusset helivälja tagada pole praktiliselt võimalik, on tegelik katsetulemuste hajuvus suurem. Õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w mõõtemääramatus on ± 2 dB, vajaduse korral tuleb suurendada katsete arvu.
- EVS-EN ISO 140-7:1988. Standard annab juhised vahelagede löögimürataseme välimõõtmisteks. Katseandmeid töödeldi ja taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}$ leiti vastavalt EVS 712-2:1996. Täiendavad nõuded mõõtmisteks eriolukordades on toodud EVS-EN ISO 140-14:2004, millest ka katsete läbiviimisel kinni peeti. Kuna vahelagede taandatud löögimürataseme indeksi suuruse leidmisel oli otsustav löögimüra tase madalamatel sagedustel (100–400 Hz), on katsete täpsus siin väiksem kui õhuheli isolatsiooniindeksi leidmisel. Üldjuhul on siin mõõtemääramatus ± 2 dB. Ettenähtud mõõtemääramatus tagatakse katsete arvu suurendamisega.
- EVS-EN 12354-1:2005. Standard annab juhised õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w arvutamiseks. Standardis on kolm erinevat arvutusmudelit, millest kasutati struktuuriheli ülekande lihtsustatud mudelit, arvestades heli ülekannet külgnevate trajektooride kaudu. Probleeme tekitas olemasolevate vahelagede hindamine, kus puuduvad usaldusväärsed andmed kasutatud elastsete kihtide dünaamilise jäikuse kohta. Ehitusaegsete puitkiudplaatide dünaamiline jäikus oli üldjuhul 200–250 MN/m³, katseliselt leitud vahelagede põhiresonantsi ja õhuhelipidavuse ning löögimürataseme sageduskarakteristika põhjal peaks ta olema sagedusvahemikus 25–60 MN/m³. Arvutustes kasutati suurust 25 MN/m³, et välja tuua raske ujupõranda efektiivsust ka sel juhul, kui on tegemist tõhusaima olemasoleva lahendusega.

Elastse kihi dünaamilise jäikuse täpsustamisega kergete pörandate korral (sõltuvalt ekspluatatsioonitingimustest) tuleb tegeleda edasiste uurimuste käigus. Üldjuhul on lihtsustatud mudeli kasutamisel prognooside täpsuse standardhälbeks antud ± 2 dB, kusjuures on täheldatud kerget isolatsiooni ülehindamise tendentsi.

- EVS-EN 12354-2:2005. Standard annab juhised vahelagede taandatud löögimürataseme indeksi $L'_{n,w}$ arvutamiseks. Standardis toodud kahest arvutusmudelist kasutati lihtsustatud mudelit, kus külgsuunalist heli ülekannet võetakse arvesse, kasutades detailse mudeli põhjal tehtud arvutusi. Prognoosi täpsust mõjutavad tegurid on sisendandmete täpsus, olukorra sobivus mudeliga, elementide ja ühenduste tüüp, ehituse geomeetria ja ehitustööde teostamise tase. Vertikaalse ülekande puhul, s.o. antud töö puhul prognoositakse, et saadud väärtuste erinevus on 60% juhtudest ± 2 dB, 100% juhtudest jääb see vahemikku ± 4 dB. Antud juhul suurendab prognoosi ebatäpsust määramatus elastse kihi dünaamilise jäikuse osas.

6.2 Tulemused

6.2.1 Helipidavuse mõõtmistulemused ekspluatatsioonitingimustes

Elamute helipidavuse selgitamiseks ekspluatatsioonitingimustes mõõdeti korteritevaheliste seinte ja vahelagede helipidavust. Mõõtmised viidi läbi vastavalt EVS-EN ISO 140-4 ja EVS-EN ISO 140-7 nõuetele korterelamutes, mis on ehitatud vastavalt tüüpprojektidele 1-317-14E ja 1-318-33.

Mõõdetud korterelamute konstruktiivne lahendus:

- välisseinad: soojustatud kandeseinad paksusega vastavalt 420 mm ja 550 mm;
- kandvad siseseinad: valdavalt 380 mm paksused, kohati 250 mm paksused krohvitud tellisseinad;
- mittekandvad siseseinad: 80 mm paksused kipsbetoonpaneelid, korteritevahelised kahekihilised, kogupaksusega 200 mm;
- vahelaed: 220 mm paksustest raudbetoon-õõnespaneelidest, vahelagedel erinevate lahendustega pörandad.

Viidi läbi ka võrdluskatsed eriprojektide järgi ehitatud korterelamutes, kus katsetati renoveeritud vahelage (kilpparketist pörand elastsel alusel oli 60–80 mm paksusel betoonist tasanduskihil) ja korteritevahelist krohvitud tellisseina paksusega 530 mm. Vahelaed olid viimasel juhul algsed, laudpörandatega.

Mõõtmistulemused näitasid, et telliselamute korteritevaheliste seinte õhuhelipidavuse indeks on $R'_w=57...58$ dB, vahelagedel $R'_w=53...57$ dB, taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}=56...58$ dB. Katsete tulemused vt. Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Kortritevaheliste tarindite helipidavus.

Hoone / Piire	Õhuhelipidavus R'_w , dB	Löögimüra tase $L'_{n,w}$, dB
1-317-14E (krt.11/12) Tellissein 270 mm	57	
1-317-14E (krt.18/8) Vahelagi, renoveeritud	56	56
1-318-33 (krt.39/19) Kahekihiline kipsbetoonist sein	57	
1-318-33 (krt.34/32) Vahelagi, algne	57	56
Hoone 1220 (krt.8/6) Vahelagi, renoveeritud	53	58
Hoone 1180 (krt.46/47) Tellissein 530 mm	58	

Seega korteritevaheliste seinte õhuhelipidavus vastab EVS 842:2003 standardi nõuetele, vahelagede taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}$ ületab standardi nõude kuni 5dB võrra. Vahelagede renoveerimine helipidavuse näitajaid ei parandanud.

6.2.2 Helipidavuse arvutustulemused

Helipidavuse mõõtmistulemuste võrdlemine juhib tähelepanu katsetingimuste erinevusele ja võimalikele mõjudele, mis on tingitud ruumides paiknevast mööblist ja sellest põhjustatud olulisest helisummutusest korteris ning ebadifussest heliväljast. Võimalike ekspluatatsioonitingimuste mõju selgitamiseks ja hindamismeetodites aluseks võetud difusse helivälja tingimustes helipidavuse hindamiseks leiti erinevate konstruktsioonide helipidavused ka arvutuslikult, vastavalt EVS-EN 12354-1:2005 ja 12354-2:2005 lihtsustatud meetoodikale. Praktika seisukohalt olulisemate piirete helipidavuse arvutusliku hindamise tulemused vt. Tabel 6.3. Samas on esitatud ka korteritevaheliste piirete arvutuslikud helipidavused juhul, kui neid suurendatakse täiendava kergseina ja raske ujuvpõranda kasutuselevõttuga. Korteritevahelisele seinale lisatakse sel juhul 20 mm õhkvahega 75 mm laiune metallkarkass, täidetud mineraalvillaga Isover KL-37, mis kaetakse 2 x kipsplaadiga 13+13 mm. Ujuvpõrand massiga 125 kg/m² toetub 20 mm paksusele elastsele kihile Isover OL-A.

Tabel 6.3 Helipidavuse arvutusliku hindamise tulemused.

Piire	Näitaja	Algne	Täiendav kergsein	Täiendav kergsein+ ujuv põrand
Korteritevaheline tellissein 270 mm, tüüpseeria 1-317-14 tingimustes	$R'_{w,}$ dB	57	59	59
Korteritevaheline 2-kihiline kips-betoonsein tüüpseeria 1-318-33 tingimustes	$R'_{w,}$ dB	53	58	58
Laudpõrandaga vahelagi, tüüpseeriad 1-317 ja 1-318	$R'_{w,}$ dB $L'_{n,w,}$ dB	52 55	52 55	57 44

7 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites

Elamu sisekliima on kompleksne mõiste. Sisekliima hõlmab õhku ja suuremaid õhukeskkonna näitajaid. Hea sisekliima vähendab haigusi, tagab mugavustunde ja soodustab tööjõudlust. Sisekliima määravad järgmised tegurid: õhutemperatuur, kiirguspindade temperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumise kiirus, õhu puhtus, müratase, valgustatus. Mõju avaldavad ka liikumise aktiivsus, riietus, sugu, vanus jm. Sisekliima ja sellega kaasnevad probleemid mõjutavad oluliselt neis ruumides viibivate inimeste enesetunnet, tervist ja töövõimet.

Temperatuur on peamine soojusliku mugavuse indikaator. Kerge kehalise aktiivsuse korral ($>1,2$ met) on neutraalne (PMV (predicted mean vote) = 0) temperatuur talvel (riietatus $\sim 1,0$ clo) $+22,0$ °C ja suvel (riietatus $\sim 0,5$ clo) $+25,5$ °C (ISO EN 7730). Minimaalne operatiivne temperatuur kütteperioodil on $+20$ °C ja maksimaalne temperatuur jahutusperioodil on $+26$ °C (EVS-EN 15251:2007). Sisetemperatuur üle $+22$ °C on seostatud haige hoone sündroomiga (SBS: sick building syndrome) (Jaakkola jt. 1989). Õhu temperatuuril ja -niiskusel on oluline mõju ka tajutavale õhu kvaliteedile (PAQ: perceived air quality) (Fang jt. 1998). Võrreldes niiske ja sooja õhuga, hinnatakse kuiva ja jahedat õhku kvaliteetsemaks. Sisetemperatuur mõjutab hoonete küttekulu. Soome ühepereelamutes läbi viidud uuring (Vinha jt. 2005) kinnitas tuntud rusikareegli kehtivust: keskmise sisetemperatuuri muutus 1 °C võrra mõjutab energiakulu $\sim 5\%$.

Õhu suhteline niiskus ja õhu veeaurusisaldus mõjutavad sisekliimat ja piirete niiskusrežiimi. Õhu veeaurusisaldus võib olla kõrge ka siis, kui ventilatsioon ei toimi korralikult või ruumides on suur niiskustootlus. Suur niiskuskooormus võib põhjustada niiskusprobleeme piirdetarinditele või halvendada sisekliimat (IOM 2004, Fang jt. 1998, Bornehag jt. 2001 ja 2004). Niiskus ja hallituskahjustusega elamute elanikel võib esineda tervisehäireid, mille põhjuseks on ülitundlikkus mikroorganismidele ja nende ainevahetuse jääkidele või hallituse eostele. Seetõttu on hoonete niiskus ja hallituskahjustused otseselt ka rahvatervise probleem. Külmas kliimas põhjustavad välisõhu väike veeaurusisaldus kombineerituna ruumide ülekütmisega liiga madalat suhtelist niiskust, mis võib esile kutsuda mitmeid silmade, hingamisteede, limaskestade ja naha kuivusega seotud terviseprobleeme. Siseõhu suhtelist niiskust saab talvel tõsta temperatuuri alandamise ja õhu niisutamisega. Õhu niisutamine suurendab niiskuskooormust hoone piiretele.

Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhuniiskus eluruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Sterling jt. (1985) on optimaalseks suhtelise niiskuse alaks soovitanud vahemikku RH 40%...60%. Sama suhtelise niiskuse vahemik on nimetatud ka eluruumi siseõhu optimaalseks suhtelise niiskuse vahemikuks VV määruse nr. 38 kohaselt. See soovitus valitsuse määruses on eriti ebaõnnestunud ja vääriti mõistmist võimaldav. Arvestades hoonete toimimist talveperioodil, on selline siseõhu suhtelise niiskuse tase selgelt liiga kõrge (eriti vanemate korterelamute puhul). Talvel siseõhu suhtelise niiskuse 40–60% korral võib näiteks vanemates korterelamutes oodata juba tõsisemaid niiskuskahjustusi. Talvel on piirdetarindite pinnatemperatuur õhutemperatuurist madalam ja seetõttu on suhteline niiskus kõrgem. Mikroorganismide kasvu vältimiseks peab suhteline niiskus materjali pinnal olema alla 75...80% (Adan 1994, Viitanen and Ritschkoff 1991, Rowan jt. 1999). Mikroorganismide kasv sõltub lisaks suhtelisele niiskusele ja temperatuurile veel ka materjalist, millel kasv aset leiab (Johansson jt. 2005) (vt. Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Mikroorganismide kasvu seisukohalt kriitiline suhteline niiskus erinevatele materjalidele (Johansson jt. 2005).

Materjal (puhas)	Kriitiline suhteline niiskus RH_{kriit}
Puit ja puidupõhised materjalid	75...80 %
Paber kipsplaadil	80...85 %
Mineraalvill	90...95 %
Vahtpolüstüreen	90...95 %
Betoon	90...95 %

Tolmulestad võivad põhjustada allergiasoodumusega isiku tundlikkuse suurenemist ja allergiahaiguse, eelkõige allergilise riniidi ning astma kujunemist. Allergeeniks on tolmu- ja seeneosakesed, mida nad eritavad väljaheite ja eralduvate nahaosakestega (Annus 2008). Tolmu- ja seeneosakestele sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril on RH >45% (Hart 1998, Korsgaard 1983) ... 50% (Arlan jt. 1999). Paljunemiseks on lestadele vajalik õhu suhteline niiskus kõrgem.

Kõrge niiskustase võib olla ohtlik, sest näiteks vanema mööblidetaili puitlaastplaatides kasutatud formaldehüüdlüüsi hakkab kõrge niiskuse toimel lagunema ja formaldehüüd vabaneb gaasina õhku, põhjustades inimestele limaskestade ärritusnähte.

Suhtelise niiskuse alumine piir on erinevate uuringute (Fanger 1971, Wyon jt. 2002) kohaselt RH 20...25%. Eesti sisekliima standard EVS–EN 15251:2007 annab madalaimas sisekliima klassis suhtelise niiskuse juhtarvuks niisutusele 20% ja kuivatusele 70%.

Siseõhu suhteline niiskus sõltub niiskustootlusest ruumides (inimese elutegevus, toidu valmistamine, pesemine, taimede kastmine jne), ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest ning välisõhust. Kuigi talvel on välisõhu suhteline niiskus kõrge, on tema veeauru sisaldus ehk absoluutne niiskus väike. Peamiselt seetõttu on siseruumide suhteline niiskus talvel madalam, kui suvel. Suhteline niiskus sõltub temperatuurist: sama veeauru sisaldusega õhu suhteline niiskus on soojemas keskkonnas madalam ja jahedamas keskkonnas kõrgem. Kuna suhteline niiskus sõltub temperatuurist, ei saa selle alusel veel öelda, kas ruumides on suur või väike niiskuskogus. Siseruumide niiskuskogust näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeauru osarõhkude erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks Δv , g/m³ (EVS–EN 13788:2001):

$$\Delta v = v_i - v_e, \text{ g/m}^3 \quad 7.1$$

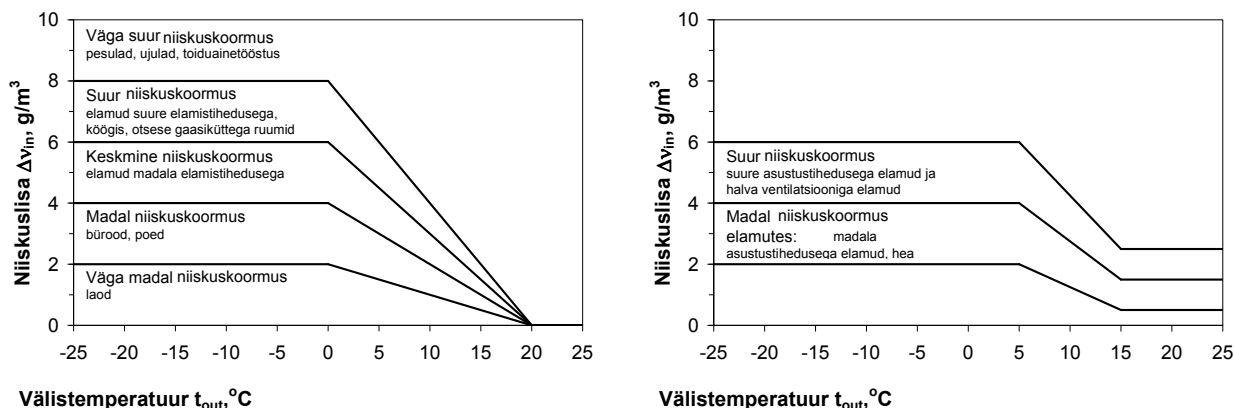
kus

v_i siseõhu veeaurusisaldus, g/m³;
 v_e välisõhu veeaurusisaldus, g/m³.

Kui elamus on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhuniisutus, tihe asustatus jne.) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskuskogus e. niiskusliisa suur. Niiskusliisa on potentsiaalselt läbi välispiirde toimuvale veeauru difusioonile. Niiskuskogusi ei saa hinnata suhtelise niiskuse järgi, sest see sõltub sisetemperatuurist ja välisõhu veeaurusisaldusest. Vaatleme näiteks kahe elamu sisekliimat, mille temperatuur ja suhteline niiskus jäävad talvel sisekliima standardi soovitusel piiridesse: temperatuur +19 °C ja suhteline niiskus 25 % ning temperatuur +25 °C ja suhteline niiskus 45%. Nendes olukordades on niiskuskoguse erinevus kolmekordne, vastavalt 3,0 g/m³ ja 9,3 g/m³. Või vaatleme +22 °C temperatuuri ja 30 % suhtelise niiskusega ruumi, kui välistemperatuur on -15 °C või 0 °C. Nendes olukordades on niiskuskoguse erinevus kahekordne, vastavalt 4,8 g/m³ ja 2,3 g/m³. On selgelt näha, et suhteline niiskus ei näita ruumide niiskuskogust, kuna see sõltub sisetemperatuurist ja välisõhu niiskusest.

Niiskusliisa on kasutatud eluruumide niiskuskoguste hindamisel ka standardis EVS–EN ISO 13788 (vt. Joonis 7.1 vasakul) ja varasemates uuringutes: Kalamees 2006, Vinha jt. 2005 (vt. Joonis 7.1 paremal). Varem Eestis ja Soomes elamutes läbiviidud uuringud näitasid, et EVS–EN ISO 13788 standardi niiskuskoguste jaotus ja graafikud ei sobi meie elamuid iseloomustama. Suurimate erinevustena võib välja tuua (vt. Joonis 7.1 vasaku ja parema joonise võrdlus):

- niiskusliisa ei ole 0 g/m³ suveperioodil;
- niiskusliisa sõltuvus välistemperatuurist on erinev.



Joonis 7.1 Niiskuslisa tasemed EVS-EN ISO 13788 (vasakul) ja varem Eestis läbiviidud uuringute kohaselt (paremal).

Niiskuskooormus elamutes ei ole aasta jooksul ühtlane. Suurem ventilatsioon (aknatuulutus, ventilatsiooni suurem töökiirus) ja väiksem niiskustoodang (rohkem väliseid toiminguid, pesukuivatus õues jne) vähendavad niiskuslisa suvel. Varasemate uuringute alusel võib niiskuskooormuste hindamiseks kasutada järgmisi suursi:

- Väike niiskuskooormus (madala asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon):
 - o $t_e < +5$ °C, Δv : 4 g/m³,
 - o $t_e > +15$ °C, Δv : 1,5 g/m³.
- Keskmine niiskuskooormus (suure asustustihedusega elamud, madala asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud):
 - o $t_e < +5$ °C, Δv : 5 g/m³,
 - o $t_e > +15$ °C, Δv : 2 g/m³.
- Suur niiskuskooormus (suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud):
 - o $t_e < +5$ °C, Δv : 6 g/m³,
 - o $t_e > +15$ °C, Δv : 2,5 g/m³.

Need niiskuslisa suursused esindavad elamuid, kus siseõhku ei niisutata ja nende niiskuskooormuse alusel saab teha eramu ja korterelamu välispiirete ehitusfüüsikalisi kontrollarvutusi. Käesolev uuring võimaldab täpsemalt analüüsida telliselamute niiskuskooormust.

7.1 Meetodid

7.1.1 Mõõtmised

Siseruumide õhutemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Hobo U-12 011 andureid-andmesalvesteid (vt. Tabel 7.2 seadmete mõõteala ja mõõtetäpsus).

Tabel 7.2 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteseadmete andmed.

Hobo U-12 011	Mõõtepiirkond		Mõõtetäpsus	
	Temperatuur:	Suhteline niiskus:	Temperatuur:	Suhteline niiskus:
	-20 °C...+70 °C	5 %...95 %	±0,35 °C 0 °C...50 °C	±2,5 % 10 %...90 %

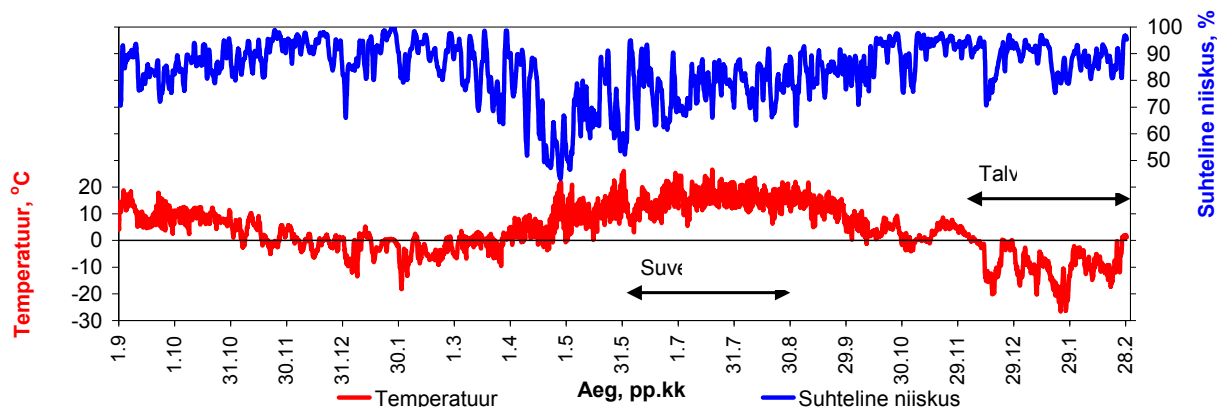
Temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõdeti peamiselt magamistoast (peamiselt kahe inimese magamistoast) 0,6...1,5 m kõrguselt. Andurid paigaldati vaheseinale või mööbliesemele, eemale välisseinast ja otsesest soojuse allikast (radiaator, televiisor, valgustus jne). Sisekliima mõõtetulemused salvestati ühetunnise intervalliga perioodil 7.10.2008...28.02.2010.

7.1.2 Väliskliima

Väliskliima andmetena on kasutatud Eesti Meteoroloogia- ja Hüdroloogia Instituudi poolt mõõdetud andmeid Tallinnast, Tartust, Pärnust, Narva-Jõesuust ja Väike-Maarjast. Keskmine välistemperatuur ja suhteline niiskus mõõteperioodi jooksul vt. Joonis 7.2. Mõõteperioodi kõige madalam temperatuur oli -30°C ja kõige kõrgem $+29^{\circ}\text{C}$. Mõõteperioodi kuude keskmised temperatuurid vt. Tabel 7.3.

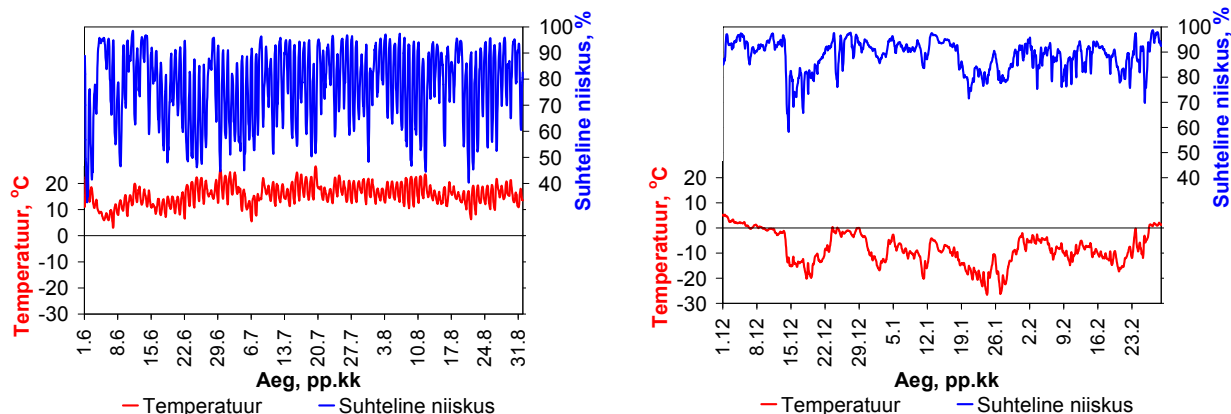
Tabel 7.3 Kuu keskmised temperatuurid (t, $^{\circ}\text{C}$) ja suhtelised niiskused (RH, %) perioodil jaanuar (I) 2008 kuni veebruar (II) 2009.

	2009												2010															
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		I		II	
	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH
Tallinn	-2,0	86	-4,2	87	-0,6	81	5,4	66	10,8	67	13,5	74	16,8	77	16,1	78	13,6	81	5,1	85	2,7	91	-3,9	87	-11,0	89	-7,6	90
Tartu	-3,1	92	-4,7	90	-1,0	83	6,2	63	11,8	64	14,2	76	17,3	78	15,8	80	13,1	84	4,4	90	2,5	94	-4,8	91	-13,7	89	-7,5	89
Pärnu	-2,1	92	-4,0	89	-0,7	85	5,6	70	11,1	69	13,9	75	17,1	78	16,3	78	13,5	83	5,0	88	3,0	93	-3,8	90	-12,3	89	-7,3	89
Narva-Jõesuu	-2,4	87	-4,6	91	-0,8	81	4,5	69	10,9	72	14,4	75	17,8	74	16,8	77	13,7	79	5,1	85	2,1	89	-5,0	86	-12,1	85	-8,0	84
Väike-Maarja	-3,1	92	-5,1	89	-2,3	86	4,6	69	11,0	66	13,2	77	16,3	80	15,1	82	12,2	87	3,8	92	1,7	95	-5,4	91	-13,3	88	-9,0	89



Joonis 7.2 Ööpäeva keskmine välistemperatuur ja suhteline niiskus perioodil 1.09.2008...1.03.2010.

Põhjalikum sisekliima analüüs talve- ja suveperioodi kohta tehti vastavalt kolme talvekuu ja kolme suvekuu mõõtmistulemuste alusel.



Joonis 7.3 Välistemperatuur ja suhteline niiskus suvekuudel (vasakul) ja talvekuudel (paremal)

2008.-2009. talveperiood oli soojem, kui paljuaastane keskmine, samas 2008. aasta suvekuude keskmine temperatuur vastas hästi paljuaastase keskmisele temperatuurile, vt. Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Paljuaastase keskmise välistemperatuuri võrdlus suve- ja talvekuude temperatuuridega

	Juuni 2009	Juuli 2009	August 2009	Detsember 2009	Jaanuar 2010	Veebruar 2010
Mõõteperiood	12,5...14,7°C	16,3...17,8°C	14,9...17,7°C	-5,6...-0,2°C	-14,4...-6,9°C	-9,2...-5,5°C
Paljuaastane keskmine	13,3...15,6°C	15,9...17,2°C	14,6...16,6°C	-4,6...+0,3°C	-7,6...-2,4°C	-7,4...-3,3°C

7.1.3 Sisetemperatuuri hindamiskriteeriumid

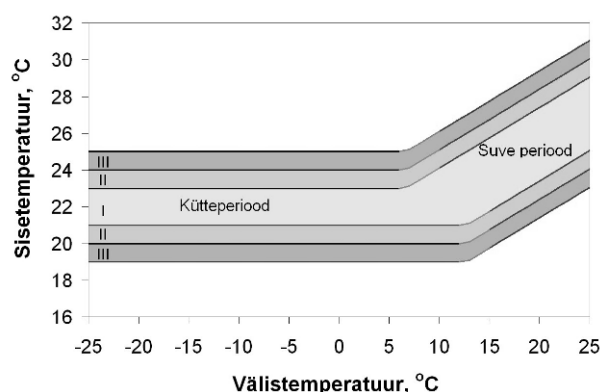
Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest või standarditest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast kõetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla 18 °C.

Olenevalt ruumi füsioloogiliselt optimaalse soojusliku keskkonna tagamise tingimustest ja oodatavast soojusliku mugavuse kvaliteedist võib, lähtudes soojuslikust mugavusest, jagada sisekliima nelja klassi, vt. Tabel 7.5. Madalamate sisekliimaklasside korral on sisekliimaga rahulolematute elanike hulk (PPD, %) suurem, kuna elanikud hindavad (PMV) ruume liiga jahedaks või liiga soojaks. PMV-PPD indeks võtab arvesse kõigi kuue soojusliku parameetri (õhutemperatuur, keskmine kiirguslik temperatuur, õhu liikumise kiirus, õhuniiskus, riietuse soojuspidavus ja kehaline aktiivsus) mõju ning seda võib otseselt kasutada soojusliku mugavuse kriteeriumina.

Tabel 7.5 Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251) ja näited soovituslikest CO₂ tasemetest üle välisõhu kontsentratsioonil ja kontsentratsioonil 350 ppm. (EVS-EN-15251)

Sisekliima soojusliku mugavuse klass	Selgitus	Prognoositud soojusliku rahulolematuse protsent PPD, %	Soojusliku mugavustunde indeks PMV, -
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. Ootus parimale sisekliimale	<6	-0,2 < PMV < + 0,2
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Ootus normaalsele sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritud hoonetes .	<10	-0,5 < PMV < + 0,5
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Ootus mõõdukale sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes .	<15	-0,7 < PMV < + 0,7
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.	>15	-0,7 > PMV > + 0,7

Kombineerides sisekliima projekteerimiskriteeriumi (CR 1752, 1998) ja hoonete energia-tõhususe projekteerimise lähteparameetrite standardi (EVS-EN 15251:2007, asendab endist sisekliima standardit EVS 839:2003) piirsuursi, võib hoonete, kus ei ole mehaanilist jahutust, on võimalik avada aknaid ja valida riistetust, erinevate sisekliimaklasside temperatuuride piirsuursused esitada Joonis 7.4 kujul.



Joonis 7.4 Sisetemperatuuri kriteeriumid kolmes erinevas sisekliima klassis.

7.1.4 Siseõhu niiskuskooormuse arvutus

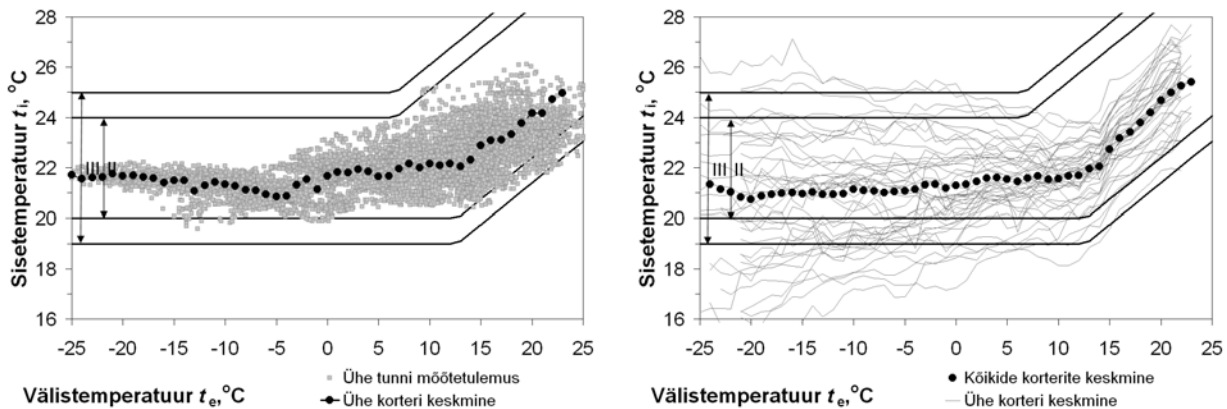
Hoonepiirete pika kasutusea üheks eeltingimuseks on nende probleemideta niiskustehniline toimivus. Sise- ja väliskliima tingimused on ühed olulisimad tegurid, mis mõjutavad hoonepiirete ja tarindite niiskustehnilist käitumist. Sisekliima ja niiskuskooormuse hindamise erinevuseks on, et kui sisekliima puhul kasutatakse peamiselt keskmisi suursi, siis niiskuskooormusi hinnatakse teatud tõenäosusega esinevatena. Ehitusfüüsikaliste arvutuste tegemise jaoks on rahvusvaheliselt kokku lepitud 90% tõenäosuse tase (Sanders 1996). See tähendab, et valitud kooormuse normatiivsest suuruselt on 90% väiksema kooormusega ja 10 % suurema kooormusega.

Niiskustanalüüs on igast korterist arvutatud igale välisõhu temperatuurile vastav nädala keskmise niiskustanalüüsi maksimumsuurus. Seejärel on kõikide korterite maksimumsuuruselt arvutatud 90% fraktil.

7.2 Tulemused

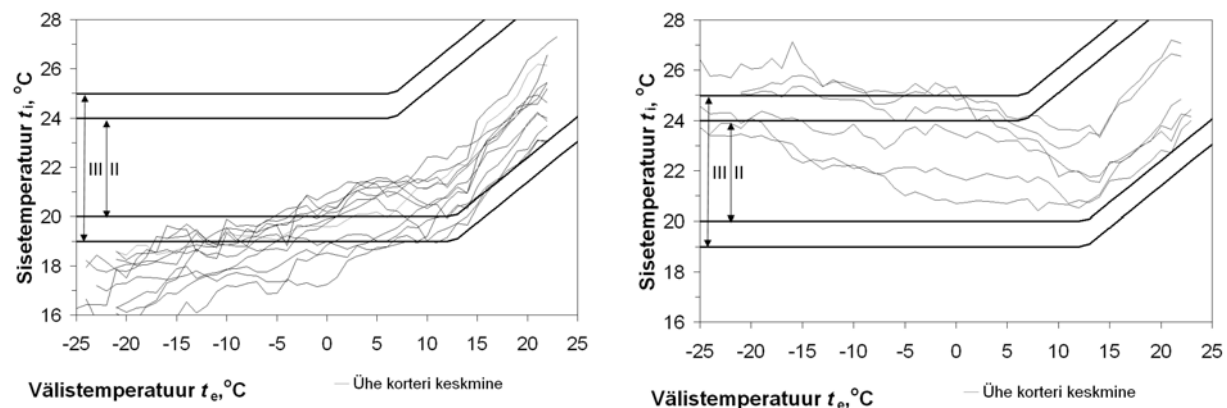
7.2.1 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist

Iga korteri sisetemperatuuri mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine sisetemperatuur, mis loeti esindama selle korteri sisetemperatuuri, vt. Joonis 7.5 vasakul. Kõikide mõõdetud korterite ööpäeva keskmised sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 7.5 paremal. Keskmine sisetemperatuur kütteperioodil oli $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kütteperioodi ning sooja perioodi piiriks võib pidada ööpäeva keskmist sisetemperatuuri $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Joonis 7.5 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist telliskorterelamutes (paremal).

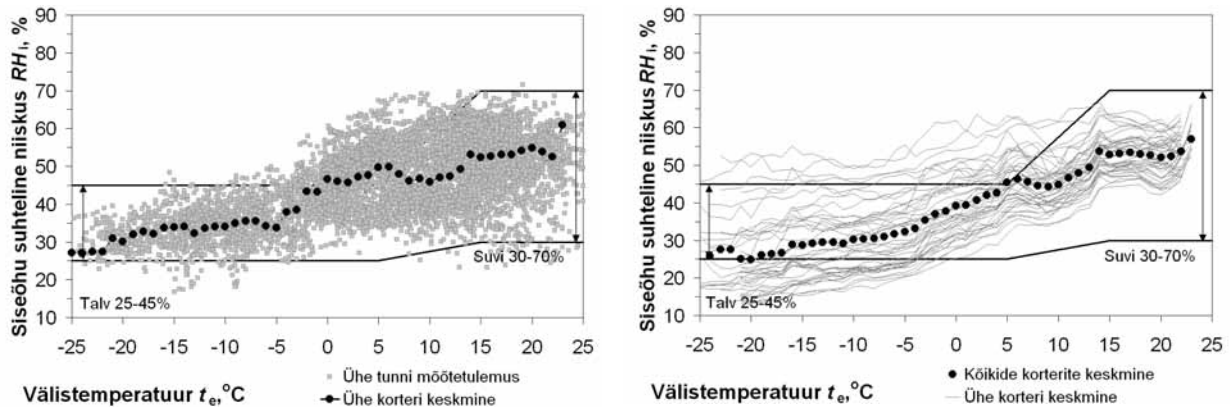
Kui korterites puuduvad radiaatoritel termostaadid, sõltub sisetemperatuur erinevatel välistemperatuuridel otseselt soojussõlme reguleerimisgraafikust (välistemperatuurist sõltuva küttevee temperatuuri sõltuvuse tõusunurk ja graafiku tase). Kui soojusregulaatori graafiku kaldenurk ja tase on õiged, siis keskmine ruumitemperatuur kütteperioodil sõltub vähe või ei sõltu üldse välistemperatuurist. Kui soojusregulaatori graafik on paigast ära, võib tulemuseks olla ruumide alajahtumine või ülekütmine välistemperatuuri muutumisel (vt. Joonis 7.6).



Joonis 7.6 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist, kui soojusregulaatori graafik on paigast ära, ja tulemuseks on ruumide alajahtumine (vasakul) või ülekütmine (paremal).

Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist

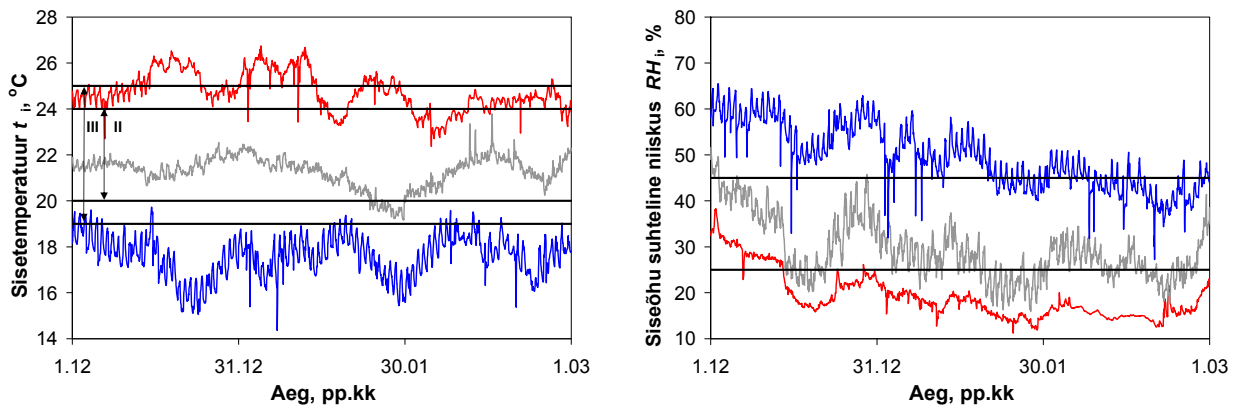
Iga korteri siseõhu suhtelise niiskuse mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine siseõhu suhteline niiskus, mis loeti esindama selle korteri suhtelist niiskust, vt. Joonis 7.7 vasakul. Kõikide mõõdetud korterite ööpäeva keskmise siseõhu suhtelise niiskuse ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 7.7 paremal.



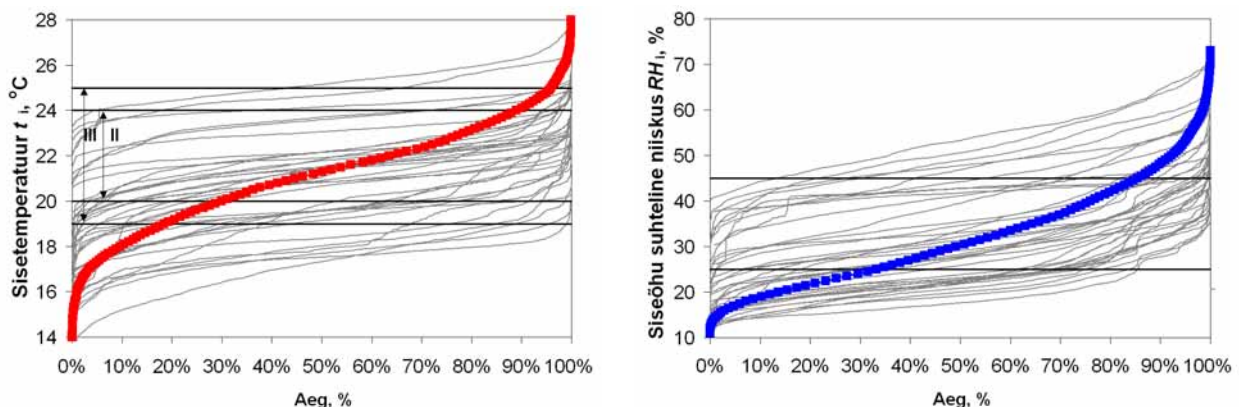
Joonis 7.7 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist telliskorterelamutes (paremal).

7.2.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel

2009.–2010. aasta talvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites +12 °C ja +29 °C vahemikus ja siseõhu suhteline niiskus oli 10 % ja 74 % vahemikus. Keskmine sisetemperatuur oli +21,1 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +17,2 °C ja +25,3 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 33% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 19 % ja 54 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 7.12. Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus vt. Joonis 7.13. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



Joonis 7.8 Kolme telliskorterelamu korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) talvel.

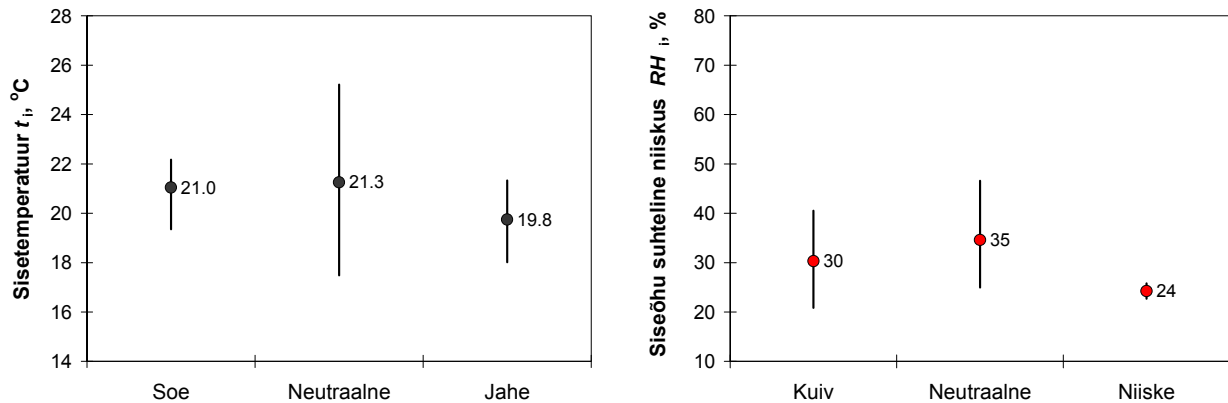


Joonis 7.9 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus talvel.

Sisekliimaparametrite suure hajuvuse tõttu üksikute hooneomaduste (korteri korrus, küttesüsteem, akna tüüp jne.) vahel statistiliselt oluliselt erinevust ei esinenud.

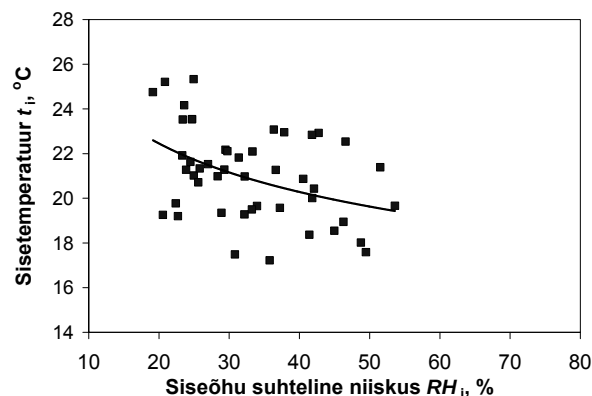
Ankeetküsitluse käigus küsiti elanikelt ka hinnangut soojusliku mugavuse kohta. Korterites, kus elanikud hindasid soojuslike tingimusi neutraalseks e. sobivaks, oli keskmine sisetemperatuur +21,3 °C. Samas on ka näha, et elanike arusaam sobivast temperatuurist võib kõikuda päris palju: +17...+25 °C. Küsitlustulemused siseõhu niiskuskliku olukorra kohta kinnitavad fakti, et inimesel ei ole tavapärase niiskuse juures (RH 20...60%) niiskusetunnetust: niiskeks hinnati kortereid, mis olid keskmiselt kuivemad.

Korterites, kus anketeeriti aknale veeauru kondensaadi teket, oli talve keskmine siseõhu suhteline niiskus 35 %.



Joonis 7.10 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus talvel.

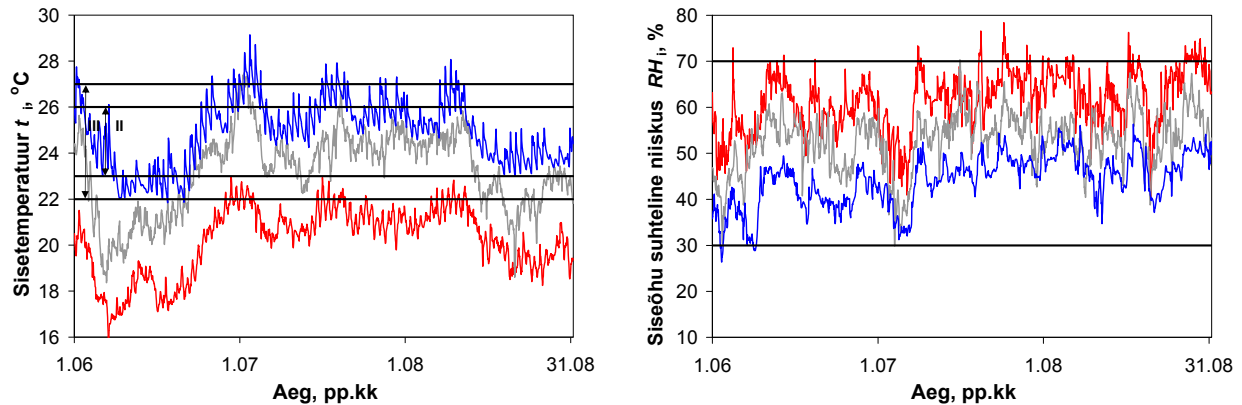
Siseõhu suhteline niiskus sõltub otseselt sisetemperatuurist (vt. Joonis 7.11), väliskliimast (õhu veeaurusisaldus, temperatuur), niiskustootlusest siseruumides ja ventilatsioonist, mistõttu ei saa ainult suhtelise niiskuse alusel öelda, kas siseruumides on suur või väike niiskuskooormus. Seetõttu on siseõhu niiskuskooormusi käsitletud eraldi peatükis, vt. 7.4 Niiskuskooormused korterites.



Joonis 7.11 Keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist talvel.

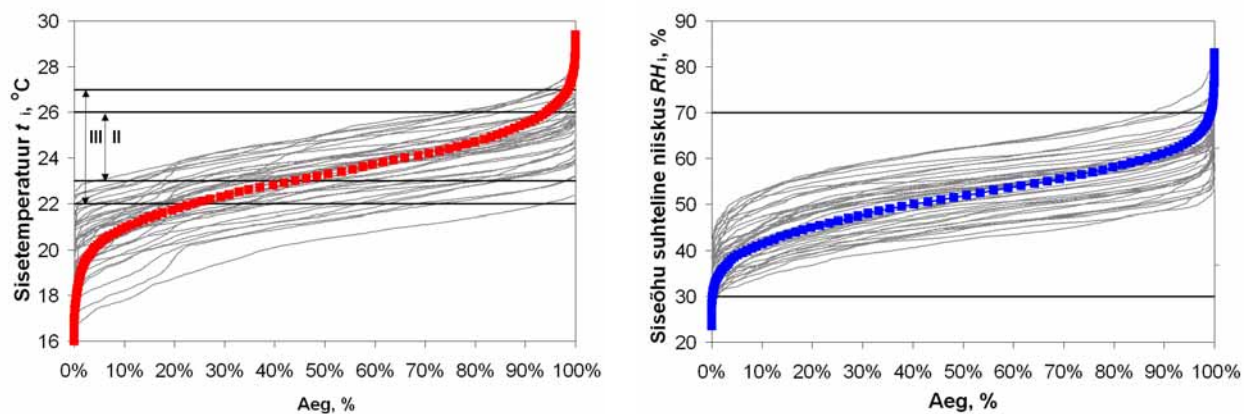
7.2.3 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel

2009. aasta suvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites vahemikus +15 °C ja +28 °C ja siseõhu suhteline niiskus oli 24 % ja 83 % vahemikus. Keskmine sisetemperatuur suvel oli +23,2 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +20,2 °C ja +25,8 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 52% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 42 % ja 62 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 7.12.



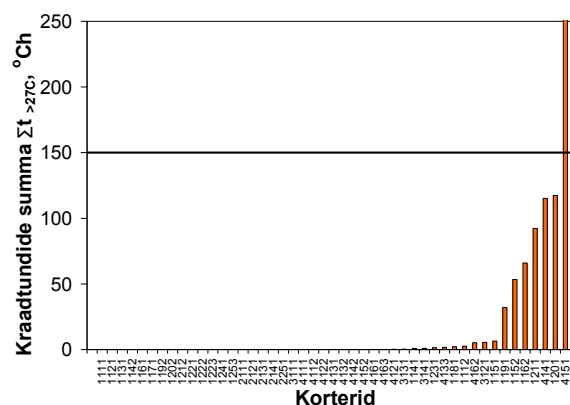
Joonis 7.12 Kolme telliskorterelamu korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) suvel.

Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus vt. Joonis 7.13. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



Joonis 7.13 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus suvel.

Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete määrusele loetakse suvise ruumitemperatuuri nõue täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa 27 °C (jahutuse temperatuuriseadet) elamutes rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 1. juuni 31. august. 150 kraadtunni piir ületati vaid ühes korteris. Kuna 2009. aasta suvekuude keskmine temperatuur vastas paljuaastate keskmisele temperatuurile, võib tõdeda, et suvised kõrged sisetemperatuurid ei ole telliselamute suurim probleem.

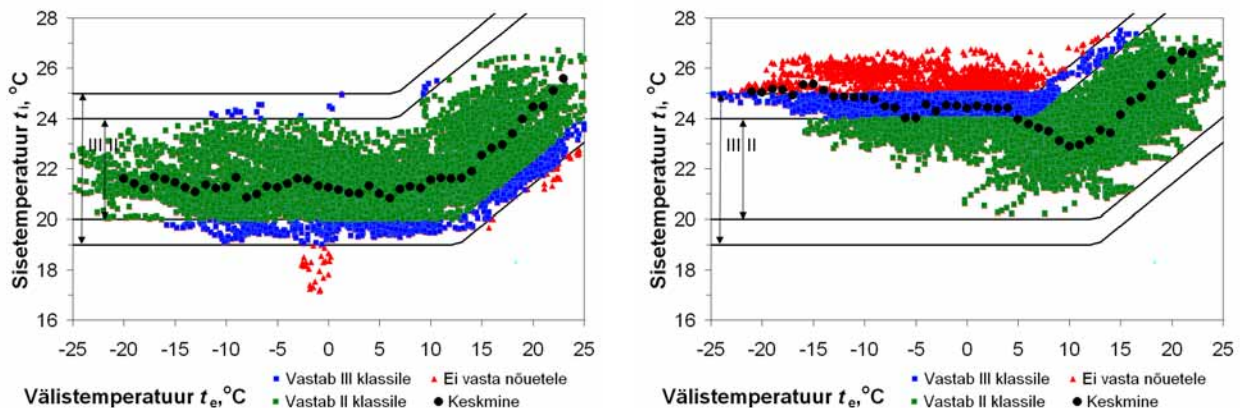


Joonis 7.14 27 °C ületavate kraadtundide arv suvel.

7.3 Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele

Käesolev uurimistöö toetab Eesti elamutes varem läbiviidud sisekliima mõõtmisi (Kalamees 2006, Kalamees jt. 2009), mille alusel kütteperiood muutub suveperioodiks ööpäeva keskmisel välistemperatuuril $+15\text{ °C} \dots +10\text{ °C}$. Kui ööpäeva keskmine välistemperatuur on üle $+15\text{ °C} \dots +10\text{ °C}$ kraadi, siis on keskmine sisetemperatuur üle $+22\text{ °C}$ ja puudub ka kütmise vajadus. Samuti hakkab sisetemperatuur oluliselt rohkem sõltuma päikesest ja sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist on suurem. See piir kütteperioodi ja suveperioodi vahel aitab eraldada erinevates standardites ja määrustes toodud suve ja talve kohta esitatavaid sisekliima soovitusi ja nõudeid.

Korterite soojuslikku olukorda on hinnatud vastavalt EVS-EN-15251 standardi keskmise (II) ja madalaima (III) sisekliima klassi piirsuurustega, vt. Joonis 7.4 paremal. Erinevates korterites oli vastavus standardi soovitustele erinev, vt. Joonis 7.15.

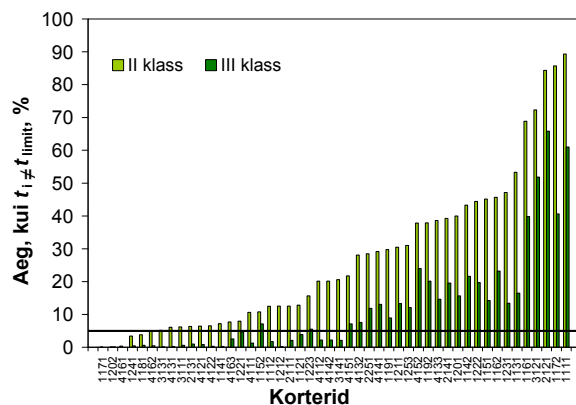


Joonis 7.15 Hea standardile vastavusega korteri (vasakul) ja halvema (ülekõetud) standardile vastavusega korteri (paremal) sisetemperatuuride võrdlus.

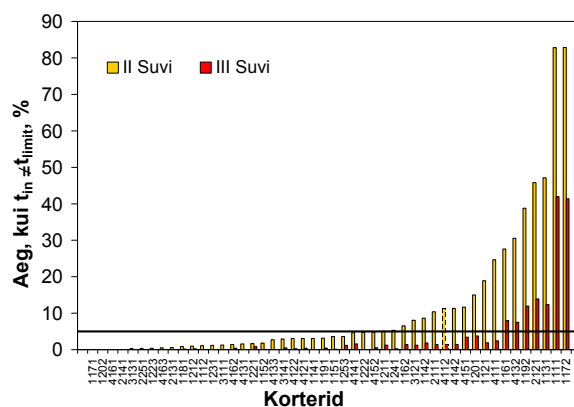
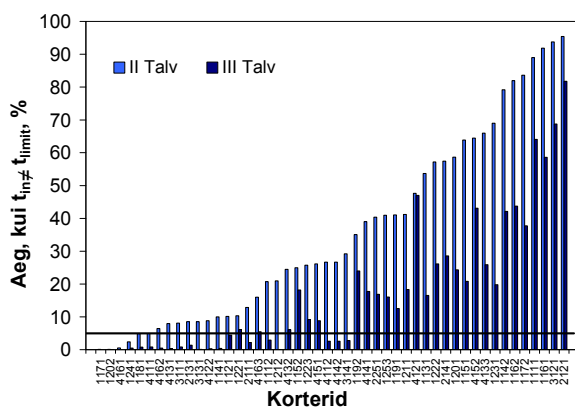
Vastavalt standardile EVS-EN 15251:2007 on sisekliima vastavust standardi temperatuuri juhtarvudele võimalik hinnata mitut moodi:

- A: protsent ajast, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve.
EVS-EN 15251:2007 soovib temperatuuri ületavate tundide protsentuaalseks piiriks pidada 3% või 5%;
- B: kaalutud tundide arv, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve;
- C: kaalutud tundide arv, kui tegelik oodatav mugavustunde indeks (PMV) ületab PMV juhtarve.

Käesolevas töös on korterite soojuslikku olukorda hinnatud kahe esimese meetodi alusel. Temperatuuride juhtarve ületava aja piirsuuruseks on kasutatud 5%. 52% korterites (5% piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele, vt. Joonis 7.16 (56% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 15% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil, vt. Joonis 7.17). Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati 88% korterites (88% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 40% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil).

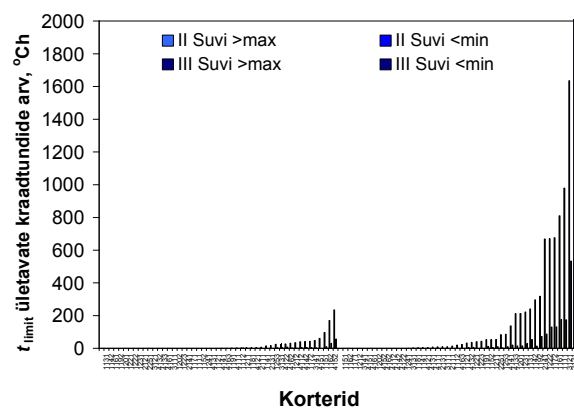
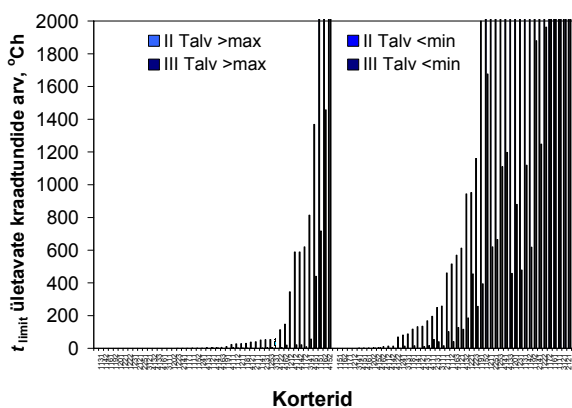


Joonis 7.16 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kogu aasta jooksul.



Joonis 7.17 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav suhteline aeg kütteperioodil (vasakul) ja suveperioodil (paremal).

Sisetemperatuuride piirsuurustele mittevastavate kraadtundide arvu (vt. Joonis 7.18) analüüsides on näha, et telliskorterelamutes on probleem talviste liiga madalate temperatuuridega. Seal on piirtemperatuuridele mittevastavus kõige suurem.



Joonis 7.18 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kraadtundides kütteperioodil (vasakul) ja suveperioodil (paremal).

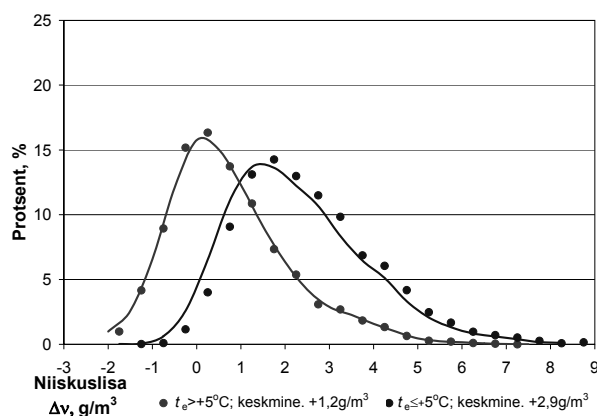
Võrreldes teistes naaberriikides tehtud uuringutega, iseloomustab Eesti telliskorterelamute sisekliimat madalam temperatuur ja kõrgem suhteline niiskus, vt. Tabel 7.6.

Tabel 7.6 Erinevate sisekliima uuringute kütteperioodi temperatuuri ja suhtelise niiskuse tulemuste võrdlus.

Riik, uuring	Temperatuur	Suhteline niiskus
Eesti telliskorterelamud (käesolev uuring)	+21,1 °C (17,2...25,3 °C)	33 % (19...54%)
Eesti suurpaneelramud	+21,3 °C (16,3...25,8°C)	37 % (23...65%)
Rootsi, 1100 elamut	+22,2 °C (korterelamud)	>1/3 korterelamutest RH<30%
Norlén and Andersson 1993	+20,9 °C (eramud)	>1/5 eramutest RH>45%
Rootsi, 390 elamut (83% eramud)	$t_{\text{keskmine}} +20,9\text{ °C}$	
Gustavsson jt. 2004		
Norra, 32 elamut	+23,5±4.3 °C (magamistoad)	40±8 % (magamistoad)
Jensen jt. 2002	+21,4±2.3 °C (elutoad)	29±6% (elutoad)
Soome, 242 elamut	22 °C (18 °C...27 °C),	keskmine: 30 %...40 %, vahemik: 21 %...65 %.
Ruotsalainen jt. 1992	1/2 elamutes +21...+23 °C	
Soome, 125 elamut (56 korterit)	+22,9 °C (+20,3...+24,9 °C)	26 % (20...42 %)
Vinha jt. 2009		

7.4 Niiskuskoormused korterites

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust ning sõltub ruumide ventileeritavusest ning niiskustootlusest ruumides. Niiskuslisa võrdlus külmal perioodil ($t_e \leq +5\text{ °C}$) ja ülejäänud perioodil ($t_e > +5\text{ °C}$) vt. Joonis 7.19.

Joonis 7.19 Niiskuslisa jaotus külmal perioodil ($t_e \leq +5\text{ °C}$) ja ülejäänud perioodil ($t_e > +5\text{ °C}$).

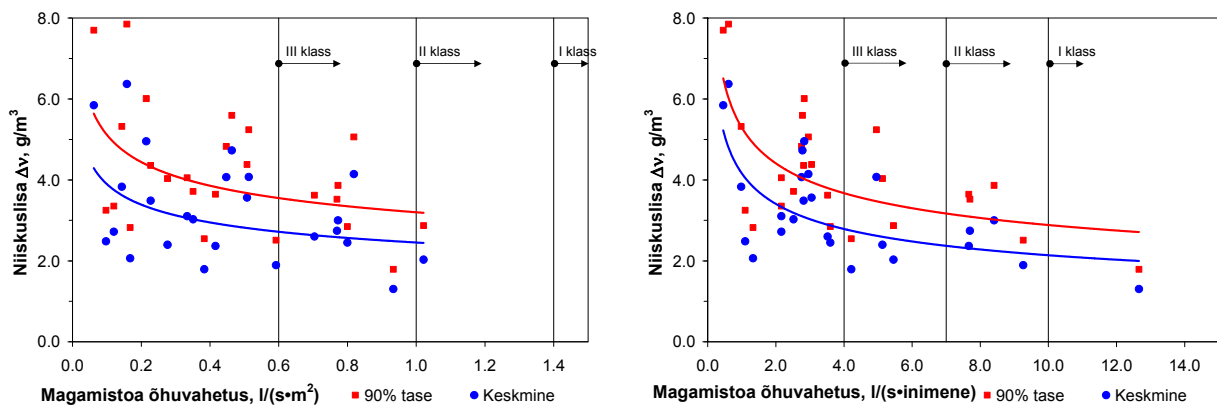
Niiskuslisa tulemuste võrdlus erinevate alajaotuste vahel vt. Joonis 7.5. Tabelis on toodud ventilatsiooni mõjutavate ehituslike mõjude (korteri korruse, akende vahetamise, hoonepiirete tihendamise) mõju niiskuslisa. On näha, et komponendid, mis mõjutavad ventilatsiooni õhuvahetust või infiltratsiooni, mõjutavad otseselt ka niiskuskoormust. Mitme komponendi kombineerumisel võib mõju veelgi suurened. Statistiliselt oluliselt mõjutasid niiskuskoormust korteri korruselisis (mõjutab väljatõmbekorstna kõrguse kaudu loomuliku väljatõmbe suurst) ja hoonepiirete õhulekkearv (mõjutab välisõhu pääsu korterisse). Hoonete lisasoojustamisest ja tihendamisest ei ole pääsu, kui soovitakse parandada hoonepiirete olukorda ja sisekliimat ning vähendada küttekulu. Hoonepiirete lisasoojustamisega peab kaasnema kindlasti kütte- ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine, muidu soovitud lõpptulemust ei saavutata. Kasutades olemasoleva ventilatsiooni toimivuse hindamisel EVS-EN 15251 standardi III klassi, on näha, et väiksema ventilatsiooni korral on niiskuskoormused oluliselt suuremad.

Tabel 7.7 Niiskulisa keskmise suuruse võrdlus erinevate alajaotuste vahel.

	Nädala keskmine niiskulisa Δv , g/m ³	
	Keskmine välis-temperatuur $t_e \leq +5$ °C	Keskmine välis-temperatuur $t_e > +5$ °C
	Δv	Δv
Kõik korterid (48 tk.)	+2,9	+1,3
Hoone alumiste korruse korterid (13 tk.)	+2,3*	+1,1
Hoone ülemiste korruse korterid (24 tk.)	+3,4*	+1,4
Õhulekkearv $< 4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (16 tk.)	+3,6*	+1,6*
Õhulekkearv $> 4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (14 tk.)	+2,4*	+1,2*
Õhuvahetuskordsus toas $< 0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ (15 tk.)	+3,5	+1,7
Õhuvahetuskordsus toas $> 0,6 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ (III klass EVS-EN 15251) (7 tk.)	+2,6	+1,3
Ventilatsiooni õhuvooluhulk $< 3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{in})$ (13 tk.)	+3,9*	+1,8
Ventilatsiooni õhuvooluhulk $> 4 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{in})$ (III klass EVS-EN 15251) (9 tk.)	+2,4*	+1,3
Elamistihedus korteris $< 20 \text{ m}^2/\text{inimene}$ (16 tk.)	+3,4*	+1,5
Elamistihedus korteris $> 25 \text{ m}^2/\text{inimene}$ (14 tk.)	+2,3*	+1,1
Vanade akendega korterid (14 tk.)	+3,0	+1,3
Uute akendega korterid (15 tk.)	+2,9	+1,2
Soojustatud ja tihendatud välisseintega korterid (20 tk.)	+3,2	+1,6*
Soojustamata ja tihendamata välisseintega korterid (28 tk.)	+2,7	+1,0*

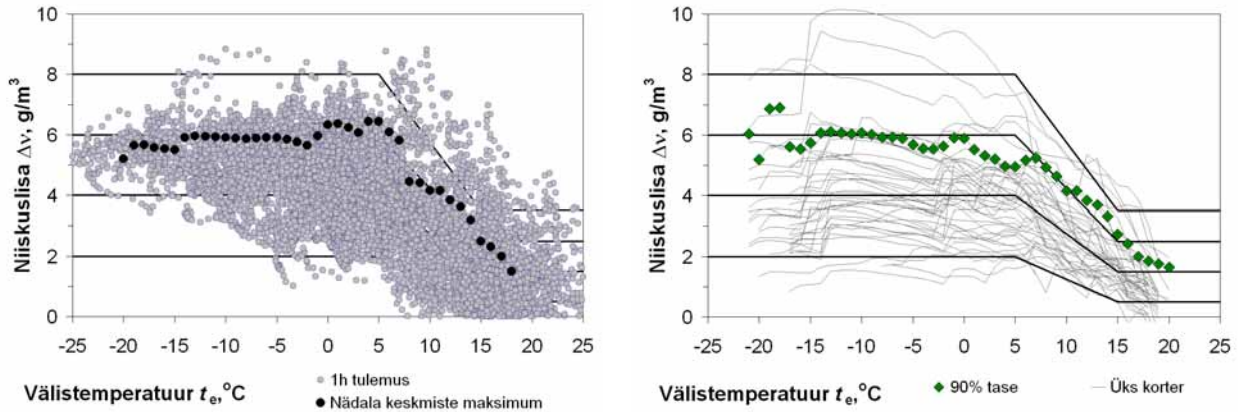
* Erinevus on statistiliselt oluline ($P \leq 0,05$)

Ventilatsiooni toimivuse ja niiskulisa omavaheline sõltuvus vt. Joonis 7.20. Väiksem õhuvahetus ruumides suurendab niiskukoormust. Lisaks ventilatsioonile mõjutab niiskulisa suurust ka niiskustootlus siseruumides. Niiskustootlust mõjutavad elanike arv korteris, pesu kuivatamine korteris, vee kasutus jne. Tänapäeval kuivatavad korterelamute elanikud pesu õues harva. Kui rõdu on korteris kinni ehitatud, jääb ainukeseks võimaluseks kuivatada pesu siseruumides. See suurendab aga oluliselt siseruumide niiskukoormust.



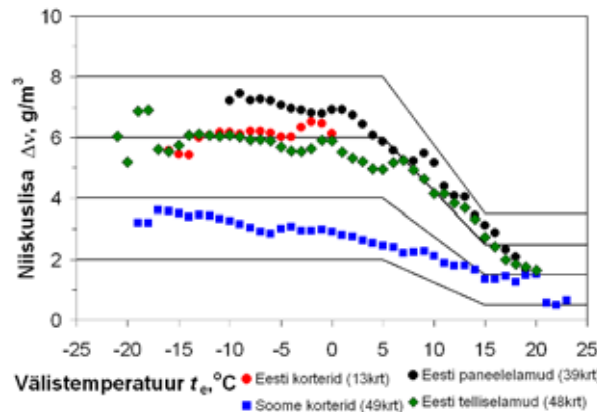
Joonis 7.20 Ventilatsiooni mõju niiskukoormusele.

Niiskukoormuse ja välistemperatuuri vahelise sõltuvuse uurimiseks jaotati iga korteri niiskulisa mõõtetulemused vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati niiskulisa nädala keskmine maksimumsuurus, mis loeti esindama selle korteri niiskukoormusi (vt. Joonis 7.21 vasakul). Niiskulisa arvutussuurus niiskustehnilisteks arvutusteks esindab niiskulisa 90% kriitilisuse tasemel. See suurus on arvutatud kõikide korterite maksimumsuurustest (vt. Joonis 7.21 paremal).



Joonis 7.21 Niiskulisa sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris.

Telliselamute niiskulisa arvutusssuure (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasemate uuringutega Eestis (Kalamees 2006, Kalamees jt. 2009) ja võrdlus Soome korterelamutega (Vinha jt. 2009) (vt. Joonis 7.22) näitab, et Eesti vanemate korterelamute niiskukoormus on kütteperioodil 6...7 g/m³. See on ligi kaks korda suurem Soomes läbiviidud korterite uuringu niiskukoormuse tulemustest. Suurema niiskukoormuse peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus (suur asustustihedus, pesu kuivatamine siseruumides jne). Arvestades vanemate korterelamute välispiiretes olevaid suuri külmasildasid, on see väga murettekitav. Ventilatsiooni tõhustamine niiskukoormuste alandamiseks ja välispiirete lisasoojustamine piirete sisepinnatemperatuuride tõstmiseks on möödapääsmatu.



Joonis 7.22 Niiskulisa arvutusssuure (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasemate uuringutega Eestis (Kalamees 2006, Kalamees jt. 2009) ja võrdlus Soome korterelamutega.

8 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet

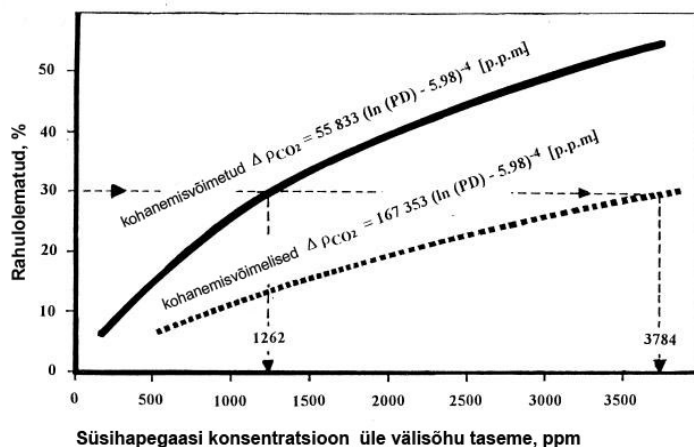
Kuna inimesed veedavad kuni 90% (Lech jt 1996) elust siseruumides, tuleb sisekliima tagamisele pöörata kõrgendatud tähelepanu. Arvutused on näidanud, et halva sisekliima poolt põhjustatud kulutused on suuremad kui kütte- ja ventilatsioonisüsteemide käigushoidmiseks kuluva energia maksumus (Seppänen 1999). Arvukatest uuringutest selgub, et halb sisekliima on seotud „haige hoone sündroomi”, hingamisteede haiguste, allergia ja astma sümptomite ning töövõime langusega (Seppänen & Fisk 2006, Lu jt 2009).

Inimesed, ehitus- ja viimistlusmaterjalid, mööbel ning seadmed eraldavad ruumidesse saasteaineid, mis on vaja sealt eemaldada. Siseõhu kvaliteedi tagamiseks uuritavates telliselamutes kasutatakse ventilatsiooni. Ventilatsioon on seadmete ja meetmete kogum selleks, et õhuvahtuse abil saavutada ettenähtud sisekliima parameetreid. Ventilatsiooni eesmärk on eelkõige siseõhu puhtuse tagamine. Sageli on halva sisekliima peamiseks põhjuseks ventilatsioonisüsteemi ebapiisav toimimine (Redlich 1997).

Siseõhu kvaliteeti mõjutavad oluliselt CO₂, niiskuse, formaldehüüdide, tolmu, tubakasuitsu ja gaasi põlemisproduktide tase. Lisaks võib siseõhus olla ka muid gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid ja mikroorganisme. Samuti tuleb hoolikalt jälgida radooni sisaldust ja gammakiirgust. Ruumides, kus saasteallikaks on inimesed, iseloomustab just CO₂ sisaldus õhu kvaliteeti, kuna teiste inimtegevusega seotud kahjulike ainete toodang on süsihappegaasiga proportsionaalne (Kõiv 2007). Siseõhu üldtunnistatud CO₂ piirnorm on 1000 ppm. Vastavalt hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardile (EVS-EN 15251:2007) liigitatakse sisekliima soojusliku mugavuse taseme järgi klassidesse (vt Tabel 8.1). Sageli kasutatakse sisekliima hindamisel ka ruumisviibivate inimeste hinnangut õhu kvaliteedi kohta (vt. Joonis 8.1). Üldjuhul on uuringutes maksimaalseks aktsepteeritavaks rahulolematute protsendiks 30 % (Jokl 1998).

Tabel 8.1 Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251)

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



Joonis 8.1 Rahulolematute määr väikese kehalise aktiivsuse juures, avaldatud CO₂ kontsentratsiooni järgi üle välisõhu taseme (Jokl 1998).

Korterites, kus on tavapärasest suuremad niiskuseraldused (suur elanike tihedus, pesu kuivatamine, toidu valmistamine, toataimed, pesemine) ja minimaalsed CO₂ eraldused, ei pruugi CO₂ taseme piirnormidesse jäämine tähendada veel niiskuse eemaldamiseks piisava ventilatsiooni olemasolu. Samas põhjustab kõrge siseõhu suhteline niiskus korterites hallitusprobleeme. Eriti tõsiseks muutub olukord siis, kui suhteline niiskus tõuseb üle 70-80 %. Seega on siseõhu kvaliteedi hindamisel oluline jälgida ka õhu suhtelist niiskust ja üleliigsete niiskuseralduste eemaldamiseks suurendada korteri õhuvahetust. Üha enam populaarsust koguv õhukuivati paigaldamine eemaldab küll niiskusprobleemi sümptomid, kuid ei tegele nende tekkepõhjustega ning seetõttu tuleb selle lahenduse kasutamisel olla äärmiselt ettevaatlik.

Inimeste hinnangut sisekliima kvaliteedile mõjutab ka õhu liikumise kiirus ruumis. Talveperioodil tekitab liiga suur õhukiirus tõmbustunnet, seevastu suvel aitab suurem kiirus mugavustunnet parandada. Külmal aastaajal on lubatud õhu liikumise kiiruseks kuni 0,21 m/s (projekteerimiskriteeriumi CR 1752 C tase). Selle piiri täitmine võib olla probleemiks sundventilatsiooni, aktiivse tuulutamise või värske õhu klappide korral. Tõmbustunde mõju saab vähendada kõrgema siseõhu temperatuuriga, vt. Joonis 8.2. (Kõiv 2006) Õhu liikumise kiirusest põhjustatud elanike rahulolematuse taset hindab ka ISO EN 7730:1994 standard (vt. valem 8.1).

$$DR = ((34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62}) \cdot (0,37 \cdot v \cdot T_u + 3,14), \% \quad (8.1)$$

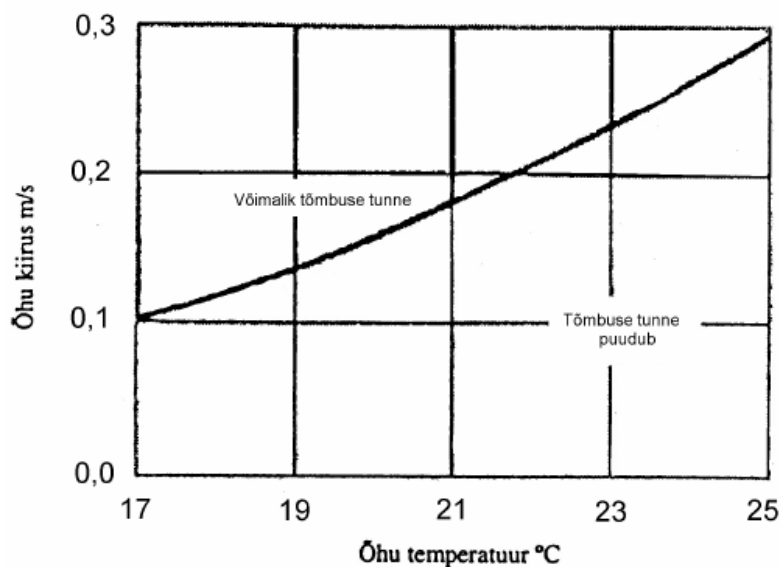
kus

DR tuuletõmbuse tõttu rahulolematuid, %;

t_a siseõhu temperatuur, °C;

v õhuliikumise kiirus, m/s;

T_u turbulentsi osakaal, %.



Joonis 8.2 Tõmbuse tunnetamine olenevalt siseõhu temperatuurist ja õhu liikumise kiirusest (Kõiv 2006).

Õhuvahetus on elamute sisekliima seisukohast ülimalt oluline, kuid õhuvooluhulkade valikul tuleb leida keskteie süsteemi käigushoidmise kulutuste ja võimalike inimeste tervist ning mugavust mõjutavate tegurite vahel. Üleventileeritus võib põhjustada tuuletõmbust, liigset müra, aga ka energiatarbe kasvamist ventilatsioonile. Lisaks hoonetesse kavandatud ventilatsioonile esineb neis ka õhulekke piirdetarindite kaudu ehk eks- ja infiltratsioon. Kuigi siseõhk vahetub ka infiltratsioon teel, ei ole selle protsessi puhul võimalik õhu liikumist kontrollida. Eriti oluline on piirete õhulekke vähendamine soojustagastusega ventilatsiooni puhul, kuna eks- ja infiltratsiooni õhuvooluhulk soojustagastit ei läbi.

8.1 Meetodid

8.1.1 Mõõtmised

CO₂ kontsentratsiooni mõõtmiseks kasutati HOBO andmeid salvestavaid logereid (Onset Computer Corporation) ja TelAire 7001 CO₂ andureid. Süsihappegaasi sisaldus ruumiõhus salvestati iga 10 minuti järel. 10-minutiline salvestusintervall määrab CO₂ kontsentratsioonid piisava täpsusega ning seda vahemikku on kasutatud ka varasemates uuringutes (Guo & Lewis 2007). Samuti sobib kasutatud intervall, et määrata tuulutusperioodide toimumist spetsiaalseid aknaandureid kasutamata (vt Tabel 8.6). Kontrollimiseks paigaldati mõningatesse korteritesse lisaks ka aknaandurid, mis vastavalt akna avatusele salvestasid tuulutusperioodi pikkuse. Juhul kui magamistoa akent tuulutuseks ei kasutatud, paigaldati andur selleks kasutatavale aknale.

Mõõtmised toimusid ajavahemikul 2.12.2008 kuni 20.03.2010. Ühe korteri mõõteperioodi pikkuseks oli 1–4 nädalat. Suvel toimusid siseõhu CO₂ mõõtmised 4 korteris ja talvel 31 korteris. Suurem osa mõõtmistest teostati talveperioodil, kuna vastavalt hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardile (EVS-EN 15251:2007) tuleb CO₂ kontsentratsiooni mõõtmised eelistatavalt teha talvetingimustes. Selle peamiseks põhjuseks on tuuletõmbuse ohust põhjustatud aknatuulutuse ning värske õhu klappide piiratud talvine kasutamine. Ühes elamus mõõdeti süsihappegaasi kontsentratsiooni 1–2 korteris.

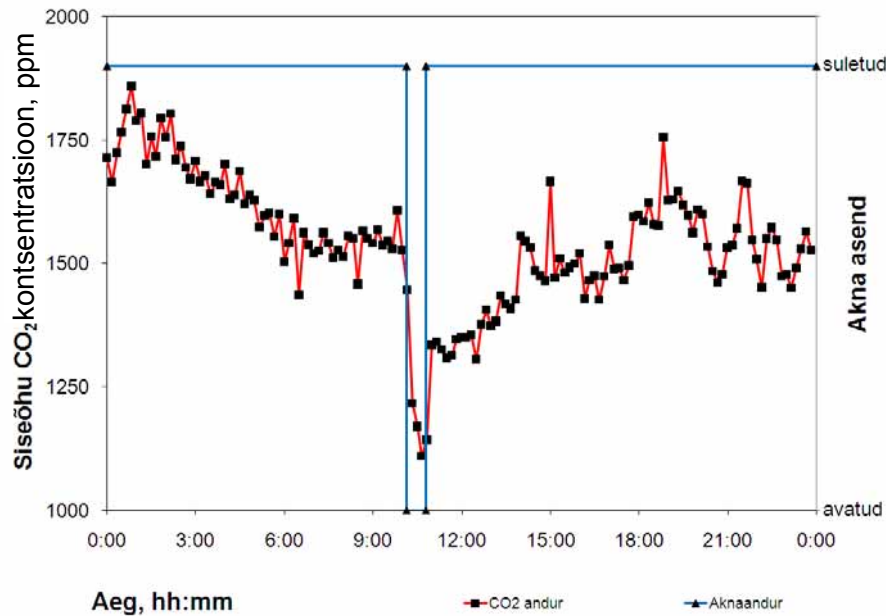
Ventilatsiooni väljatõmbekanalite seisukorra ja sanitaarruumide ning köögi õhuvooluhulkade hindamiseks kasutati õhuvooluhulga mõõturit SwemaFlow 230. Mõõtmised teostati ajavahemikul 29.12.09 kuni 20.03.2010 ja temperatuurivahemikus -15 kuni +5. Tulemuste täpsuse suurendamiseks ja ilmastiku mõju selgitamiseks sooritati mõningates korterites kordusmõõtmised. Mõõteseadmete täpsus ja mõõtepiirkonnad vt Tabel 8.2.

Tabel 8.2 CO₂ taseme ja väljatõmbe õhuvooluhulga mõõtmisel kasutatud seadmed.

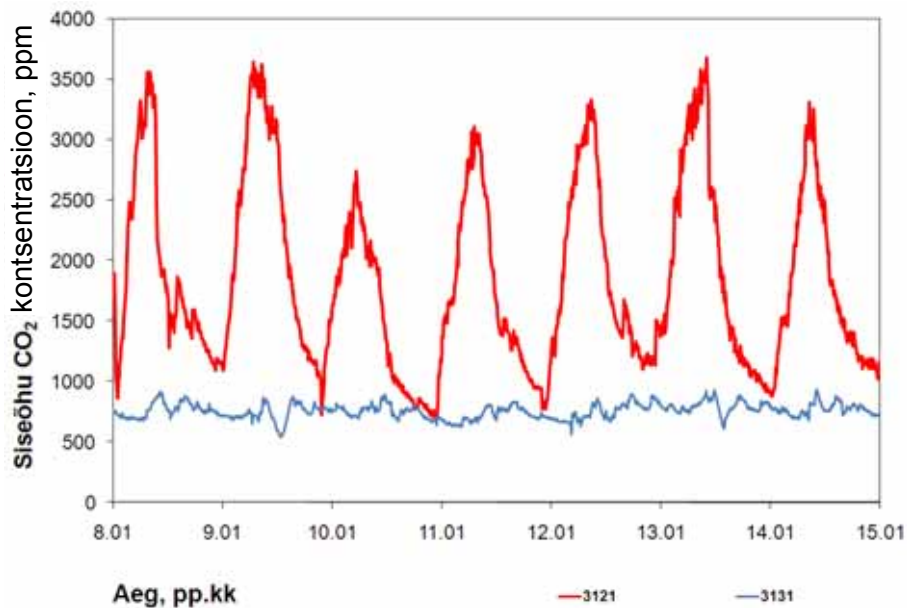
	HOBO U12-006	TelAire 7001	SwemaFlow 230
			
Mõõtepiirkond	0–2,5 V DC (0–4000 ppm)	CO ₂ tase 0 – 10000 ppm	Õhuvooluhulk 0–60 l/s
Mõõtetäpsus	±2 mV või ±2,5% skaala väärtusest	±5% lugemist või 50 ppm (0–5000 ppm)	±3% lugemist või ±1 l/s

Süsihappegaasi mõõtmised toimusid magamistubades, kus viibis öösel 1–4 inimest, sealjuures 90% juhtudest magas toas 1–2 inimest. CO₂ kontsentratsiooni mõõtmised tuleb teostada siseõhu täieliku segunemise tingimustes, seega paigaldati seadmed võimalikult toa keskele 1–1,5 m kõrgusele pörandapinnast.

Siseõhu kvaliteet tellismajade korterites on väga erinev (vt. Joonis 8.3). Siseõhu CO₂ sisaldus sõltub väga erinevatest asjaoludest. Konkreetsete korterite mõõtetulemuste analüüsiks vajaliku teabe saamiseks täideti elanike, uuritava toa ja mõõteperioodil valitsenud sisekliima kohta vastavad ankeedid. Sama küsitluse alusel hinnati ka sisekliimast põhjustatud terviseprobleeme.



Joonis 8.3 Näide CO₂ kontsentratsiooni muutustest ühe ööpäeva jooksul. Tuulutusperioodi ilmestab CO₂ taseme järsk langus. Lisaks on joonisel välja toodud aknaanduri näit akna avatuse kohta.



Joonis 8.4 Näide CO₂ kontsentratsiooni muutuste erinevustest korterites 3121 ja 3131 nädalapikkuse perioodi vältel.

8.1.2 Siseõhu CO₂ sisalduse hindamiskriteeriumid

Vastavalt Eestis eluruumidele esitatavatele nõuetele (VV määrus nr. 38) peab neis olema loomulik või mehaaniline ventilatsioon, mis tagab inimese elutegevuseks vajaliku õhuhulga ja selle ringluse. Sama määruse kohaselt peab õhu liikumise kiirus eluruumis, eluruumi maht ühe inimese kohta, keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisalduse piirkontsentratsioon siseõhus olema tagatud vastavalt Eestis kasutatavatele normidele. Eestis hetkel kehtivatest riiklikest ja rahvusvahelistest standarditest ning tehnilistest aruannetest käsitlevad siseõhu CO₂ sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251:2007) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752). EVS-EN 15251:2007 poolt

määratud CO₂ piirkontsentratsioonid vastavalt sisekliima klassidele (vt Tabel 8.3) on olulised energiaarvutusteks ning nõudluspõhiselt reguleeritavale ventilatsioonile.

Tabel 8.3 Üle välisõhu kontsentratsiooni ja kontsentratsioonil 350 ppm (EVS-EN-15251) esitatud soovituslikud CO₂ sisalduse näited.

Sisekliima klass	CO ₂ kontsentratsioon üle välisõhu taseme, ppm	Siseõhu CO ₂ kontsentratsioon välisõhu tasemel 350 ppm, ppm
I	350	700
II	500	850
III	800	1150
IV	>800	>1150

Korrumajade sisekliima analüüsimisel ei ole Tabel 8.3 väärtuste kasutamine otstarbekas, kuna enamasti on tegu loomuliku ventilatsiooniga ning ei toimu nõudlusepõhist reguleerimist. Samuti tekib EVS-EN 15251:2007 toodud kontsentratsioonide puhul vastuolu samas standardis määratud elu- ja magamistoa õhuvooluhulkadega inimese kohta (vt Tabel 8.7). Taani Tehnikaülikoolis on lahatud nimetatud standardi tagamaid (Olesen 2007) ja toodud vastavate sisekliima klasside õhuvooluhulga ning siseõhu CO₂ sisalduse piirnõrmed. Need normid vastavad ühtlasi ka sisekliima projekteerimiskriteeriumis toodud väärtustele (vt Tabel 8.4). Siit lähtuvalt kasutatakse käesolevas uuringus siseõhu CO₂ sisalduse hindamiseks projekteerimiskriteeriumis CR 1752 toodud piirnõrme, sealjuures on välisõhu CO₂ sisalduseks võetud 350 ppm. Uutes ja olemasolevates eluhoonetes on oluline soojusliku mugavuse klassi B (II) ja C (III) tasemete jälgimine, A (I) klassi piirnõrmed on mõeldud eelkõige kõrge sisekliima kvaliteedi tagamiseks, mida ei ole loomulikku ventilatsiooni kasutavates hoonetes võimalik saavutada. Rahulolematute määrale vastavaid CO₂ kontsentratsioone on võimalik kasutada ka soojusliku mugavuse klasside piirnõrmede määramisel (vt. Tabel 8.4). Sisekliima mittevastavus soovituslikule tasemele võib lisaks inimestele tervisele mõjutada ka ehituse konstruktsiooni- ja viimistlusmaterjale.

Tabel 8.4 Sisekliima klassid ruumidele, kus peamiseks CO₂ tekitajaks on inimene (CR 1752).

Sisekliima klass	Rahulolematute tase elanikest, %	Siseõhu CO ₂ kontsentratsioon välisõhu tasemel 350 ppm, ppm	Siseõhu CO ₂ kontsentratsioon, ppm
A	15	460	810
B	20	660	1010
C	30	1190	1540

Energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251:2007) lubab lühiajalisi kõrvalekaldeid sisekliima parameetrite täitmisel. Soojusliku mugavuse klassidega määratud piirsuursusi on lubatud ületada 3 % või 5 % hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas. Sealjuures tuleb tähele panna, et isegi siis, kui pikemaajalise perioodi jooksul parameetreid üle lubatud kõrvalekalde kasutusajast ei ületata, tuleb neid täita ka päeva ning nädala jooksul.

8.1.3 Ainevahetusliku CO₂ meetod

Vastavalt energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardile (EVS-EN 15251:2007) saab hoonetes, kus peamiseks saasteallikaks on inimesed, ventilatsiooni õhuvooluhulgad (inimese või ühe m² kohta) tuletada, kasutades CO₂ kontsentratsiooni mõõtmisi. Sellest lähtuvalt on käesolevas uuringus õhuvahetust korterites hinnatud mõõdetud CO₂ kontsentratsioonide muutumise järgi magamistubades. Ruumi õhuvahetuse määramiseks on kasutatud ainevahetusliku CO₂ meetodi arvutusvalemit (vt. valem 8.2) (Kõiv 2007):

$$C = C_v + \frac{m}{L} - (C_v + \frac{m}{L} - C_0) \cdot (e^{-\frac{L}{V}\tau}) \quad (8.2)$$

kus

m	CO ₂ toodang ruumis, g/h;
L	õhuvooluhulk ruumis, l/h;
V	ruumi maht, m ³ ;
C_v	CO ₂ tase välisõhus, g/m ³ ;
C	CO ₂ tase ruumis mõõteperioodi lõpus, g/m ³ ;
C_0	CO ₂ tase ruumis mõõteperioodi alguses, g/m ³ ;
τ	aeg, h.

Teades CO₂ taset sise- ja välisõhus, saab valemi 8.2 lahendamisel avaldada õhuvooluhulga ruumis. Välisõhu CO₂ eraldus on võetud 350 ppm. Inimeste CO₂ toodangu on saab leida, summeerides ruumis olevate inimeste CO₂ eraldused. Korrektse õhuvahetuse avaldamiseks on vaja piisava täpsusega teada kõigi ruumis viibijate CO₂ eraldusi.

Meetodi puuduseks on asjaolu, et magamistoa ukse lahtiolekul arvestatakse ka korteris toimuva siseõhu ringluse ja vastava CO₂ kontsentratsioonide hajumisega. Samuti mõjutab CO₂ sisaldust toaõhus aknapiirkondades toimuv in- ja eksfiltratsioon ning tuulerõhust tingitud korterisisene õhu liikumine. Nende mõjutegurite tulemusena võib ainevahetusliku CO₂ meetod näidata tegelikust suuremaid õhuvooluhulkasid.

Inimese CO₂ eraldused ruumi

Kasutades kirjanduses (ASHRAE Handbook 1993) toodud seoseid ainevahetusliku soojuseralduse, kehapindala ja vastava hapnikutarbe vahel, saab avaldada järgneva valemi (8.3):

$$Q_{CO_2} = \frac{0,727 \cdot M \cdot RQ \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725}}{4,83 \cdot RQ + 16,17} \quad (8.3)$$

kus

Q_{CO_2}	inimese CO ₂ eraldused ruumiõhku, l/h;
M	inimese soojuseraldused, W/m ² ;
RQ	väljahingatava CO ₂ ja sissehingatava O ₂ suhe;
m	inimese kaal, kg;
l	inimese pikkus, m.

Süsihappegaasi eraldused ruumidesse sõltuvad eelkõige inimese kehapindalast ja füüsilisest aktiivsusest. Sissehingatava O₂ ja väljahingatava CO₂ suhe on käesolevas uuringus vaadeldavas piirkonnas (0,7–1,2 met) konstantne suurus. Kui konkreetsete katsete tulemusel ei ole määratud teisiti, võib RQ väärtuseks võtta 0,83 (ASHRAE Handboook 1993). Sellisel juhul saadakse CO₂ tulemused ligemale 3% täpsusega, mis on antud kontekstis täiesti piisav. Kasutades valemi 8.1 ja Tabel 8.5 puhkeaja ainevahetuslikke soojuseraldusi, võib leida CO₂ eraldused erineva kehakaalu ja pikkusega inimestele. Näiteks 1,73 m pikkuse ja 70 kg kaaluva mehe CO₂ eraldus magamise ajal on 10,8 l/h ja 33 kg kaaluva ja 1,4 m pikkuse lapsel 5,3 l/h.

Tabel 8.5 Tüüpilised puhkeaja ainevahetuslikud soojuseraldused.

Tegevus	W/m ²	met*
Magamine	40	0,7
Lamamine	45	0,8
Vaikselt istumine	60	1,0
Rahulikult püstiseismine	70	1,2

*1 met = 58 W/m²

Erinevates uuringutes (vt Tabel 8.6) on inimeste süsihappegaasi eraldusi sageli vaadeldud 24 h pikkuse perioodi keskmistena. Sellisel juhul arvestatakse ööpäeva keskmise ainevahetusliku aktiivsusega, mis leitakse kaalutud keskmise meetodil. Samas on mõningates varem tehtud

uuringutes süsihappegaasi eraldused eraldi välja toodud ka magamise ajal. Kuna päevase aja CO₂ eraldused muutuvad väga suurtes piirides, saab süsihappegaasi eralduse kõige täpsemini määrata ööperioodil (Guo 2007). Käesolevas uuringus vaadeldakse süsihappegaasi kontsentratsioonide muutusi magamisperioodi vältel. Ühest küljest on selle põhjuseks eelnevates uuringutes soovitud meetoodika, teisalt aga inimeste kohalolekuprofiilide ja ruumiõhu CO₂ eralduste öine konstantsus.

Tabel 8.6 Ainevahetusliku CO₂ eraldused erinevates uuringutes.

Riik, uuring	Uuringu objekt	Täiskasvanu CO ₂ eraldus, l/h	Lapse CO ₂ eraldus, l/h
USA, Dietz & Goodrich 1995	Koolid ja elamud	19	12
Tai, Leephakpreeda jt 2000	Koolid	16,2	16,2
Iirimaa, Guo and ja Lewis 2007	Elamud	18	18
Rootsi, Pavlovas 2003	Korrumajad	12*	12*
Tšehhi, Jokl 2000	Koolid, bürood, elamud	19 (1–1,2 met)	18 (3–6 a ja 2,7 met) 19 (14–16 ja 1–1,2 met)
Jaapan, Hayashi jt. 2000	Eramajad	15* meestööline; 13,5* naine,	13,5* keskkooli naisõpilane; 15,3* meesõpilane
Eesti, Kalamees jt. 2009	Paneel elamud	17,2	17,2

*ööperioodil

Kuna inimese soojuseraldused muutuvad vastavalt ainevahetusliku aktiivsuse määrale, on otstarbekas kasutada uuringus käsitletava perioodi keskmisi CO₂ eraldusi. Antud juhul on ööperioodi keskmiseks CO₂ eralduseks võetud täiskasvanute puhul 13 l/h ja kuni 14-aastastel lastel 6,5 l/h. Võrreldes neid suurusi varasemates uuringutes kasutatud CO₂ eraldustega, vajab mainimist, et täiskasvanute puhul langevad kasutatud arvud eelnevate uuringutega kokku. Suurem on erinevus laste puhul, kelle CO₂ eraldused on varasemalt võetud sageli täiskasvanutega võrdseteks, kuid antud juhul näitab analüüs ning ka mõningad uuringud (Dietz & Goodrich 1995), et see ei ole otstarbekas. Uuringus kasutatavad CO₂ eraldused on ligilähedased analüütiliselt arvutatud tulemustele. Täpsemate andmete saamiseks on vaja sisse- ja väljahingatava õhu keemilist koostist analüüsida, kuid taoline lähenemine sobib laboritingimuste jaoks aga ole reaalses olukorras teostatav.

Õhuvahetuskordsus

Hindamaks õhuvahetuse suurust erinevate pindalade ja kõrgustega ruumides, on kasutusele võetud õhuvahetuskordsuse mõiste. Õhuvahetuskordus näitab, mitu korda vahetub ruumiõhk 1 tunni jooksul. Selle avaldamiseks saab kasutada valemit 8.4 (Kõiv & Rant 2005).

$$n = \frac{3,6 \cdot L_{inf}}{V} \quad (8.4)$$

kus

n õhuvahetuse kordsus h⁻¹;
 L õhuvooluhulk ruumis, l/s;
 V ruumi maht, m³.

8.1.4 Eluruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid

Ruumide projekteerimisel määratakse õhuvahetus kas vastavate normarvude või ohtlike ainete eraldumise järgi. Elu- ja üldkasutatavates hoonetes võib õhuvahetuse määramisel lähtuda ruumide ventilatsiooni normatiivarvudest (inimese kohta, põrandapinna kohta, õhuvahetuskordsuse järgi). Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251:2007) annab eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulgad vastavalt sisekliima klassile (vt. Tabel 8.7). Ventilatsiooni projekteerimismäär EVS 845-1:2004 soovib magamistoa

õhuvooluhulgaks võtta $0,7 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ või 6 l/s inimese kohta. Rootsis korrusmajades läbi viidud uurimused (Pavlovas 2003 ja Pavlovas 2006) näitavad, et kahe inimese magamistoas piisab õhuvooluhulgast 4 l/s inimese kohta, et CO_2 kontsentratsioon ei tõuseks üle 1200 ppm .

Tabel 8.7 Näited eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulkadest ventilatsioonisüsteemide püsiva töö juures ruumide kasutusaegadel (EVS-EN 15251:2007).

Sisekliima klass	Õhuvahetus elu- ja magamistoas		
	Inimese kohta, l/s	Põrandapinna kohta, $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$	Õhuvahetuskordsus, h^{-1} (ruumi kõrgus $2,5 \text{ m}$)
I	10	1,4	2,0
II	7	1,0	1,4
III	4	0,6	0,9

Ruumide kasutusaaja välisel perioodil võib neis ventilatsiooni õhuvooluhulkasid vähendada. Minimaalseks õhuvooluhulgaks nähakse standardis EVS-EN 15251:2007 loomuliku ventilatsiooniga eluruumide puhul $0,05\text{--}0,1 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$, mis $2,5 \text{ m}$ kõrguse ruumi korral tähendab õhuvahetuskordsust $0,07\text{--}0,15 \text{ h}^{-1}$.

8.1.5 Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid

Hoonete energiatõhususe lähteparametrite määramise standardis (EVS-EN 15251:2007) antakse köögi ja sanitaarruumide kasutusaegsed väljatõmbe õhuvooluhulgad vastavalt sisekliima klassile (vt. Tabel 8.8). Sisepuhkeõhk köökidesse, vannitubadesse ja tualettruumidesse võib olla siirdeõhk magamistubadest ja elutubadest. Ventilatsiooni projekteerimismis EVS 845-1:2004 toodud normatiivarvud on vt. Tabel 8.8.

Tabel 8.8 Näited köögi ja sanitaarruumide õhuvooluhulkadest (EVS-EN 15251:2007 ja EVS 845-1:2004).

Sisekliima klass	Väljatõmbeõhu vooluhulk, l/s					
	Köök		Vannituba		Tualettruum	
	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004
I	28	8*	20	10*	14	7*
II	20	20	15	15	10	10
III	14		10		7	

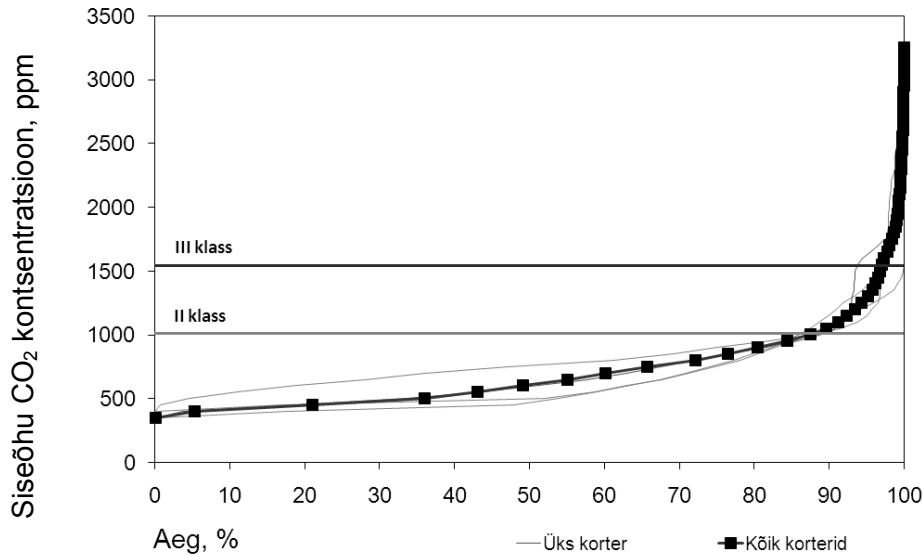
*– väljaspool kasutusaega

8.2 Tulemused

8.2.1 Siseõhu CO_2 sisalduse mõõtmised korterites

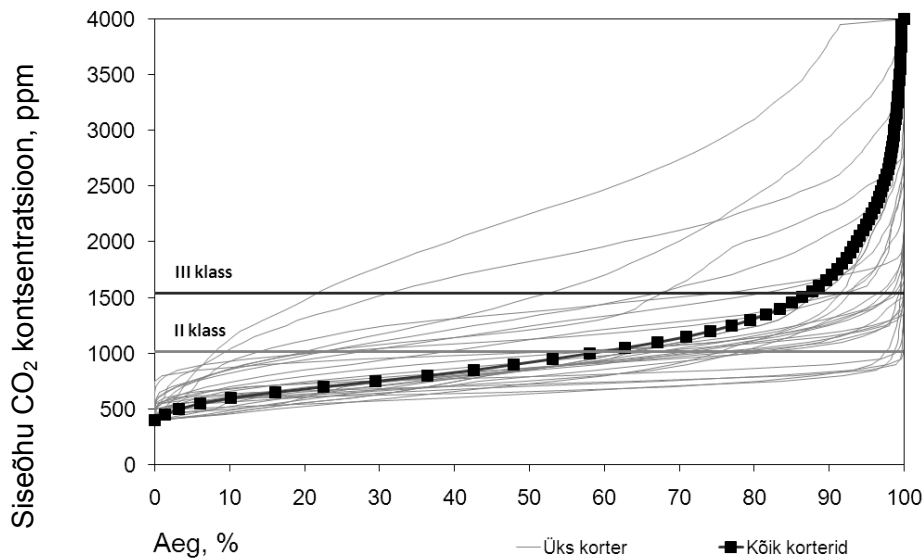
Suveperioodil korterite magamistubades mõõdetud CO_2 kontsentratsioonid jäid vahemikku $341\text{--}3202 \text{ ppm}$. Sisekliima projekteerimiskriteeriumi (CR 1572) kohaselt on soojusliku mugavuse II (B) klassi CO_2 sisalduse piirnorm 1010 ppm ja III (C) klassi piirnorm 1540 ppm (välisõhu CO_2 tasemel 350 ppm). Suveperioodil uuritud korterites vastas siseõhu CO_2 sisaldus II normile 88% ja III normile 97% mõõteperioodi ajast (vt Joonis 8.5). Arvestades, et tegelikult veedavad inimesed kodus vaid ligemale 16 h päevas, vastas CO_2 kontsentratsioon II tasemele 82% ja III tasemele 95% korterite kasutusaegast. Pidades silmas ka seda, et energiatõhususe lähteparametrite määramise standard (EVS-EN 15251:2007) lubab soojusliku mugavuse klassidesse liigitusel piirsuuruste 5% ületamist, vastab suveperioodil nii II kui ka III tasemele 75% mõõdetud korteritest.

Tulemustest võib järeldada, et suvel ei ole seoses laialdase aknatuulutuse kasutusega CO_2 kontsentratsioonide ületamine probleemiks. Mõõtmistulemuste analüüsil selgus, et eelkõige ületatakse suvel piirnormiga määratud tase aktiivse päevase tegevuse tulemusel. Ööperioodi CO_2 tase jäi enamasti C tasemega lubatud piiridesse.



Joonis 8.5 Suveperioodi CO₂ mõõdetulemuste kumulatiivne jaotus.

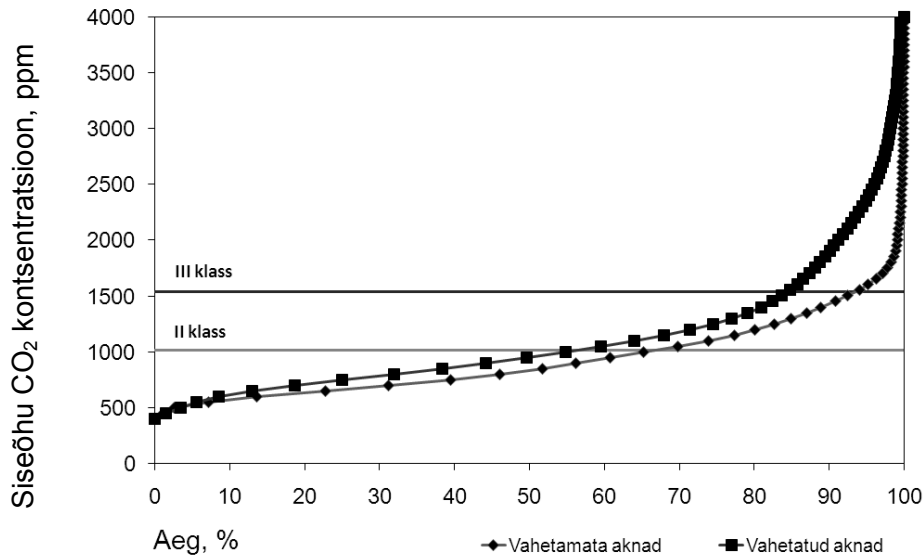
Talveperioodi mõõdetulemused jäid vahemikku 372–4000 ppm. Neljas korteris ületas CO₂ tase lühiajaliselt logeri mõõtepiirkonna ülempiiri. Uuritud korterites vastas siseõhu CO₂ sisaldus II normile 59% ja III normile 87% mõõteperioodi ajast (vt Joonis 8.6). Kuna tegelikult veedavad inimesed kodus vaid ligemale 16 h päevas, vastas CO₂ kontsentratsioon II tasemele 38% ja III tasemele 81% korterite kasutusajast. Arvestades sellega, et energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251:2007) lubab soojusliku mugavuse klassidesse liigitusel piirsuuruste 5% ületamist, vastab talveperioodil II klassile 17% ja III klassile 35% mõõdetud korteritest.



Joonis 8.6 Talveperioodi CO₂ mõõdetulemuste kumulatiivne jaotus.

Hindamaks akende vahetuse mõju ruumiõhu kvaliteedile, on eraldi vaadeldud uute ja vanade akendega korterite siseõhu CO₂ sisaldust (vt Joonis 8.7). Vanade akende puhul vastas CO₂ kontsentratsioon soojusliku mugavuse II klassi piirnормile 66% ja uute akendega korterites 56% mõõteperioodi ajast. III klassi piirnормile vastas CO₂ kontsentratsioon vastavalt vanade akendega korterites 94% ja uute akendega korterites 85%. Arvestades tegelikku korterite kasutuaega (käesolevas uuringus 16 h päevas), vastab siseõhu kvaliteet vanade akende korral II tasemele 49% ja uute puhul 34% kodusoleku ajast. III klassi piirnормile vastas CO₂ tase vanade akendega korterites 91% ja uute akendega korterites 77% mõõteperioodi ajast. 5% lubatud piirnормi ületusega vastab vanade akendega korteritest soojusliku mugavuse II

tasemele 22% ja III tasemele 56% vaadeldud korteritest. Uute akendega korterites vastab II tasemele 15% ja III tasemele 25% korteritest. Siit tulenevalt on akende vahetuse mõju õhu siseõhukvaliteedile ilmne ning selgub, et uute akende panek ilma ventilatsioonisüsteemi renoveerimata halvendab oluliselt korterite õhuvahetust. Olgu lisatud, et vahetamata akende puhul tuulutati ruume tihedamini ja seetõttu on nende mõju siseõhu kvaliteedile veelgi suurem, kui mõõtmistulemused seda näitavad.



Joonis 8.7 Akende vahetuse mõju CO₂ tasemele mõõteperioodi jooksul.

8.2.2 Magamistubade õhuvahetus

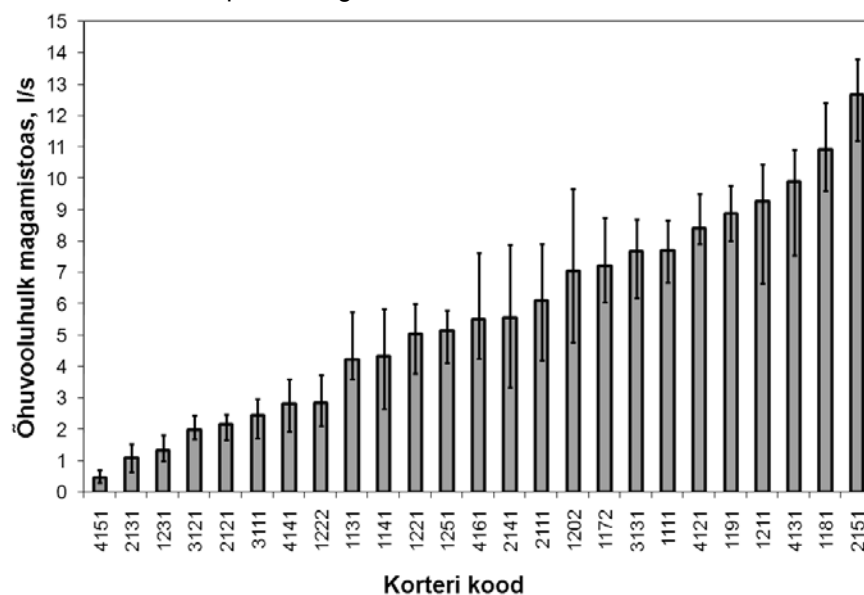
Kasutades valemit 8.2 on leitud iga korteri vaadeldava magamistoa jaoks õhuvoolumuutuse ööperioodil. Kuna loomuliku ventilatsiooni tingimustes võib õhuvoolumuutuse eelkõige seoses tuule ja välistemperatuuri mõjudega muutuda, leitakse see seitsmepäevase perioodi keskmise väärtusena. Lisaks arvutatakse valemi 8.4 alusel magamistubade õhuvahetuskordsused (vt. Tabel 8.9).

Olgu mainitud, et töepäraste tulemuste saamiseks tuleb võimalikult täpselt teada elanike kohalolekuprofiile ja CO₂ eraldust. Vaadeldavatesse seitsmepäevalistesse perioodidesse on valitud vaid mõõteperioodi iseloomustavate päevade CO₂ kontsentratsioonide muudused. Kõrvalekalded ja erisused on elimineeritud. Siiski selgub, et magamistubade õhuvahetus sõltub mõningal määral ilmastikuoludest ja võib seetõttu ööpäeva või veelgi lühema perioodi vältel muutuda. Seetõttu on iga ainevahetusliku CO₂ meetodiga arvatud keskmise magamistoa õhuvoolumuutuse juurde toodud ka käesolevas uuringus vaadeldud mõõteperioodi õhuvahetuse varieerumise vahemik (vt Joonis 8.8). Ööpäevade lõikes erinesid õhuvoolumuutused arvatud keskmisest 6–70 %. Kõigi uuritud magamistubade keskmine õhuvahetuse varieeruvus oli 29%.

Tabel 8.9 CO₂ mõõtetulemuste põhjal arvatud magamistubade õhuvahetuskordsused.

Kood	Korruse- lisus	Korrus	Akna- tüüp	Ventilat- sioon*	Värske- õhu- klapid	Ukse avatus	Inimeste arv	Magamistoa õhuvahetuskordsus, 1/h
4151	5	5	uus	lv+kubu	Ei	lahti	1	0,09
2131	4	2	uus	lv	Ei	kinni	1	0,14
2121	4	3	uus	lv+kubu	Ei	kinni	1	0,17
3121	5	4	uus	lv	Ei	kinni	2	0,21
3111	3	2	uus	lv+kubu	Ei	lahti	4	0,23
1231	5	4	uus	lv	Ei	lahti	1	0,24
1222	3	2	vana	lv+kubu	Ei	lahti	1	0,31
4141	5	4	uus	lv	Ei	lahti	2	0,33
1251	5	3	uus	lv	Ei	lahti	1	0,40
1141	5	5	uus	lv	Ei	lahti	1	0,48
1221	3	3	uus	meh+kubu	Ei	lahti	2	0,51
1131	5	1	uus	lv+kubu	Ei	kinni	1	0,55
3131	5	5	uus	lv	Ei	lahti	1	0,60
4161	5	4	vana	lv+kubu	Ei	lahti	2	0,64
2141	5	4	vana	lv	Ei	kinni	2	0,67
2111	5	5	vana	lv	Ei	lahti	2	0,73
4131	5	5	uus	lv	Ei	lahti	2	0,74
1211	9	9	vana	lv+kubu	Ei	lahti	1	0,85
1111	5	1	uus	lv	Jah	lahti	1	1,01
1202	5	5	uus	lv+kubu	Ei	lahti	2	1,01
4121	5	2	uus	lv	Ei	lahti	1	1,11
1172	9	2	vana	lv+kubu	Ei	lahti	2	1,15
1191	5	5	uus	lv+kubu	Jah	lahti	3	1,18
2151	9	3	vana	lv+kubu	Ei	lahti	1	1,34
1181	9	5	vana	lv	Ei	lahti	2	1,47

*lv – loomulik ventilatsioon; lv+kubu – loomulik ventilatsioon koos pliidikubuga; meh+kubu – pidevalt töötav väljatõmbeventilaator koos pliidikubuga.

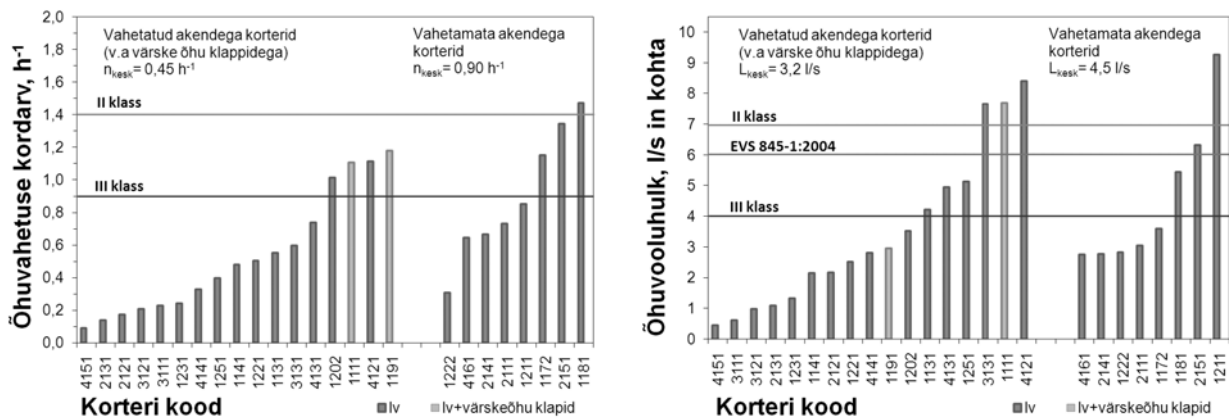


Joonis 8.8 Magamistubade keskmised õhuvooluhulgad ja nende mõõteperioodiaegne muutus.

Kuna mõõtmistes osalenud magamistubade mõõtmised erinevad, saab neid kõige paremini võrrelda õhuvahetuskordsuse (vt Joonis 8.9 vasakul) või õhuvahetuse järgi ühe elaniku kohta (vt Joonis 8.9 paremal). Õhuvahetuskordsuse järgi vastab standardi EVS-EN 15251:2007 soojusliku mugavuse II klassile 4 % ja III klassile 28 % uuringus osalenud magamistubadest. Õhuvahetuse järgi ühe elaniku kohta vastab sama standardi II klassile 16 % ja III klassile 36 % magamistubadest. Ventilatsiooni projekteerimise normi EVS 845-1:2004 järgi vastab õhuvooluhulga piirväärtusele inimese kohta 20 % magamistubadest.

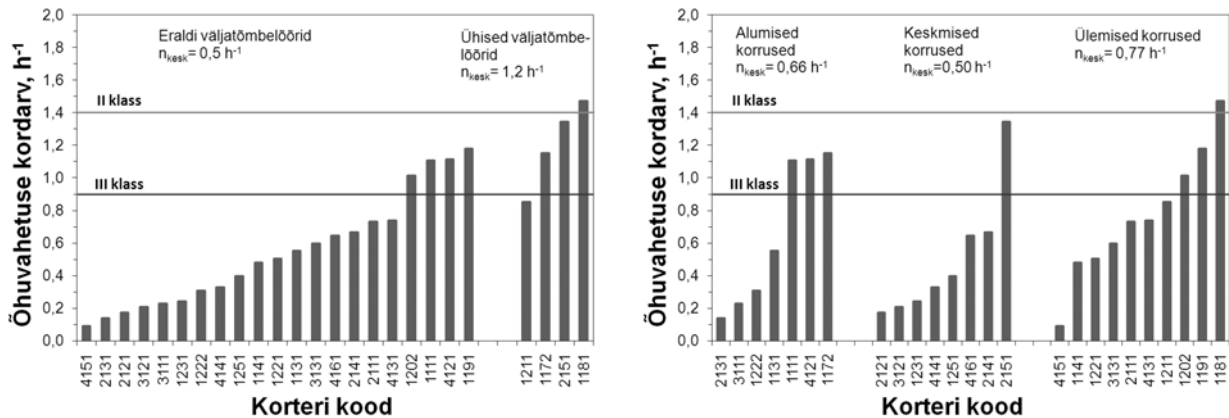
Joonis 8.8 väljendab uuringus vaadeldud magamistubades ligemale 27-kordset õhuvahetuse erinevust. Sellise erinevuse põhjused peavad peituma hoonete tehnilise seisukorras või elanike käitumismallides. Joonis 8.9 toob välja akende vahetuse mõju õhuvahetusele. Vahetatud akendega korterite keskmine õhuvahetuskordsus on $0,45 \text{ h}^{-1}$ ja keskmine õhuvooluhulk inimese kohta $3,2 \text{ l/s}$. Vahetamata akendega korterites on samad näitajad $0,9 \text{ h}^{-1}$ ja $4,5 \text{ l/s}$. Sealjuures tuleb mainida, et vahetatud akendega korterite keskmine leidmisel ei ole arvestatud korteritega, millele on paigaldatud värske õhu klapiid.

Poolas läbiviidud 5-korruselise telliselamu õhuvahetuse uuringus (Baranovski 2005) leiti, et loomuliku ventilatsiooni tingimustes võivad õhuvahetuskordsused kevadperioodil olenevalt välistemperatuuri ja tuuleoludest varieeruda vahemikus $0,6 \text{ h}^{-1}$ kuni $1,2 \text{ h}^{-1}$. Ühelt poolt kinnitab see käesolevaski uuringus ilmnenud loomuliku ventilatsiooni muutlikkust, teiselt poolt aga tõestab, et mõningates korterites on loomuliku ventilatsioonisüsteemi korralikul toimimisel või piirete suure õhulekke juures võimalik soovituslik õhuvahetus tagada.



Joonis 8.9 Korterite magamistubade õhuvahetuskordsuse (vasakul) ja õhuvooluhulga inimese kohta (paremal) vastavus hindamiskriteeriumitele erinevat tüüpi akende korral.

Vaadeldavate tellismajade ventilatsioonisüsteem on kas eraldi kanalitega või peakanaliga, kuhu on ühendatud korterite väljatõmbelõõrid. Peakanaliga süsteemid on reeglina 9-korruselistel majadel, mille ventilatsioonikorsten on 5-korruseliste omast kõrgem, mis tagab suurema õhuvahetuse. Ühiskanaliga süsteemi paremust kinnitavad ka leitud õhuvahetuskordsused (vt Joonis 8.10 vasakul). Eraldi väljatõmbelõõride puhul on uuritud magamistubade keskmine õhuvahetuskordsus $0,5 \text{ h}^{-1}$, samal ajal kui vastav peakanaliga süsteemi kordarv on $1,2 \text{ h}^{-1}$. Varasemad Eestis teostatud paneelmajade uuringud (Kõiv & Loigu 2008 ja Kalamees jt 2009) on näidanud, et kõige suuremaid probleeme on korterelamute õhuvahetusega just ülemistel korrustel. Käesolevas uuringus saadud tellismajade õhuvahetuse tulemused seda väidet ei kinnita (Joonis 8.10 paremal). Selgub, et kõige halvemas seisukorras on keskmiste korruste korterid. Vastav õhuvahetuskordsus alumiste korruste korterites on $0,66 \text{ h}^{-1}$, keskmiste korruste korterites $0,5 \text{ h}^{-1}$ ja ülemiste korruste korterites $0,77 \text{ h}^{-1}$.



Joonis 8.10 Ventilatsioonisüsteemi tüübi (vasakul) ja korteri korruse (paremal) mõju õhuvahetusele.

8.2.3 Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetus

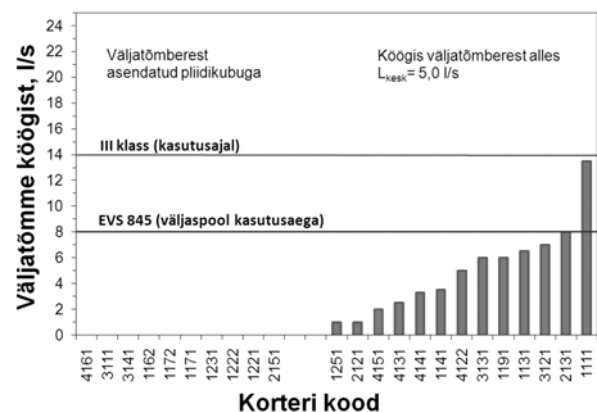
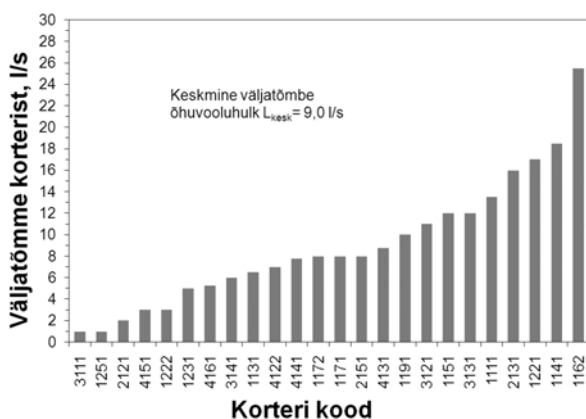
Tellismajade ventilatsioonisüsteemi dimensioneerimisel on arvestuslikuks välistemperatuuriks võetud $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Käesolevas uuringus teostatud õhuvooluhulga mõõtmised sooritati temperatuurivahemikus $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tuule kiirusel $0\text{--}8 \text{ m/s}$. Madalamatel välistemperatuuridel muutub sise- ja välisõhu tiheduste vahe suuremaks ja loomuliku ventilatsiooni väljatõmberõhk kasvab. Sellest lähtuvalt saab mõõdistatud õhuvooluhulki võrrelda standardites ja normides toodud lähtesuurustega. Ilmastikumõjude vähendamiseks tehti mõningates korterites kordusmõõtmised ja toodud väljatõmbeõhu vooluhulgad on mõõtmistulemuste keskväärtused. Õhuvooluhulga mõõtmistulemusi vt Tabel 8.10. Mõningates korterites ei olnud sanitaarruumide õhuhulga mõõtmisi võimalik läbi viia, kuna väljatõmbe lõppelemendid olid kaetud ripplaega, halvematel juhtudel õhku mitteläbilaskva laega. Samuti olid paljud korteriomanikud köögi väljatõmberesti asemele ühendanud kubu. Kubu õhuvoolutakistus on liiga suur, mis muudab õhuvahetuse väljaspool kubu tööaega praktiliselt olematuks. Kubu tuleks juhtida otse õue ja jätta köögi väljatõmbelõõr avatuks.

Nagu näitas ka erinevate tellismajade magamistubade õhuvahetuse määra suur erinevus (vt. Joonis 8.8), on ka terve korteri väljatõmbe õhuvooluhulgad eri hoonetes väga erinevad (vt. Joonis 8.11 vasakul). Mõõtmiste keskmine väljatõmbe õhuhulk on $9,0 \text{ l/s}$. Köökides, kus väljatõmbereste suletud ei olnud, oli keskmine väljatõmme $5,0 \text{ l/s}$ (vt. Joonis 8.11 paremal). Ventilatsiooni projekteerimismõõtmisnormis EVS 845-1:2004 toodud kasutusaja välisele piirtasemele 8 l/s vastas kõigist mõõtmisel osalenud korteritest 8% . Ainult loomulikku ventilatsiooni kasutades ei vastanud kasutusaja tasemele (vastavalt standardile EVS-EN 15251:2007 on III klassi tase 14 l/s) ükski korter. Pliidikubudega korterites kasutusaja III klassi taseme täitmisega üldjuhul probleeme ei teki.

Tabel 8.10 Köögi ja sanitaarruumide väljatõmbe õhuhulga mõõtmised.

Korteri kood	Korruse-lisus	Korrus	Köögikubu olemasolu	Ventilat-sioon	Köök, l/s	Vannituba, l/s	WC, l/s	Väljatõmme, l/s
1111	5	1	Ei	lv	13,5	0*		13,5
1131	5	1	Jah	lv	6,5	0*		6,5
1141	5	5	Ei	lv	3,5	10,5	4,5	18,5
1151	9	7	Jah	lv	-	-	12	12
1162	9	5	Jah	lv	-	14	11,5	25,5
1171	9	6	Jah	lv	0	7	1	8
1172	9	2	Jah	lv	-	3,5	4,5	8
1191	5	5	Jah	lv	6	4*		10
1221	3	3	Jah	meh	-	17*		17
1222	3	2	Jah	lv	-	3*		3
1231	5	4	Jah	lv	-	5	-	5
1251	5	3	Ei	lv	1	0*		1
2121	4	3	Jah	lv	1	1	0	2
2131	5	2	Ei	lv	8	-	8	16
2151	5	3	Jah	lv	-	8	0	8
3111	3	2	Jah	lv	-	-	1	1
3121	5	4	Ei	lv	7	-	4	11
3131	5	5	Ei	lv	6	3	3	12
3141	5	4	Jah	lv	-	3	3	6
4122	5	2	Ei	lv	5	2*		7,0
4131	5	5	Ei	lv	2,5	3,3	3	8,8
4141	5	4	Ei	lv	3,3	4,5*		7,8
4151	5	5	Jah	lv	2	-	1	3,0
4161	5	4	Jah	lv	-	2,3	3	5,3

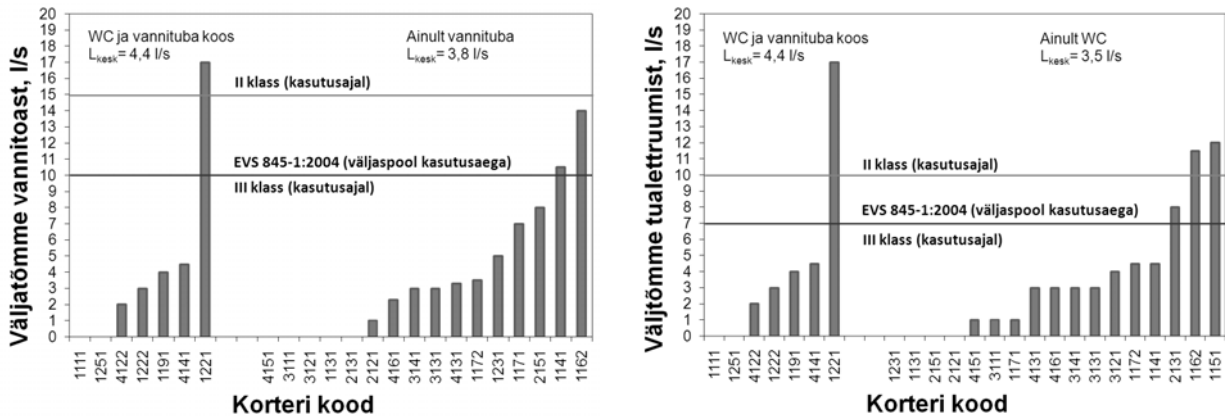
*WC ja vannituba on kokku ehitatud.



Joonis 8.11 Väljatõmbe õhuvooluhulgad kogu korterist (paremal) ja köögist (vasakul).

Korterites, kus sanitaarruumid (vannituba ja WC) on kokku ehitatud, on mõõtmiste keskmiseks õhuvooluhulgaks 4,4 l/s (vt Joonis 8.12). Vannitoa keskmine väljatõmbe õhuhulk on 3,8 l/s (Joonis 8.12 vasakul) ja tualettruumil 5,3 l/s (Joonis 8.12 paremal). EVS-EN 15251:2007 II klassi tasemele vastab 4 % vannitubadest ja 8 % tualettruumidest. III tasemele vastab nii 13 % vannitubadest kui ka tualettruumidest. Olukorra teeb halvaks asjaolu, et mõningates korterites on väljatõmberestid suletud või õhulõõrid ummistunud ning seal sanitaarruumidest väljatõmme praktiliselt puudub. Väljatõmbeventilaatoritega varustatud ruumides on üldjuhul kasutusaaja III

taseme saavutamise tagatud, kuid mõõtmiste käigus selgus, et mõningates korterites on ventilaatorid alahinnatud või ummistunud.



Joonis 8.12 Väljatõmbe õhuvooluhulgad vannitoast (vasakul) ja tualettruumist (paremal).

AINULT LOOMULIKU VENTILATSIOONIGA EI OLE VÕIMALIK TAGADA VANEMATES TELLISKORTERELAMUTES PIISAVAT ÕHUAHETUST!

9 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline uurimine

Hoone tehniline seisund ja sisekliima on omavahel tihedalt seotud, kuid täpseid seoseid pole veel kindlaks tehtud. Põhjuseid on palju, näiteks:

- hoone projekteerimise aluseks võetud ümbritseva keskkonna tingimused erinevad eksploatatsiooni tingimustest (pinnases sisalduva vee hulk ja liikumine, hoonet ümbritsevate teiste hoonete juurdeehitamine või eemaldamine jm.);
- ehitamiseks kasutatud materjalide niiskus- ja soojusjuhtivuse ning mahtuvuse parameetrid ei vasta hoone kasutamisel tekkinud niiskuse ja soojuse hulkadele ning liikumisele;
- ebapiisav õhu liikumine ja vahetus, intensiivsuse muutused;
- hoone vananemisest tingitud muutused kasutatud materjalide omadustes;
- ebakvaliteetne ehitustehnoloogia ja kasutatud materjalid;
- ehitamiseks kasutatud materjalide omaduste mittetundmine;
- suured erinevused projekteeritud ja tegeliku kasutuse vahel;
- teostatud fassaadi remonttööd, mis on muutnud niiskuse ja soojuse režiimi (akende vahetamine, muud fassaaditööd);
- hoone katuse konstruktsiooni omapärad ja remondi käigus tehtud muudatused;
- küttesüsteemide efektiivsuse erinevused erinevatel korrustel;
- korterite elanike omaalgatuslikud sisetööd, mis on muutnud õhu liikumise, soojuse ning niiskuse tasakaalu (eriti tubade kasutuse muutmine);
- jne.

Seetõttu tehti käesolevas uuringus koos hoone tehnilise seisundi kindlaksmääramisega ka ehitusmaterjalidel kasvada võivate ning õhus lendlevate seenorganismide uuring.

Kõige tavalisemad niiskuskahjustustega hoonetes esinevad mikroorganismid (nn niiskuskahjustuste indikaatorid) on:

- Kõrget õhuniiskust vajavad:
 - o *Aspergillus fumigatus*,
 - o *Exophiala*,
 - o *Phialophora*,
 - o *Trichoderma*,
 - o *Ulocladium*,
 - o *Stachybotrys*,
 - o *Fusarium*,
 - o Kiirikseened,
 - o Pärmiseened (eriti *Rhodotorula*),
 - o Gramm-negatiivsed bakterid (eriti *Pseudomonas*).
- Keskmiselt õhuniiskust vajavad:
 - o *Aspergillus versicolor*.
- Vähese õhuniiskusega lepivad:
 - o *Aspergillus versicolor*,
 - o *Eurotium*,
 - o *Penicillium* (eriti *P.chrysogenum*, *P.aurantiogriseum*),
 - o *Wallemia*.

Ruumiõhk sisaldab kodutolmuna hulga bioloogilist materjali, mille allikaks võivad olla loomad (närilised, koduloomad, linnud, lülijalgseid), taimed (sh õietolm), mikroorganismid jm. Inimeste tegevus (koristamine, liikumine) võib ruumides õhku paisata pindadel oleva tolmu ja seal leiduvad allergeenid. Allergeenide sissehingamine võib allergikutel vallandada ägedaid ja raskeid astmahooge. Pidev kokkupuude kodutolmus leiduvate allergeenidega võib põhjustada allergilisi reaktsioone ka täiesti tervetel inimestel. Mikroorganismid (bakterid, viirused, hallitusseened) levivad ruumides, kus on palju orgaanilist materjali (taimed, puit, toiduained, seinakattematerjalid).

Mikroorganismide paljunemist soodustab soe ja niiske elukeskkond, mis tuleneb nii ehitusvigadest kui ka volest õhurežiimist. Mikroorganismide allikaks on ka välisõhk, eriti suvel ja sügisel. Mikroorganismide sisaldus ruumiõhus põhjustab nii hästi diagnoositavaid haigusi, sh infektsioone kui ka ebamääraseid sümptomeid. Levinuimad sümptomid on allergiline nohu, limaskestade ärritus (punetus, sügelus, kuivus), köha ja hingeldamine. Tervisehäireid põhjustavad nii mikroorganismid ise kui ka nende ainevahetuse käigus tekkivad toksiidid [Ene Indermitte].

9.1 Materjalide pinnalt võetud proovide analüüsimine

Ehituskonstruksioonide pindadel, materjalides ja ruumiõhus leidub alati mikroorganisme. Steriilset keskkonda ei eksisteeri, kui jätta mõningad eriruumid arvestamata. Teatud mikroorganismide ilmumine pindadele ja materjalidesse on aga spetsialistidele sõnum niiskus- ja hallituskahjustusest ning sellega kaasnevast terviseriskist.

Hallitusseente perekondlikku kuuluvust määrati kleeplindiproovidest, mis võeti materjalide pinnalt, kus visuaalselt oli tuvastatav materjali pinna värvuse muutumine. Antud uuringu käigus esines kõige suurema sagedusega *Cladosporium* perekonna seeni, mis kuuluvad Eestis esinevate tavaliste õhusaaste seente hulka. Soodsates tingimustel võivad nad siseruumides massiliselt paljuneda ning olla diskomforti põhjustajateks alates kergetest silmade ja hingamisteede ärritustest kuni astma tekkimiseni.

Cladosporium spp. perekonna seeni võib iseloomustada järgmiselt:

- Levik: kõikjal, kosmopoliit, ca 28–40 liiki, üks kõige rohkem levinumaid hallitusseeni.
- Kasvupind: erinevatel substraatidel: pinnas, taimelehed, lagunev orgaaniline aine ning toiduained.
- Levimise moodus: kuivad eosed, kergelt eralduvad. Levivad tuulega.
- Allergeen: I tüüpi allergia – heinapalavik, nohu, astma.
- III tüüpi allergia – ülitundlikkus (nn. ülitundlikkus hallitanud hoone seinte suhtes). Mõjub ärritavalt silmadele ja hingamisteedele.
- Patogeensus: üldjuhul ei ole.
- Toksilisus: kladosporiin, emodiin (keskmiselt toksilised).
- Kasv sisetingimustes: väga erinevate materjalide peal – tekstiil, puit, aknapaale, kivimaterjalid. Kasv algab juba 0 °C juures. Maksimaalne kasv 25 °C juures. Kasv peatub üle 35 °C. Optimaalne niiskusetarve – 80% õhu relatiivset niiskust.

Teised hallitusseente perekonnad olid uuritud proovides väikese sagedusega (Tabel 9.1).

Tabel 9.1 Hallitusseente perekondade esinemise sagedus materjaliproovides.

Leid	Sagedus
<i>Cladosporium</i> spp.	11
<i>Aspergillus</i> spp.	3
<i>Phoma</i> spp.	1
<i>Geomyces</i> spp.	1
<i>Paecilomyces</i> spp.	1
<i>Phialophora</i> spp.	1
<i>Fusarium</i> spp.	1
ID-ta mütseel ja eosed	2
tolm	1
mustus, bakterid	1
vetikas	1
Kokku	24

Cladosporiumi hallitusseene esinemine ei olnud otseselt seotud suhtelise õhuniiskuse tasemega korterites. Võrreldes suurpaneelalamutega leiti sama tüüpi ja sagedusega hallitusseeni.

9.2 Õhuproovide analüüs

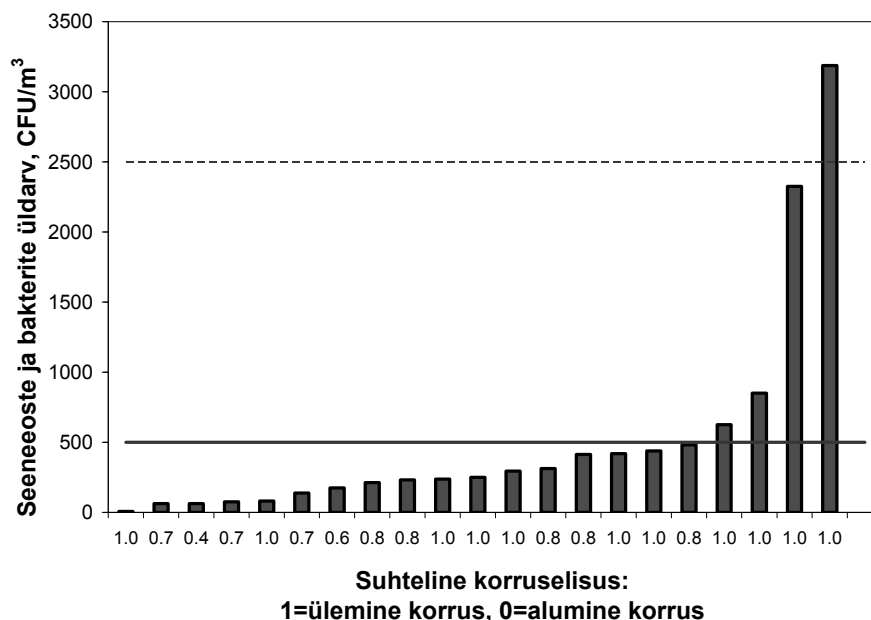
Tihti ei ole seenkahjustused ruumis silmaga nähtavad, vaid need peituvad põranda all ning seinte ja lagede taga. Hallitussente eosed ja nende poolt produtseeritavad mükotoksiinid lenduvad õhku ning nende osakeste väikese suuruse tõttu satuvad nad inimeste hingamisteedesse ja limaskestadele, põhjustades tervisekaebusi (Indermitte 2008).

Valitud korterites (21) tehti õhus leiduvate seente ja bakterite arvu analüüs. Õhuproove võeti seadmega Biotest HYCON Airsampler RCS. Kasutati Y ja F söötmeribasid, proovi kogumise aeg oli 4 min, inkubeerimise aeg 8 päeva 21 °C juures. Pärast söötmeribade inkubeerimist loendati kolooniate arv ja arvutati pesa moodustavad ühikud (PMÜ/CFU). Hallitussente liike ei identifitseeritud. Proovide võtmise aeg langes vahemikku jaanuar – märts 2009.

Eestis puuduvad numbrilised piirnormid sisekeskkonnas olevate hallitussente kohta ja kasutatakse Soome Töötervishoiu Instituudi soovituslikke piirnorme (Husman jt. 2002) hallitussentidele sisekeskkonna õhus:

- talveperioodil kuni 10–500 PMÜ(CFU)/m³;
- soojal aastajal 10–2500 PMÜ(CFU)/m³.

Õhu hallituseoste sisalduse mõõtetulemused vt. Joonis 9.1.



Joonis 9.1 Seeneoste ja bakterite üldarv telliselamute õhus.

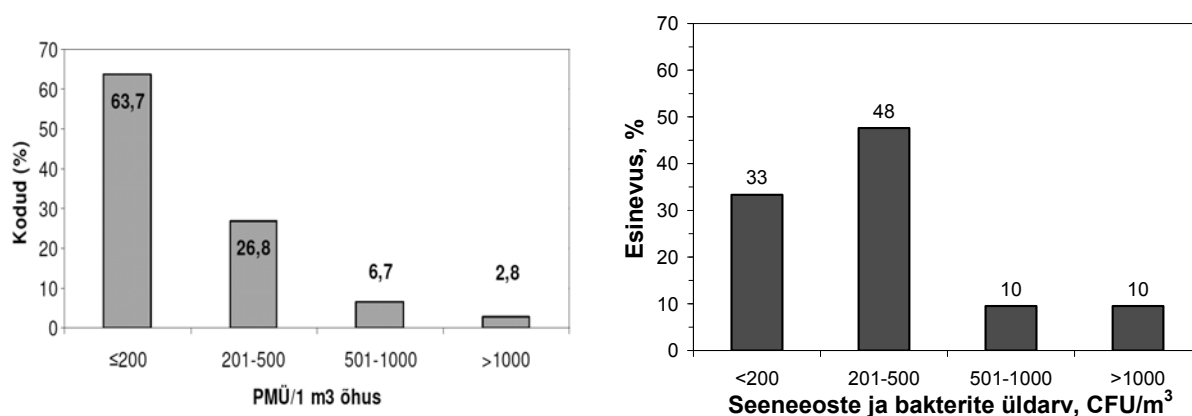
Valdavalt on probleemsemad korterid hoone ülemistel korrustel (väiksem õhuvahetus loomuliku ventilatsiooni korral, seina ja katuslae külmasild). Probleemsetes korterites oli kõrgem niiskuskooormus: keskmine niiskuskulisa vastavalt 5 g/m³ (>500 PMÜ/m³) ja 4 g/m³ (<500 PMÜ/m³). Nähtava hallitus- ja niiskuskahjustusega ning hallitus- ja niiskuskahjustuseta korterite õhu hallitusseneoste ja bakterite sisaldus ei erinenud statistiliselt oluliselt. Seetõttu ei saa ainult õhu mõõtmise alusel öelda, kas korteris on hallitus- ja niiskuseprobleeme või mitte. Samas esineb kõrge mikroosakeste näiduga korterites aga silmaga tuvastatavat mikroorganismide kasvu seinte materjalidel ning laenurkades. See viitab niiskuseprobleemidele, mis on seotud rohkem hoone piiretega ning ei ole seoses siseõhu parameetritega.

Võrreldes suurpaneelramutega oli keskmine mikroorganismide arv telliskorterelamute õhuproovides väiksem. Selle peamiseks põhjuseks on telliskorterelamute välispiiretes olevad (suurpaneelkorterelamute omadest) mõnevõrra väiksemad külmasillad.

Materjalide pinnalt võetud proovide ja õhuproovide analüüsi tulemusena võib järeldada, et suurpaneelramute ja telliselamute niiskuseprobleemid on küllalt sarnased ning seotud nii hoone välispiirete omaduste ja seisukorraga kui ka korteris valitseva sisekliimaga. Uue nähtusena

esineb rohkem hallitusprobleeme soojustatud telliselamute ülemistel korrusel, kus oli tegemata ventilatsiooni renoveerimine.

Eestis puuduvad laiaulatuslikumad ruumide siseõhu uuringud, mis võimaldaksid saada taustaandmeid Eesti erinevates hoonetüüpides esinevate hallitusseente nn. tavalaseme kohta. Kõige ulatuslikum uuring on senini tehtud Tartu Ülikooli tervishoiu instituudis rahvusvahelise uuringu ECRHS (European Community Respiratory Health Survey) raames, mille käigus uuriti kodude sisekliima erinevaid parameetreid 200 Eesti kodus. Uuring viidi läbi 2001-2002 a ning hallitusseente koguhulk ruumiõhus määrati 179 kodus (Indermitte 2008). Võrreldes eeltoodud uuringu tulemusi (vt. Joonis 9.2 vasakul) telliskorterelamutes tehtud mõõtmistulemustega (vt. Joonis 9.2 paremal) ruumiõhus olevate seeneeoste kohta, on näha, et vanemate telliskorterelamute siseõhk on hallituseoste ja bakteritega rohkem küllastunud, kui Eesti kodud üldiselt.



Joonis 9.2 Hallitusseente esinemine kodude ruumiõhus ECRHS uuringus (vasakul) ja telliskorterelamutes (paremal).

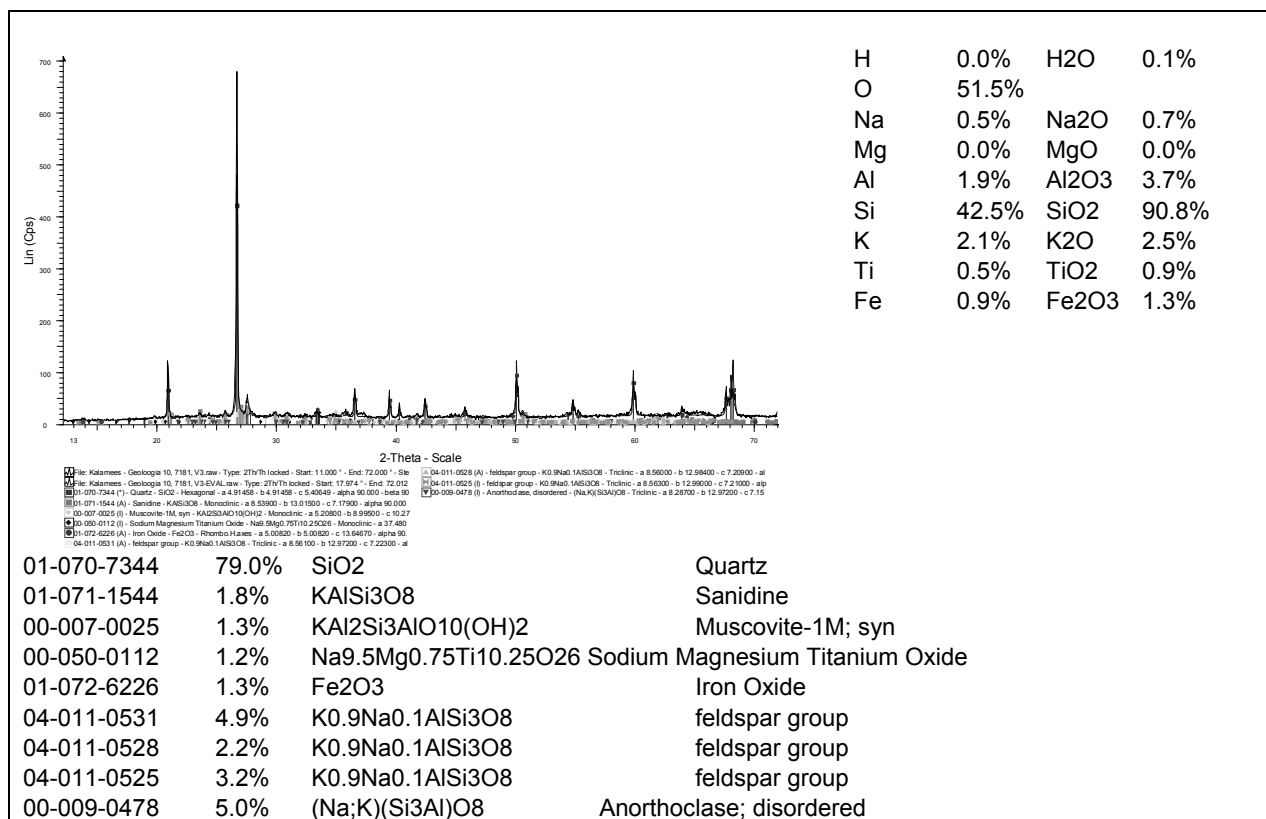
9.3 Veega liikuvate soolade analüüs tellistes

Kivimüürides võib esineda mitmeid vees lahustunud või hüdratiseerunud soolaid, mis vee väljaauramisel kristalluvad enamasti kas valge, kollase või mõnd muud värvi pulbrina kivi-materjalide pinnal. Peamised soolad, mis veega müürides liiguvad on järgmised: NaCl, NaNO₃, Na₂SO₄, Na₂CO₃, CaSO₄, CuSO₄, Ca(OH)₂, (CaCO₃), MgSO₄. Päritolult võivad need olla seotud mõrdi materjaliga, õhusaastega (sh. meresoolaga) või pinnases olevate veega liikuvate sooladega.

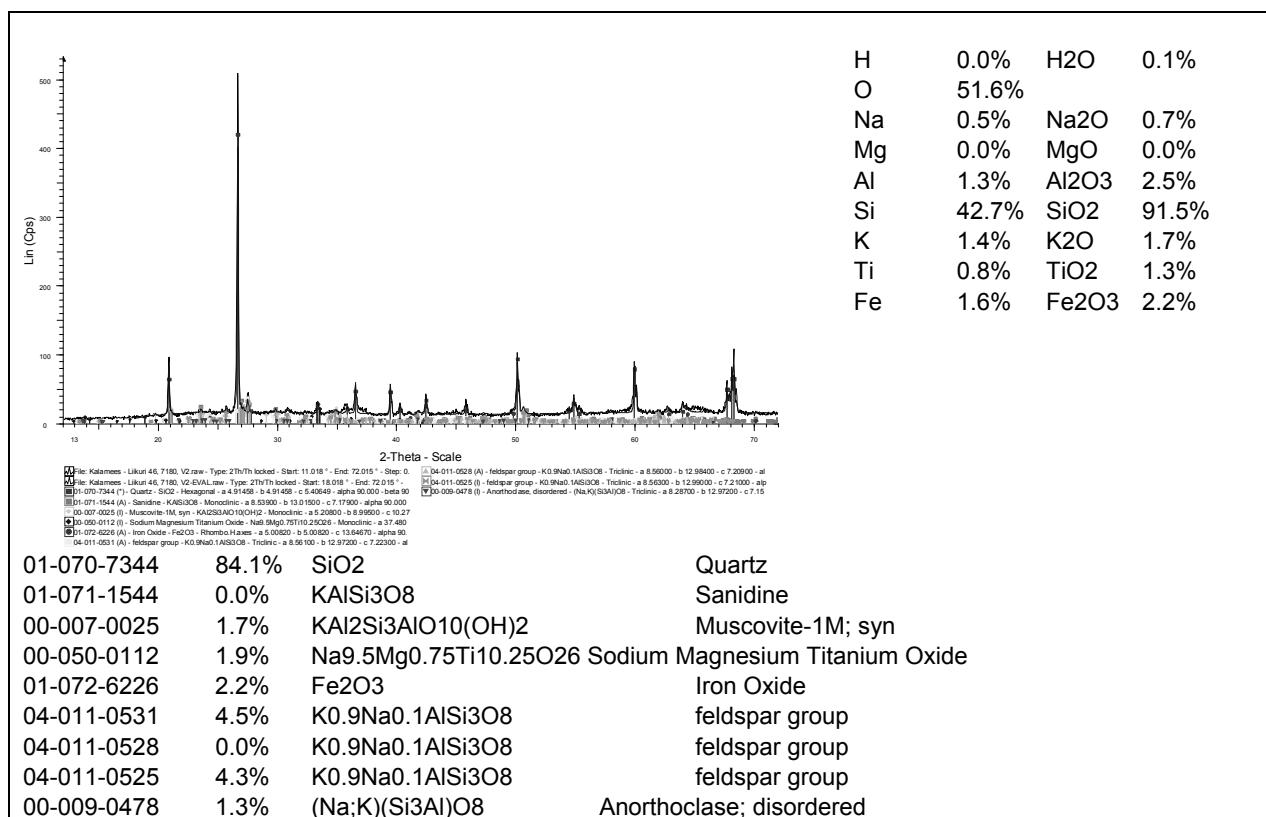
Kindla skeemi järgi võetud telliseproove uuriti röntgendifraktsiooni meetodil seadmega BRUKER AXS D5005.

Üldjuhul tellistes veega liikuvaid sooli ei avastatud. Vaid ühes proovis oli väga vähesel määral NaCl.

Alljärgnevalt on toodud uuritud proovide röntgenspektrid ning nende põhjal arvutatud koostised.

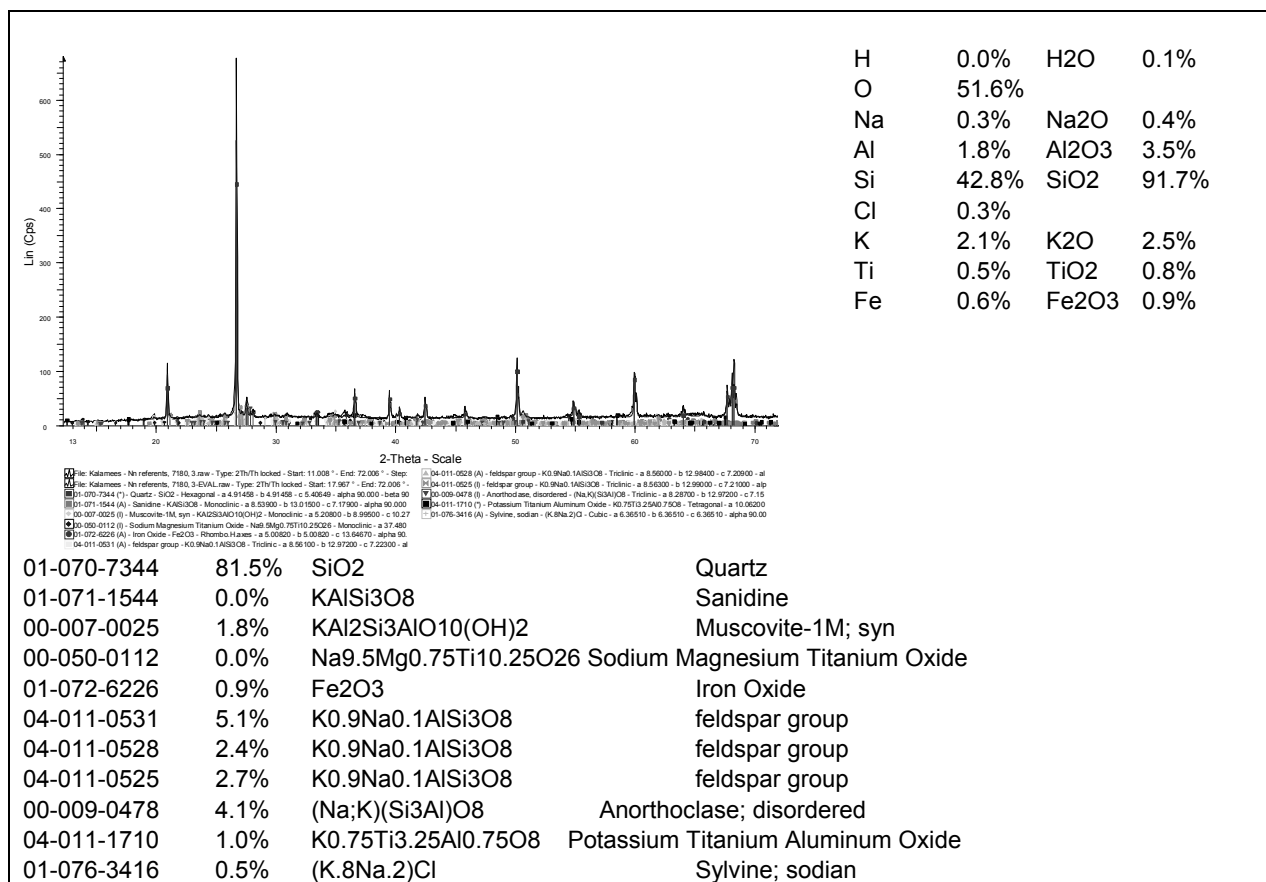


Joonis 9.3 Hoone 2150 fassaaditelliste röntgenspektrid ning nende põhjal arvutatud koostised (7181, V3-EVAL.raw).

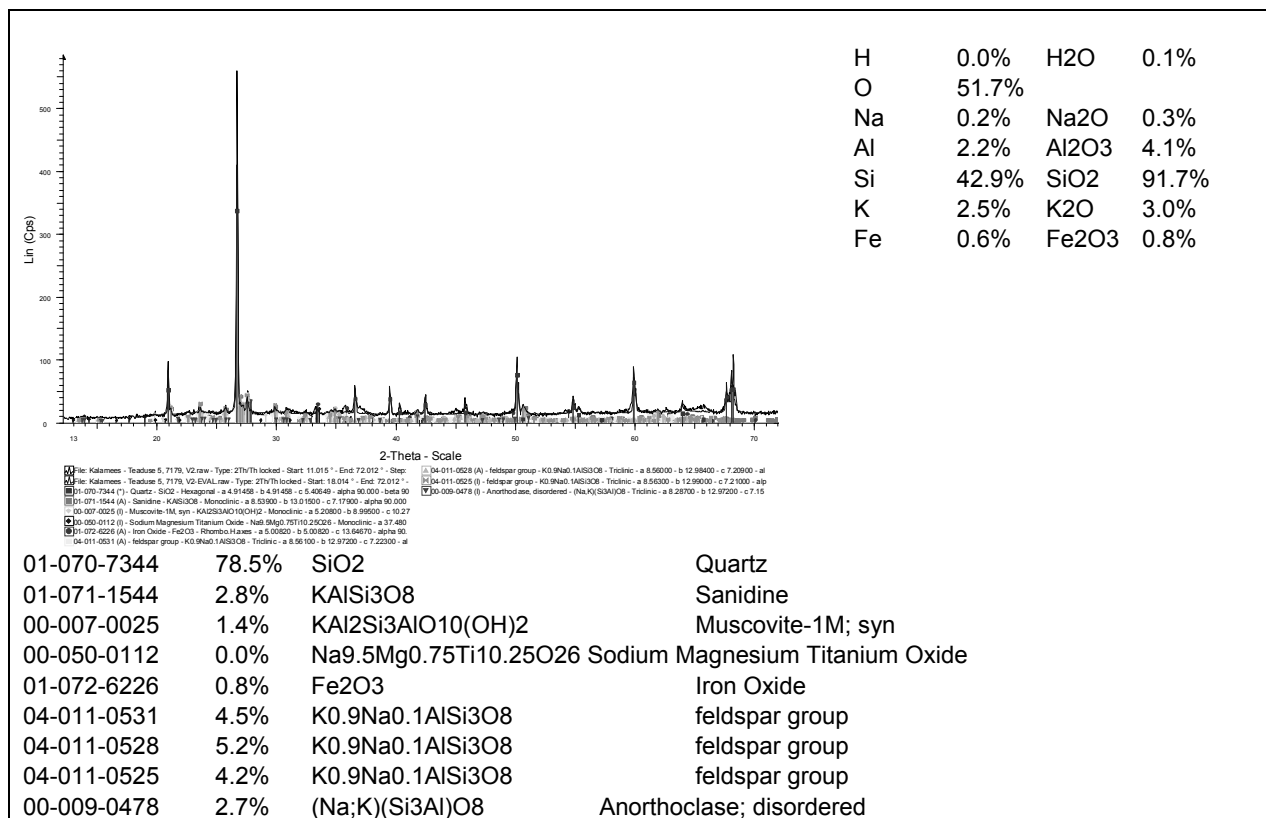


Joonis 9.4 Hoone 1240 fassaaditelliste röntgenspektrid ning nende põhjal arvutatud koostised (7180, V2-EVAL.raw).

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord



Joonis 9.5 Hoone 1240 fassaaditelliste röntgenspektrid ning nende põhjal arvutatud koostised (7180, 3-EVAL.raw).



Joonis 9.6 Hoone 1140 fassaaditelliste röntgenspektrid ning nende põhjal arvutatud koostised (7179, V2-EVAL.raw).

10 Tehnosüsteemide olukord

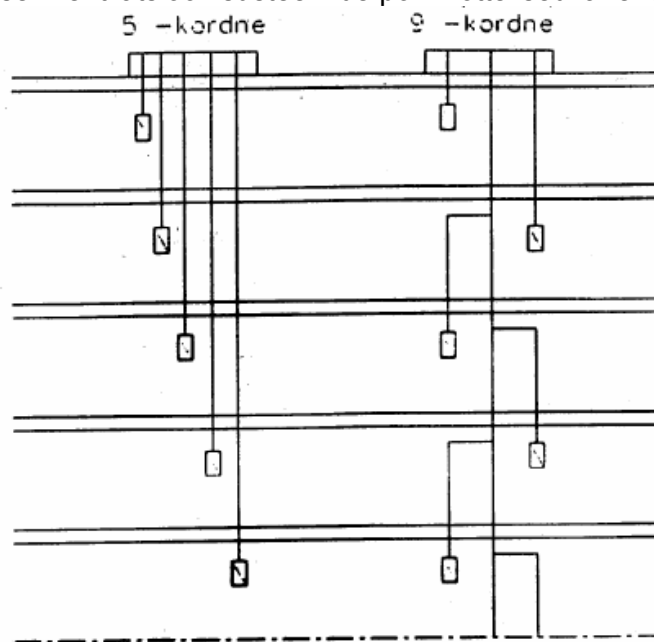
Uuritud korterelamute tehnosüsteemide olukorra hindamise aluseks on kohapealsed vaatlused, fotod ja täidetud tehnosüsteemide olukorra ankeet.

10.1 Ventilatsioon

10.1.1 Telliskorterelamute ventilatsioonisüsteemide iseloomustus

Enne 1992. aastat ehitatud tellismajadel on reeglina loomulik ventilatsioonisüsteem. Värske õhk antakse ruumidesse piirete ning akende ebatiheduste kaudu ja väljatõmme toimub läbi ehituslike telliskanalite. Loomulik ventilatsioon toimib tänu õhurõhkude erinevusele ruumi väljatõmbelemendi ja kanali ülaosa vahel. Õhurõhkude erinevus on omakorda tingitud sooja väljatõmbeõhu ja külma välisõhu temperatuuride vahest. Samuti on loomuliku ventilatsiooni mõjuteguriteks tuul, kanali kõrgus, hoone asukoht ja aastaaeg. Kuna välisõhu temperatuur ja tuule tugevus ning suund on muutlikud suurused, ei suuda loomulik ventilatsioon tagada hoones stabiilset õhuvahetust aastaringsest.

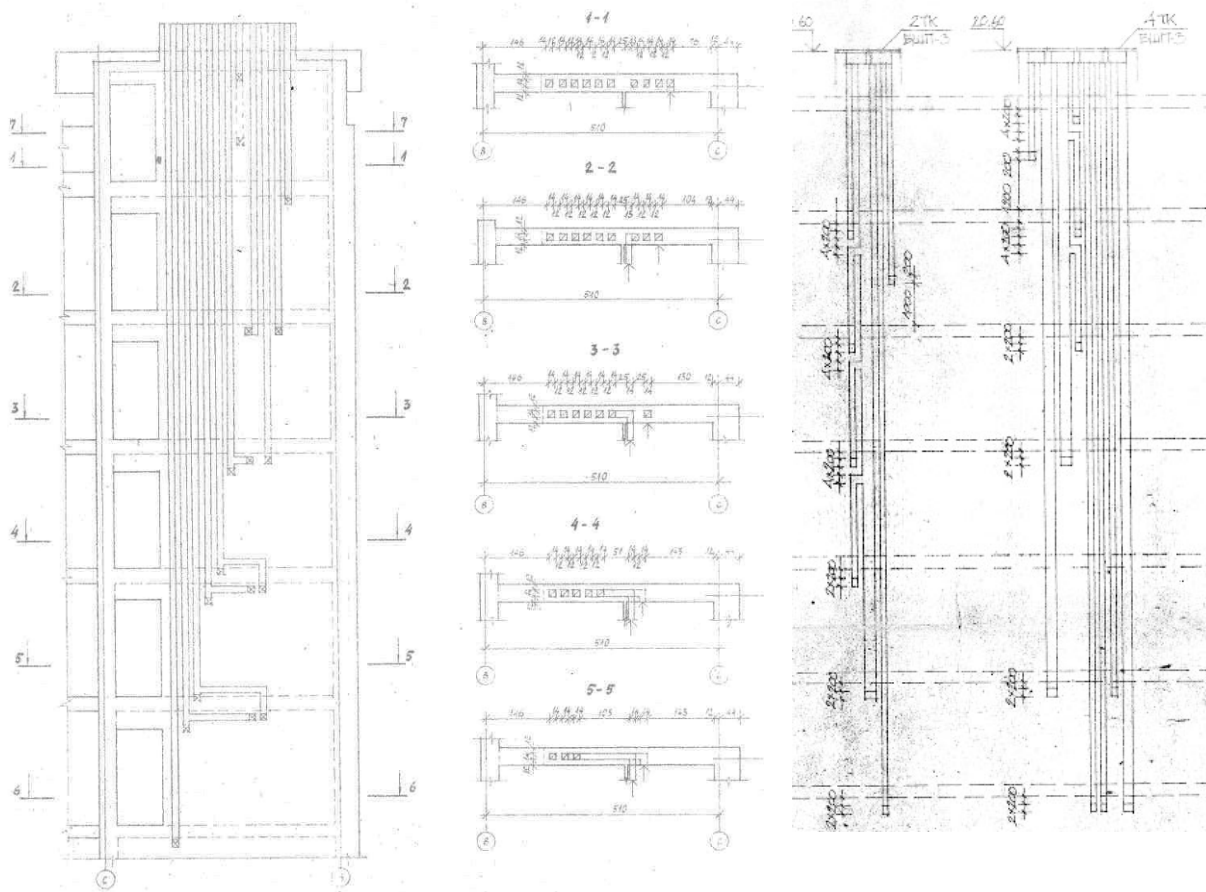
Tellismajadel on kaks enam levinud ventilatsioonikanalite tüüpskeemi. Kuni 6-korruselistel hoonetel on iga korteri jaoks eraldi ventilatsioonikanalid. 9-korruselistel tellismajadel on ülemisel kahel korrusel eraldi ventilatsioonikanalid, kuid alumiste korruste korterite väljatõmbelõõrid on ühendatud peakanalisse. Ventilatsioonisüsteemide põhimõttelised lahendused vt. Joonis 10.1.



Joonis 10.1 Loomuliku ventilatsiooni kanalite skeemid 5- ja 9-korruseliste hoonetele (Kõiv 2007).

Projektijärgse lahenduse järgi toimub väljatõmme korteritest köögist ja sanitaarruumidest. Mõningates majades on väljatõmme ette nähtud ka magamis- või elutoast. Erinevates lahendustes on sanitaarruumide väljatõmme kas ainult WC-st või vannitoast, mõningates hoonetes ka mõlemast ruumist. Kui väljatõmme toimub ainult ühest sanitaarruumist, siis on teise õhuvahetus lahendatud siirdeõhu baasil. Olenevalt hoone tüübist on korteri kohta 1–3 ventilatsioonilõõri. Tellistest ehituslikud väljatõmbelõõrid on tavaliselt mõõtmetega 140x140 mm või 140x270 mm, peakanalite mõõt on 270x270 mm või 270x140 mm. Juhul kui ventilatsioonilõõr ei asu vahetult väljatõmmet vajava ruumi seinas, kasutatakse korterisisest kandilist plekist ventilatsioonikanalit (näiteks mõõtmetega 160x160 mm). Näiteid erinevatest ventilatsioonisüsteemi lahendustest vt. Joonis 10.2.

Telliselamute ventilatsioonisüsteem on dimensioneeritud välisõhu temperatuurile $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Loomuliku ventilatsiooni puhul langeb arvestuslikust kõrgemate temperatuuride ja tuulevaikuse korral hoonete õhuvahetus ettenähtust madalamale tasemele. Paljudes telliselamutes on ventilatsioonisüsteem ümberehituste käigus rikutud või juba algselt väga madalakvaliteetselt ehitatud, mistõttu ei ole nendes võimalik tagada rahuldavat õhuvahetust ka kõige külmemate ilmadega.



Joonis 10.2 Ühe trepikojaga silikaattellistest 6-korruselise elamu ventilatsioonilõõride skeem (vasakul); peakanaliga 7-korruselise telliselamute ventilatsioonisüsteem (paremal).

10.1.2 Ventilatsiooni tehniline seisukord

Telliselamutesse on projekteeritud loomulik ventilatsioonisüsteem. Väljatõmme toimub köögist ja sanitaarruumidest ning värske õhk võetakse läbi akende ja piirdetarindite ebatiheduste. Loomuliku ventilatsiooni tingimustes on õhuvahetus hoonepiirete (eelkõige akende ja korteri välisuste) õhupidavusest, sise- ja välistemperatuuri vahet, tuule tugevusest ja suunast ning vertikaalse ventilatsioonikanali kõrgusest ja seisukorrast. Korterite õhuvahetus on tagatud vaid projektijärgses piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi olukorras. Samas on teada, et tellishoonete ehituskvaliteet jättis kohati soovida ja seetõttu ei töötanud ventilatsioon soovitud juba hoonete kasutusse võtmisel.

Uuritud elamutes oli ventilatsioonisüsteemidest 54% juhtudest tegemist loomuliku ventilatsiooniga, millele on lisaks veel mehaaniline köögikubu. 35% oli ainult loomulik ventilatsioon ning 5% mehaaniline väljatõmme. Nii mehaanilist sissepuhet ja väljatõmmet, mehaanilist ventilatsiooni koos värske õhu klappidega seintes ning akendes esines kõiki ühel juhul.

Ehitusaegsed eksimused avalduvad eelkõige ventilatsioonikanalite vähesel hermeetilisusel ja kanali sisepindade suurel karedusel (vt. Joonis 10.3). Kuna ülemiste korruste korterite ventilatsioonikanali kõrgus on piisava tõmbe tekkimiseks liiga väike, olid ülemisele korrustele

projektikohaselt ette nähtud väljatõmbeventilaatorid. Tänu tolleaegsete ventilaatorite halvale kvaliteedile eemaldati need pärast lühiajalist tööd või jäeti üldse paigaldamata.

Telliselamute kompensatsiooniõhu juurdevool oli ette nähtud põhiliselt akende ebatiheduste kaudu. Akende vahetamine tänapäevaste õhutihedate puit- või plastikakende vastu tähendab kompensatsiooni õhuvooluhulga olulist vähenemist. Seega on uute akende panek üks peamisi õhuvahetuse vähenemise põhjuseid. Samuti tekitab probleeme piirete tihendamisel vähenev infiltratsiooni õhuvooluhulk, mis ehitusjärgselt aitas õhuvahetust tagada. Seega peituvad alaventileerituse põhjused ka elanike enda poolt tehtud projektijärgsete lahenduste muutmises. Lisaks võiks mainida veel köögikubude või väljatõmbekanalite ühendamist valedesse ventilatsioonilõõridesse, mille tulemusena võib lõpuks ühele kanalile olla ühendatud mitmeid kortereid. Lisaks tekitab probleeme ka köögi väljatõmberesti asemele kubu ühendamine. Selline tegevus viib olukorrani, kus väljaspool kubu kasutusaega köögi väljatõmme korralikult enam ei toimi, kuna selle takistus on loomuliku ventilatsiooni korraliku toimimise jaoks liiga suur. Samas tekitavad probleeme ka kubude ebatihedad ühendused ventilatsioonilõõridega, vt. Joonis 10.7 vasakul.

Suuri probleeme on ka väljatõmbeelementide olukorraga. Tellishoonetele algselt paigaldatud väljatõmberestide elavristlõike pind on sageli väike ja nad avaldavad õhu liikumisele liialt suurt takistust. Eriti problemaatiline on originaalrestide kasutamine mehaanilise ventilatsiooni korral ja seetõttu võib renoveerimisel osutuda vajalikuks nende väljavahetamine. Sageli puuduvad väljatõmbeelementid aga üldse, on suletud või unustatakse need pärast lõõride puhastamist tagasi panemata (vt Joonis 10.6 vasakul ja Joonis 10.7 paremal). Tihti on õhuvahetuse vähenemise põhjuseks sanitaarruumidesse paigaldatud väljatõmbeventilaatorid, mis suurendavad takistust restiga võrreldes. See vähendab õhuvahetust loomuliku ventilatsiooni tingimustes, kui ventilaator ei tööta. (vt. Joonis 10.6 paremal). Juhul kui nende ventilaatorite juhtimine käib koos sanitaarruumide valgustuse sisse-väljalülitamisega, tekib olukord, kus ventilaatori mittetöötamise ajal õhuvahetus väheneb ja ventilatsioon on tagatud vaid vastavate ruumide kasutusajal.

Eraldi probleemiks on see, et hoonetes ei teostata ventilatsioonilõõride, korterisisese kanali, väljatõmbeelementide ja muude ventilatsiooniseadmete süstemaatilist puhastamist. Selletõttu väheneb õhuvahetus, ventilatsioonisüsteemides hakkab levima hallitus, mikroobid ning elutsema linnud ja väikenärilised (vt. Joonis 10.4 ja Joonis 10.5). Korterisisene ventilatsioonikanal on üldiselt halvas seisukorras, deformeerunud või üldse eemaldatud, samuti puuduvad puhastamise võimalused. Ainus lahendus on see asendada tänapäevase hermeetilise ümarkanaliga, pidades silmas, et ventilatsiooni renoveerimist on mõistlik alustada olemasoleva olukorra selgitamise ning ventilatsioonikanalite uurimise ning kaardistamisega. Edasi tuleb süsteem puhastada ja tihendada ning vajadusel osa süsteemist tänapäevase vastu välja vahetada. Oluline on ka kontrollida, kas korterid on ühendatud õige ventilatsioonikanaliga.

Kõigist eespool loetletud põhjustest tulenevalt ei suuda loomulik ventilatsioon tagada korterites normidele vastavat õhuvahetust aastaringsest. Halvasti töötav ventilatsioon või selle puudumine tähendab, et saastunud õhku ei eemaldata ruumist piisavas koguses. Siit tulenevalt ei ole kindlustatud ka õhu loomulik ringlus korteris ning ei ole tagatud tasemel mikrokliima. Puuduliku ventilatsiooni tõttu võivad hoonetes hakata vohama hallitus ja selle laguproduktid ning välja kujuneda „haige hoone sündroom“.



Joonis 10.3 Ventilatsioonikanalite ehituskvaliteet on halb ning seinad suure karedusega (vasakul ja paremal).



Joonis 10.4 Linnud ehitavad ventilatsioonilõõridesse pesasid ja mustavad õhukanaleid (vasakul) või kasutatakse lõõre selleks mitte ettenähtud eesmärgil (paremal).



Joonis 10.5 Korterites paiknevad väljatõmbekanalitesse on aastate jooksul kogunenud mustust ja tolmu (paremal) ning ventilatsiooniseadmed on hooldamata (vasakul).



Joonis 10.6 Väljatõmbeavad on kinni kaetud (vasakul) ja sanitaarruumidesse on paigaldatud väljatõmbeventilaatorid (paremal)



Joonis 10.7 Pliidikubude ühendused on tehtud ebatihedalt (vasakul) ja väljatõmbe lõppelemendid on eemaldatud (paremal)

10.1.3 Küttesüsteem ja soojusvarustus

Uuritud elamutes oli soojusallikaks 78 % kaugküte, 8 % elekterküte (otsene elekterküte või soojuspump), 8 % õliküte ning 6 % gaasküte. Enamikus hoonetes (60%) oli ühetoru küttesüsteem. Kolmel uuringus osalenud korteritest (üks elamu) oli otsene elekterküte (radiaator, põrandküte, õhk-õhk soojuspump). Malmradiaatorid on 65 % korteritest, plekkradiaatorid 30% ja 5 % vastanutest on korteris nii malm- kui ka plekkradiaatoreid. Radiaatorite soojusväljastus on termostaatventiilidega reguleeritav 25 % korteritest, tavalise kuulkraaniga on varustatud 10% ning 65% vastanutest puudub võimalus radiaatorite soojusväljastust reguleerida või sulgeda.

Ühetoru küttesüsteemis soojuskandja läbib järjestikku kõik püstikuga ühendatud küttekehad ja tagastub soojussõlme. Ühetoru küttesüsteemi eripäraks on see, et kõikidesse püstikuga ühendatud küttekehadesse jõuab erineva temperatuuriga soojuskandja. Küttekeha soojusväljastuse seisukohalt tähendab see, et ühesuguse soojuskaoga ruumidel püstiku lõikes on küttekeha küttepind erinev (näit malmradiaatorite ribide arv erinev). Reeglina küttekehade ees puuduvad termostaatventiilid, mis ei võimalda reguleerida küttekeha soojusväljastust. Temperatuuri ühtluse tagamiseks korterites peab püstiku vooluhulk vastama soojuskadudele. Objektide ülevaatusel sai fikseeritud ka olukordi, kus hoones on tasakaalustusventiile juhuslikult seadistatud, ajendiks olnud inimeste rahulolematuse sisetemperatuuri suhtes. Hoone

küttesüsteemi tasakaalustamine on enamasti toimunud üheksakümnendatel kui vanad elevaatorsõlmed asendati tänapäevaste soojusvahetitega soojussõlmede vastu.

Uurimise all olnud telliselamute hulgas oli ka hooneid, millel oli oma lokaalkatlamaja või mille erinevate korterite kütmine oli lahendatud korterite tasandil lokaalselt (vt. Joonis 10.8), kasutades selleks gaas- või ka elekterkütet.



Joonis 10.8 Korteris paiknev lokaalne gaasikatel või soojuspump ruumide kütteks ja/või tarbevee soojendamiseks.

Küttetorustike osas võib ühe olulise puudusena välja tuua keldris ja pööningul paiknevate torustiku soojustuse puudumise või puudliku soojustuse, vt. Joonis 10.9.



Joonis 10.9 Keldris paiknevate küttetorude puudulik soojustus.

Probleemseks võib pidada ka soojaveetorustike, harvem küttetorustike soojustamist õhukese 9 mm paksuse polüetüleenist koorikisolatsiooniga (näiteks kautšukipõhine Armaflex), vt. Joonis 10.10. Niisuguse õhukese kooriku soojustakistus on väike ja seetõttu vastavate kuumade torustike soojuskaod suured. Sellist koorikisolatsiooni võib äärmisel juhul kasutada külmaveetorude kaitseks kondensaadi tekke vastu (paksus 20-30 mm), mitte aga küttetorude või sooja tarbevee torude soojustamiseks. Küttetorustike ja sooja tarbevee torude jaoks vastavalt EN 12828 isolatsiooniklassile 4 ja soojustuse soojuserijuhtivusel $\lambda \leq 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ on

vajalik 11...58 mm paksune soojustus toru läbimõõdudel 10...100 mm (mida suurema läbimõõduga toru seda paksem soojusisolatsiooni koorik).



Joonis 10.10 Polüetüleenist koorikisolatsioon (vasakul) on väikese soojustakistusega ja ei ole hea küttetorude soojustamiseks. Küttetorude ja sooja tarbevee torude soojustamiseks sobivad mineraalvillast soojustuskoorikud (paremal).

Mineraalvillakoorikul olev alumiiniumkate vähendab kiirguslikku soojuskadu ning tolmu ja mustuse kinnitumist soojusisolatsiooni pinnale. Torukooriku pikiküljel olev isekinnituv kleepriba lihtsustab paigaldamist ja kindlustab korrektse ja tiheda lõpptulemuse.

10.1.4 Elektrisüsteemid

Uuritud telliselamutesse projekteeriti toleaaegse elektriohutusseaduse järgi TN-C juhtmetega elektrisüsteem, mis tähendab seda, et korterite elektrifitseerimiseks kasutati kahesoonealist kaablit, millest üks oli faasi- ning teine neutraalsoon ning kogu elektrisüsteemi maandus toimib neutraalsoone abil. Sellise madalpinge juhistike süsteem eeldab 0 ohutusklassi seadmeid, mis ei vaja kaitsemaandamist ning samuti on võimatu süsteemis kasutada rikkevoolukaitse lüliteid, kuna nad rakenduksid juba normaaltalitusel. Elektriohutuse mõttes tähendab see, et esmaseks kaitseviisiks puutepinge eest on elektriseadme pingeldiste osade ühendamine eraldi kaitsejuhi abil toiteallika (trafo) maandusega lähimas jaotuskilbis, mis aga eeldab maanduri olemasolu korrusekilbis ning kolme soonealist kaablit, millest üks on kaitsejuht.

Samuti võib lugeda vanemaid korkkaitsmeid ka aeglaselt reageerivateks. Liigvoolu korral katkestavad sulavkaitsmed voolu sulari läbipõlemise teel, seejuures lühisel kiiresti, liigkoormusel aeglasemalt. Seetõttu kasutatakse neid enamasti lühise kaitseks.

Orienteeruvalt pooltes hoonetes oli suur osa elektrisüsteemist ehituseaegne, st. enamuse hoone peaelektrikilbi sisust pole uuendatud. Reeglits võib nimetada seda, et hoonesse sisenev peakaabel on vana ning ehitusaegne on ka pealüliti. Peamise uuendusena on peakilbi kest maandatud ning maandus viidud ka trepikodades asuvate kilpideni, mis võimaldaks korteriomanikel välja ehitada tänapäevastele normidele vastav elektrisüsteem oma korteris. Siiski on palju maju, kus vaatamata ettekirjutustele kaitsemaandamine sootuks puudub. Peamiseks põhjuseks saab siin pidada maja haldamisega tegelevate inimeste vähest kompetentsi elektriohutuse valdkonnas.

Elektriohutuse mõttes võib pidada probleemiks ka lahtisi elektrikaableid korteris ja üksikute pistikupesade ülekoormamist (Joonis 10.11).



Joonis 10.11 Lahtiseid elektrikaableid korteris (üleväl) ja pistikupesade ülekoormamine (all) on elektriohutust silmas pidades väga riskantsed.

10.1.5 Veevarustus ja kanalisatsioon

Ehitusjärgsed veetorud võivad olla ka tsingitud või tsinkimata terastorudest. Tsingitud terastorudest soojatarbevee süsteemi tööiga on 20 aasta piires, mistõttu on niisuguse süsteemi renoveerimine väga aktuaalne probleem. Tsinkimata terastorude kasutamine halvendab vee kvaliteeti, seega niisugused torustikud tuleks vahetada koheselt. Ka vanemad tsingitud terastorud halvendavad vee kvaliteeti. Tsinkimata terastorude kasutamine elamute veevarustuse süsteemides ei vasta standardis EVS 835 toodud soovitustele.

Soojatarbevee ringlustorustiku juures on oluline selle tasakaalustamine. Soojatarbevee süsteemi renoveerimisel tuleb nii pealevoolu kui ka ringlustorustik, seega kogu ringluskontuur korralikult soojustada ja vältida tehnošahtide otsene välisõhuga ühenduses olemine.

Kanalisatsioonisüsteemis vajavad väljavahetamist defektidega torustiku osad. Kanalisatsiooni põhiprobleemiks on ummistused, mis on saenenud vähenenud veetarbimise tingimustes.

Paljudes uuritud elamutes olid külma- ja sooja tarbevee püstikud juba osaliselt vahetatud. Enamasti on püstik vahetatud tulenevalt lekkivate torude probleemide sagenemisest või visuaalse vaatlusel tulevate probleemide ennetamisest. Enamjaolt on uued tarbeveesüsteemid rahuldavas töökorras ning selles suurt probleemi ei nähta. Süstemaatilist ettevaatavat tehnosüsteemide renoveerimist ei kohatud.

Mitmed lihtsad vahendid aitavad vähendada vee kulu ja tarbevee soojendamise energiakulu:

- kangsegistite kasutamine,
- WC-pottide lekkekindlus,
- kahesüsteemsed WC-potid.

11 Telliselamute energiatarbimise analüüs

Elamu energiatarbimist iseloomustab aastane summaarne soojus- ja elektrikasutus (mis sisaldab kõiki tehnosüsteemide kadusid), mida kasutatakse:

- hoone sisekliima tagamiseks:
 - o kütmiseks,
 - o jahutamiseks,
 - o ventilatsiooniks,
 - o valgustuseks,
- vee soojendamiseks;
- majapidamisseadmete kasutamiseks.

Arvestades tarnitud energia tootmiseks vajalikku primaarenergia kasutust ja selle keskkonnamõju, kasutatakse hoonete energiatarbimise hindamisel energiakandjate kaalumistegureid:

- | | |
|--|-------|
| • taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, v.a turvas ja turbabrikett) | 0,75; |
| • kaugküte | 0,9; |
| • vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas) | 1,0; |
| • maagaas | 1,0; |
| • tahked fossiilkütused (kivisüsi jms.) | 1,0; |
| • turvas ja turbabrikett | 1,0; |
| • elekter | 1,5. |

Iseloomustamiseks hoonet, mitte hoone kasutajaid, kasutatakse energiatarbimise leidsel hoone standardkasutust ja arvutuslikku lähenemist. Olemasolevate hoonete energiatarbimist hinnatakse üldjuhul mõõdetud energiakasutuse andmetel alusel.

11.1 Mõõdetud energiatarbimise analüüs

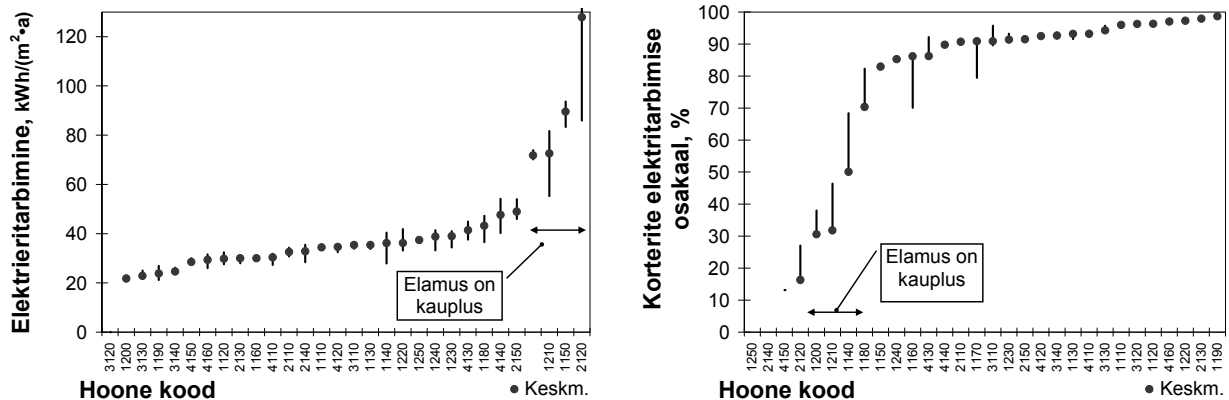
Analüüsi aluseks on uuritavate korterelamute mõõdetud energiatarbimise andmed, mis on saadud korteriühistutelt soojuse ja gaasi tarbimise kohta ning Eesti Energia AS-ilt elektri tarbimise kohta. Analüüsitud energiaeritarbimine on antud hoone kütava pinna (sisaldab lisaks elamispinna ka trepikodade ja treppide pindasid) kohta. Kui hoone kütavat pinda pole olnud võimalik määrata, on energia erikulu antud hoone netopinna kohta. Vastavalt andmete olemasolule on iga elamu kohta esitatud järgmised tarbimisandmed:

- elektritarbimine;
- gaasitarbimine;
- veetarbimine;
- vee soojendamise energiatarbimine;
- soojusenergia tarbimine ruumide kütteks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks.

11.1.1 Elektritarbimise analüüs

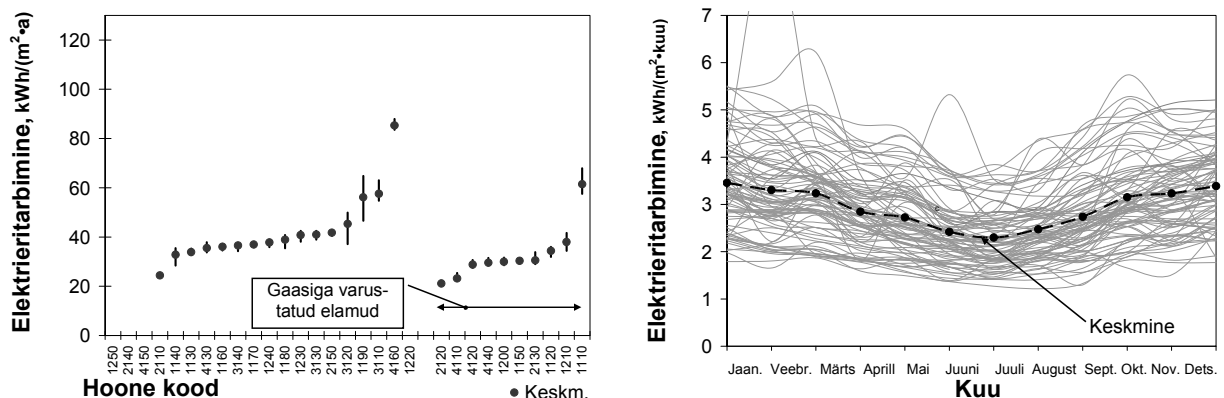
Analüüsitud elamutes kasutati elektrit peamiselt valgustuseks ja elektriseadmete kasutamiseks. Osades elamutes kasutati elektrit ka vee soojendamiseks ja üksikutes elamutes ka ruumide kütteks.

Kolme-nelja aasta (2006–2009) keskmine elektritarbimine (valgustus ja elektriseadmete kasutamine) analüüsitud elamutes oli keskmiselt 35 kWh/(m²·a) (22...49 kWh/(m²·a)), vt. Joonis 11.1 vasakul. Elamutes (1180, 1200, 1210, 2120 ja 4160), mille esimesel korrusel asus kauplus või muu äripind, oli elektritarbimine oluliselt suurem: 70...130 kWh/(m²·a).



Joonis 11.1 Elamu aasta keskmine elektritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta (vasakul). Korterite elektritarbimise osakaal hoone summaarsest elektritarbimisest (paremal).

Sõltuvalt elektri mõõtmise süsteemist oli võimalik eristada elektritarbimist korterites ja üldkasutatavates ruumides. Korterite elektritarbimise osakaal moodustas elamu summaarsest elektritarbimisest 80...98%. vt. Joonis 11.1 paremal. Väiksem elektritarbimise osakaal oli seotud eelkõige kaupluse või mõne muu äripinna olemasoluga elamus. Korterite aastane elektritarbimine elamispinna ruutmeetri kohta vt. Joonis 11.2 vasakul. Gaasiga varustatud elamutes oli elektritarbimine väiksem, kuid andmete suure hajuvuse tõttu ei olnud erinevus statistiliselt oluline ($P=0,13$).

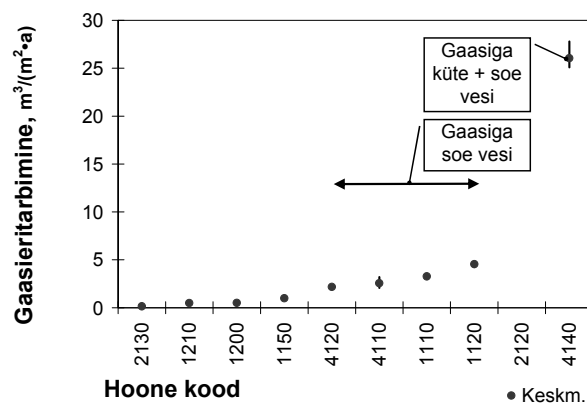
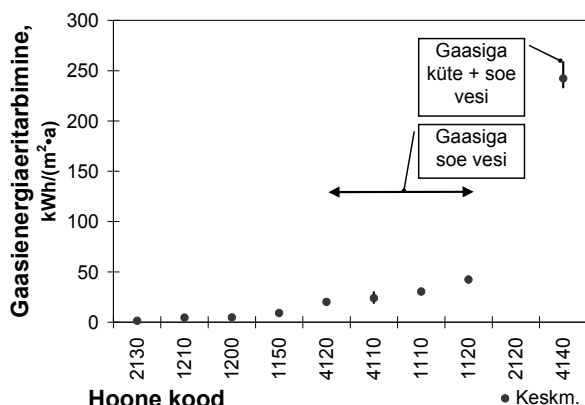


Joonis 11.2 Korterite aastane elektri eritarbimine elamispinna kohta (vasakul). Elektri eritarbimine uuritud elamutes kuude kaupa (paremal).

Kuude kaupa kõikus elektritarbimine elamutes (kus ei olnud kauplust) +15...-28% (vt. Joonis 11.2 paremal). Suvine elektritarbimine oli talvisest väiksem peamiselt valgustuse väiksemast kasutusest suveperioodil.

11.1.2 Gaasitarbimise analüüs

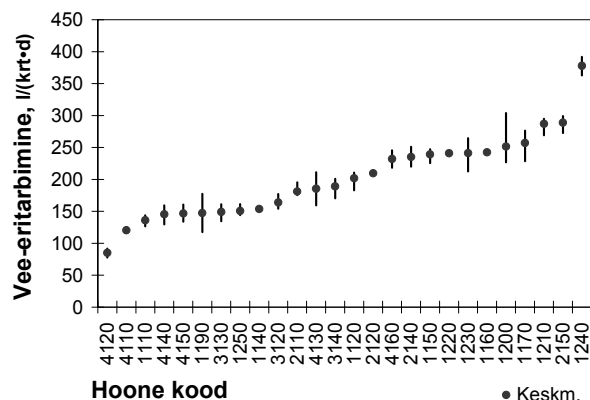
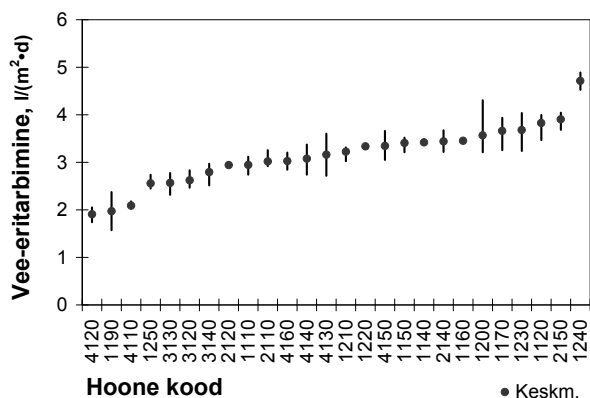
Kümme analüüsitud elamut olid varustatud maagaasiga. Ühe elamu tarbimisandmed ei olnud usaldusväärsed, mistõttu ei ole neid analüüsis kasutatud. Ühes elamus kasutati maagaasi nii ruumide kütteks (oma katlamaja), vee soojendamiseks kui ka gaasipliitides. Neljas elamus kasutati maagaasi vee soojendamiseks ja gaasipliitides. Keskmine gaasieritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta elamutes, kus maagaasi kasutati vaid gaasipliitides, oli $0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (st. hälve $0,34 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, vt. Joonis 11.3 vasakul). Hoonetes, kus maagaasi kasutati ka vee soojendamiseks, oli keskmiselt $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (st. hälve $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$). Arvestades maagaasi kütteväärtust $9,3 \text{ kWh/m}^3$, on gaasienergia erikulu suurused toodud Joonis 11.3 paremal.



Joonis 11.3 Aasta keskmine maagaasi eritarbimine uuritud elamutes.

11.1.3 Vee tarbimise ja vee soojendamise energiatarbimise analüüs

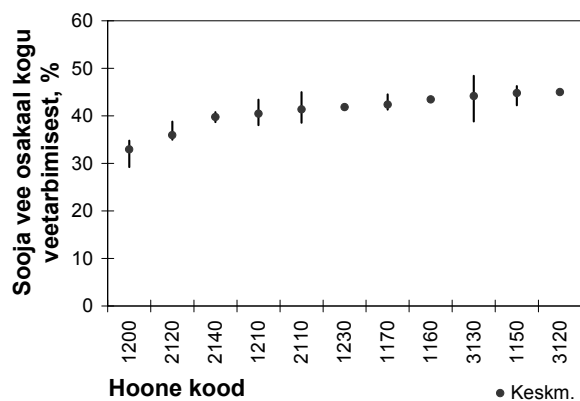
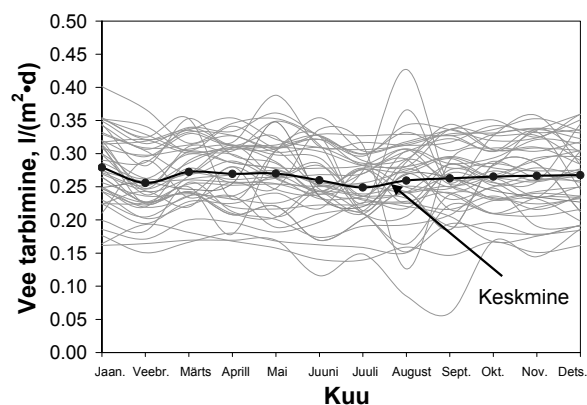
Veekulu andmed olid saadaval 26 elamu kohta. Aasta keskmine vee eritarbimine analüüsitud elamutes oli 3 l/(m²·d) (st. hälve 0,6 l/(m²·d)) ja 202 l/(krt·d) (st. hälve 64 l/(krt·d)), vt. Joonis 11.4.



Joonis 11.4 Aasta keskmine vee eritarbimine uuritud elamutes.

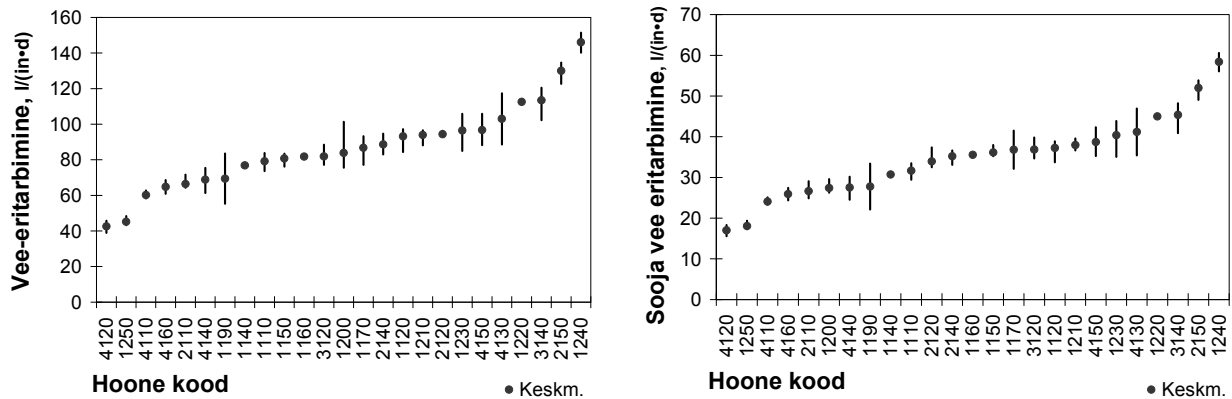
Keskmine vee tarbimine oli erinevatel kuudel sama suur, seega ei sõltunud see otseselt aastaajast, vt. Joonis 11.5 vasakul.

Sooja vee osakaalu kogu vee tarbimisest (vt. Joonis 11.5 paremal) oli võimalik analüüsida elamute alusel, mille kohta oli esitatud eraldi arvestus külma ja sooja vee kulu kohta. Keskmine sooja vee osakaal kogu veekulust oli 40%. Tulemuste analüüsil kasutati seda osakaalu sooja vee osakaalu arvutamisel ka elamutes, kus sooja vee kulu eraldi ei olnud mõõdetud. Sõltuvalt tarbija iseloomust võib sooja vee osakaal kõikuda vahemikus 38...45% (TLV-52 2008).



Joonis 11.5 Vee eritarbimine uuritud elamutes kuude kaupa (vasakul). Sooja vee osakaal summaarsest veetarbimisest (paremal).

Aasta keskmine vee eritarbimine inimese kohta analüüsitud elamutes oli 86 l/(in·d) (st. hälve 24 l/(in·d)), vt. Joonis 11.6 vasakul. Aasta keskmine sooja vee eritarbimine inimese kohta analüüsitud elamutes oli 35 l/(in·d) (st. hälve 10 l/(in·d)), vt. Joonis 11.6 paremal. Võrreldes varasemate uuringutega (45 l/(in·d): Toode & Kõiv 2005), Tabel 11.1 on veetarbimine vähenemas. Andmed inimeste arvu kohta saadi korteriühistu juhtidelt, kes hindasid inimeste arvu täpsuseks 10 %. Paraku ei olnud mitmed KÜ esindajaid elanike arvuga väga kursis ning tõid põhjenduseks paljud muutuvate inimeste arvuga üürikorterid jms.



Joonis 11.6 Vee eritarbimine inimese kohta uuritud elamutes inimese kohta: vasakul: kogu veetarbimine, paremal: sooja vee tarbimine.

Tabel 11.1 Sooja vee eritarbimise (inimese kohta) muutus Eesti korterelamutes aastatel 1999-2009.

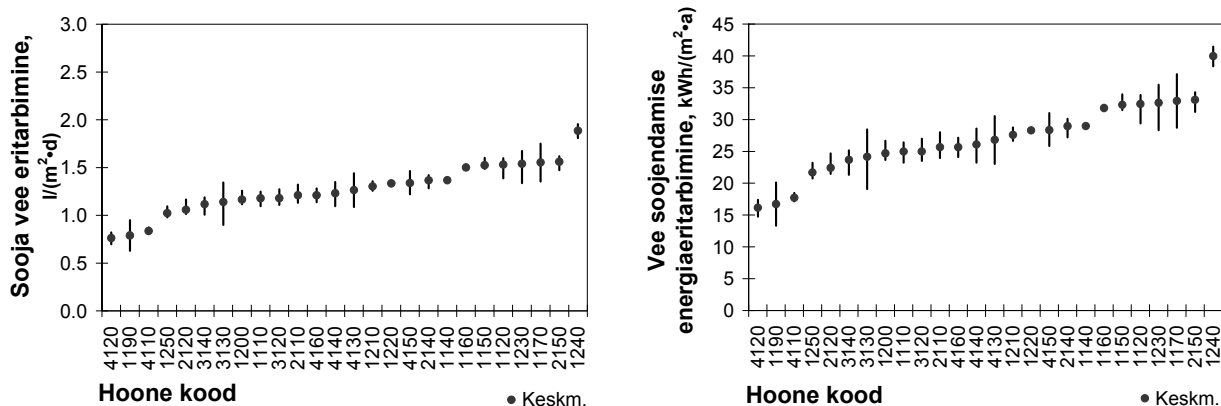
	Sooja vee eritarbimine, l/(in·d)						Praegune uuring 2009
	Kõiv & Toode 2005 (Mustamäe korterelamud)						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Keskmine	60	56	49	46	45	44	35
Vahemik	34...77	44...71	38...66	37...59	35...56	36...58	17...58

Aasta keskmine sooja vee eritarbimine ruutmeetri kohta analüüsitud elamutes oli 1,3 l/(m²·d) (st. hälve 0,3 l/(m²·d)), vt. Joonis 11.7 vasakul. Tallinna Tehnikaülikoolis aastatel 2005–2008 75 korterelamus läbiviidud uuringu alusel oli sooja vee tarbimine 1,5 l/(m²·d). Võrreldes varasemate uuringutega (~2 l/(m²·d): Toode & Kõiv 2005, Kõiv & Toode 2006), Tabel 11.2 on veetarbimine vähenemas.

Tabel 11.2 Sooja vee eritarbimise (ruutmeetri kohta) muutus Eesti korterelamutes aastatel 1999–2009.

	Sooja vee eritarbimine, l/(m ² ·d)						Praegune uuring 2009
	Kõiv & Toode 2006 (Mustamäe korterelamud)						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Keskmine	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	2,0	1,3
Vahemik	1,6...3,6	2,1...3,3	1,8...3,1	1,7...2,8	1,6...2,6	1,7...2,7	0,8...1,9

Aasta keskmine vee soojendamiseks kuluv energia erikulu analüüsitud elamutes oli 27 kWh/(m²·a) (st. hälve 6 kWh/(m²·a)), vt. Joonis 11.7 paremal. Ka vee soojendamise energiakulu on võrreldes varasemate uuringutega (1999 aastal 53 kWh/(m²·a), Kõiv & Toode 2001) vähenemas.



Joonis 11.7 Aasta keskmine sooja vee eritarbimine (vasakul) ja vee soojendamise energiaerikasutus (paremal) uuritud elamutes.

11.1.4 Ruumide kütmiseks ja ventileerimiseks tarbitud soojusenergia analüüs

Soojusenergia ruumide kütteks hõlmab:

- soojusjuhtivuskood läbi piirdetarindite;
- soojusjuhtivuskood läbi külmasildade;
- välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevad soojuskood;
- infiltratsiooniõhu soojendamise energiakulu.

Elamu soojusenergiakulu ruumide kütteks sõltub:

- piirdetarindite soojusjuhtivusest;
- hoone kompaktsusest;
- sisetemperatuurist;
- piirdetarindite õhupidavusest;
- soojusvarustuse ja küttesüsteemide juhtimisest;
- soojusvarustuse ja küttesüsteemide süsteemikadudest.

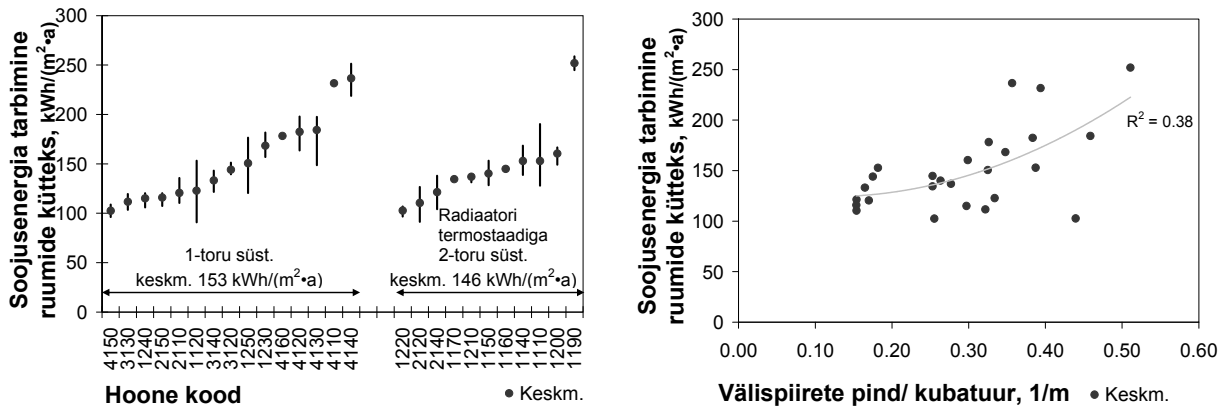
Soojusenergia tarbimist on analüüsitud nelja aasta jooksul mõõdetud andmete alusel, mis on taandatud normaalaastale aluseks võetuna kraadpäevad tasakaalu temperatuuril 17 °C. Kahekümne kuue analüüsikõlbliku elamu keskmine, ruumide kütteks tarbitud soojusenergia eritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta oli 150 kWh/(m²·a) (st. hälve 41 kWh/(m²·a)).

Uuritud elamute iseloomustus ja soojusenergia eritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta vt. Tabel 11.3.

Tabel 11.3 Uuritud elamute iseloomustus ja soojusenergia eritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta

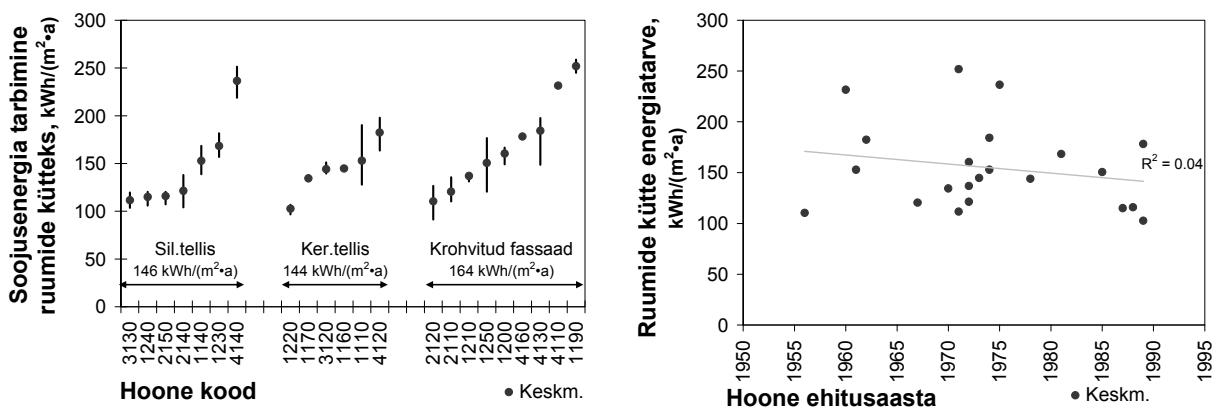
Hoone kood	Ehitus-aasta	Korruselisus	Välisseinte lisasoojustus	Küttesüsteem	Välispiirete pind/kubatuur, 1/m	Kraadpäevadega eritarbimine Keskmine	2004	2005	2008	2009
1110	1961	4		2-toru	0,39	153	190	151	142	128
1120	1965	5	otsaseinad lisasoojustatud	1-toru	0,33	123	153	125	122	91
1140	1974	5		2-toru	0,18	153	168	151	139	
1150	1972	10	otsaseinad lisasoojustatud	2-toru	0,26	140	153	139	128	
1160	1973	10		2-toru	0,25	145	147	142		
1170	1970	10		2-toru	0,25	134	135	136	133	133
1190	1971	5		2-toru	0,51	252	259	245		
1200	1972	10		2-toru	0,30	160		165	167	149
1210	1972	10		2-toru	0,28	137	140	138	139	131
1220	1989	3		el. küte	0,44	103	102	105	107	97
1230	1981	5		1-toru	0,35	168	182	176	159	157
1240	1987	9		1-toru	0,30	115	120	119	106	
1250	1985	5		1-toru	0,32	151	177	157	149	120
2110	1967	5	otsaseinad lisasoojustatud	1-toru	0,17	121	110	136	118	118
2120	1956	4		2-toru	0,15	110	111	127	113	91
2140	1972	5			0,15	121		138	122	104
2150	1988	9		1-toru	0,15	116		120	120	107
3120	1978	4		1-toru	0,18	144	142	139	151	
3130	1971	5		1-toru	0,32	112	120	116	108	104
3140	1986	5	kõik seinad lisasoojustatud	1-toru	0,16	133	143	137	131	122
4110	1960	3		1-toru	0,39	232	231	231	233	
4120	1962	4		1-toru	0,38	182		198	186	164
4130	1974	6		1-toru	0,46	184	194	197	198	149
4140	1975	5		1-toru	0,36	237		251	239	219
4150	1985	5	kõik seinad lisasoojustatud	1-toru	0,26	103	109	102	103	96
4160	1989	5		1-toru	0,33	178	176	179	180	

Küttesüsteemi alusel elamuid võrreldes on näha, et radiaatori termostaatventiilidega 2-toru küttesüsteemidega elamute keskmine soojusenergia erikulu on väiksem ($146 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) kui termostaatventiilideta elamute keskmine soojusenergia erikulu ($153 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$), vt. Joonis 11.8 vasakul. Kompaktsetel elamutel, st. elamutel, millel on köetava pinna või köetava kubatuuri kohta vähem välispiiret, soojusenergia erikulu on väiksem, vt. Joonis 11.8 paremal.



Joonis 11.8 Soojuse erikulu ruumide kütteks sõltuvalt küttetorustiku tüübist (vasakul) ja hoone kompaktusest (paremal).

Lisasoojustatud välisseintega hoonete keskmine soojusenergia eritarbimine oli väiksem (124 kWh/(m²·a)) ülejäänud hoonete keskmisest soojusenergia eritarbimisest (157 kWh/(m²·a)). Kuigi erinevatel aegadel on tüüpelamutel kasutatud erineva soojusjuhtivusega välispiirdeid, ei toonud käesolev uuring välja olulisi erinevusi, soojusenergia kulus sõltuvalt välisseina lahendusest või hoone vanusest, vt. Joonis 11.9.



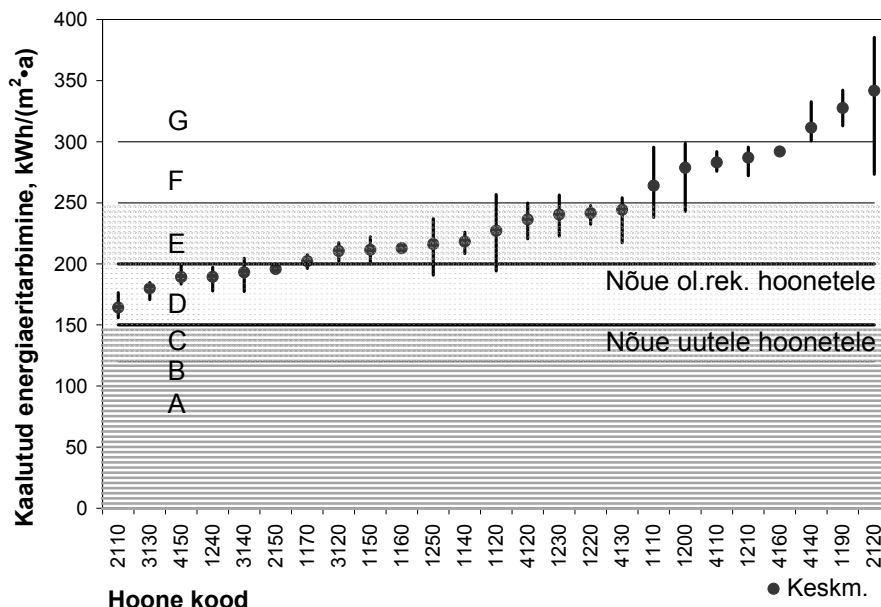
Joonis 11.9 Soojusenergia eritarbimine ruumide kütteks sõltuvalt hoone välisseina lahendusest (vasakul) ja ehitusaastast (paremal).

11.1.5 Kaalutud energiaerikasutuse analüüs

Olemasoleva hoone energiamärgise väljastamisel lähtutakse kaalutud energiaerikasutusest, st. et leitakse energiakandjate kaalumisteguritega korrutatud aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetava pinna ruutmeetri kohta. Sõltuvalt hoone kasutusest ei pruugi standardkasutusel põhinev arvutuslik energiatõhususarv (ETA) ja mõõdetud kaalutud energiaerikasutuse suurused kattuda.

Vanemate telliselamute energiatõhusust võib hinnata uuringus osalenud elamute summaarse kaalutud energiaerikasutuse alusel, vt. Joonis 11.10. Ükski uuringu all olnud hoone ei vasta tänapäevase energiatõhususe nõudele: energiamärgis C (energiatõhususe arv või kaalutud energiaerikasutus <150 kWh/(m²·a)). Olemasolevatele, oluliselt rekonstrueeritud elamutele seatud energiatõhususe nõudele (energiamärgis D (energiatõhususe arv või kaalutud energiaerikasutus <200 kWh/(m²·a)) vastasid 24% elamutest. Neid hooned võib iseloomustada järgmiselt:

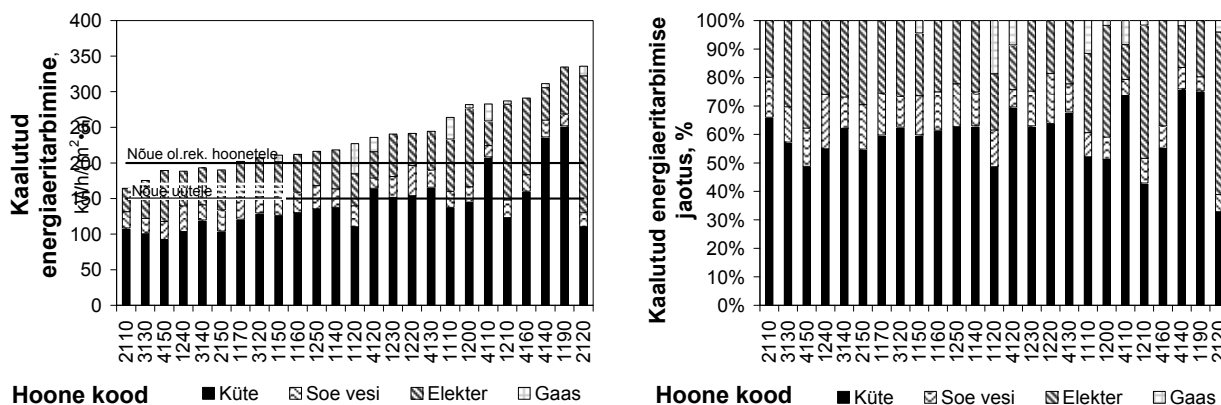
- hooned on lisasoojustatud;
- hooned on kompaktsed;
- hoonete sisetemperatuuri juhtimisele on pööratud erilist tähelepanu.



Joonis 11.10 Hoonete jaotus energiamärgiste klassidesse vastavalt kaalutud energiaeritavimisele.

Elamute keskmine energiatõhususarv oli 238 kWh/(m²·a) (st. hälve 48 kWh/(m²·a)) (Joonis 11.11 vasakul).

Gaasivarustusega elamutes moodustas ruumide kütteks ja ventileerimiseks tarbitud soojusenergia 62%, vee soojendamise soojusenergia 13% ja elektrienergia tarbimine 25% kaalutud koguenergiaeritavimisest (Joonis 11.11 paremal).



Joonis 11.11 Kaalutud energiaeritavimise struktuur (vasakul) ja protsentuaalne jaotus (paremal).

11.2 Telliselamute energiatõhususe ja selle ehitusmajanduslik arvutuslik analüüs

11.2.1 Meetodid

Energiaarvutused

Et vältida hoone kasutuse mõju energiatõhususe hindamisele, tuleb energiaarvutus teha standardkasutusel ja ühtse arvutusmetoodika alusel. Telliselamute energiatõhususe analüüsil on käesolevas uuringus kasutatud VV. määruse nr. 258 (20.12.2008) „Energiatõhususe miinimumnõuded“ arvutuse aluseid (vabasoojused, sooja vee erikulu, ventilatsiooniõhuhulgad jms) ja standardkasutust. Telliselamute energiatõhususe analüüsimiseks on tüüpelamud modelleeritud dünaamilise simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.0 abil. Nimetatud arvutusprogramm vastab määruuses toodud valideeritud tarkvarale esitatud nõuetele.

Töö esimeses etapis valideeriti elamute arvutusmodelid mõõdetud sisekliima ja energiatarbimise andmete järgi. Valideerimise aluseks on võetud 2–3 aasta tarbimisandmed, mis on teisendatud standardaastale tasakaalutemperatuuril 17 °C. Erinevate renoveerimislahenduste üksikkomponentide mõju uurimiseks on elamu olemasolev olukord viidud standardkasutusse ja ehitusjärgsesse olukorda (variant 0) ning iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte energiatõhusus komponenti (näiteks ainult ventilatsiooni soojustagastus või ainult välispiirete lisasoojustus).

Töö teises etapis koostati näidispaketid erinevate renoveerimislahenduste ja energiamärgise klasside saavutamiseks.

Sisetemperatuuriks on arvestatud korterites 21 °C ja trepikodades 17 °C.

Ventilatsiooni õhuvooluhulkade juures on lähtutud loomuliku ventilatsiooniga arvutusmodelites sisekliima klassist (III) ja mehaanilise ventilatsioonisüsteemiga arvutusmodelites sisekliima klassist (II) vastavalt Eesti standardile EVS-EN-15251. Korterite summaarne õhuvooluhulk on valitud suurem järgmistest suurustest:

- 0,42 l/(s·m²) suletud netopinna järgi,
- 0,6 l/(s·m²) elamispinna (magamistoad, elutuba, kabinet) järgi (sisekliima klass III),
- 1,0 l/(s·m²) elamispinna (magamistoad, elutuba, kabinet) järgi (sisekliima klass II)

Välisõhku on antud sisse peamiselt elutubadesse ja magamistubadesse. Vastavalt värske välisõhu hulgale on väljatõmbe õhuvooluhulk kohandatud väljatõmbena köögist, vannitoast ja tualettruumidest.

Trepikodades on õhuvahetuskordsuseks arvestatud 0,5 1/h.

Tarbevee soojendamise kulu on arvestatud 45 l/inimesele ja inimeste arvestuslik hulk on saadud tubade arvust korteris: magamistubade arv pluss üks (kolmetoalises korteris elab arvestuslikult kolm inimest).

Analüüsitud energiatõhususmeetmed

Energiatõhusus on tervik, mistõttu energiatõhususmeetmete väljatöötamisel tuleb lähtuda summaarsest energiakasutusest, arvestades ka energiaallika keskkonnamõju ja kasvuhoonegaaside heitmeid, ehk tuleb lähtuda summaarsest primaarenergiakulust. Ainult kütteenergia netovajadusele keskenduda ei tohi. See loob energiatõhusast hoonest vildaka pildi ja tervik jääb saavutamata. Hea sisekliima peab olema saavutatud väikese primaarenergia kuluga. Seetõttu on käesolevas uuringus hoonete energiatõhususmeetmete väljatöötamisel lähtutud eesmärgist saavutada teatud summaarne kaalutud energiaeritarbimise tase ehk teatud energiatõhususklass.

Teatud energiasäästuprotsendi arvutamisel on lähtutud elamu ehitusjärgsest olukorrast. Etapikaupa renoveerides on iga järgneva investeeringu tegemise motivatsioon väiksem ja head lõpptulemust ei pruugigi saavutada.

Energiatõhususmeetmete pakettide eesmärkidel on lähtutud ka majandus- ja kommunikatsiooni-ministri 17. augusti 2010. a määrusest nr 52 „Rohelise investeerimisskeemi «Korterelamute rekonstrueerimise toetus» kasutamise tingimused ja kord“.

Kaalutud energiaeerikasutuse juures on arvestatud, et:

- ruumide kütte ja vee soojendamine on lahendatud kaugkütte baasil (kaalumistegur 0,9);
- ruumipõhiste ja korteripõhiste ventilatsiooniagregaatide korral on ventilatsiooniõhu soojendamine lahendatud elektri baasil (kaalumistegur 1,5).

Energiatõhususpakett E (sisekliima miinimumnõuete tagamine + väike energiasääst: $ETA \leq 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Renoveerimistööde teostamise tulemusel tagatakse:

- hoones sisekliima vastavus nõuetele (sisekliima miinimumnõuded renoveeritavale elamule vastavalt EVS-EN 15251);
- energiatõhususarvu (ETA) klass vähemalt E (energiatõhususarv $\leq 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$);
- vähemalt 20%-lise energiasäästu saavutamine soojusenergia tarbimiselt kuni 2000 m² suletud netopinnaga korterelamus ja vähemalt 30%-lise energiasäästu saavutamine üle 2000 m² suletud netopinnaga korterelamus.

Energiatõhususpakett D (oluliselt rekonstrueeritavale elamule esitatavate nõuete täitmine: $ETA \leq 200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Renoveerimistööde teostamise tulemusel tagatakse:

- hoones sisekliima vastavus nõuetele (sisekliima miinimumnõuded renoveeritavale elamule vastavalt EVS-EN 15251);
- energiatõhususarvu klass vähemalt D (energiatõhususarv $\leq 200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$);
- vähemalt 40%-lise energiasäästu saavutamine soojusenergia tarbimiselt.

Lisaks on renoveerimistöödel ja nende majandusarvutustes lähtutud sellest, et:

- küttesüsteem renoveeritakse lokaalselt reguleeritavana (radiaatori termostaadid);
- välisseinad soojustatakse täies mahus soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust;
- kõik vanad, vahetamata aknad vahetatakse uute energiasäästlike akende vastu: avatäite kompleksne soojusjuhtivus on paigaldatuna $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- katus soojustatakse soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust.

Energiatõhususpakett C (uuele elamule esitatavate nõuete täitmine: $ETA \leq 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Renoveerimistööde teostamise tulemusel tagatakse:

- hoones sisekliima vastavus nõuetele (sisekliima miinimumnõuded renoveeritavale elamule vastavalt EVS-EN 15251);
- energiatõhususarvu klass vähemalt C (energiatõhususarv $\leq 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$);
- vähemalt 50%-lise energiasäästu saavutamine soojusenergia tarbimiselt.

Lisaks on renoveerimistöödel ja nende majandusarvutustes lähtutud sellest, et:

- küttesüsteem renoveeritakse lokaalselt reguleeritavana (radiaatori termostaadid);
- välisseinad soojustatakse täies mahus soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust;
- kõik vanad aknad vahetatakse energiasäästlike akende vastu (avatäite kompleksne soojusjuhtivus paigaldatuna on $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$);
- katuse soojustatakse soojusjuhtivuse taotlustasemega $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kusjuures lõplik soojusjuhtivuse suurus tuleneb vajalikust energiasäästust ja taotletavast energiatõhususarvust;
- kogu hoone ventilatsioonisüsteem on varustatud soojusagastusega.

Energiatõhususpakett B (uuest hoonest energiatõhusam tase)

Renoveerimistööde teostamise tulemusel tagatakse:

- hoones sisekliima vastavus nõuetele (sisekliima miinimumnõuded renoveeritavale elamule vastavalt EVS-EN 15251);
- energiatõhususarvu klass vähemalt B ($ETA < 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Analüüsitud elamutüübid

Energiatõhususe arvutuslik analüüs tehti neljale elamutüübile, vt. Tabel 11.4.

Tabel 11.4 Hoonete tüübid, millele tehti energiaarvutused.

4-5-korruseline 2-4 trepikojaga tüüpelamu I-317 ja I-318

- Uuringus olnud hoonete koodid: 1110, 1120, 1130, 2130, 3130, 4120;
- Võrdlushoone (4120) põhinäitajad:
 - o ehitisealune pind, 394 m²;
 - o suletud netopind: 1383 m²;
 - o köetav pind: 1154 m²;
 - o välisseina pind: 756 m²;
 - o akende-uste pind: 267 m²;
 - o korterite arv: 31;
 - o elanike arv: 45;
 - o välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,52 m⁻¹.



5-9-korruseline keraamilistest tellistest sektsioonelamu

- Uuringus olnud hoonete koodid: 1140, 1230, 1240, 2140, 2150.
- Võrdlushoone (1230) põhinäitajad:
 - o ehitisealune pind, 684m²;
 - o suletud netopind: 3147 m²;
 - o köetav pind: 2623m²;
 - o välisseina pind: 1944m²;
 - o akende-uste pind: 544,8m²;
 - o korterite arv: 40;
 - o elanike arv: 112;
 - o välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,35 m⁻¹.



5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest elamu

- Uuringus olnud hoonete koodid: 1190, 1220, 4110, 4130.
- Võrdlushoone (1190) põhinäitajad:
 - o ehitisealune pind, 98 m²;
 - o suletud netopind: 598 m²;
 - o köetav pind: 480 m²;
 - o välisseina pind: 583 m²;
 - o akende-uste pind: 164 m²;
 - o korterite arv: 8 ;
 - o elanike arv: 18;
 - o välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,69 m⁻¹.



10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest elamu

- Uuringus olnud hoonete koodid: 1150, 1160, 1170.
- Võrdlushoone (1170) põhinäitajad:
 - o ehitisealune pind, 1634 m²;
 - o suletud netopind: 12196 m²;
 - o köetav pind: 10781 m²;
 - o välisseina pind: 4941 m²;
 - o akende-uste pind: 2614 m²;
 - o korterite arv: 162;
 - o elanike arv: 430;
 - o välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,25 m⁻¹.

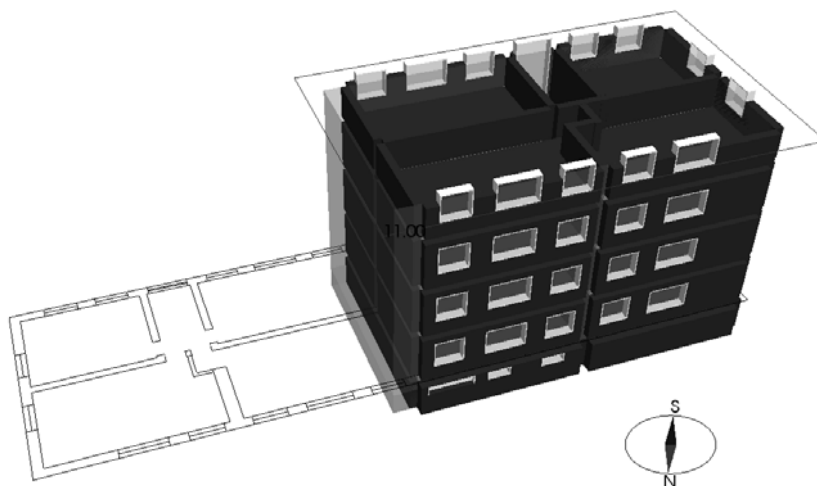


11.2.2 Energiaarvutuste tulemused

Energiaarvutuse tulemused on esitatud kaalutud energiaerikasutusena, st. vastavalt energiakandja tüübile on energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju arvesse võetud VV. määruses nr. 258 toodud kaalumisteguritega.

4-korruseline 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu

Hoone arvutati 19-tsoonilise poole hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda ja kelder moodustasid omaette tsooni, vt. Joonis 11.12.



Joonis 11.12 Hoone energiaarvutusmudeli välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.5.

Tabel 11.5 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral

		Arvutusvariant	
		T (elamu mõõtmisaegne olukord)	0 (elamu ehitusjärgne olukord VV.M. 258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$	Välissein	1,1	1,1
	Sokkel	0,9	0,9
	Katuslagi	1,2	1,2
	Keldripõrand	4,4	4,4
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Päikesefaktor g, -		0,55	0,76
Välisuks		2,0	2,0
Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$		6	6
Infiltratsiooni õhuhulk, $l/(s \cdot m^2)$		0,09	0,09
Ventilatsiooni õhuhulk, $l/(s \cdot m^2)$		0,38	0,45
Sooja vee kasutus, $l/(m^2 \cdot d)$		1,03	2,18

Elamu praeguse kasutusjärgse (arvutusvariant T) ja ehitusjärgse olukorra (arvutusvariant 0) energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.6.

Tabel 11.6. 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu arvutuslik kaalutud energiakasutuse võrdlus mõõtmisaegse olukorra (T) ja elamu ehitusjärgse olukorra (0) puhul

Arvutus-variant	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						
	Kokku	Ruumide kütte	Ventilatsiooniõhu soojendamise	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
T, MWh	298	222	(kaetakse küttega)	1,5	39,6	11,1	22,6
T, kWh/m ²	257	192	(kaetakse küttega)	1,4	34,4	9,6	19,6
0, MWh	354	254	(kaetakse küttega)	1,5	39,0	12,2	48,2
0, kWh/m ²	307	220	(kaetakse küttega)	1,4	33,8	10,5	41,7

Selgitamaks välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse, on olemasolev hoone (variant T) viidud ehitusjärgsesse olukorda (variant 0, sisekliima klass III) ja iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel ka sisekliima klass II). Üksikute renoveerimisemeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.7.

Tabel 11.7. 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu renoveerimisvariantide energiakasutus ja -sääst.

Renoveerimisemeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
Akende vahetus, U=1,1 W/(m ² K) (3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam)	270	11	206	16
Välisseinte lisasoojustamine U=0,29 W/(m ² ·K) (≈+10 cm)	241	21	173	29
Välisseinte lisasoojustamine U=0,21 W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	236	22	169	31
Välisseinte lisasoojustamine U=0,17 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	234	23	166	32
Katuslae lisasoojustamine, U=0,19 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	273	10	209	15
Katuslae soojustamine U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	271	11	207	15
Soojuspumbaga ventilatsioonisüsteem (COP ≥ 4,0)	299	2	226	8
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,6)	313	-3	209	14
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,8)	286	6	192	22

Energiasäästu saavutamise juures tuleb arvestada, et maksimaalne sääst on saavutatav toimiva küttesüsteemi korral, see tähendab, et küttesüsteem on renoveeritud, reguleeritud, tasa-kaalustatud ja ei teki ülekütmist. See eeldab alati renoveerimisel terviklahenduse kasutamist. Üksikkomponentide mõju analüüs on tehtud vaid erinevate osade mõju väljatoomiseks, mis võib aidata renoveerimisjärjekorra koostamist, kui ei tehta kõike korraga. Siiski tuleb alati eelistada elamu korraga tervikrenoveerimist.

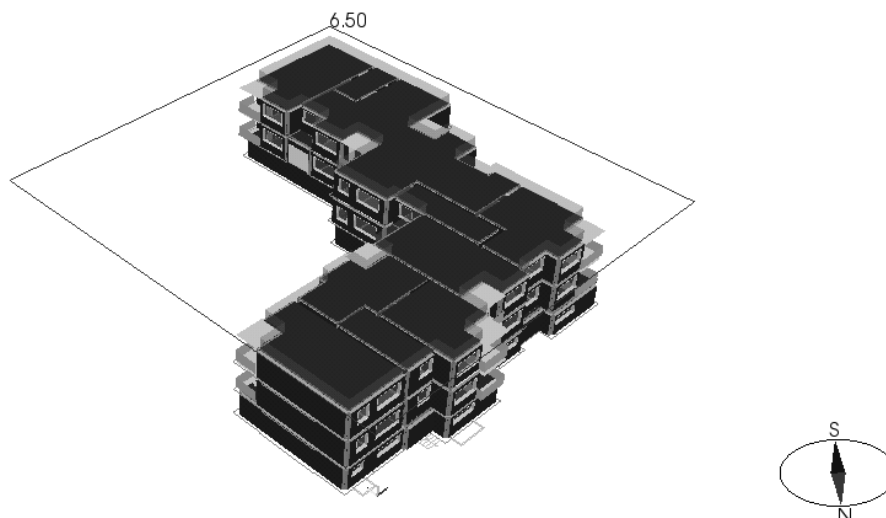
Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte soojustamine ja efektiivse ventilatsioonisüsteemi kasutamine. 20 cm ja paksema soojustuse korral on

energiatõhususe paranemine suhteliselt väiksem. Pakku lisasoojustust võib siiski mõnikord vaja minna, et saavutada teatud energiatõhususe klass.

Energiatõhususarvu suurenemine väiksema efektiivsusega (temperatuuri suhtarv 0,6) sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral on tingitud õhuvooluhulga suurenemisest elu- ja magamistubades ($0,6 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ asemel ($1,0 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$), kuna pärast renoveerimist on saavutatud II sisekliima klass.

5-korruseline keraamilistest tellistest kolme trepikojaga sektsioonelamu

Hoone arvutati 31-tsoonilise hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda ja kelder moodustasid omaette tsooni, vt. Joonis 11.13



Joonis 11.13 Hoone energiaarvutusmudeli välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.8. Elamu praeguse kasutusjärgse (arvutusvariant T) ja ehitusjärgse olukorra (arvutusvariant 0) energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.9.

Tabel 11.8 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral.

		Arvutusvariant	
		T (elamu mõõtmisaegne olukord)	0 (elamu ehitusjärgne olukord VV.M. 258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	Välissein	1,0	1,0
	Sokkel	1,0	1,0
	Katuslagi	0,8	0,9
	Keldripõrand	3	3
Aken: klaas / raam (raami osakaal 15%)		1,6 / 2,0	3,0 / 2,0
Päikesefaktor g, -		0,55	0,76
Välisuks		1,4	2,0
Õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$		6	6
Infiltratsiooni õhuhulk, $\text{l/(s} \cdot \text{m}^2)$		0,11	0,11
Ventilatsiooni õhuhulk, $\text{l/(s} \cdot \text{m}^2)$		0,11	0,56
Sooja vee kasutus $\text{l/(m}^2 \cdot \text{d)}$		1,42	1,81

Tabel 11.9. 5-korruselise keraamilistest tellistest sektsioonelamu arvutuslik kaalutud energiakasutuse võrdlus mõõtmisaegse olukorra (T) ja elamu ehitusjärgse olukorra (0) puhul.

Arvutus-variant	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						
	Kokku	Ruumide kütte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe-tarbevesi
T, MWh	639	402	(kaetakse	3,4	115,9	40,4	77,0
T, kWh/m ²	244	153,3	küttega)	1,3	44,2	15,4	29,4
0, MWh	745	529,4	(kaetakse	3,4	88,6	27,6	96,3
0, kWh/m ²	284	201,8	küttega)	1,3	33,8	10,5	36,7

Selgitamaks välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse, on olemasolev hoone (variant T) viidud ehitusjärgsesse olukorda (variant 0, sisekliima klass III) ja iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel ka sisekliima klass II). Üksikute renoveerimisemeetmete mõju energiatõhususarvule ja kütteenergia erikasutusele vt. Tabel 11.10

Tabel 11.10 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu renoveerimisvariantide energiakasutus ja -sääst

Renoveerimisemeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
Akende vahetus, U=1,1 W/(m ² ·K) (3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam)	262	8	180	10,9
Välisseinte lisasoojustamine U=0,29 W/(m ² ·K) (≈+10 cm)	213	25	131	35,2
Välisseinte lisasoojustamine U=0,21 W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	207	27	125	38,3
Välisseinte lisasoojustamine U=0,17 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	204	28	122	39,8
Katuslae lisasoojustamine, U=0,19 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	270	5	187	7,1
Katuslae soojustamine U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	269	5	187	7,6
Soojuspumbaga ventilatsioonisüsteem (COP ≥ 4,0)	273	4	181	10
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,6)	294	-3	193	4,5
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,8)	271	5	171	15,5

Energiasäästu saavutamise juures tuleb arvestada, et maksimaalne sääst on saavutatav toimiva küttesüsteemi korral, see tähendab, et küttesüsteem on renoveeritud, reguleeritud, tasakaalustatud ja ei teki ülekütmist. See eeldab alati renoveerimisel terviklahenduse kasutamist. Üsikkomponentide mõju analüüs on tehtud vaid erinevate osade mõju väljatoomiseks, mis võib aidata renoveerimisjärjekorra koostamisel, kui ei tehta kõike korraga. Siiski tuleb alati eelistada elamu korraga tervikrenoveerimist.

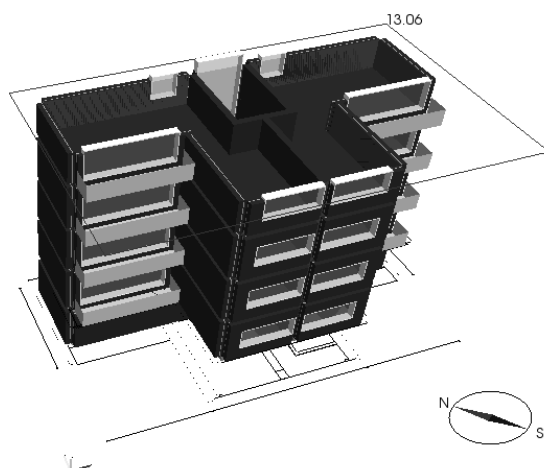
Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte soojustamine ja efektiivse ventilatsioonisüsteemi kasutamine, 20 cm ja paksema soojustuse

korral on energiatõhususe paranemine suhteliselt väiksem. Pakasu lisasoojustust võib siiski mõnikord vaja minna, et saavutada teatud energiatõhususe klass.

Energiatõhususarvu suurenemine väiksema efektiivsusega (temperatuuri suhtarv 0,6) sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral on tingitud õhuvooluhulga suurenemisest elu- ja magamistubades ($0,6 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ asemel ($1,0 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$)), kuna pärast renoveerimist on saavutatud II sisekliima klass.

5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest punktalamu

Hoone arvutati 19-tsoonilise poole hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda ja kelder moodustasid omaette tsooni, vt. Joonis 11.14.



Joonis 11.14 Hoone energiaarvutusmudeli välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.11.

Tabel 11.11 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest punktalamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral

		Arvutusvariant	
		T (elamu mõõtmisaegne olukord)	0 (elamu ehitusjärgne olukord VV.M. 258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$	Välissein	1,2	1,2
	Sokkel	1,2	1,2
	Katuslagi	0,8	0,8
	Keldripõrand	3,2	3,2
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Päikesefaktor g, -		0,62	0,76
Välisuks		2,0	2,0
Õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$		6	6
Infiltratsiooni õhuhulk, $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$		0,18	0,18
Ventilatsiooni õhuhulk, $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$		0,30	0,39
Sooja vee kasutus $\text{l/(m}^2\cdot\text{d)}$		0,98	1,50

Elamu praeguse kasutusjärgse (arvutusvariant T) ja ehitusjärgse olukorra (arvutusvariant 0) energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.12.

Tabel 11.12. 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest punktelamu arvutuslik kaalutud energiakasutuse võrdlus mõõtmisaegse olukorra (T) ja elamu ehitusjärgse olukorra (0) puhul

Arvutus-variant	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						
	Kokku	Ruumide kütte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
T, MWh	187	150	(kaetakse küttega)	0,6	15,6	5,9	14,8
T, kWh/m ²	389	312	(kaetakse küttega)	1,3	33	12	31
0, MWh	188	152	(kaetakse küttega)	0,6	16,2	5,1	13,8
0, kWh/m ²	392	319	(kaetakse küttega)	1,3	34	11	29

Selgitamaks välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse, on olemasolev hoone (variant T) viidud ehitusjärgsesse olukorda (variant 0, sisekliima klass III) ja iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel ka sisekliima klass II). Üsikute renoveerimisemeetmete mõju energiatõhususarvule ja kütteenergia erikasutusele vt. Tabel 11.7.

Tabel 11.13. 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest punktelamu renoveerimisvariantide energiakasutus ja -sääst

Renoveerimisemeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
Akende vahetus, U=1,1 W/(m ² K) (3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam)	345	12	303	14
Välisseinte lisasoojustamine U=0,29 W/(m ² ·K) (≈+10 cm)	268	31	218	39
Välisseinte lisasoojustamine U=0,21 W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	259	34	207	42
Välisseinte lisasoojustamine U=0,17 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	254	35	201	43
Katuslae lisasoojustamine, U=0,19 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	365	7	325	8
Katuslae soojustamine U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	363	7	323	9
Soojuspumbaga ventilatsioonisüsteem (COP ≥ 4,0)	384	2	322	9
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,6)	397	-1	316	11
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,8)	373	5	300	15

Energiasäästu saavutamise juures tuleb arvestada, et maksimaalne sääst on saavutatav toimiva küttesüsteemi korral, see tähendab, et küttesüsteem on renoveeritud, reguleeritud, tasakaalustatud ja ei teki ülekütmist. See eeldab alati renoveerimisel terviklahenduse kasutamist. Üsikkomponentide mõju analüüs on tehtud vaid erinevate osade mõju väljatoomiseks, mis võib aidata renoveerimisjärjekorra koostamist, kui ei tehta kõike korraga. Siiski tuleb alati eelistada elamu korraga tervikrenoveerimist.

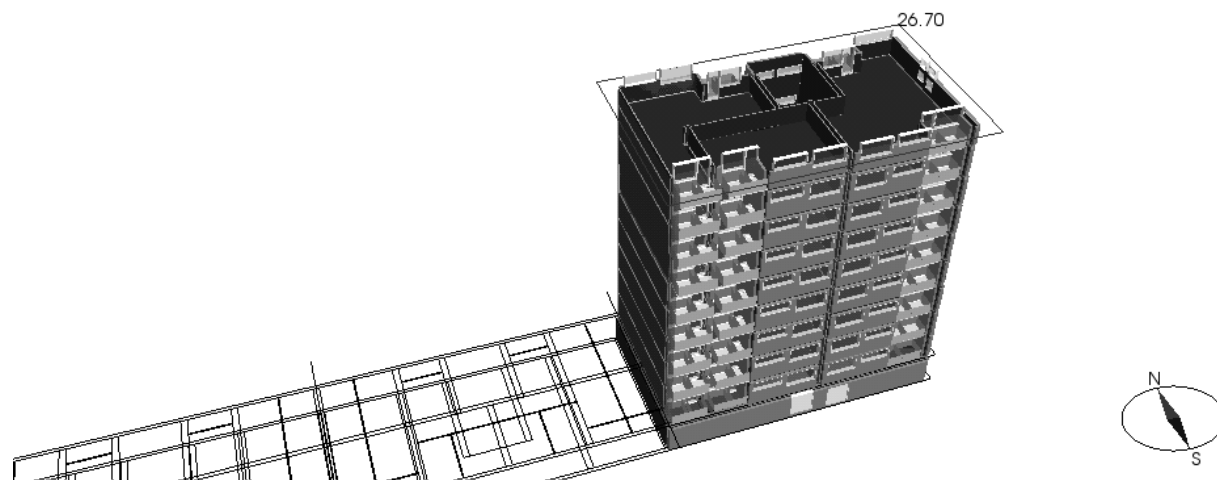
Üsikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte soojustamine ja efektiivse ventilatsioonisüsteemi kasutamine, 20 cm ja paksema soojustuse

korral on energiatõhususe paranemine suhteliselt väiksem. Paksu lisasoojustust võib siiski mõnikord vaja minna, et saavutada teatud energiatõhususe klass. Väikese katuse pinna tõttu soojustuse paksus ≥ 20 cm ei paranda energiatõhusust. Soojustuse paksuse juures tuleb analüüsida ka katuse niiskustehnilist toimivust, kus olemasoleva katusekatte säilitamisel võib minna vaja paksemat lisasoojustust.

Energiatõhususarvu suurenemine väiksema efektiivsusega (temperatuuri suhtarv 0,6) sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral on tingitud õhuvooluhulga suurenemisest elu- ja magamistubades ($0,6 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ asemel ($1,0 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$)), kuna pärast renoveerimist on saavutatud II sisekliima klass.

10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest korterelamu

Hoone koosneb viiest sektsioonist, arvutused teostati sektsioonide kaupa. Sektsioonid jagati mudeliteks nii, et iga korter, trepikoda ja kelder moodustasid omaette tsooni, vt. Joonis 11.15



Joonis 11.15 Hoone energiaarvutusmudeli välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.14.

Tabel 11.14 10-korruselise 5 trepikojaga silikaattellistest korterelamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral

		Arvutusvariant	
		T (elamu mõõtmisaegne olukord)	0 (elamu ehitusjärgne olukord VV.M. 258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Välissein	1,1	1,1
	Sokkel	0,9	0,9
	Katuslagi	1,2	1,2
	Keldripõrand	3	3
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Päikesefaktor g, -		0,55	0,76
Välisüks		2,0	2,0
Õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$		6	6
Infiltratsiooni õhuhulk, $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$		0,11	0,11
Ventilatsiooni õhuhulk, $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$		0,30	0,58
Sooja vee kasutus $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$		1,50	1,51

Elamu praeguse kasutusjärgse (arvutusvariant T) ja ehitusjärgse olukorra (arvutusvariant 0) energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.15.

Tabel 11.15. 10-korruselise 5 trepikojaga silikaattellistest korterelamu arvutuslik kaalutud energiakasutuse võrdlus mõõtmisaegse olukorra (T) ja elamu ehitusjärgse olukorra (0) puhul

Arvutus-variant	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						
	Kokku	Ruumide kütte	Ventilatsiooniõhu soojendamise	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
T, MWh	2259	1370	0	16,1	407	127	340
T, kWh/m ²	210	127	0,0	1,5	38	12	32
0, MWh	2632	1770	0	14,2	364	113	370
0, kWh/m ²	244	164	0,0	1,3	34	11	34

Et selgitada välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse, on olemasolev hoone (variant T) viidud ehitusjärgsesse olukorda (variant 0, sisekliima klass III) ja iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel ka sisekliima klass II). Üksikute renoveerimisemeetmete mõju energiatõhususarvule ja kütteenergia erikasutusele vt. Tabel 11.16.

Tabel 11.16. 10-korruselise 5 trepikojaga silikaattellistest elamu renoveerimisvariantide energiakasutus ja -sääst

Renoveerimisemeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
Akende vahetus, U=1,1 W/(m ² ·K) (3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam)	209	14	129	22
Välisseinte lisasoojustamine U=0,29 W/(m ² ·K) (≈+10 cm)	194	21	114	31
Välisseinte lisasoojustamine U=0,21 W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	190	22	110	33
Välisseinte lisasoojustamine U=0,17 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	188	23	108	34
Katuslae lisasoojustamine, U=0,19 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	237	3	157	5
Katuslae soojustamine U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	236	3	156	5
Soojuspumbaga ventilatsioonisüsteem (COP ≥ 4,0)	229	6	139	16
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,6)	244	-0	152	7
Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (temperatuuri suhtarv 0,8)	224	8	132	20

Energiasäästu saavutamise juures tuleb arvestada, et maksimaalne sääst on saavutatav toimiva küttesüsteemi korral, see tähendab, et küttesüsteem on renoveeritud, reguleeritud, tasakaalustatud ja ei teki ülekütmist. See eeldab alati renoveerimisel terviklahenduse kasutamist. Üsikkomponentide mõju analüüs on tehtud vaid erinevate osade mõju väljatoomiseks, mis võib aidata renoveerimisjärjekorra koostamist, kui ei tehta kõike korraga. Siiski tuleb alati eelistada elamu korraga tervikrenoveerimist.

Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte soojustamine ja efektiivse ventilatsioonisüsteemi kasutamine, 20 cm ja paksema soojustuse

korral on energiatõhususe paranemine suhtelisel väiksem. Paksu lisasoojustust võib siiski mõnikord vaja minna, et saavutada teatud energiatõhususe klass. Väikese katuse pinna tõttu soojustuse paksus ≥ 20 cm ei paranda energiatõhusust. Soojustuse paksuse juures tuleb analüüsida ka katuse niiskustehnilist toimivust, kus olemasoleva katusekatte säilitamisel võib minna vaja paksemat lisasoojustust.

Energiatõhususarvu suurenemine väiksema efektiivsusega (temperatuuri suhtarv 0,6) sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi korral on tingitud õhuvooluhulga suurenemisest elu- ja magamistubades ($0,6 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ asemel ($1,0 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$), kuna pärast renoveerimist on saavutatud II sisekliima klass.

12 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud: kokkuvõte ankeetküsitlusest

Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud selgitati uuringus osalenud korterite elanikega läbiviidud küsitluse abil. Küsimused puudutasid korteri tehnilist seisundit, ruumide kasutust, rahulolu sisekliimaga ning soojusliku mugavusega. Lisaks olid küsimused suunatud kütte- ja ventilatsiooniprobleemide ning niiskusraežiimi väljaselgitamiseks, kuid vaadeldud oli ka müra- ja terviseprobleeme ning korteri remondivajadust. Osa küsimusi eeldas ja võimaldas täpset vastust millegi olemasolu või ilmumise kohta (ja-ei põhimõttel). Samas olid ka küsimused, kus vastused tuli asetada etteantud skaalale ühest äärmusest teise (näiteks soe-külm; värske-umbne õhk). Elanike käest ei küsitud mingeid 'rahalisi' andmeid ei leibkonna ega korteri ülalpidamiskulude kohta. Kõikides korterites, kus viidi läbi küsitlus, tehti ka pikemaajalised sisekliimamõõtmised.

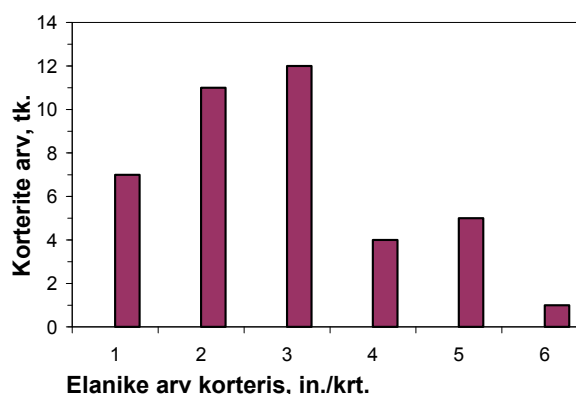
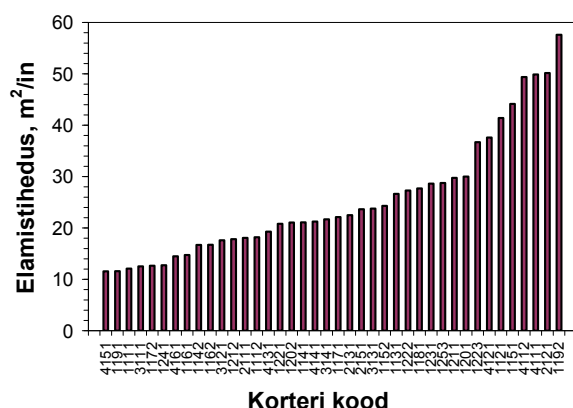
Uuringu objektiks olnud korterelamutes paiknevatest korteritest saadi elanike ankeetidele vastuseid kokku 40 (83% uuritud korteritest). Selline arv ei ole mingil juhul piisav ulatuslike ning usaldusväärsete üldistuste tegemiseks. Samas ülevaate hetkeolukorrast ja taustainfo mõõdetud andmetele saab ikkagi esitada. Korterite jaotus, kus küsitlus läbi viidi vt. Tabel 12.1.

Tabel 12.1 Korterite jaotus

Asukoht	Arv, tk	Protsentuaalne jaotus
Tallinn	25	62%
Tartu	7	18%
Pärnu	4	10%
Ida-Virumaa	4	10%
Kokku	40	100%

12.1 Elamistingimused

Uuringus osalenud korteritest vaid ühes oli tegemist üürnikega, ülejäänutes olid elanikeks korteri omanikud. Elamispinda on keskmiselt (siin ja hiljem on kasutatud aritmeetilist keskmist) 25 m² inimese kohta, vt. Joonis 12.1 vasakul. Võrreldes Eesti keskmise majutustihedusega (suurusjärgus 28 m²/elanikule) on see mõnevõrra suurem majutustihedus. Keskmise elanike arv korteris oli 2,8 vt. Joonis 12.1 paremal.



Joonis 12.1 Elamistihedus korterites (vasakul) ja elanike arv korteris (paremal).

Uuritud korterite kasutusintensiivsus on nii suvel kui ka talveperioodil valdavalt sama ning päevasel ajal on korterites tavaliselt elanikke vähem kui hommikul ja öösel.

12.2 Akende iseloomustus

Korteriomaniku strateegilise käitumise hindamiseks (nii otseselt kui ka kaudselt) võib kasutada akende vahetamist. Igal juhul näitab akende vahetamine korteriomaniku hoolitsust ja huvi teha kulutusi.

Kõik aknad on vahetatud 77% korteritest ja 10% korteritest on aknad osaliselt vahetatud. See on sama suur kui uute akende ja osaliselt vahetatud akende osakaal, nagu ka tuvastati suurpaneelkorterelamutes. Aknaraami materjalidest on levinuim plastraam (peamiselt uued, vahetatud aknad): 53%, seejärel puitraam (peamiselt vanad, vahetamata aknad): 37% ja 10% korteritest on nii puit- kui ka plastraamiga aknaid. Levinuim aknatüüp on telliselamutes ühes raamis asetsev klaaspakett: 46%. Vähemesinevad aknatüübid olid ühes raamis kaks klaasi: 19%, kahe raamiga, milles mõlemas üks klaas 18%, kahe raamiga, milles on üks klaaspakett (kokku kolm klaasi) 7% ja 10% esineb erinevate variantide kombinatsioone, kuna korterites on üheaegselt nii uusi kui ka vanu aknaid. Uuritud korteritest vaid üks oli selline, kus ei saa akent avada; kõigis ülejäänutes on igas toas vähemalt üks avatav aken. Akende avamise võimalus on oluline ruumide tuulutamise seisukohalt, kuna renoveerimata ventilatsiooni korral on vanemates korterelamutes õhuvahetus reeglina puudulik.

12.3 Niiskuskahjustused

Vastanutest 70% väitis, et nende korteris on viimase kümne aasta jooksul olnud niiskuskahjustusi, mõnel uuritaval isegi mitu. Enim esines torude lekete ja tualettruumi ning vannitoa niiskuskahjustusi, mis enamjaolt olid seotud pesumasina rikkega. Sarnane niiskuskahjustuste hulk (66%) oli ka suurpaneelkorterelamutes, ning ka seal oli enamasti tegemist WC ja vannitoa kahjustustega (17%).

Vannitubade niiskuskahjustuste peamiseks põhjuseks võib pidada puudulikult tehtud veetõketeid. Tuginedes küsitlusele, on veetõke tehtud nii põrandale kui ka seintele vaid 22% korteritest, 25% korteritest ei ole tehtud mingisugust veetõket, 9% on tehtud veetõke vaid põrandale, 2% ainult seinale ja 42% vastanutest ei ole teadlikud, kas nende vannitoas ja WC-s on paigaldatud veetõke.

Vastavalt elanike küsitlustele esines ruumide sisepinnale tekkinud hallitust 37% korteritest ja pooltel nendest juhtudest esineb see probleem sagedasti.

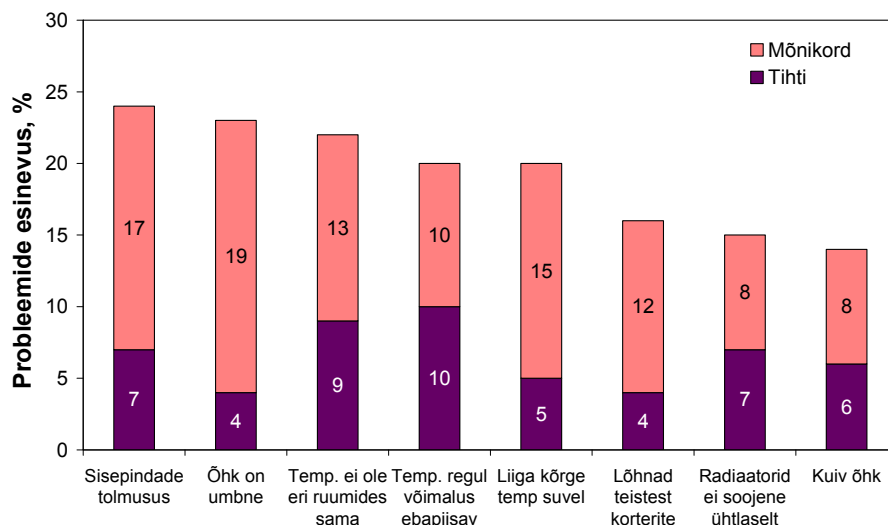
Veeauru kondenseerumist akna sisepinnale on esinenud pooltes korterites (51% vastanutest) ja vastanutest 13% on esinenud akende sisepinnal härmatist. Veeauru kondenseerumise peamised põhjused on seotud pesu kuivatamisega siseruumides ja söögitegemisega, kuid mõningatel juhtudel on veeaur hommikuti magamistoa akendel. Kõik need põhjused viitavad suurele niiskuskoormusele ja puudulikult toimuvale ventilatsioonile. Pea pooled vastanutest kuivatavad pesu siseruumides, kas vannitoas või toas, ning pooled neist kuivatavad suveperioodil võimalusel pesu ka õues või rõdul. Pesukuivati on vaid ühes uuritud korteritest. Pesu kuivatamist siseruumides või kinniehitatud rõdudel tuleb vältida. Puuduliku ja tavaventilatsiooniga ruumides pesu kuivatamine siseruumides ja kinniehitatud rõdudel/lodžadel suurendab oluliselt niiskuskoormust. Joonis 12.2 on toodud näited kahest korterist, kus suurest niiskuskoormusest ja puudulikust ventilatsioonist on hoonepiirete sisepinnale tekkinud hallituskahjustused. Õhuniisutit kasutatakse vaid ühes uuritud korteritest aastaringsest ning ühes vaid talveperioodil. 95% vastanutest ei kasuta õhuniisutit.



Joonis 12.2 Pesu kuivatamist siseruumides või kinniehitatud rõdudel tuleb vältida.

12.4 Kütte- ja ventilatsiooniprobleemid

Uuringus osalenud korterite elanikud pidasid suurimaks kütte- ja ventilatsiooniprobleemiks umbset õhku (60% vastanutest) ja ruumitemperatuuriga seotud probleeme: temperatuur ei ole eri ruumides sama (58% vastanutest) või temperatuuri reguleerimise võimalus ei ole piisav (55% vastanutest), vt Joonis 12.3. Suurpaneelilamute uuringus seevastu oli kõige suuremaks probleemiks talveperioodil staatiline elekter, kuid suveperioodil samuti liialt kõrge sisetemperatuur sarnaselt telliselamutega. Lisaks toodi paneelilamute puhul välja tõmbetuult ja madalat põrandapinna temperatuuri talveperioodil ning kõikuvat siseõhu temperatuuri suvel. Kõige vähem peeti probleemiks tõmbetuult korteris nii suvel kui ka talvel.



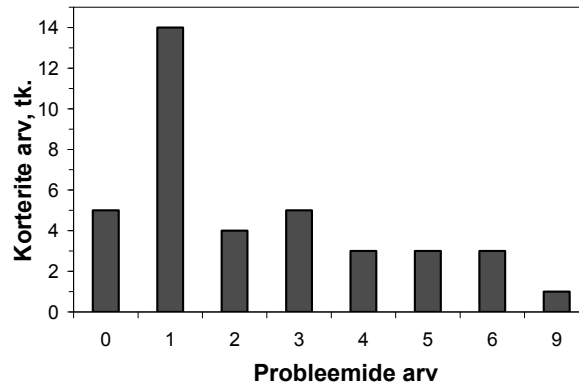
Joonis 12.3 Peamised sisekliimaprobleemid uuritud korterites.

Protsentuaalselt suurim probleem oli sisepindade tolmusus. Samas sõltub see probleem ka korteri koristuseaktiivsusest ja ainult ventilatsiooniprobleemide hulka seda liigitada ei saa.

Võrdluseks võib tuua, et Soome uutes korterelamutes läbi viidud uuringu (Vinha et.al.. 2009) tulemusena selgus, et kõige suuremaks ventilatsiooniprobleemiks peeti tolmuiseid sisepindu (50%) ja ebapiisavat ventilatsiooni suveperioodil (45%) ning kõige vähem peeti probleemiks ebameeldivat lõhna korteris. Üle 20% vastanutest pidas probleemiks ka külmi põrandapindu, õhu umbsust ning ventilatsiooniseadmetest tulenevat müra, mida Eestis läbi viidud uuringus küsitlusele vastanud pidasid kõige väiksemaks probleemideks. Külmade põrandate üle kurtsid peamiselt esimese korruse korterite elanikud.

Kõige rohkem (37%) oli kortereid, millel oli üks kütte või ventilatsiooniga seotud probleem, ning 13% korteri küsitletud elanikest väitis, et probleemid puuduvad (vt. Joonis 12.4). Pooltel

uuringus osalenud korteritest esines kaks või enam probleemi. Vaid ühes korteris esines kokku üheksa kütte ja ventilatsiooniga seotud probleemi. Analoogetes uuringus Soomes oli kortereid, kus probleemid puudusid 40% (Eestis 13%) ning vaid 20% korteritest võis täheldada kahte või enamat probleemi (Eestis 50%).



Joonis 12.4 Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide esinevuse tihedus.

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemide analüüsid on vajalik anda ülevaade ka tehnosüsteemide lahendusest, kuna need on probleemide peamised põhjused.

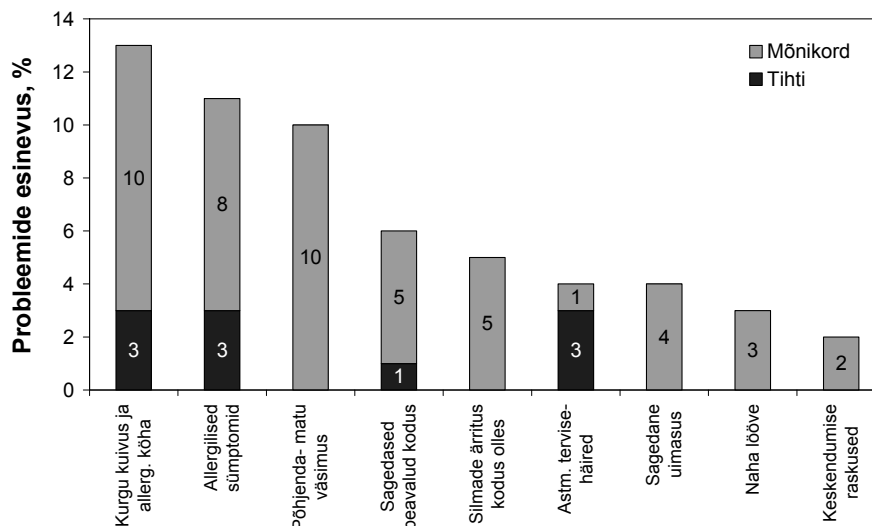
Peamiseks (60%) soojuse jaotussüsteemiks on ühetorusüsteem. Kolmel uuringus osalenud korteritest (üks elamu) oli otsene elekterküte (radiaator, põrandaküte, õhk-õhk soojuspump). Malmradiaatorid on 65% korteritest, plekkradiaatorid 30% ja 5% vastanutest on korteris nii malm- kui ka plekkradiaatoreid. Radiaatorid on termostaadiga reguleeritavad 25% korteritest, tavalise kraaniga on reguleeritavad 10% ning 65% vastanutest puudub võimalus radiaatoreid reguleerida. Kütuse tüüpidest kasutatakse 78% kaugkütet, 8% otsest elektrikütet, 8% õlikütet ning 6% gaasikütet.

Ventilatsioonisüsteemidest on 54% juhtudest tegemist loomuliku ventilatsiooniga, millele on lisaks veel mehaaniline köögikubu. 35% on ainult loomulik ventilatsioon ning 5% on mehaaniline väljatõmme. Nii mehaanilist sissepuhet ja väljatõmmet, mehaanilist ventilatsiooni koos värsket õhu klappidega seintes ning akendes esines kõiki ühel juhul.

Veerand vastanutest väitis, et kasutab ruumide õhutamiseks (ventilatsioonisüsteemi puuduliku toimimise tõttu) lisaks süstemaatilist akende avamist. 75% küsitletutest tuulutab suvel korterit põhjalikult vähemalt korra päevas ja seda üle kolmekümne minuti, 43% tuulutab korterit igapäevaselt ka talvel vähemalt kümme minutit. Peamiseks põhjusteks tuulutusele tuuakse õhu umbsust ja palavust.

12.5 Müra- ja terviseprobleemid

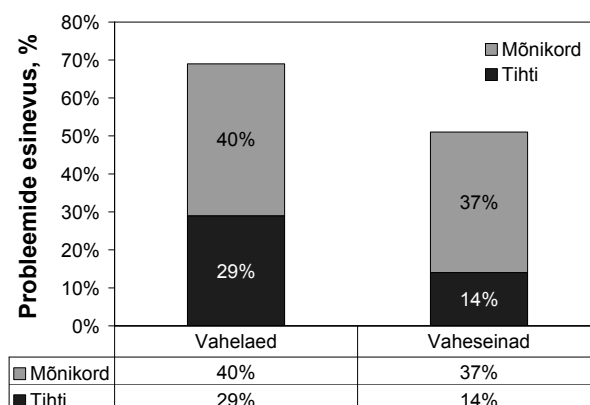
Terviseprobleemidest töid vastanud enim välja kurgu kuivust ja allergilist köha kodus olles, kuid vaid kolmel vastanust oli see probleem tihedalt esinev. Tihedalt esineva terviseprobleemina toodi mõnel juhul välja veel astmaatilisi ja allergilisi sümptomeid, kuid need olid enamasti seotud juba varem olemasoleva tervises seisundiga ja ei olnud väidetavalt seotud korteri sisekliimaga. Mõnikord esinevate probleemidena märgiti veel põhjendamatu väsimuse, peavalude ja silmade ärrituse esinemist kodus olles, kuid seda harvem. Täpsem jaotus on välja toodud joonisel (vt. Joonis 12.5). Suurpaneelelamute puhul oli samuti enim välja toodud kurgu kuivus ja köha, kuid vähemal määral (16%).



Joonis 12.5 Uuringus osalenud korterite elanike terviseprobleemid.

Müraprobleemidest oli kõige levinum vahelagedest kostuv müra, mille üle kurtis 69% vastanutest. 29% vastanutest väitis, et probleem on igapäevane ning 40% väitis, et antud probleem esineb mõnikord. Vaheseintest tulenevat pidas müra probleemiks 51% küsitletutest, 37% väidab probleemi olevat igapäevane ja 14%, et mõnikord (vt. Joonis 12.6).

Tehnoseadmetest tulenevat ajutist või pidevat müra pidas probleemiks vaid alla 15% küsitletutest, mis võib olla tingitud sellest, et uuritud korterites enamjaolt puudub mehaaniline ventilatsioon või muud müratekitavad tehnoseadmed.



Joonis 12.6 Müraprobleemid uuritud korterites.

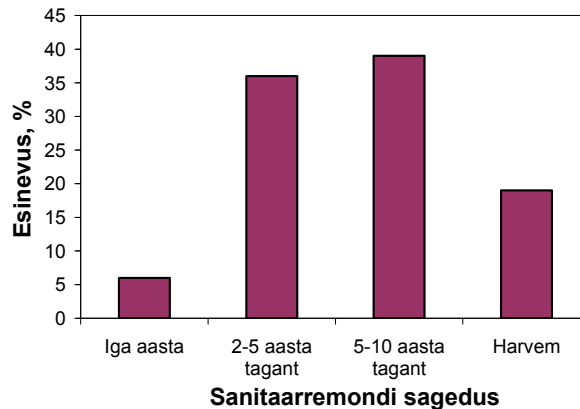
Uuringus selgitati ka korterite elanike arvamust ruumide päevavalgusega varustatuse kohta. 11% vastanutest väitis, et korteri siseruumides pole piisavalt päevavalgust ja koridore ning trepikodasid pidasid ebapiisavalt päevavalgusega varustatuks 17% vastanutest.

12.6 Korterite sanitaarremont

Enamikus uuringus osalenud korterites on tehtud vähemal või rohkemal määral sanitaarremonti. On ka kortereid, mis on täielikult renoveeritud, kuid enamjaolt on remonti tehtud vastavalt vajadusele ja võimalustele tuba-toa kaupa. Enim on pööratud tähelepanu akende vahetamisele, vannitoa ja WC ning köögi remondile.

Sanitaarremondi tegemine viie kuni kümne aasta ning kahe kuni viie aasta tagant olid kõige enam esinenud sagedused, vastavalt 39% ja 36% (vt. Joonis 12.7). Kuigi 6% vastasid, et teevad sanitaarremonti igal aastal, oli enamik kortereid, kus käib tuba toa kaupa renoveerimine juba aastaid. Vaid üks Pärnus asuv korter teeb iga-aastast sanitaarremonti, sest korteris on väga tõsine niiskusprobleem ning esineb ohtralt hallitust, mida korteriomaniikud kord aastas tulutult

üle värvivad. Harvem kui kümne aasta tagant teevad remonti 19% vastanutest. Võrdluseks võib tuua, et suurpaneel elamutes oli samuti kõige enam kortereid (53%), kus sanitaarremondi sageduse intervall oli 5–10 aastat.



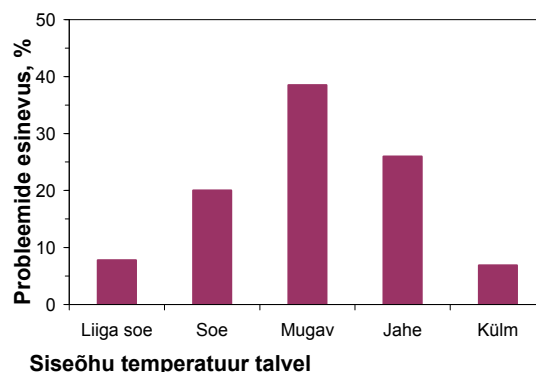
Joonis 12.7 Uuritud korterites tehtava sanitaarremondi sagedus.

12.7 Elanike hinnang korterite sisekliimale energიაauditite põhjal

Järgnev elanike hinnangu küsitlus on läbi viidud Termopilt Tartu OÜ poolt kasutades käesoleva uuringu küsitlusankeedi alusel koostatud lihtsustatud ankeedivormi. Mitmeleheküljelist ankeeti on lühendatud, et see oleks sobilik kasutamiseks energიაauditi abivahendina korterelamute sisekliima ja kütteprobleemide kaardistamiseks. Ankeeti kasutati 19 telliselamu energიაauditi läbiviimisel aastal 2010 ja ankeedid täideti kokku 402 korteris. Ankeetide täitmise osakaal oli suuremate elamute puhul 45%-75% ja väiksemate elamute (12-18 krt) puhul kuni 100% korterite üldarvust. Kaks elamut sellest valimist on kohtküttel, ning neid köetakse põhiliselt elektriga. Seega on nendes majades individuaalne soojusenergia arvestus. Ülejäänud korterelamud on kaugküttel ning varustatud ühetoru-küttesüsteemiga. Reeglina olid küttesüsteemid tasakaalustamata (renoveerimisaegne olukord) või on seda püütud teha kogemuslikult ilma projekti ja mõõtevahenditeta. Majapidamisgaasi kasutas 31% korteritest. Kolm elamut nendest olid juba ehitusaegselt varustatud värskeõhu avadega, mis peaksid köögis tagama gaasipliidide põlemisõhu efektiivse vahetumise. Nende kolme elamu sisekliimat analüüsiti eraldi.

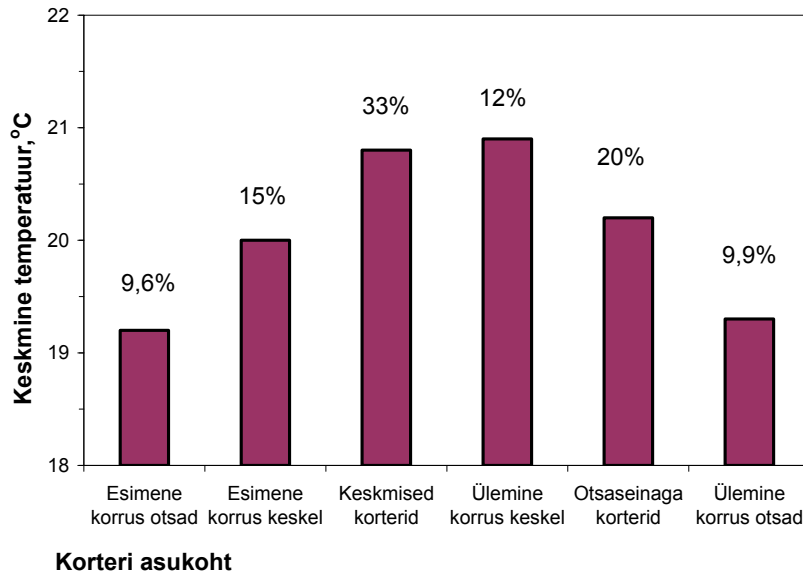
12.7.1 Siseõhu temperatuur

Kaugküttel elamute korterite keskmine siseõhu temperatuur oli talvel 20°C, mis on madalam soovituslikust mugavast sisetemperatuurist 21-22°C. Soojusenergia hüppeline kallinemine viimase kolme aasta jooksul on sundinud korteriühistuid leidma võimalusi küttekulude kasvu piiramiseks. Tihti tehakse seda sisekliima ja mugavuse arvelt balansseerides enamuse elanike rahulolu piiri peal (vt. Joonis 12.8).



Joonis 12.8 Korterite siseõhu mugavustase elanike arvamuse alusel

Kuna küttesüsteemid on tasakaalustamata ja radiaatoritel puudub reguleerimisvõimalus, siis varieerub korterite temperatuur sõltuvalt asukohast üsna suures ulatuses ja elanikel puudub võimalus operatiivselt mõjutada oma elamistingimusi, vt. Joonis 12.9.



Joonis 12.9 Kõigile korterite temperatuur sõltuvalt korteri asukohast. Tulba kohal on antud grupi korterite osakaal üldarvust.

Tulenevalt ehitustööde madalast kvaliteedist on otsaseinad valdavalt külmad (41%) või jahedad (33%) ja projektijärgselt ehitatud küttesüsteem, mis eeldab korralikku ehituskvaliteeti, ei suuda tagada nendes korterites normaalset temperatuuri. Sama probleem on esimesel korrusel, kus põrandad on valdavalt (48%) jahedad. Küttesüsteemi automaatika ei ole seadistatud vastavalt maja soojavajadusele ja automaatika tööd korrigeeritakse käsitsi kui välistemperatuuri kõikumised on suured. Kõikuv temperatuur häiris mõnikord 40 % elanikest. Radiaatorite ebaühtlane soojenemine oli probleemiks 34% elanikest.

Ehitusaegsed puitaknad on nii moraalselt kui ka füüsiliselt vananenud ja vähesed nendest on sellisel viisil hooldatud, et nad korralikult sooja peavad. Küttekulude kokkuhoid on viinud paljudel juhtudel olukorran, kus ettevõtlikud elanikud on hakanud aktiivselt otsima võimalusi soojakadude vähendamiseks, et korterite temperatuur ei langeks alla talutavuse piiri. Akende vahetamine on üks vähesed ettevõtmised, mis aitab korteri temperatuuri realselt tõsta. Kõik aknad on vahetanud 67% korteritest ja kõik vanad aknad on säilinud 18% korterites. Uute tihedate akende paigaldamisel tekib aga probleem ventilatsiooniga, sest enamikel majadel puuduvad seintes värskeõhu avad.

12.7.2 Hallitus korterites

Sisekliimaga seonduvalt on kõige suuremaks terviseriskiks hallituse tekkimine korteris, millest on eelnevalt põhjalikult kirjutatud.

Ankeetküsitluse alusel on märgitud hallitus 85 korteris koguhulgast 309 korterit, mis on 28 %. Hallituse tekkimist seostatakse tavaliselt akende vahetamisega, mille tagajärjel väheneb õhuvahetus ja tõuseb korteri niiskusetase. Ka antud küsitluse tulemusena on selline seos täheldatav, vt. Tabel 12.2.

Sellest sõltuvusest ei saa aga teha ennatlikku järeldust, et akende vahetamine on hallituse tekkimine peamine põhjus. Olukorrast parema ülevaate saamiseks on korterid otstarbekas jagada 6 gruppi vastavalt välispiirete arvule 1 korteri kohta, vt. Tabel 12.3.

Tabel 12.2 Akende vahetamine ja hallituse tekkimine korterites

Akende olukord	Korterite osakaal, %	Hallitusega korterite osakaal antud grupis, %
Aknad ei ole vahetatud pakettakende vastu	18	14
Aknad on osaliselt vahetatud pakettakende vastu	15	24
Kõik aknad on vahetatud pakettakende vastu	67	32

Tabel 12.3 Korterite grupeerimine asukoha järgi

Grupp	Korteri asukoht	Välispiirded	Konstruktiivsed külmasillad
1	Esimene korrus otstes	Külgseinad, keldri lagi, otsaseinad,	Sokli-põranda-seina liited, seinte välisnurgad
2	Esimene korrus keskel	Külgseinad, keldri lagi	Sokli-põranda-seina liited
3	Keskmiised korterid	Külgseinad	
4	Keskmiised korterid otstes	Külgseinad, otsaseinad	Seinte välisnurgad
5	Ülemine korrus keskel	Külgseinad, pööningu vahelagi või katuslagi	Katuslae-seina liited
6	Ülemine korrus otstes	Külgseinad, pööningu vahelagi või katuslagi, otsaseinad	Katuslae-seina liited, seinte välisnurgad

Korterite ülevaatus näitas, et hallituse tekkimine on suuresti seotud ka konstruktiivsete külmasildadega ja korterite sisetemperatuuriga. Kui küttesüsteemid on tasakaalustamata, siis on korterid köetud ebaühtlaselt. Alaköetud korterites piiratakse nii palju kui saab õhuvahetust, et toad vähegi soojana hoida. Korterelamu keskel jääb soojust üle ja seal on õhuvahetus hea või liigagi hea. Alltoodud tabel (Tabel 12.4) toob välja sõltuvuse hallituse tekkimise ja korterite asukoha vahel.

Tabel 12.4 Hallituse esinemine sõltuvalt korteri asukohast

Grupp	Korterite arv	Keskmine temperatuur, °C	Vahetatud aknaid, %	Hallitus uute akendega korterites, %	Hallitus vanade akendega korterites, %
1	30	19,1	80	38	50
2	47	20,1	70	24	21
3	104	20,9	62	25	5
4	59	20,3	66	41	20
5	38	20,9	61	30	33
6	31	19,1	74	39	38

Akende vahetamine toob kaasa hallituse tekkimise kahel põhjusel:

- tihedate akende poolt piiratud õhuvahetus toob kaasa niiskusetaseme tõusu, mis lakmuspaberina toob hallituse näol välja konstruktiivsed külmasillad,
- lohaka või oskamatu akende paigaldamise tagajärjel tekkivad uued külmasillad ümber akna perimeetri. Ka need külmasillad toob hallitus ilmsiks.

Probleemide vältimiseks peab korteriomanik koos akende vahetamisega hoolitsema selle eest, et saastunud õhu väljatõmme oleks pidevalt tagatud ja et värske õhul oleks võimalik korterisse pääseda. Energiasäästu eesmärgil on otstarbekaim kasutada soojustagastiga ventilatsioonilahendust.

Värske õhu olulist rolli kinnitab ilmekalt elamute grupp, millel on ventilatsiooniavad juba ehituse ajal seintesse tehtud. Tegemist on elamutega, kus sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse gaasiboilereid. Gaasipõleti põlemisõhu tagamiseks on nendes majades köökides värskeõhu avad. Analüüs on tehtud 3 elamus, küsitlusele vastas 67 korterit, vt. Tabel 12.5. Nendes elamutes ei saa siduda akende vahetamist hallituse tekkimisega.

Tabel 12.5 Akende vahetamine ja hallituse tekkimine ventilatsiooniavadega korterites

Akende olukord	Korterite osakaal, %	Hallitusega korterite osakaal antud grupis, %
Aknad ei ole vahetatud	24	13
Aknad on osaliselt vahetatud	22	7
Kõik aknad on vahetatud	54	8

Väikeasulates on hulganisti korterelamuid, mis algselt on olnud seotud kohaliku kaugküttevõrguga, kuid nüüd on olude sunnil viidud üle kohtküttele. Põhiliselt köetakse nendes majades kortereid elektriga, mida toetavad kaminad või ahjud. Igal juhul on tegemist korteripõhise soojusenergia reguleerimise ja jaotamisega. Niisugustes elamutes on andmed 26 koeteri kohta. Korterite keskmine temperatuur on 20,0 °C ja hallitus esineb 42% korterites, aknad on täielikult vahetatud 77 % korterites. Küsitluses osalenud korterite suhteliselt väike arv ei võimalda põhjuseid välja tuua korteri asukoha kaudu, kuid majade ülevaatuse tulemuste põhjal võib öelda, et küttekulude kokkuhoiu nimel köetakse korterite sees ruume ebaühtlaselt ja ventilatsiooni piiratakse nii palju kui võimalik. Ehitusaegses olukorras välispiiretega elamus võib küttekulude individuaalne arvestus viia paratamatult sisekliima halvenemisele.

13 Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest

Korterelamute ebapiisav hooldus ja remont on tekitanud neile suure renoveerimisvõla. Seda võlga tasumata võivad mitmed hooned seista pankroti äärel: korterelamud ei täida enam ehitusseadusest tulenevaid ehitisele esitatavaid olulisi nõudeid:

- mehaaniline tugevus ja stabiilsus;
- tuleohutus;
- hügieenilisus, tervise- ja keskkonnaohutus;
- kasutusohutus;
- kaitse müra eest;
- energiasääst ja energiatõhusus.

Kuna renoveerimise vajadus on suur, nõuab see suuri kulutusi. Suurim küsimus renoveerimislahenduste valiku juures on nende ulatuse ja taotletava taseme üle otsustamine. Probleeme leidub alati, kui vaid piisavalt otsida. Esmatähtis on hoone ohutuse ja tervisliku sisekliima tagamine (esimesed neli ja osaliselt ka viies olulist nõuet; seejärel tuleb energiasääst ja mugavustaseme parandamine. Sõltuvalt renoveerimistööde ulatusest on renoveerimistööd jaotatud kolmeks tasemeks: A, B, C:

- **Tase A.** Selle juures on silmas peetud eelkõige hoone **ohutust** (kandevõime, tuleohutus, kasutusohutus, keskkonnaohutus) ja **tervislikkust**. Lahenduste puhul keskendutakse hoonele esitatavate oluliste nõuete miinimumnõuete täitmisele, tegemata järeleandmisi tervislikkuse ja turvalisuse osas;
- **Tase B.** Taseme B renoveerimislahenduste abil on võimalik parandada rohkem hoone **energiatõhusust** ja pikendada **säilivust** ning **kasutusiga**;
- **Tase C.** Renoveerimislahendused parandavad oluliselt hoonete **kvaliteeti** ja pakuvad täiendavaid **mugavusi** elanikele. Energiatõhususe osas pakuvad lahendused väiksemat energiakulu, kuid praeguste energiahindade juures võib investeeringu tulukuse määr olla väiksem kui taseme B korral. Kahjustunud tarindid vahetatakse välja või ehitatakse uued. Teatud osas võib C tasemele renoveeritud hoonet võrrelda uue hoone tasemega.

Põhimõtteliste renoveerimispakettide juures peab alati järgima põhimõtet, et enne järgneva taseme töödega alustamist peavad olema eelmise taseme tööd tehtud. Ei ole õige teha investeeringuid mugavusele, kui energiatõhususe tööd (näiteks hoonepiirete soojustamine, küttesüsteemi või ventilatsioonisüsteemi renoveerimine jne) ei ole tehtud või ei ole tagatud ohutus (konstruktsioonide kandevõime) või tervislik elukeskkond (näiteks ventilatsiooni renoveerimine). Seetõttu ei ole neid töid erinevates pakettides korratud.

Põhimõtteliste renoveerimispakettide väljatöötamise juures on lähtutud nii käesoleva uurimistöö kui ka varasemate uuringute (EstKONSULT 1996, EKK 1994, EKHHL 2002) tulemustest. Lahendusi on korrigeeritud, arvestades vahepeal (13–16 aasta jooksul) tehtud enam levinuid töid.

Hoone erinevate osade juures võib kasutada erineva taseme renoveerimislahendusi. Siiski nõuab osa renoveerimislahendusi teatud tööde komplekssust (näiteks akende vahetamine ja ventilatsiooni renoveerimine või piirdetarindite lisasoojustamine ja küttesüsteemi tasakaalustamine). Käesolevas raportis on esitatud renoveerimislahenduste põhimõttelised lahendused. Kuigi telliskorterelamud on ehitatud tüüpprojektide alusel, on igal elamul erinev renoveerimisvajadus. A tasemest parema renoveerimislahenduse kasutamine ja selle põhjendatus tuleb otsustada alati lähtuvalt konkreetset hoonest, arvestades ehitustehnilist seisukorda ja sisekliimat, hoone kasutusea pikendamist, hoonete energiatõhusust, keskkonna (nii linna- kui ka looduskeskkonna) saastamise vähendamist, majanduslikku otstarbekust jne.

Kahjustunud tarindi või mittetoimiva süsteemi renoveerimise juures on esmatähtis probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine.

Kuna ressursse pole kunagi piisavalt, tuleb renoveerimistööd viia läbi säästlikult. Suurim sääst seisneb õigesti tegemises ja mitu korda ümbertegemata jätmises.

Näitena poolikust renoveerimisest võib tuua ühe uurimistöö käigus analüüsitud telliselamu juurest (vt. Joonis 13.1). Korterelamu fassaadid renoveeriti, kuid kahetsusväärset ilma hoonele kui tervikule lähenemiseta:

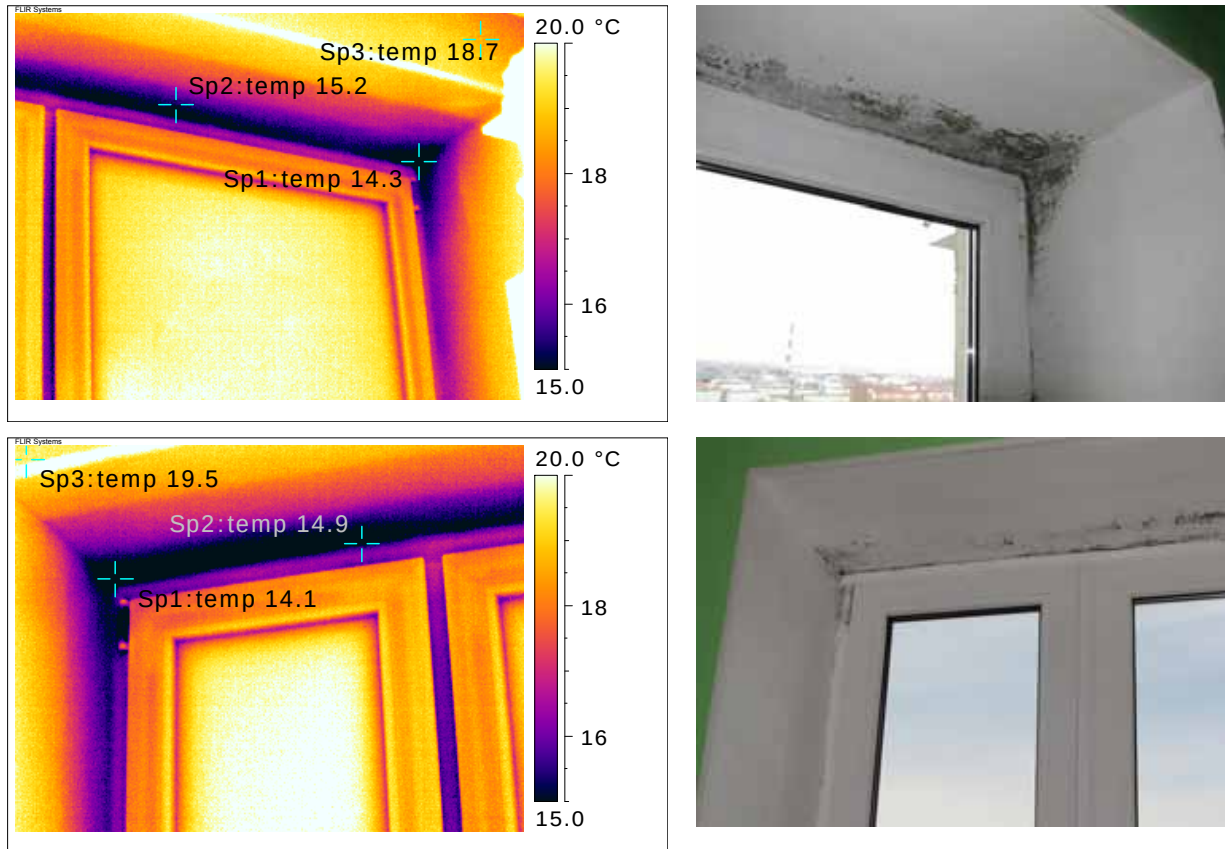
- väliseinad krohviti;
- lisasoojustus paigaldati vaid akendeta seintele;
- tegemata jäeti ventilatsiooni- ja küttesüsteemide renoveerimine.



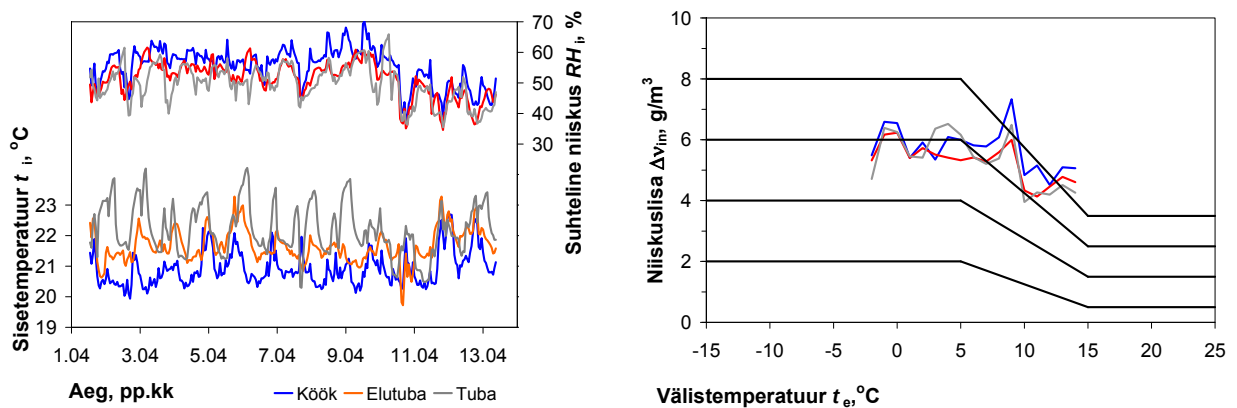
Joonis 13.1 Telliselamu enne (vasakul, 2002 a.) ja pärast fassaadide renoveerimist (paremal, 2009 a.).

Kuna aknaga välisseinad jäid lisasoojustamata, säilis külmasild akna ja välisseina liitekohas (vt. Joonis 13.2). Külmasilla piirkonnas on madala pinnatemperatuuri tõttu suhteline niiskuse kõrge, mis on soodsaks kasvukeskkonnaks hallitusele. Temperatuuriindeks akna ümber oli vahemikus $f_{Rsi} 0,37 \dots 0,42$.

Hallitusprobleemidega korteris mõõdeti sisekliima (t , RH , CO_2) kahe nädala pikkusel perioodil (Joonis 13.3 vasakul) ja mõõtmiste alusel on näha (Joonis 13.3 paremal), et korteris on suur niiskuskooormus: $\Delta v > 6g/m^3$. Öisel ajal, kui inimesed olid kindlasti kodus, oli õhu süsihappegaasi sisaldus keskmiselt > 1840 ppm.



Joonis 13.2 Madalad temperatuurid (vasakul) akna ja välisseina liitekohas on põhjustanud kõrge suhtelise niiskuse, mille tagajärjeks on hallituse kasv akna ümbruses.



Joonis 13.3 Sisekliima (vasakul) ja niiskuskoormused (paremal) hallitusprobleemidega korteris.

Õhu süsihappegaasi sisaldus ja suur niiskuskoormus viitavad mõlemad ventilatsiooni puudulikkusele. Õhu süsihappegaasi dünaamika alusel hinnati ventilatsiooni toimimist. Keskmine õhuvahetus toas oli 0,6 l/s (0,3...0,8 l/s) ja õhuvahetuskordsus keskmiselt 0,1 1/h.

Ventilatsiooni toimivust halvendas kõõgis olemasoleva ventilatsiooni ava sulgemine kuhu torustikuga ja viimasest korrusest tulenev lühike korstna kõrgus. Ventilatsioonikuhu õhuvoolutakistus on suur ja olukorras, kus kuhu ei tööta, on õhuvool läbi kuhu peaaegu olematu. Ventilatsioonitoru šahti suubumise juures on küll väike õhuava, kuid see ei ole piisav ruumide ventileerimiseks loomuliku tõmbe olukorras.



Joonis 13.4 Köögi kubuga on suletud köögi ventilatsioonikanali rest.

Korrektse renoveerimise korral tulnuks soojustada ära kõik hoone välisseinad ja aknad tõsta olemasoleva välisseina välispinda, soojustuse sisse. Ainult nii on võimalik likvideerida külmasild akna ja vana tellisseina liitekohas. Võimalik on ka aknapaalede soojustamine väljastpoolt, kuid selle takistuseks on tavaliselt ruumipuudus akna ja pale vahel. Antud hoone puhul oli akna ja pale piirkonnas soojustuseks piisavalt ruumi ja külmasilla oleks saanud likvideerida ka ilma aknaid välja tõstmata. Koos välispiirete lisasoojustamisega peab alati kaasnema ka ventilatsiooni- ja küttesüsteemide renoveerimine. Antud juhul oli tehnosüsteemide renoveerimine jäetud tegemata.

13.1 Piirdetarindid ja ehituskonstruksioonid

13.1.1 Välisseinad

Enne renoveerimistöid ja lisasoojustamist tuleb alati kontrollida välisseinte üldist ehitustehnilist seisukorda:

- välisvoodri tellis- või terrassidemete olukord (kohatine lahtipuurimine: minimaalselt 5-10 kohta iga seina juures); nende proovikehade abil saab määrata ka tellise külmakindlust või survetugevust, armatuuri korrosiooni, näeb seina kihtide paksusi jne;
- välisvoodri väljamõlkumise kontroll;
- seintes olevate pragude põhjuste väljaselgitamine;
- külmasildade kontroll: hallitus, veeauru kondenseerumine sisepindadel, soojustuse võimalik puudumine.

Telliselamute välisseinte suure soojusjuhtivuse ja seinas paiknevate külmasildade tõttu võib välisseinte lisasoojustamist pidada möödapääsmatuks (kui pole tegemist kultuuriväärtusliku objektiga või hoonega, mis asub miljööväärtuslikus piirkonnas) ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid ning energiasäästu vajadust arvestades. Lisasoojustamise käigus saab ka olemasolev välisvooder kaitstud edasise lagunemise eest. Kui fassaadi külmakahjustused on ulatuslikud, võib tekkida vajadus telliste asendamisele uute tellistega või peenbetooniga.

Välisseinte lisasoojustamise peamised lahenduseks on:

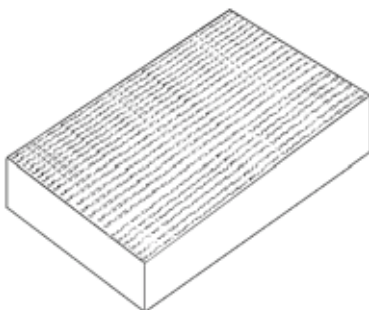
- varem valmishitatud (koos aknaga) monteeritavad soojustuspaneelid, mis tõstetakse tervikuna fassaadile (vt. <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>, http://www.empa-ren.ch/A50/Prefab_Retrofit.pps, <http://www.tesenergyfacade.com/index.php>);
- puit- või metallkarkassi vahel soojustus + tuuletõke + tuulutusvahega fassaadikate (näiteks tsementkiudplaat, kerged fassaadikivid, tellisimitatsiooniga liitpaneelid vms.);
- mineraalvilla või vahtpolüstüreensoojustusega liitsüsteem.

Konkreetne lisasoojustuse lahendus projekteeritakse lähtuvalt elamu energiatõhususe eesmärkidest, materjalide omadustest ja olemasolevast seinatarindist. Väga oluline on, et lisasoojustuse ja olemasoleva välisseina vahele ei jääks õhuvahet: soojustus peab tihedalt vastu olemasolevat välisseina liibuma, vt. Joonis 13.5.

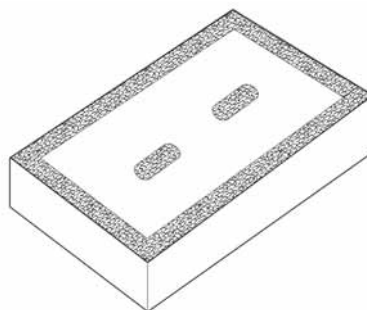


Joonis 13.5 Ebakvaliteetselt paigaldatud lisasoojustus: ei ole kasutatud soojustuse tasapinnalist liimimist ja välisõhk pääseb soojustatava seina ning soojustuse vahele.

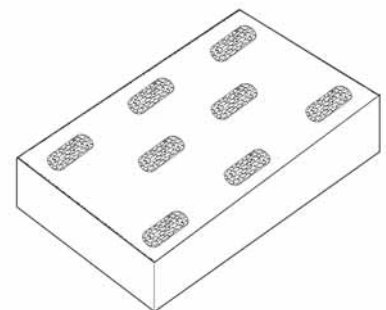
Soojustusplaatide liimimiseks tuleb eelistada täispinnalise liimimise meetodit (vt. Joonis 13.6 vasakul). Täispinnalise meetodi puhul kantakse liim 10x12 mm segukammiga plaadi tagaküljele, mis on soojustehniliselt parim paigaldusmeetod. Selle kasutamise piiranguks on kõverad seinapinnad. Meetodit kasutatakse ainult täiesti sirge seina puhul, kuna sellise meetodiga ei saa plaate enam aluspinnale suhtes õgvendada. Äär-punkt-meetodi (vt. Joonis 13.6 keskel) puhul kantakse liimivall plaadi tagakülje äärelle ning pätsikesed (tavaliselt 2 tk ca 10 cm läbimõõduga) soojustusplaadi keskele. Tüübli all ei tohi olla liimita kohta. Selle meetodiga saab soojustussüsteemi aluspinnale suhtes veidi nihutada. Keelatud on kasutada punktmeetodit, kus soojustus liimitakse seina üksikute segupätsikestega (vt. Joonis 13.6 paremal).



Eelistatavaim lahendus:
täispinnaline liimimine



Aktsepteeritav lahendus:
äär-punkt-meetod



Keelatud lahendus:
punktmeetod

Joonis 13.6 Ebakvaliteetselt paigaldatud lisasoojustus: ei ole kasutatud soojustuse tasapinnalist liimimist ja välisõhk pääseb soojustatava seina ning soojustuse vahele.

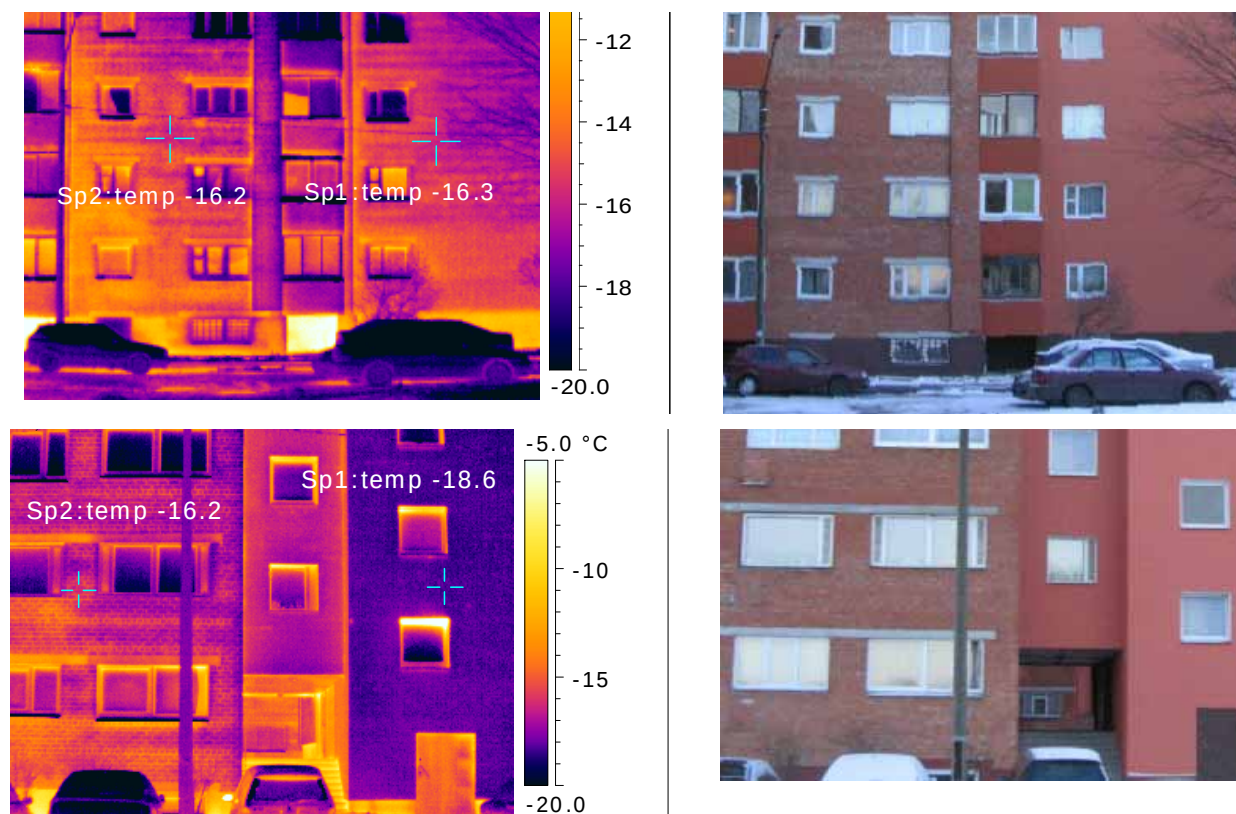
Läbi fassaaditelliste puuritud aukude surve telliskihtide vahele pritsitavat (süstitavat) termovahtu ei saa pidada piisavaks lahenduseks nii energiatõhususe kui ka fassaadidele kaitset mitte pakkumise tõttu. Termovaht täidab küll tühimikud vana soojustuse kihis selle äravajumisel või puudumisel, kuid ei kõrvalda telliselamule iseloomulikke külmasildu (sidekivid, tarindite liitumised jne.). Samuti on vanema telliselamu välisseina soojustuse paksus (5-6 cm) ebapiisav energiatõhususe seisukohalt (vajalik min. 15 cm) ning kaitse fassaadide lagunemise vastu tuleb teha igal juhul. Kuigi termovaht ei sobi ainukeseks välisseina lisasoojustamise lahenduseks, sobib ta täiendavaks lahenduseks välisseina välispidise lisasoojustamise korral. Kuna materjali head voolavusomadused garanteerivad tühemike ja pragude täitmise, paraneb välisseinte õhupidavust.

Keraamilistest tellistest fassaadide külmakahjustused on kõige ulatuslikumad. Fassaadide kaitseks ja edasise lagunemise aeglustamiseks on neid krohvitud (Joonis 13.7). Kahjuks on sageli jäänud lisasoojustus tegemata. Soojustuse maksumus võrreldes kogu fassaadi renoveerimisega ei ole nii märkimisväärne, et seda võib jätta tegemata. Allolevatel fotodel (vt. Joonis 13.8) on toodud lisasoojustamata (ülal) ja lisasoojustatud välisseina pinnatemperatuuride võrdlus. Krohvitud fassaadi pinnatemperatuurid on samad, mis tellisvoodrilgi. See näitab ilmekalt, et soojustasakaal välispinnal on sama. Vähendamaks soojusvoogu tuleb välisseinad lisasoojustada (vt. Joonis 13.8, all).



Joonis 13.7 Keraamilistest tellistest välisvooder on krohvitud, et aeglustada tema jätkuvat lagunemist.

Fassaadide lisasoojustamist on võimalik teha telliselamu üldist arhitektuurset ilmet kahjustamata (Joonis 13.9). Hoone arhitekturse ilme säilimisel tuleb tähelepanu pöörata ka detailidele, näiteks akna ja seina liitekohale. Ehitusjärgse lahenduse kohaselt astub aken seina välispinnast 12 cm (osadel hoonetel ka 25 cm) tagasi. Võrreldes suurpaneelalamutega (5...7 cm) on see oluliselt rohkem. Välisseinte lisasoojustamisel (15...20 cm) on oht, et aken jääb üle 30 cm sügavusse „auku“ (vt. Joonis 13.10). Selle vältimiseks tuleks aknad tõsta olemasoleva välisseina välispinda. Mida on parim teha siis, kui koos välisseinte lisasoojustamisega vahetatakse elamul ära ka aknad. Teine, kuid mitte väheoluline põhjus, miks aknad on hea tõsta väljapoole, on tehniline. Ilma akende väljatõstmiseta ei ole võimalik korrektselt kaotada akna ja välisseina liitekohas paiknevat külmasilda. Kuna akende vahetamine ja sisemiste palede viimistlemine on korteri kohta 1–2 päeva töö, ei võta kauem aega ka akende paigaldus välisseina välispinda ja palede uuesti viimistlemine.



Joonis 13.8 Lisasoojustamata (ülal) ja lisasoojustatud (all) välisseina pinnatemperatuuride võrdlus.

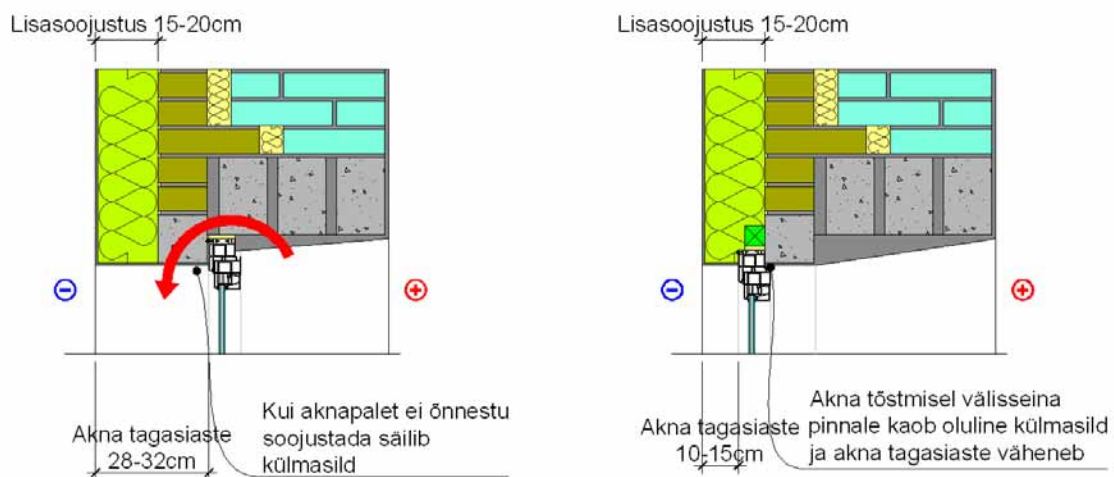


Joonis 13.9 Naaberhoonete lisasoojustamine: uus (paremal) lahendus on varasemast (vasakul) parema tehnilise ja arhitektuurse kvaliteediga.



Joonis 13.10 Vältimaks välisseinte lisasoojustamisel akende „auku“ jäämist tuleks aknad tõsta olemasoleva välisseina välispinda.

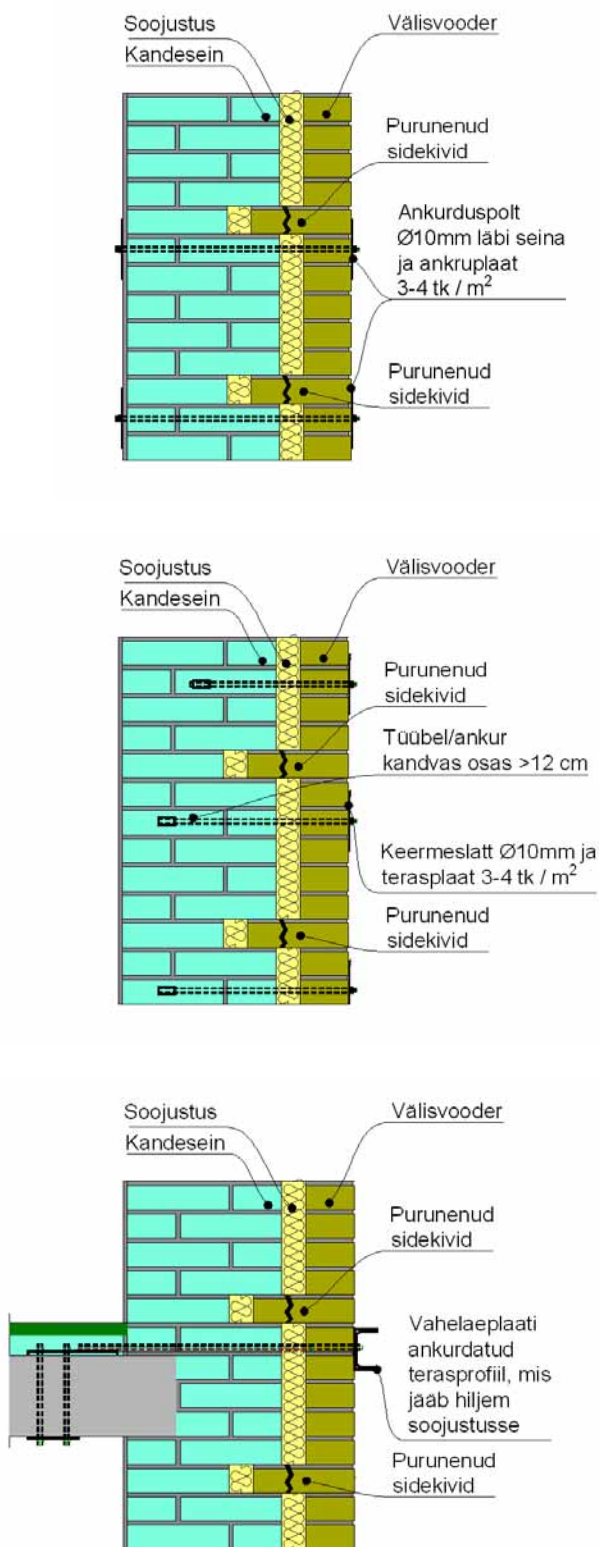
Akna „aukus“ olemise probleemi saab vähendada akna välisseinapinnale tõstmisega, vt. Joonis 13.11.



Joonis 13.11 Akna ja seina liitekohas olevat olulist külmasilda (vasakul) saab kaotada ja akna tagasiastet vähendada akna välisseinapinnale tõstmisega (paremal).

Sarnaselt välisseintega tuleb soojustada ka lodža ja rõdu välissein. Külmasildade vältimiseks tuleb soojustada ka lodža vaheseinad. Lodža vaheseintes võib piirduda õhema, 50-70 mm paksuse soojustusega.

Enne välisseinte lisasoojustamist tuleb kindlasti selgitada fassaaditelliste ja kandeseina vaheliste sidemete (terassidemed või tellistest sidekivid) olukord. Selleks tuleb välisseinad fassaaditelliste eemaldamisega kohati avada. Kui ei olda kindel sidemete korrasolekus ja/või planeeritakse välisseinale kergest soojustuse liitsüsteemist raskemat lisasoojustust, on hädavajalik fassaadi täiendav ankurdamine kandeseina külge. Võimalikud tellisvoodri kinnitusvariandid vt. Joonis 13.12.



Joonis 13.12 Tellisfassaadi kandeseina külge täiendava ankurdamise põhimõttelised skeemid.

Välispiirete lisasoojustamisega peab alati kaasnema küttesüsteemi reguleerimine.

Välisseinte lisasoojustamise korral tuleb asendada kõik ääre-, serva- ja katteplekid. Juhendid ehitiste kaitseplekkide kohta vt. RT 80-10817 ja RT 80-10632.

Välisseinte renoveerimise käigus tehtavate tööde loetelu erinevates renoveerimistasemetes vt. Tabel 13.1.

Tabel 13.1 Välisseinte renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Välisseinad			
Välisseinad	- Kontrollitakse välisvoodri ja kandeseina vahelisi tellis- või traatsidemeid ja välisvoodri väljanihkumist, vajadusel tuleb teha tugevdustööd; - Kahjustunud telliste asendamine või kahjustunud ala krohvimine; - Probleemsete külmasildade olemasolul nende likvideerimine välisseinte välispidise lisasoojustamisega;	Välisseinad lisasoojustatakse 20...10 cm vastavalt taotletavale energiatõhususpaketile;	
Ääre-, serva- ja katteplekid	Olemasolevad plekid parandatakse.	Uued plekid.	

13.1.2 Rõdud, varikatused

Enne renoveerimistööd tuleb alati kontrollida rõdude ja varikatuste üldist ehitustehnilist seisukorda. Sõltumata tüübist esinevad neil sarnased probleemid:

- rõdu- või varikatuseplaadi armatuuri kaitsekihi irdumine;
- rõdu- või varikatuseplaadi niiskuse-, külma- ja soolakahjustused;
- armatuuri korrosioon;
- rõdupiirete irdumine;
- rõdude ja lodžade ebapiisavad kalded, mis ei taga vee äravoolamist.

Rõdude ja varikatuste raudbetonelemendid on alati vähemal või suuremal määral kahjustunud. Seetõttu sõltub nende renoveerimislahendus otseselt kahjustuste ulatusest. Esmatähtis on konstruktsioonide kahjustuste arengu peatamine ja konstruktsioonide kandevõime tagamine. Olemasolevate elementide säilitamisel tuleb murenenud betoon eemaldada, armatuur puhastada korrosioonist ja kaitsta, mille järel tuleb taastada betoonosad (vajadusel tuleb armatuuri tugevdada). Tuleb jälgida, et kasutatav betoon oleks piisava külmakindlusega (nt. lahtiste rõdude puhul klassiga KK3) – horisontaalsetel pindadel on vertikaalsetega võrreldes tunduvalt suurem niiskuskoormus ning nad nõuavad harilikult vastupidavam materjali. Suuremate kahjustuste puudumisel võib rõduplaadil eluea tõstmiseks rajada täiendava kaitsekihi (betoonist kaitsekihi korral kontrollida rõdu kandevõimet).

Kui rõdude konstruktsioonid on niivõrd amortiseerunud, et nende toimivus konsoolina on küsitav, tuleks paigaldada postidest toetus või rõdud täielikult eemaldada ja ehitada uued rõdud.

Rõdude ja lodžade piirete kinnitus peab vältima piirete allakukkumise ja tagama rõdul olivate turvalisuse. Sageli võib piisata kahjustunud piirdeosade ja/või kahjustunud kinnituste asendamisest.

Telliselamud ei ole projekteeritud kinniehitatud rõdudega või lodžadega. Linnakeskkonda saastavad lahendused, kus iga rõdu on kinni ehitatud erineva lahendusega. Tehniliselt võib kinniehitamine olla põhjendatud, kuna see vähendab sademete poolt tekitatavat niiskuskoormust rõdudele ja lodžadele. Rõdude ja lodžade kinniehitamine on mõeldav vaid ühtse lahenduse alusel tervikuna kogu hoonel. Eelistatavaim on lahendus, kus kasutatakse ilma raamideta rõduklaasisüsteeme (klaasidevaheliste pragude kaudu tuulutatakse rõdu) ja rõdu/lodža jääb külmaks ruumiks. Kui rõdud või lodžad ehitatakse kinni ja ühendatakse tekkiv

pind siseruumiga, peavad rõdupiirded vastama välispiiretele esitatavatele nõuetele, st peavad sarnaselt välisseintega olema kindlasti väljastpoolt lisasoojustatud. Lodža külgseinad on tavaliselt ~10-15 cm paksused, mis ei sobi köetava ruumi välispiirdeks.

Vanad ja lagunenud rasked raudbetoonist varikatused on mõistlik asendada uue kergema lahendusega, mitte hakata vana varikatust renoveerima.

Tabel 13.2 Kahjustatud rõdude, lodžade ja varikatuste renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Rõdud, varikatused			
Rõdu kande-konstruktsioonid	- Kandekonstruktsioonid remonditakse, parandades paljastunud sarruse ja tõmbide ankurdust, armatuuri korrosioonikaitset ja kaitsekihti. - Likvideeritakse külmasillad hoone välispidise lisasoojustamisega. - Rõdu ja varikatuse kattematerjal uuendatakse. - Serva- ja katteplekid parandatakse.		Kahjustunud konstruktsioonid eemaldatakse ja ehitatakse uued rõdud ja varikatused toetatuna maapinnale (likvideeritakse sisemisele välisseina betoonplaadile toetusest tekkiv külmasild).
Rõdude piirded	Olemasolevate rõdupiirete kinnitust remonditakse, et oleks tagatud rõdul olijate turvalisus ja oleks välditud piirete allakukkumine. Täiesti kahjustunud piirdeosad, mida parandada ei saa, asendatakse.	Rõdud/lodžad ehitatakse kinni ühtse lahenduse alusel tervikuna kogu hoonel lisasoojustatud välispiiretega.	- Paigaldatakse uued rõdupiirded (avatud rõdude korral). - Kinniehitatud ja lisasoojustatud rõdud ühendatakse korteri siseruumidega ühtseks ruumiks.

13.1.3 Katused

Võrreldes varasemates uuringutes (EKK, Estkonsult) väljatooduga oli uuritud elamute katuste ja katuslagede olukord parem. Katusekatteid on uuendatud ning märkimisväärsed probleeme veepidavusega ei esine. Pööninguga hoonetel, kus katusekatte läbijooks ei kajastu korteris otseselt, ei suhtuta katusekatte veepidavusse nii möödapääsmatult kui lamekatuste korral.

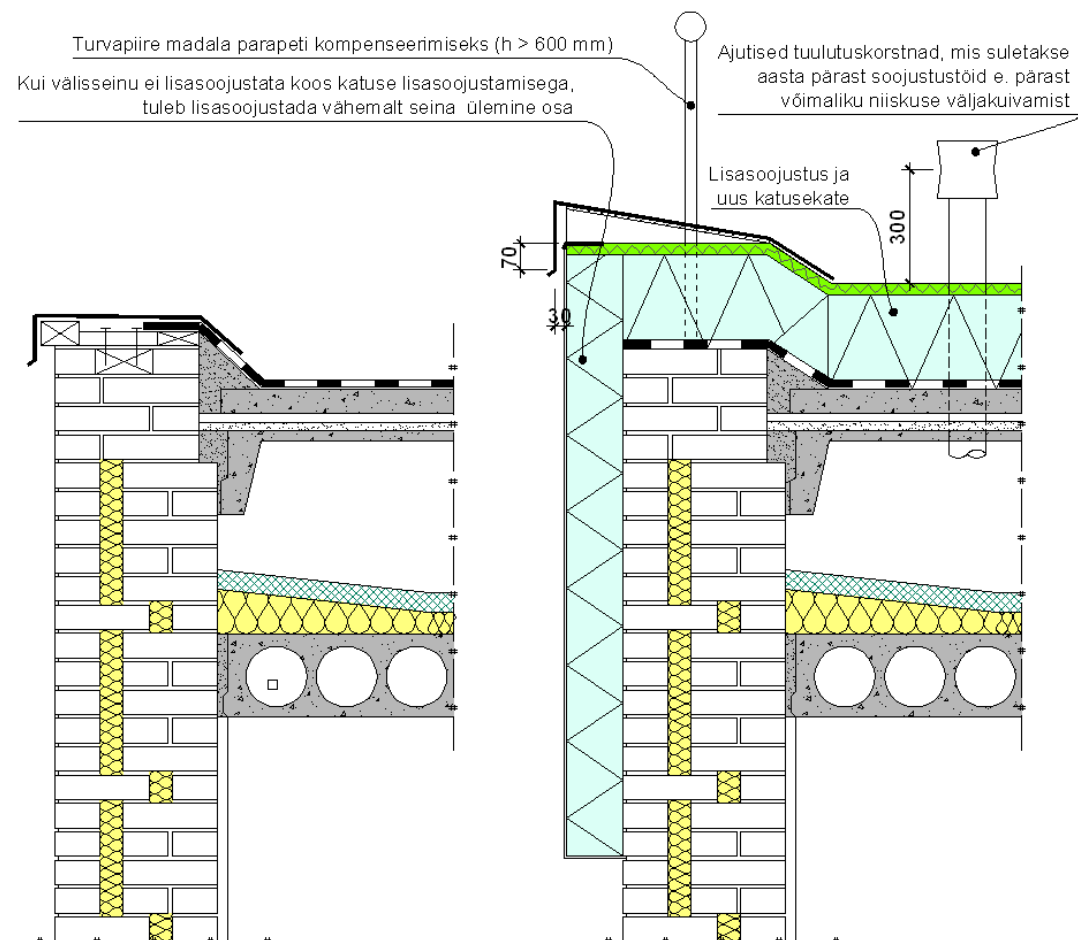
Kaldkatustega hoonete puhul on ehitusaegne eterniit- või plekkkatusekate enamasti jõudnud vahetamisjärgsesse staadiumisse. Katusekatte vahetamisel tuleb tähelepanu pöörata ka kandekonstruktsioonide olukorrale. Tagada tuleb laudise ja sarikate kandevõime olemasolevate sarikate tugevdamisega, asendamisega või uute sarikate lisamisega. Kõik kahjustunud konstruktsioonid (mädanikkahjustusega puit jne) tuleb asendada.

Telliselamute pööningu vahelagede ja katuslagede suure soojusjuhtivuse tõttu on põhjust neid lisasoojustada. Lisasoojustamise põhjus tuleneb ennekõike aga vajadusest vähendada külmasildu ja hoone soojuskadusid. Väga õigesti on talitatud elamutes, kus katusekatte vahetamise käigus on ka katuslagi korralikult lisasoojustatud. Katusekatte vahetuse ja lisasoojustamise töid koos tehes on tegevus kõige kulutõhusam.

Lamekatusele uue katusekatte tegemisel võib pidada lisasoojustamist lausa kohustuslikuks. Hiljem ei ole korraliku katusekatte korral selle eemaldamine ja katuse lisasoojustamine enam majanduslikult just väga kulutõhus tegevus. Paraku on praeguseks see etapp paljude korterelamute juures juba läbitud, sest endiseaegse ruberoidiga kaetud katuslagesid on vähe alles. Kahjuks on katuse remont sageli piirdunud vaid katte vahetusega, ilma lisasoojustust paigaldamata. Katuse lisasoojustamist tuleb igal juhul ette võtta siis, kui võetakse ette katusekatte vahetus.

Katuslae lisasoojustamist on realselt võimalik teha vaid lisasoojustuse paigaldamisega olemasoleva katuse peale, vana katusekatte eemaldamisega või ilma. Pärast lisasoojustamist tuleb vanad tuulutuseavad sulgeda, kuna vastasel korral satub välisõhk soojustuse alla ja soojustuse efektiivsus langeb. Lisasoojustamine ja tuulutuse sulgemine muudab katuslae niiskustehnilist toimivust: katusesse tekib mitu veeaurutihedat kihti ja kahe soojustuse vahele suur õhuruum. Lisasoojustuse paksus ja tuulutuse sulgemise lahendus peavad tagama katuse niiskustehnilise toimivuse. Kui jäetakse vana katusekatte alles ja lisasoojustus tuleb selle peale, peab lisasoojustuse paksus olema selline, et vana katusekatte alla ei tekiks niiskustehniliselt kriitilisi keskkonnatingimusi: ei teki veeauru kondenseerumise või hallituse kasvu ohtu. Tuulutusavade sulgemisel tuleb olla kindel, et liigniiskus (põhjustatud näiteks katuse varasemast läbijooksust) on katusest välja kuivanud. Kui on karta, et endises tuulutusruumis on katuse läbijooksude tõttu liigniiskus, siis võib paigaldada katusele ajutised tuulutuskorstnad. Tuulutuskorstnate kaudu pääseb niiskus välja kuivama. Kui tõenäoline kuivamisperiood on üks aasta, siis pärast seda võib tuulutuskorstnat montaaživahuga sulgeda. Katusele tehtud tuulutusavasid on lihtsam sulgeda, kuna ei pea muutma fassaadi viimistlust ja tööd saab teha katusest.

Katuse lisasoojustamine on mõistlik teha koos fassaadide lisasoojustamisega. Selline lahendus tagab parima lõpptulemuse. Väiksemate rahaliste võimaluste juures on variant soojustada esialgu hoonel ainult otsaseinad ja katus ning külgselitel piirduda katuse ja välisseina liitekohaga soojustamisega (vt. Joonis 13.13).



Joonis 13.13 Katuslae ja seinä liitekohaga soojustamise põhimõtteline skeem, kui külgselitel lisasoojustus toimub teises etapis: vasakul olukord enne soojustamist, paremal soojustatud parapetisõlm.

Lisasoojustuse vajaliku paksuse määravad energiatõhususarvutus, katuse niiskusrežiim ja ehitustehniliselt optimaalne lahendus. Ehitustehniliselt võib soojustuse paksuse minimaalseks piiriks pidada 20-25 cm, kuid energiatõhususe seisukohalt võib olla vajalik ka paksem

soojustuse paksus. Pööningu põranda soojustamine nõuab alternatiividest vähem ümberehitustöid, sobides nõnda juhul, kui ülejäänud katusekonstruktsioonid on heas korras ja pööningu kasutuselevõtt pole vajalik või võimalik. Pööningu põranda lisasoojustamisel on otstarbekas (vahelae paksuse ja massi vähendamiseks) olemasolev täide (liiv, saepuru, TEP-plaat, vana mineraalvatt vms.) vahelaest eemaldada ja asendada see uue, väiksema massi ja soojuserijuhtivusega soojustusmaterjaliga.

Katuse tasapinna tõstmise korral tuleb tagada, et veetõkke ülespöörded korstnatele ja teistele katusest läbiviikudele oleksid vähemalt 30 cm. Katusel paiknevaid ventilatsioonikorstnaid on võimalik laduda kõrgemaks. Madala parapeti korral võib tekkida vajadus rajada katusel liikujate, tulekustutus- ja päästemeeskonna turvalisuse tagamiseks 600 mm kõrgune räästabarjäär.

Kui katusekate lekib, tuleb tegutseda kiiresti ja pole alati aega otsustada kogu hoone soojustamise peale. Kui rahalised võimalused ei luba katust lisasoojustada, tuleb vana ja uus katusekate omavahel eraldada 20–30 mm paksuse jäiga või pooljäiga mineraalvillast plaadiga, mis tagab uuele kattele ühtlase aluse ja vana katte deformatsioonid ei mõjuta uut katet. Pikemas perspektiivis võib uue katusekatte paigaldamist ilma katust lisasoojustamata lugeda ebaotstarbekaks.

Lisaks olemasoleva lamekatuse lisasoojustamisele on olemas veel kaks üldtunnustatud renoveerimislahendust: madala kaldkatuse ehitamine ning lisakorruse pealeehitamine.

Madalat kaldkatust võib küll lamekatusest mõnevõrra töökindlamaks lugeda, kuid samas on see lahendus kallim. Kuna korralikult tehtud lamekatust täidab oma ülesannet hästi, siis tasub põhjalikult kaaluda madala kaldkatuse ehitamise majanduslikku otstarbekust. Madala kaldkatusega on võimalik parandada ka ventilatsiooni lahendust: pikendada korstnalõõre, mis on oluline just viimase korruse ventilatsiooni silmas pidades, ja paigaldada katuse alla ventilatsiooniseadmeid. Ventilatsioonilõõre ja kanalistasioonipüstikuid tohi mingil juhul lõpetada kaldkatuse all, vaid korstnad tuleb pikendada nii, et oleks nõuetekohane üleulatus uue katuse pinnast.

Lisakorruse ehitamise majanduslik otstarbekus sõltub suuresti olukorrast kinnisvaraturul ning praegusel hetkel ilmselt otstarbekas ei ole, mis aga ei tähenda, et olukord muutuda ei või. Lisaks sõltub lisakorruse mõttekus kindlasti hoone asukohast ning akendest avanevatest vaadetest. Loomulikult tuleb lisakorruse ehitamisel silmas pidada tuleohutusnõudeid.

Ventilatsioonilõõride otsad on enamasti korras, kohati puuduvad tuulutuskorstnate katted. Veeäravoolud on enamasti vabad, puuduvad küll tihti prahi äravoolutorudesse sattumist vältivad katted. Ummistunud veeäravoolude korral tuleks need loomulikult kohe puhastada.

Tabel 13.3 Katuste renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Katused			
Katusekate	• Tagatakse katusekatte veepidavus: katusekate hermetiseeritakse osalise parandamisega või katte täieliku uuendamisega. • Suletud katuslae korral kontrollitakse olemasoleva soojustuse olukorda, et see ei oleks märgunud. • Tagatakse katusele piisavad kalded veeäravoolu tagamiseks. • Parandatakse katuse katte- ja servaplekid ning tagatakse katuslae olemasoleva tuulutussüsteemi toimivus (tuulutusavad välisseinas või tuulutuskorstnad).		• Ehitatakse madal kaldkatus. • Ehitatakse hoonele peale lisakorrus.
Kande- konstruktsioonid	• Tagatakse laudise ja sarikate kande võime olemasolevate sarikate tugevdamisega, asendamisega või uute sarikate lisamisega. • Kõik kahjustunud konstruktsioonid (mädanikkahjustusega puit jne) asendatakse.		•
Lisasoojustus	• Katuslagi lisasoojustatakse, kui asendatakse kogu katusekate.	• Katus lisasoojustatakse mineraalvillaga või vahtpolüstüreeniga vastavalt taotletavale energiatõhususpaketile. • Rajatakse uus tuulutus lisasoojustuse peale. • Originaalsed tuulutusavad suletakse aasta peale katuse lisasoojustamist, et aja jooksul kogunenud niiskus saaks välja tuulduda.	
Korstnad, lõõrid ja äravoolud.	• Korrastatakse või asendatakse kahjustatud või puuduvad lõõride ning korstnate otsad, vajadusel ehitatakse lõõre ning korstnaid pikemaks. • Puhastatakse ummistunud veeäravoolud, paigaldatakse neile katted, mis väldivad prügi sattumist äravoolutorudesse.		• Kaldkatuse või lisakorruse ehitamisel ehitatakse uus veeäravoolusüsteem, pikendatakse lõõrid ja korstnad ning lisatakse viimase korruse ventilatsioonilõõrid uue katusega sobivaks.

13.1.4 Külmasillad

Probleemi saab vähendada välispiirete lisasoojustamisega ja niiskuskooormuse vähendamisega (parem ventilatsioon, korralik küte, väiksem niiskustoodang). Selleks et tagada ohutu ja tervislik sisekliima, on see lausa mõõdapääsmatu.

Külmasildade likvideerimiseks piisab üldjuhul 50–70 mm paksusest välimisest lisasoojustusest. Samas ei ole nii väike soojustuse paksus majanduslikult otstarbekas. Soojustuse paksuse osakaal kogu lisasoojustuse hinnas (viimistlus, tellingud, töö jne.) on väike võrreldes paksemast soojustusest saadava energiasäästuga. Seetõttu tuleb lisasoojustamisel lähtuda elamu energiatõhususe arvutuste tulemustest.

Välispiirete seespidist soojustamist tuleb igal juhul vältida, sest selline soojustamise viis ei likvideeri külmasildu ega vähenda soojuskadusid. Ainult seina soojustamine teeb külmasilla märgatavalt väiksemaks, kuid külmasilda see ei likvideeri. Kogu sõlme soojustamine minimeerib külmasilla ning lisajuhtivus ja kriitilisus vähenevad algsega võrreldes oluliselt. Nii on võimalik parandada hoone energiatõhusust ning vähendada hallituse tekke riski.

13.1.5 Vahelaed

Vahelagede juures oli peamiseks puuduseks nende väike helipidavus. Vahelagede helipidavuse tagamisel võib juhinduda hoonete akustilise klassifikatsiooni erinevatest heliklassidest (INSTA 122:1998), vt. Tabel 13.4.

Tabel 13.4 Vahelagede renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Katused			
Vahelagi	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 50dB$. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 58dB$.	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 55dB$. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 53dB$.	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 58dB$. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 48dB$.

13.1.6 Avatäited: aknad ja ukсед

Telliselamute ehitusjärgne akende ja rõduuste lahendus on tavaliselt kahe puitraamiga ja kahe klaasiga (vanemad elamud) või ühe puitraamiga ja kahe-kolme klaasiga, millel on väike nii sooja-, õhu- kui helipidavus. Akende soojuslähivuseks võib hinnata $U \approx 3...2 W/(m^2 \cdot K)$. Tänapäevaste akende soojuslähivus on kuni kolm korda väiksem.

Ehitusjärgses olukorras oli õhuleke läbi akna ebatiheduste vajalik loomuliku ventilatsiooni toimimiseks: aken oli üks peamine värske õhu juurdevoolu allikas. Renoveeritud ventilatsiooniga hoone puhul ei pea aknad olema suure õhulekkega, kuna värske õhu juurdevool tagatakse mehaaniliselt või radiaatori taga paiknevate värske õhu klappide kaudu.

Kui hoonel on vahetamata ligi pooled aknad, võib tõsiselt kaaluda kõikide (ka juba vahetatud) akende väljavahetamist ja akende tõstmist välisseina välispinnale, vt. Joonis 13.11. Sellisel juhul on võimalik akna ja seina liitekoha külmasilda vähendada ja kasutada uusi energiaefektiivseid ($U \leq 1,1 W/(m^2 \cdot K)$) aknaid. Varem vahetatud aknad tuleks anda taaskasutusse.

Vanematel elamutel, mille aknad väärivad säilitamist arhitektuursetel või miljööväärtuslikel põhjustel, tuleb akende olukord personaalset selgitada ja igal konkreetsel juhul otsustada, kas aken kõlbab renoveerimiseks. Säilitatavate akende puhul tulevad need puhastada vanast värvist, plommida kahjustunud kohad, tagada akna korralik avamine, võimalusel kaaluda klaasi asendamist energiatõhusama klaaspaketiga (võib nõuda akna freesimist), kruntida, värvida ja varustada tihenditega. Nn. magalarajoonide aknad on üldjuhul halvema kvaliteediga ja väärivad asendamist hoone tervikliku renoveerimise käigus.

Akende vahetamisega või renoveerimisega peab alati kaasas käima ventilatsiooni renoveerimine.

Tuleohutuse seisukohalt peavad korterite välisüksed vastama tuletõkkeukse EI30 nõuetele (TP–1). Korteriuuste laius peab olema vähemalt 900 mm ja trepikodade välisuste laius peab üldjuhul olema vähemalt 1200 mm (evakuatsioonialalt, kus inimeste arv on kuni 60, võib ühe evakuatsioonipääsu laius olla 900 mm). Trepikoja poole avanev uks ei tohi kitsendada liikumisvoolu teed.

Tulekahju ajal juhitakse suits ja kuumad põlemisgaasid trepikojast välja peamiselt läbi avatavate akende. Kuni kaheksakorruselise hoone trepikojast peab olema võimalus suitsu eemaldamiseks kas iga korruse tasandilt vähemalt 0,5 m² suuruste kergesti avatavate akende kaudu või trepikoja katuses oleva 1 m² suuruse kasuliku pindalaga, hoone esimeselt korruselt käsitsi kergesti avatava suitsuluugi või katuseakna kaudu.

Turvalisuse põhjustel olid uuritud korterelamute trepikodade välisüksed valdavalt asendatud uute ustega ja enamikus elamutes oli paigaldatud ka fonoluku süsteem.

Tabel 13.5 Uste ja akende renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Uksed, aknad			
Trepikodade välisüksed	Olemasolevad uksed remonditakse või asendatakse uute turvaustega.		Paigaldatakse fonolukusüsteem.
Trepikodade aknad	- Olemasolevad aknad remonditakse või asendatakse uutega $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Akende avatavuse juures peetakse silmas tulekahju tingimustes trepikojast suitsu eemaldamise võimalikkust.	Kõikide akende väljavahetamine ($U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) ja akende tõstmist välisseina välispinnale.	
Korterite uksed	Paigaldatakse tulekindlad uksed.		Paigaldatakse kõikidele korteritele ühesugused tulekindlad uksed.
Korterite aknad ja rõduuksed	- Olemasolevad aknad remonditakse või asendatakse uutega, $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Koos akende vahetuse või tihendamisega renoveeritakse ka ventilatsioonisüsteem.	Kõikide akende väljavahetamine ($U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) ja akende tõstmist välisseina välispinnale.	- Asendatakse uutega, fassaadi paksu lisasoojustuse kihi tõttu võidakse ka aknaid väljapoole tuua. - Koos akende vahetuse või tihendamisega renoveeritakse ka ventilatsioonisüsteem.

13.1.7 Trepid, trepikojad

Tabel 13.6 Treppide ja trepikodade erinevate renoveerimistasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Trepid, trepikojad			
Sisetrepid	Kaitstakse paljastunud armatuur korrosiooni vastu ning taastatakse armatuuri kaitsekiht.		
Käsipuud	Korrastatakse vastavalt turvalisuse ja tuleohutuse nõudeid silmas pidades.		Paigaldatakse uued tänapäevasema välimusega käsipuud.
Trepikodade siseseinad ja laed			Parandatakse kahjustunud kohad ning värvitakse uuesti üle.
Välistrepid	- Kaitstakse paljastunud armatuur korrosiooni vastu ning taastatakse armatuuri kaitsekiht. - Äravajunud trepiplaatide algne asend taastatakse.		Ehitatakse täiesti uued pääslad koos uute välistreppidega.

13.1.8 Keldriseinad, sokkel

Tabel 13.7 Keldriseinte ja sokli renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Keldriseinad, sokkel			
Soklid	- Paneelidevaheliste vuukide korrastamine. - Betooni parandamine ja pindamine.	Soklid lisasoojustatakse vastavalt energiatõhususpaketile.	
Keldriseinte maa-alune osa	Vajadusel tehakse hüdroisolatsioon.	Keldriseinte maa-alune osa lisasoojustatakse vastavalt energiatõhususpaketile.	

13.1.9 Niisked ja märjad ruumid

Tabel 13.8 Niiskete ja märgade ruumide renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Niisked ja märjad ruumid			
Tarindid	- Tagatakse märgade tsoonide veetõkke hermeetilisus. - Tagatakse kalded põrandatele.		Paigaldatakse põrandaküte.
Ventilatsioon	- Tagatakse niiskete ja märgade ruumide ventilatsioon. Vajadusel paigaldatakse ventilatsioonilõõridesse ventilaatorid väljatõmbe parandamiseks. - Tagatakse, et ventilatsiooniavad oleks avatud, puhastatavad ja mitte õhutihedate ripplagede taga.		Paigaldatakse soojusutilisaatoriga ventilatsiooni-süsteem.

13.1.10 Müratõrje ja helipidavus

Tabel 13.9 Müratõrje ja helipidavus, renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Müratõrje ja helipidavus			
	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w$, dB>50dB. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w$, dB<58dB.	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w$, dB>55dB. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w$, dB<53dB.	- Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w$, dB>58dB. - Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w$, dB<48dB.

13.2 Tehnosüsteemid

13.2.1 Soojusvarustus

Tabel 13.10 Soojusvarustuse renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

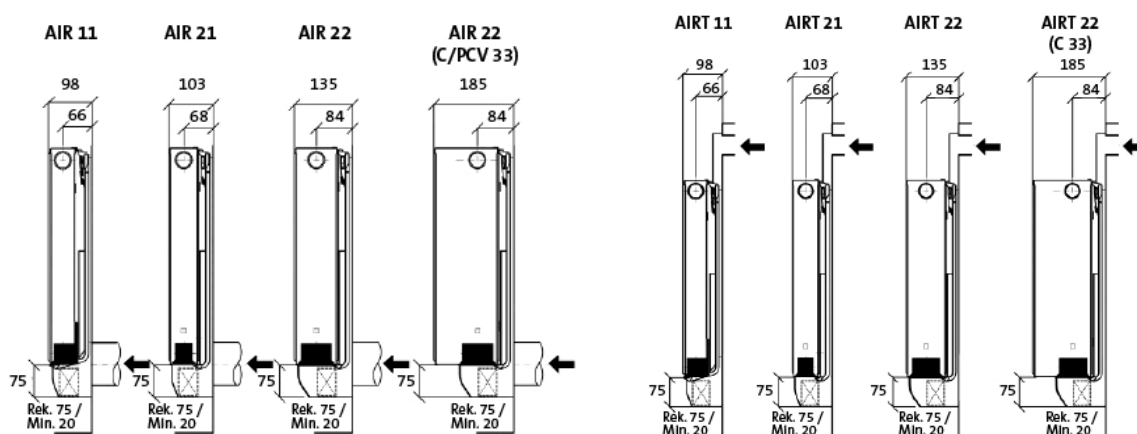
Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Soojusvarustus			
Soojussõlm	Vana soojussõlm renoveerida.		
Torustikud	Vajadusel asendada, arvestades maks. tööiga.		
Soojusenergia arvesti		Puudumisel tuleb paigaldada.	
Küttesüsteemi soojusvaheti		Puudumisel on soovitatav paigaldada.	Puudumisel tuleb paigaldada.
Tarbevee soojusvaheti		Puudumisel tuleb paigaldada.	
Reguleer-automaatika	Seadistada, et oleks tagatud kütteperioodil ühtlane sisetemperatuur korterites.		
Tsirkulatsiooni-pumbad		Kontrollida sobivus, vajadusel asendada.	
Sulg- ja ohutusarmatuur	Kontrollida, mittekorras toruarmatuur asendada.		

13.2.2 Küte

Küttesüsteemi renoveerimise juures tuleb tähelepanu pöörata torustiku ja küttekehade tehnilisele seisukorrale ning süsteemi kui terviku toimimisele. Ehitusjärgsed torustikud on olukorras, kus nad vajavad üldjuhul väljavahetamist. Küttekehade osas on malmradiaatorite olukord hea, kuid plekkradiaatorid on rohkem amortiseerunud ja vajavad asendamist.

Kui rajatakse hoonele mehaanilise väljatõmbega ventilatsioonisüsteem, tuleb tagada värske õhu juurdepääs. Et talvel korterisse sisenev välisõhk ei halvendaks soojuslikku mugavust, mis võib põhjustada ka värske õhu avade sulgemist, tuleb kasutada välisõhu eelsoojendamist. Kõige otstarbekam on seda teha nn. värske õhu radiaatoritega, vt. Joonis 13.14.

Küttesüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte vt. Tabel 13.11.



Joonis 13.14 Värske õhu radiaatorid ja nende tööpõhimõte (all).

Tabel 13.11 Küttesüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Küte			
Küttesüsteem	Olemasoleva süsteemi seadistamine õigele temperatuurigraafikule ja vooluhulgale, et kõikides korterites oleks tagatud vajalik temperatuur.	- Variant 1: ehitatakse kahetorusüsteem. - Variant 2: ühetorusüsteemi renoveerimine koos individuaalse temperatuuri reguleerimise võimalusega.	- Küttekulu korteripõhine mõõtmine. Tuleb tagada, et kõikides korterites oleks tagatud nõuetekohane sisekliima (temperatuur, suhteline niiskus). - Olemasolev kulude jaotus-süsteem nõuab täpsustamist ja lisauuringuid.
Küttetorustikud sh. keldrimagistraalid	Vajadusel asendada, arvestades maks. tööiga.		
Püstikute ja magistraal-torustiku tasakaalustamine	Vajalik.		
Püstikute sulgearmatuur	Vajadusel asendada või paigaldada.		
Küttekehad	- Kontrollida, amortiseerunud asendada; - Mehaanilise väljatõmbe korral paigaldada värske õhu radiaatorid.		

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Õhutusventiilid	• Vajadusel asendada või paigaldada.		
Torustike isolatsioon		• Kütmata ruumides, pööningu ja keldris tuleb torustik soojustada.	

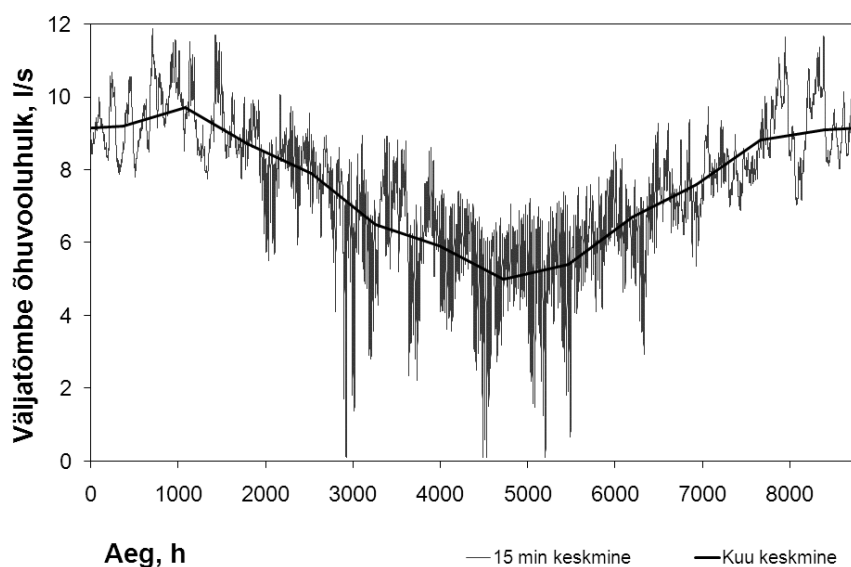
13.2.3 Ventilatsioon

Uuringu raames läbiviidud tehnosüsteemide ülevaatus kinnitab, et tellismajade loomulik ventilatsioonisüsteem on amortiseerunud (vt. pt. 10.1.2) ega võimalda nõutava õhuvahetuse tagamist. Sageli on tellistest ventilatsioonilõõrid ebatihedad, ummistunud ja seinad suure karedusega. Lisaks on kasutusaja vältel läbi viidud mitmeid ümberehitusi.

Loomuliku ventilatsiooni korrektne renoveerimine tähendab seda, et kogu hoones ja konkreetses korteris taastatakse projektijärgne ventilatsioonisüsteemi olukord. Ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse. **Olemasolevaid ventilatsioonikanaleid ära kasutavate renoveerimislahenduste eeltingimuseks on loomuliku ventilatsioonisüsteemi renoveerimine. Eriti oluliseks tuleb pidada vanade šahtide tihendamist.**

Ventilatsioonilõõride tihendamine on suhteliselt keeruline ja aeganõudev töö, mille sooritamist raskendab ruumipuudus. Erinevatest lahendustest saab kasutada tihendussegu, sukka või plekist ümarkanaliga paigutamist olemasolevasse šahti. Tihendussegu korral kaetakse kanali siseseinad ühe või mitmekordse segukihiga. Suka kasutamisel viiakse see kõie abil šahti ja surutakse suruõhuga vastu olemasoleva kanali seinu. Ehituslikesse ventilatsioonilõõridesse ümarkanaliga paigutamisel tuleb jälgida, et õhu kiirus kanalis ei ulatuks üle 3,5 m/s.

Ainult loomuliku ventilatsioonisüsteemi kasutades ei ole võimalik tagada tänapäeva nõuetele vastavat õhuvahetust. Probleem on kõige teravam soojemate tuulevaiksete ilmadega ning viimaste korruste korterites. Vastavalt loomuliku ventilatsiooni simulatsioonitulemustele muutub keskmise uuringus osalenud korteri loomuliku ventilatsiooni väljatõmbeõhu vooluhulk aasta lõikes suhteliselt suurel määral (vt. Joonis 13.15).



Joonis 13.15 Aastapikkuse perioodi loomuliku ventilatsiooni väljatõmme keskmise õhuvahetusega korteris (simulatsioon).

Piisava õhuvahetuse tagamiseks tuleb elu- ja magamistubadesse paigaldada värske õhu klapid. Samas ei taga ka tavalised värske õhu klapid (vt. Joonis 13.23) tänu loomuliku ventilatsiooni liiga väiksele väljaõmberõhule soovitud õhuvahetust. Samuti on nende probleemiks

talvetingimustes tekkiv külm õhuvool. Lahenduseks on ventilaatori ja kütteelemendiga varustatud värske õhu klappide paigaldamine.

Ventilatsioon on vajalik tagamaks hoonetes tervislikku ja mugavat sisekliimat. Ventilatsiooni peamiseks ülesandeks on saasteainetega segunenud õhu eemaldamine siseruumidest ja selle asendamine värske välisõhuga. Eluhoonete levinuimad saasteallikad on veeaur (söögitegemine, pesemine, inimtegevus), CO₂ (inimtegevus, mööbel, hoone materjalid), CO, lenduvad orgaanilised ühendid ja tubakasuits.

Korterite sisekliima ja õhuvahetuse parandamiseks on erinevaid võimalusi. Enne lõpliku renoveerimislahenduse valikut tuleb hoones läbi viia sisekliima ja ehituslikud uuringud. Tellismajade puhul on eriti oluline saada ülevaade olemasolevate ventilatsioonilõõride projektijärgsest lahendusest ja hetkeolukorrast. Kindlasti tuleb silmas pidada, et peakanaliga süsteem vajab võrreldes eraldi kanalitega lahendusega korteritevahelise õhu segunemise vältimiseks erinevat tehnilist lahendust. Samuti on oluline, kas renoveerimine toimub korteri-, trepikoja- või hoonepõhiselt. Tuleb arvestada, et hoone piirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku, mistõttu peavad renoveerimislahendused olema kompleksed ja sobima kogu hoonele. Soovitav tulemuse saavutamiseks tuleb enne renoveerimise alustamist paika panna selle ulatus ja taotletav tase.

Et saavutada rahuldavat sisekliimat, peab ventilatsioonisüsteemid projekteerima eluhoonetele ette nähtud ventilatsiooninõuete järgi. Elamutele kehtib ventilatsiooni projekteerimisel hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (vt. Tabel 8.7). Oluliselt renoveeritavate hoonete sisekliima peab vastama vähemalt standardi EVS-EN 15251:2007 II sisekliima klassile (vt. Tabel 8.1 & Tabel 8.8). VV määruses nr. 258 on toodud energiaarvutustes kasutatavad ventilatsiooni õhuvooluhulgad, mis vastavad energiatõhususe miinimumnõuetele (vt. Tabel 13.12). Projekteerimisel tuleb kasutada tabelites toodud arvutusmeetoditest (õhuvahetuskordsus, õhuvahetus ruumide pindala kohta ja õhuvahetus inimese kohta) suurima õhuvahetuse tagavat lähtesuurst.

Tabel 13.12 Elamute energiaarvutuse ventilatsiooni õhuvooluhulgad

Üldõhuvahetus, l/s	Elu- ja magamistoad l/(s·m ²)	Köögi väljatõmme, l/s	Pesuruumi väljatõmme, l/s	WC väljatõmme, l/s
0,42	1,0	20	15	10

Ventilatsioonisüsteem arvestada vastavalt vajalikule õhuvooluhulgale:

- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk kogu hoone suletud netopinna järgi (0,42 l/(s·m²);
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk elamispinna (elu- ja magamistubade põrandapinna) järgi (1 l/(s·m²), millele lisatakse mitteeluruumide õhuvooluhulk üldõhuvahetuse järgi arvutatuna;
- valitakse kahest eelnevast suurem õhuvooluhulk summaarseks õhuvooluhulgaks, kusjuures summaarsest õhuvooluhulgast arvutatud õhuvahetuskordus on maksimaalselt üks õhuvahetus tunnis;
- valitakse ja jaotatakse väljatõmbed nii, et nende summa võrdub summaarse õhuvooluhulgaga. Väljatõmme lahendatakse sanitaarruumide ja köögi väljatõmbekanalite abil.

Arvestada tuleb ka sellega, et ventilatsioonisüsteem ei tekitaks liigset müra. Tehnoseadmete (vee- ja kanalisatsiooniseadmed, kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusseadmed, liftid vms) summaarne helirõhu taotlustase arvutuslikus olukorras on $L_{pA,eq,T} \leq 25\text{dB}$ ja $L_{pA,max} \leq 32\text{dB}$ (sotsiaalministri määrus nr. 42).

Käesolevas uuringus teostatud energia- ja tasuvusarvutuste puhul on eeldatud, et korteris ei viibita pidevalt. Energiatõhususe miinimumnõuete määrase kohaselt on korterelamute kasutusaste 0,6, mis lahtiseletatult tähendab, et energiaarvutuste tegemisel võib eeldada korteri kasutusajaks 14 h päevas. Väljaspool kasutusaega (10 h päevas) võib ruumide õhuvahetust vähendada, mis on energia kokkuhoiu mõttes hea lahendus. Samas tuleb arvestada ka sellega, et osa kortereid on pidevas kasutuses (lastega pered, vanurid) ja seal ei ole õhuvooluhulkade

vähendamine võimalik. Väljaspool eluruumide kasutusaega nähakse standardis EVS-EN 15251:2007 ette õhuvahetust $0,05\text{--}0,1 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$. Tüüpilises tellismaja korteris peab sellisel juhul väljatõmbe õhuvooluhulk olema $4\text{--}10 \text{ l/s}$. Sellest lähtuvalt on käesolevas uuringus keskmiseks kasutusajaväliseks õhuvahetuseks arvestatud 10 l/s . Ruumide kasutusajal on keskmiseks õhuvahetuseks võetud 35 l/s , mis tagab soojusliku mugavuse II klassi järgse õhuvahetuse 4 täiskasvanud elanikuga tüüpkorteris. Tuleb tähele panna, et käesoleva uuringu ventilatsiooni energiaarvutusteks kasutatavad õhuvooluhulgad kehtivad vaid juhul, kui süsteemid on vajadusepõhiselt reguleeritavad. Köögikubu ja sanitaarruumide ventilaatorite üheaegsel töötamisel on korteri maksimaalne võimalik õhuvahetus 45 l/s . Juhul kui puudub võimalus õhuvooluhulka vähendada, tuleb süsteemi energiakulu arvutada maksimaalse õhuvooluhulga järgi.

Käesolevas raportis on põhjalikumalt peatunud 4 võimalikul renoveerimislahendusel:

- ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon;
- korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon;
- tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus; mehaaniline väljapuhe köögist ja sanitaarruumidest, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus, mille eelseid ja puudusi vt. Tabel 13.13.

Tabel 13.13 Ventilatsiooni renoveerimislahendused

Eeldused lahenduse kasutuselevõtuks	Eelised	Puudused	Märkused
Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon			
• Korteri õhuvahetus ei ole piisav • Hoone õhulekkearv $q_{50} < 5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	• Ei pea renoveerima kogu hoonet või trepikoda • Suur energia-kokkuvõid	• Müraprobleem • Suur alginvesteering • Tuuletõmbuse oht	• Peakanaliga süsteemi puhul lisada kõigile püstikul asuvatele ventilaatoritele tagasivooluklapid
Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon			
• Korteri õhuvahetus ei ole piisav • Hoone õhulekkearv $q_{50} < 5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	• Ei pea renoveerima kogu hoonet või trepikoda • Väga hea õhujaotus ja sisekliima • Suur energia-kokkuvõid	• Müraprobleem • Suur alginvesteering • Kanalite paigutamine korterisse problemaatiline	• Peakanaliga süsteemi korral juhtida heitõhk välisseinast välja
Tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus ja ventilatsiooni soojuspump			
• Korteri õhuvahetus ei ole piisav • Kogu maja või trepikoja renoveerimine • Ventilatsioonilõõride piisav tihedus	• Võimalik kasutada väljatõmbeõhu soojuspumpa	• Müraprobleem • Tuuletõmbuse oht • Puudulik küttevõimsus • Vajadusepõhine juhtimine keeruline ja kallis rajada	• Peakanaliga süsteemi puhul lisada korteritesse reguleerklapid
Mehaaniline väljapuhe köögist ja sanitaarruumidest, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus			
• Korteri õhuvahetus ei ole piisav	• Madal ehitushind • Võimalus korteripõhiseks reguleerimiseks	• Soojustagastuseta • Suur energiakulu • Müraprobleem • Tuuletõmbuse oht • Puudulik küttevõimsus	• Peakanaliga süsteemi puhul lisada kõigile püstikul asuvatele ventilaatoritele tagasivoolu klapid

Renoveerimislahenduste energiaarvutused on tehtud kraadpäevade meetodit kasutades. Üks kraadpäev väljendab $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ erinevust keskmise arvestusliku sisetemperatuuri (nn. tasakaalutemperatuuri) ja ööpäeva (24 h perioodi) keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Tallinna normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ on $4220 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$.

Õhu soojendamisele kulunud energiakulu saab leida, kasutades valemit 13.1 (Kõiv & Loigu 2007):

$$Q = \sum_{i=1}^n (L \cdot c \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \Psi)) \quad (13.1)$$

Q	õhu soojendamisele kulunud energia, MWh;
L	õhuvahetus, l/s;
n	erineva õhuvooluhulgaga perioodide arv päevas, -;
c	õhu erisoojus, kJ/(kg·°C);
ρ	õhu tihedus, kg/m ³ ;
S	kraadpäevade arv, °C·d;
t	perioodi pikkus ööpäeva jooksul, h;
Ψ	soojustagastuse tegur, -.

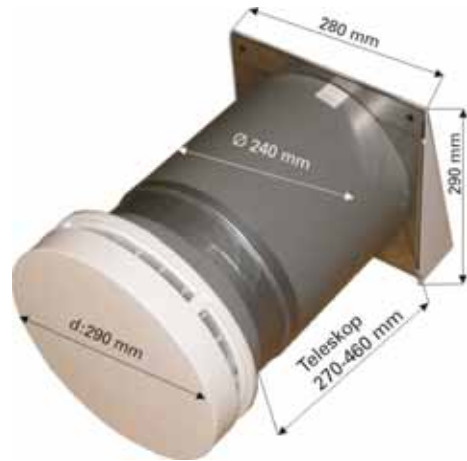
Lahenduste võrdlemisel tuleb arvesse võtta nii ehitusmaksumust, eksploatatsioonikulutusi kui ka renoveerimise tulemusel saavutatava sisekliima taset ja süsteemi kasutusmugavust. Erinevate lahenduste ehitusmaksumust ja kasutaja kulutusi on võimalik omavahel võrrelda ka majanduslikel alustel, kuid saavutatava sisekliima tase on hinnanguline ja sõltub subjektiivsetest asjaoludest.

Tasuvusarvutuste tegemisel on energiahinna tõusuks ja amortisatsioonikuludeks arvestatud 5 % aastas. Energiahinnad on võetud vastavalt hetkel kehtivatele Tallinna kaugkütte ja Eesti elektrihindadele.

20 aasta lõikes on parima tasuvusajaga korteripõhine ventilatsiooniagregaat ja ruumi-agregaadid. Samuti tasub nende lahenduste puhul silmas pidada, et nende lahenduste kasutamine tagab väga hea sisekliima. Tagamaks ventilatsiooni soojuspumba kasutamisel sooja tarbevee tootmiseks väga head tasuvust, tuleb teha täpsed arvutused ning korralik projekt ja teostus, et süsteem hakkaks korralikult tööle. Soojuspumba kasutamise perspektiiv on suurem sooja tarbevee ja küttevee koostootmisel, mida käesolevates tasuvusarvutustes kajastatud ei ole. Kõige vähemtasuvam võimalus ventilatsiooni renoveerimisel on väljatõmbeventilatsioon ilma soojustagastita. Tsentraalse väljatõmbe puhul on põhiprobleemiks korteripõhise reguleerimise teostatavuse keerulisus, mis omakorda tähendab kõrgeid eksploatatsioonikulutusi.

Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon

Projektijärgne ventilatsioonisüsteemi lahendus taastatakse. Ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetes püstikutesse. Elu- ja magamistoa välisseintesse paigaldatakse soojustagastusega ruumiagregaadid (vt. Joonis 13.16). WC ja vannitoa väljatõmme tagatakse väljatõmbeventilaatorite abil ning kööki paigaldatakse pliidikubu. Sanitaarruumide väljatõmme toimub ca. 20 minuti jooksul pärast ruumide kasutamist, köögikubu töötab vaid toiduvalmistamise ajal. Väljatõmbeventilaatorite ja kubu tööajal lülitatakse ruumiagregaatide väljatõmbeventilaatorid olenevalt süsteemi tehnilisest lahendusest kas välja või seade tuulutusasendisse, mis tagab värsket kompensatsiooniõhu juurdevoolu korterisse. Sanitaarruumide ja köögi ventilaatorite töötamisel võib elu- ja magamistubades tekkida tuuletõmbus. Seetõttu võib kubu või väljatõmbeventilaatorite kompenseerimiseks kasutada ka kööki paigaldatud elektrikalorifeeriga värsket õhu klappe.



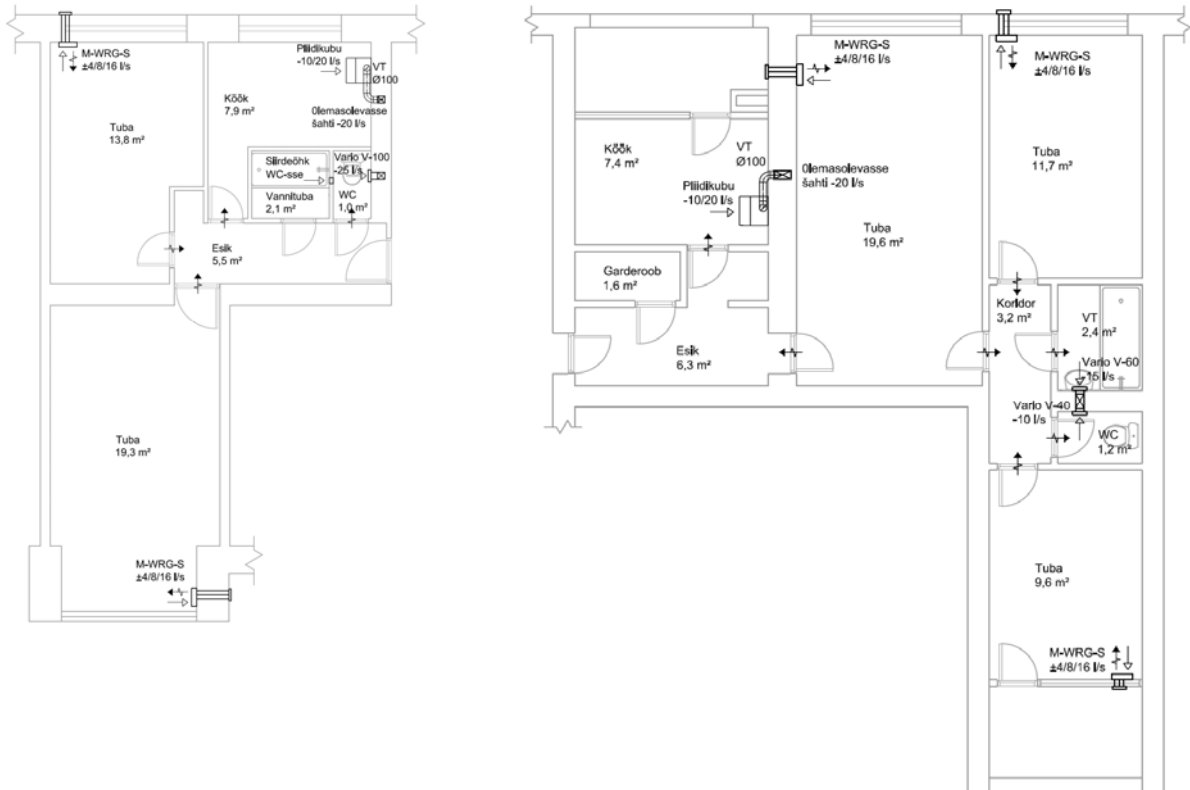
Joonis 13.16 Meltemi ruumipõhise ventilatsiooniagregaadi M-WRG katsetamine Tallinna Tehnikaülikooli laboris (vasakul) ja keraamilise soojustagastiga ruumipõhise paariseadme üks osa (paremal).

Soojustagasti tehnilise lahenduse alusel saab ruumiagregaadid jagada plaat- ja keraamilise soojustagastiga seadmeteks. Plaatsoojustagastiga agregaadil (vt. Joonis 13.16 vasakul) paiknevad sissepuhke ja väljatõmbe õhukanalid lähestikku ühes seadmes. Väljatõmbeõhult saadav soojus kantakse läbi plaatsoojusvaheti sissepuhutavale õhule. Keraamilise soojustagastusega seadmete puhul (vt. Joonis 13.16 paremal) on lahenduse peamiseks ideeks seadmete töötamine paarides, kus üks seade töötab sissepuhkefunktsioonis, samal ajal kui tema paariline töötab väljatõmbefunktsioonis. Pärast 70-sekundilist töötsüklit vahetavad seadme osad oma funktsioonid. Eelmise tsükli käigus väljapuhutava õhu poolt üles köetud energiasalvesti annab nüüd salvestunud soojuse üle sissepuhutavale õhule, samal ajal kui väljatõmberežiimis seadmes toimub taas energia salvestumine.

Samuti tuleb tähele panna, et kirjeldatud lahendus töötab vaid juhul, kui on tagatud ruumidevaheline õhu liikumine. See tähendab seda, et korteri siseuste all peavad olema vähemalt 10 mm pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

Energiaarvutuste teostamisel on eeldatud, et ruumide kasutusajal tagab ruumiagregaatidega lahendus korteri õhuvahetuse 35 l/s ja väljaspool kasutusaega 10 l/s. Vastavalt mõõtmestusandmetele on näiteks ruumiagregaadi M-WRG temperatuuri suhtarv 0,73. Aasta keskmiseks kasuteguriks võib seega arvestada 0,8. Normaalaasta energiakulu ventilatsiooniõhu soojendamisele on 0,6 MWh. Koos ventilaatorite elektrikulu ja süsteemi hoolduskuludega teeb see praeguste energiahindade juures 2-toalise korteri korral umbes 1500 krooni aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiks vt. Joonis 13.17.



Joonis 13.17 Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem kahetoalise (vasakul) ja kolmetoalise (paremal) korteri näitel.

Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon

Mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni väljaehitamise eeltingimuseks on hoonepiirete piisav õhupidavus. Kui ϵ_{ST} on soojustagasti temperatuuri suhtarv, siis reaalses situatsioonis läbib soojustagastit vaid kindel osa õhuvooluhulgast. Seega saab tegeliku soojustagasti efektiivsuse leida valemist 13.1 (Heidt 2006).

$$\epsilon_{st, teg} = \epsilon_{st} \cdot \left(1 - \frac{n_{inf}}{n}\right) \quad (13.1)$$

- $\epsilon_{st, teg}$ tegelik temperatuuri suhtarv, -;
 ϵ_{st} soojustagasti temperatuuri suhtarv, -;
 n_{inf} infiltratsioonist tingitud õhuvahetuskordsus, h^{-1} ;
 n kogu õhuvahetuskordsus, h^{-1} .

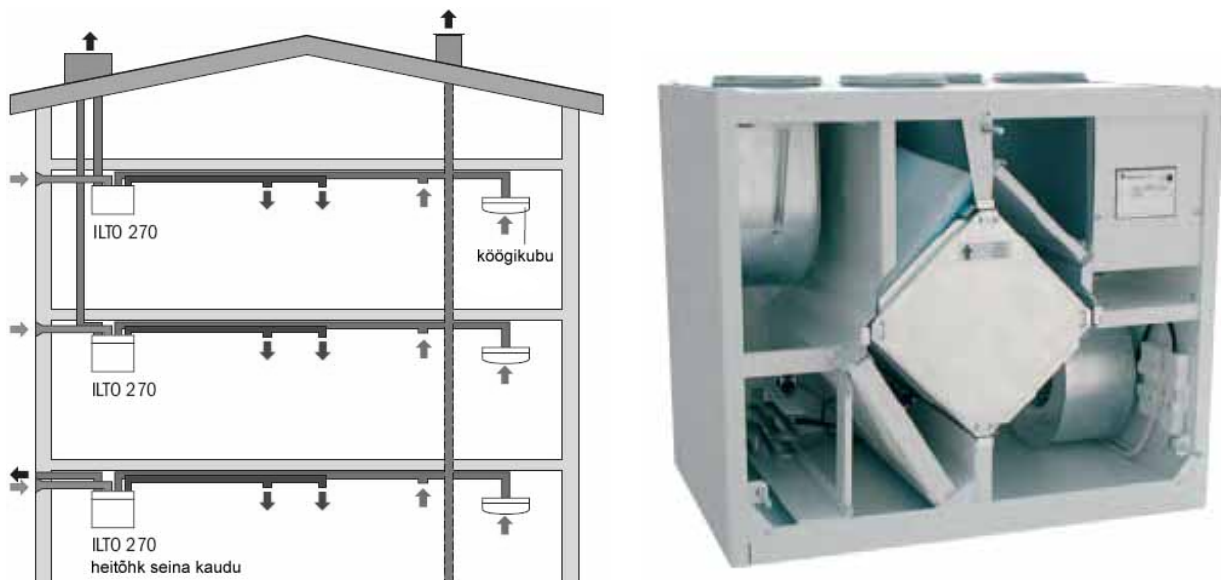
Mitmetes riikides (Šveits, Belgia, Tšehhi) on õhupidavuse piirnorm sätestatud vastavalt ventilatsioonisüsteemi tüübile. Näiteks Tšehhi normides (CSN 73 0540-2) on õhuvahetuskordsus erinev ka mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni ($n_{50}=1,5 h^{-1}$) ja mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni ($n_{50}=1 h^{-1}$) puhul. Kui sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad on tasakaalus on in- ja eksfiltratsiooni osakaal suurem kui olukorras, kus ruumis on ala- või ülerõhk. Vastavalt Suurbritannias läbi viidud uuringutele (Lowe 2000) ei toimu väljatõmbeventilatsiooni puhul õhuvahetuskordsuse $n_{50} = 3 h^{-1}$ juures enam märkimisväärset in- ja eksfiltratsiooni ning peaaegu kogu õhk läbib väljatõmbe ventilaatorit. Samal ajal mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni puhul sellist kriitilist õhuvahetuskordsust olemas ei ole.

Projektijärgne ventilatsioonisüsteemi lahendus taastatakse. Ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetes püstikutesse. Korteris õhuvahetuse tagab kööki või esikusse paigaldatud ventilatsiooniagregaat. Värske õhk võetakse läbi köögi välisseina. Selleks kasutatakse 125 mm läbimõõduga ja kondensaativastase isolatsioonikihiga kaetud õhukanalit. Heitõhk suunatakse kas ventilatsioonišahti või otse välisseinast välja.

Õhuvõtu- ja heitõhu avad kaetakse välisrestidega. Pärast soojustagasti läbimist on õhutemperatuur piisavalt madal, et põhjustada kondensaadi tekkimist heitõhu kanalile, mistõttu tuleb ka see isoleerida.

Sissepuhkeõhk antakse elu- ja magamistubadesse ja väljatõmme toimub köögist, vannitoast ja WC-st. Sissepuhke- ja väljatõmbekanal paikneb lae all seinte ääres ja on läbimõõduga 100 mm. Sissepuhkel kasutatakse KTS-100 seina- või laeplafoone. Laeplafoonid tagavad parema õhjuhatuse, kuid keset toa lage paigaldatud plafoonid võivad hakata inimesi häirima. Kuna tellismajade tubade kõrgus on reeglina 2,5 m, on ka ripplae ehitamine õhukanalite varjamiseks raskesti teostatav. Väljatõmbel kasutatakse plafoone KSO-100 ja köögis toiduvalmistamise ajal ka pliidikubu. Lisaks eelmainitud elementidele kuuluvad ventilatsioonisüsteemi koosseisu veel mürasummutid ja reguleerklapid.

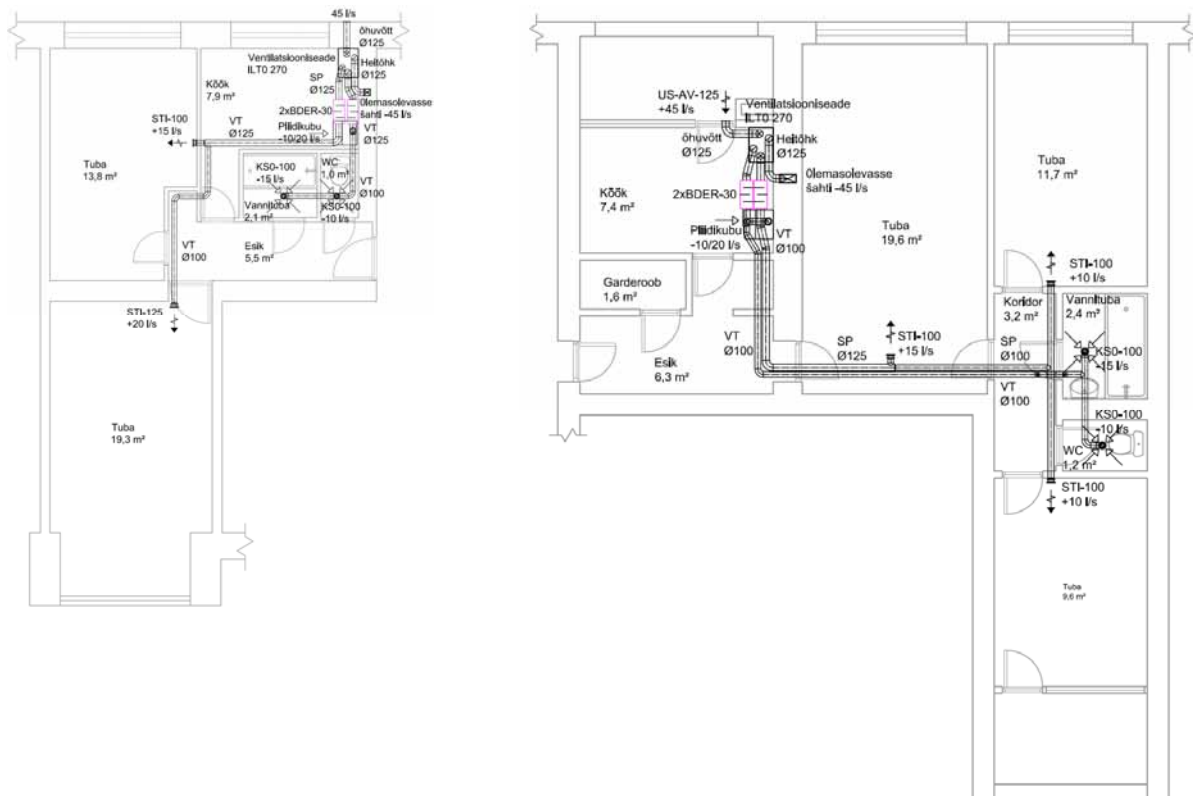
Kuna ventilatsioonisüsteemi läbib ka sanitaarruumide väljatõmbeõhk, siis ei tohi agregaadis tekkida sissepuhke ja väljatõmbe õhuvoolude segunemist. Samuti tuleb arvestada, et vannitoe niiske õhk võib talvetingimustes põhjustada soojustagasti jäätumist. Loetletud probleeme arvesse võttes on korterisse sobivam valida plaatsoojustagastiga agregaat (vt. Joonis 13.18 paremal), mis suudab mõningal määral tagastada ka varjatud soojust. Kondensaadi eemaldamiseks tuleb plaatsoojustagastiga agregaadile ette näha vesilukk ja rajada vastav torustik. Seadmes paiknev elektrikalorifeer hoiab etteantud sissepuhketemperatuuri, seega on hea sisekliima tagatud ka külmal aastaajal.



Joonis 13.18 Korteripõhise mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi põhimõtteline skeem (vasakul) ventilatsiooniagregaadi ILTO 270 K (paremal) baasil.

Energiaarvutuste teostamisel on eeldatud, et ruumide kasutusajal tagab agregaat korteri õhuvahetuse 35 l/s ja väljaspool kasutusaega 10 l/s. Aasta keskmiseks kasuteguriks on võetud 0,8. Normaalaasta energiakulu ventilatsiooniõhu soojendamisele on 0,6 MWh. Koos ventilaatorite elektrikulu ja süsteemi hoolduskuludega teeb see praeguste energiahindade juures 2-toalise korteri korral umbes 1700 krooni aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemiks vt. Joonis 13.19.



Joonis 13.19 Korteripõhiste agregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem kahetoalise (vasakul) ja kolmetoalise (paremal) korteri näitel.

Tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide lisamine ja ventilatsiooni soojuspump

Projektijärgne ventilatsioonisüsteemi lahendus taastatakse. Ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse. Hoone katusele ventilatsioonišahtidele paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid. Olenevalt lahendusest võib ventilaatorid paigaldada igale ventilatsioonikorstnale või ühendada šahtid ventilatsioonikanaliga ja seeläbi vähendada paigaldatavate seadmete arvu. Viimasel juhul tuleb kanalisüsteemi igale harule lisada reguleerklapp. Korterisisesed ventilatsioonisüsteemid puhastatakse ja vanad ventilatsioonirestid asendatakse tänapäevaste lõppelementidega. Peakanaliga lahenduse puhul paigaldatakse igasse korterisse reguleerklapid. Elu- ja magamistubadesse tuleb kindlasti paigaldada värske õhu klappid.

Samuti tuleb tähele panna, et kirjeldatud lahendus töötab vaid juhul, kui on tagatud ruumidevaheline õhu liikumine. See tähendab seda, et korteri siseuste all peavad olema vähemalt 10 mm pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

Tsentraalse mehaanilise väljatõmbe korral tagab korteri õhuvahetuse baasväärtuse vannitoa, WC ja pliidikubu (poolel kiirusel) väljatõmme. Vastavalt energiatõhususe miinimummääruse lähtesuurustele on seega ööpäevaringselt tagatud õhuvooluhulk 35 l/s. Õhuvahetust saab intensiivistada, lülitades pliidikubu täiskiirusele. Süsteemi suureks miinuseks on see, et väljaspool kasutusaega ei ole võimalik väljatõmbe õhuvooluhulka vähendada. Seda saab teha vaid tsentraalse ajaprogrammi alusel, mis samas ei pruugi kõigile korteritele sobida. Kuna väljaspool kasutusaega õhuvahetust vähendada ei saa, siis tuleb energiaarvutustes õhuvooluhulgaks arvestada ööpäevaringselt 35 l/s. Normaalaasta energiakulu on sellisel juhul 4,3 MWh. Koos ventilaatorite elektrikulu ja süsteemi hoolduskuludega teeb see praeguste energiahindade juures 2-toalise korteri korral umbes 5000 krooni aastas.

Energia kokkuhoiu eesmärgil peaks sanitaarruumide ja köögi väljatõmberestid võimaldama õhuvooluhulka vastavalt kohalolekule, ruumikasutusele, siseõhu niiskussisaldusele, CO₂ tasemele või elanike soovidele muuta. Samas tuleb tagada ka minimaalne kasutusväline õhuvahetus. Vajadusepõhiste lõppelementide (vt. Joonis 13.20) kasutamine nõuab väljatõmbeventilaatori rõhu järgi juhtimist ning süsteemi täpset häälestamist.



Joonis 13.20 Vajadusepõhiseks reguleerimiseks kasutatavad väljatõmbeelemendid. Vasakul 2-asendiline väljatõmberest BYFA-4 ja paremal niiskusanduriga juhitud väljatõmbeplafoon KSO-M-100.

Teine võimalus energiasäästuks on kasutada väljatõmbeventilatsiooni soojuspumpa (VTSP). Mitmed sarnases kliimas asuvad riigid (Rootsi, Taani, Saksamaa, Holland) kasutavad koos mehaanilise väljatõmbesüsteemiga soojuspumpa sooja tarbevee ja küttevee valmistamiseks. Põhiliselt kasutatakse kompaktseid VTSP-sid eramajades, kortermajadesse neid viimastel aastatel enam paigaldatud ei ole, kuna üha enam on levima hakanud mehaanilise sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemid (Fredrik Karlsson jt 2003). Rootsi elamutes läbiviidud uuringutes leetakse, et VTSP kasutamine aitab õhuvahetuse kuludelt säästa ligemale 50 %. Eriti suur sääst on aga võimalik saavutada siis, kui kasutada koos VTSP süsteemiga õhuvahetuse tarbekohast reguleerimist. Sellise lahenduse korral on lisasääst ligikaudu 25 %. (Pavlovas 2003) Renoveeritavates kortermajades sõltub VTSP abil saavutatav sääst eelkõige paigaldatava süsteemi tehnilise lahenduse sobivusest konkreetse hoone tingimustega.

VTSP süsteemi võib korterelamusse paigaldada, kasutades erinevaid põhimõttelisi lahendusi. Kõige sobilikuma lahenduse valimisel tuleb arvestada hoone tüübi, ventilatsioonisüsteemi lahenduse ja olemasoleva olukorraga ning soovitava lõpptulemusega. Järgnevalt on kirjeldatud võimalikke kortermajadesse sobivaid VTSP süsteemide tehnilisi lahendusi:

- Hoonel on mehaaniline väljatõmbeventilatsioon. Väljatõmbeõhk kogutakse hoone katusel kokku ja juhitakse sealsamas paikneva kompaktse soojuspumpa aurustisse. Soojuspumba poolt toodetav soe vesi juhitakse hoone keldris paiknevasse soojussõlme. Torustiku vedamisel soojussõlme saab näiteks ära kasutada vanu prügišahte. Selle süsteemi puuduseks on kõrge müratase, püstikute omavahel ühendamise töömahukas ja õhu suured soojuskaod. Lisaks tekitab probleeme erinevate korterite õhuvooluhulkade tasakaalustamine. Tavalised reguleerklapid annavad soovitud tulemuse vaid juhul, kui ei toimu õhuvooluhulga liiga suuri varieerumisi ega plafoonide sulgemist.
- Hoonel on mehaaniline väljatõmbeventilatsioon. Väljatõmbeõhk kogutakse hoone katusel kokku ja juhitakse vesi-vesi tüüpi soojuspumba primaarpoolele ühendatud õhk-vesi soojusvahetisse. Pumba primaarkontuuris ringlev soojuskandja on vesi-glükooli lahus. Soojuskandja juhitakse hoone katuselt soojussõlmes paiknevasse soojuspumpa, mis toodab sooja tarbevett ja/või küttevett. Võrreldes eelmise lahendusega on antud juhul soojuskaod väiksemad, kuna soojuse transpordiks soojussõlme kasutatakse madalatemperatuurset

soojuskandjat. Väljatõmbeõhu kokkukogunemisest tingitud probleemid on samad mis eelmises lahenduses.

- Hoone katusel paigutatakse igale ventilatsioonikorstnatele ventilaator ja õhk-vesi tüüpi soojusvaheti. Kui korstnas paikneb mitu ventilatsioonišahti, siis tuleb igale kanalile paigaldada reguleerklapid. Erinevate patareide soojuskandjaks olev vesi-glükooli lahus juhitakse magistraaltorru, mis viiakse hoone keldris paiknevasse soojussõlme. Soojussõlmes paikneb vesi-vesi tüüpi soojuspump, mis toodab sooja vett. Süsteemi eeliseks on väiksed soojuskaod ja suhteliselt madal müratase. Samas on alginvesteering mõnevõrra suurem kui eelmiste lahenduste korral.
- Väljatõmbeventilaator paigaldatakse hoone keldrisse ja erinevad šahtid ühendatakse keldris paiknevasse magistraalkanalis. Sealsamas paikneb ka VTSP süsteem, kus on kasutatud kompaktselt VTSP-d või vesi-vesi soojuspumpa, mille primaarpoolde on ühendatud ventilatsiooniskanali paiknev õhk-vesi soojusvaheti. Süsteemi saab rakendada vaid peakanaliga lahendusega hoonete puhul, kuna eraldi kanalisüsteemiga hoonetel ulatuvad püstikud ventileeritava korterini, kuid mitte hoone keldrisse. Ventilatsioonišahtid tuleb katusel sulgeda ja kõigi korterite väljatõmbe tagab mehaaniline väljatõmbeventilatsioon. Heitõhk väljub hoone keldriseinast.

Kuna köögikubude väljatõmme sisaldab sageli rasva, tahma ja muid kanaleid ning ventilatsiooniseadmeid ummistavaid aineid, on selle juhtimine VTSP süsteemi probleemataoline. Probleemi saab lahendada eri moodustel. Kui väljatõmme köögist toimub vaid kubu tööajal ja šaht, kuhu väljatõmbeõhk suunatakse, teenindab ainult sellesama korteri kööki, ei pruugi selle õhu juhtimine soojustagastussüsteemi olla otstarbekas. Seda eriti juhul, kui köögikubu tööaeg on suhteliselt lühike. Teise lahendusena juhitakse köögi väljatõmbeõhk VTSP süsteemi õhk-vesi soojusvahetisse, kuid see eeldab vastavate filtrite kasutamist ning süsteemi regulaarset puhastamist. Samuti teeb selle lahenduse kalliks pidev filtrite vahetuse vajadus.

VTSP võimsus on piiratud väljatõmbe õhuvooluhulgaga, mis omakorda sõltub hoone õhuvahetusest. Kuna seadme võimsus on piiratud suurus, tuleb arvestada lisakütte kasutamise vajadusega. Kortermajades saab selleks üldjuhul kasutada kaugkütet või hoone enda katlamaja, vajadusel võib seadmele lisada elekterküttekeha. Kuna väljatõmbeõhu temperatuur muutub aasta lõikes minimaalselt, on selle näol tegu väga stabiilse soojusallikaga. Praktikas tuleb arvestada ka õhu niiskussisaldusega, mis on aasta lõikes muutuv suurus ja oleneb suurel määral korterisisestest niiskuseraldistest ja välisõhu temperatuurist ning suhtelisest niiskusest. Käesolevas töös on VTSP energiaarvutustes arvestatud väljatõmbeõhu temperatuuriks 21 °C ja aasta keskmiseks siseõhu suhteliseks niiskuseks 40 %. Kuna VTSP kasutamisel on eeldatud, et korteri õhuvahetus on aastaringelt konstantne suurus, siis on õhk-vesi soojusvahetit läbivaks ühe korteri õhuvooluhulgaks võetud 25 l/s. Arvestatud on sellega, et köögi väljatõmbel soojustagastust ei kasutata. Väljatõmbeõhust saadava energia saab leida valemiga 13.2.

$$Q = L \cdot \rho \cdot n \cdot 10^{-6} \cdot (h_1 - h_2) \cdot \quad (13.2)$$

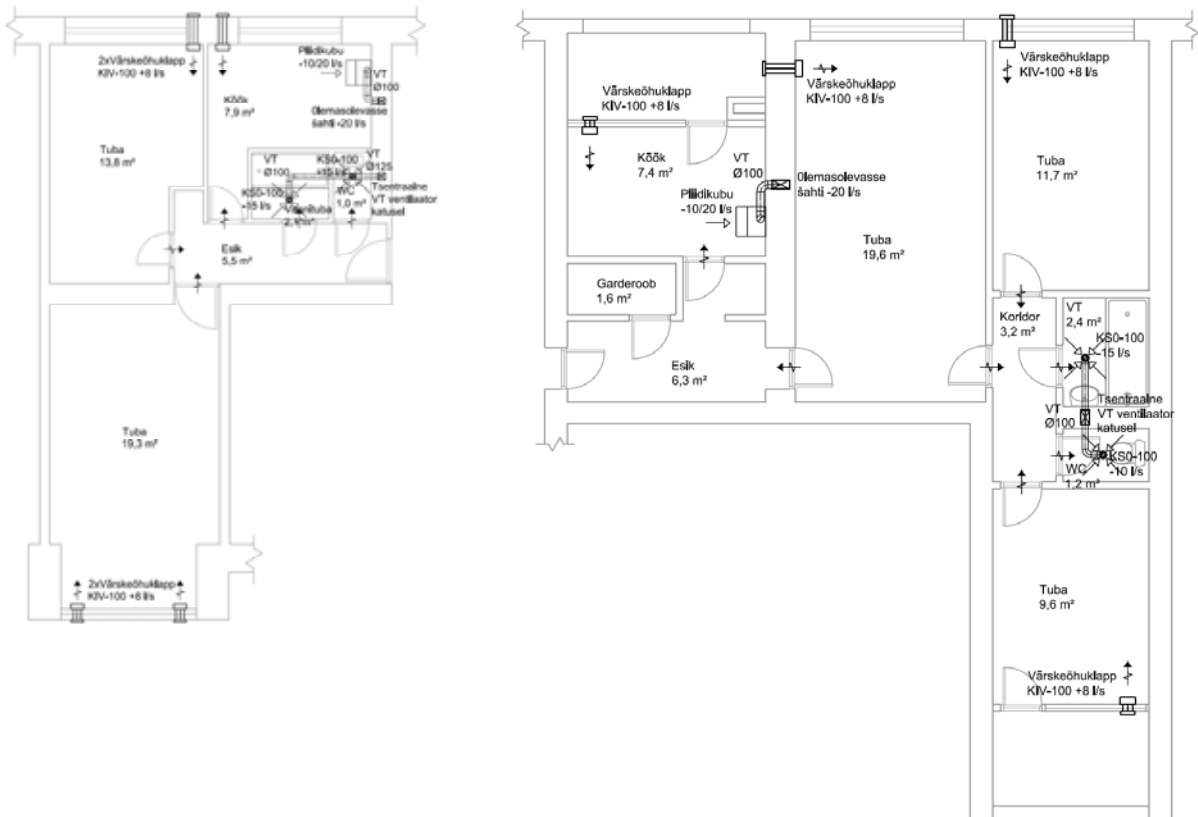
Q	väljatõmbeõhult saadav energia, MWh;
L	väljatõmbe õhuvooluhulk, m ³ /s;
ρ	õhu tihedus, kg/m ³ ;
n	perioodi pikkus, h;
h ₁	väljatõmbeõhu entalpia, kJ/kg _{kõ} ;
h ₂	heitõhu entalpia, kJ/kg _{kõ} .

Energiaõhususe miinimumnõuete määruse (VV. määrus nr. 258) järgi tuleb kasutada VTSP aasta keskmise soojusteguriga 4,0 (väljatõmbe temperatuuride vahe on 21 – 5 = 16 °C ja osa soojuspumba võimsusest kasutatakse tarbevee soojendamiseks). Reaalseid süsteeme mõjutavad mitmed tegurid, nagu näiteks soojuskaod, pumpade tööks kuluv elektrienergia jne, mis moodustavad ca 20 % VTSP poolt toodetavast energiahulgast.

VTSP kasutamisel on normaalaasta energiakulu ventilatsiooniõhu soojendamisele 4,3 MWh. Juhul kui VTSP abil toodetakse ainult sooja tarbevett, on õhu soojendamise, ventilaatorite

elektrikulu ja süsteemi hoolduskulu praeguste energiahindade juures ning 2-toalise korteri korral umbes 3500 krooni aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise mehaanilise väljatõmbega süsteemiks vt. Joonis 13.21.



Joonis 13.21 Tsentraalne mehaaniline väljatõmme kahetoalise (vasakul) ja kolmetoalise (paremal) korteri näitel.

Mehaaniline väljapuue köögist ja sanitaarruumidest, värske õhu radiaatorite või -klappide lisamine

Käesolevat lahendust kasutatakse ainult ajutise lahendusena ventilatsiooniõhuhulkade tagamiseks. Kuna sellel lahendusel puudub ventilatsiooniõhust soojuse tagastuse võimalus, ei saa seda lahendust pidada pikas perspektiivis jätkusuutlikuks.

Kuna loomulik ventilatsioon ei võimalda tagada piisavat õhuvahetust, siis paigaldatakse kööki, vannituba ja sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) väljatõmbeventilaatorid. Väljatõmbeõhk kompenseeritakse läbi välisseintesse paigaldatavate värske õhu klappide. Kööki ja ventilaatorite paigaldamine väljatõmberestide asemele suurendab ventilatsioonikanalite takistust ja vähendab seeläbi loomuliku ventilatsiooni õhuvooluhulka. Samas minimaalne õhuvahetus, juhul kui ventilaatorid ei tööta, siiski säilib. Mõõtmistulemused näitavad, et teatud juhtudel (ülemised korrused, suvine aeg) võib see jääda liiga väikseks, et tagada loomuliku ventilatsiooni abil korterite kasutusvälise aja õhuvahetust (4 – 10 l/s). Sellisel juhul tuleb kasutada kasutusvälise aja õhuvahetuse tagamiseks väljatõmbeventilaatorite abi.

Ruumide kasutusaegse õhuvahetuse tagamiseks paigaldatakse kööki ja sanitaarruumidesse väljatõmbeventilaatorid. Ventilaatorid töötavad kogu kasutusaja vältel vastavalt kasutaja poolt valitud programmile. Väljatõmbeventilaatorite valikul tuleb kindlasti arvestada õhukanali takistusega. Lahendus sobib kasutamiseks ka peakanaliga süsteemide puhul, kuid seda vaid juhul, kui kõik antud püstikusse ühendatud kubud ja sanitaarruumide ventilaatorid on varustatud tagasivoolu klappidega (vt. Tabel 13.18). Samuti ei ole peakanaliga süsteemi puhul võimalik

kasutada kasutusaja välise õhuvahetuse tagamiseks loomuliku ventilatsiooni väljatõmberõhku, kuna see on tagasivoolu klappide avamiseks liiga väike.

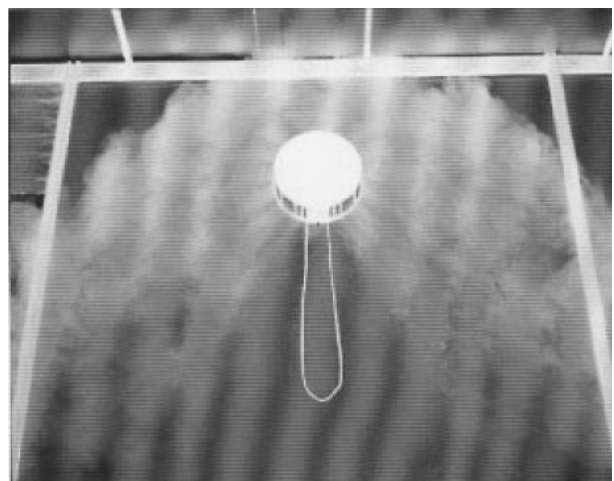


Joonis 13.22 Tagasivoolu klapp BSD-100.

Lisaks tuleb iga korteri elu- ja magamistubadesse paigaldada värske õhu klappid (vt. Joonis 13.23). Vältimaks tuuletõmbust on kõige parem paigaldada värske õhu klappid radiaatorite taha. Juhul kui see ei ole võimalik, siis akna üläpiirkonda radiaatori kohale. Värske õhu klappide valikul tuleb silmas pidada, et õhujoa suund ning õhuvooluhulk oleksid reguleeritavad.

Samuti tuleb tähele panna, et kirjeldatud lahendus töötab vaid juhul, kui on tagatud ruumidevaheline õhu liikumine. See tähendab seda, et korteri siseuste all peavad olema vähemalt 10 mm pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

Sanitaarruumide väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu tuleks ühendatud ühtsesse juhtsüsteemi. Kasutaja jaoks toimub süsteemi parameetrite muutmine esikus paiknevast juhtpuldist, kust on võimalik ventilatsioonisüsteemi seada vastavalt kasutusaegsesse ja kasutusaja välisesse režiimi. Lisaks peaks juhtimisautomaatika võimaldama kasutusaja õhuvooluhulga vähemalt kolmeastmelist või vastavalt inimeste arvule reguleerimist. Tark juhtsüsteem võimaldab sageli täiendavat kokkuhoidu, mis energiahinna pideva tõusu tingimustes pakub kiiret tasuvusaega ning teeb ventilatsioonisüsteemi käsitlemise käepärasemaks.



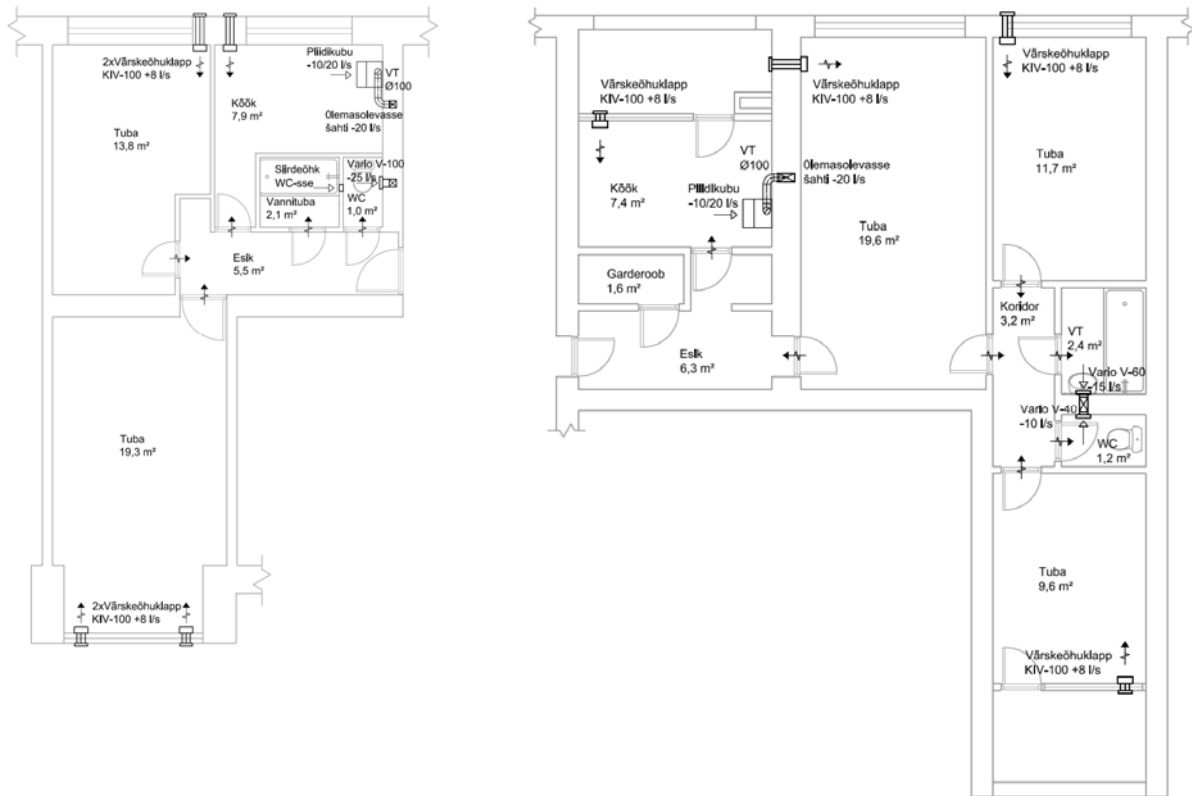
Joonis 13.23 Värske õhu klapp KIV-100 (vasakul) ja sama klapi õhujuga laboritingimustes sise- ja välistemperatuuride erinevusel 30 °C ning õhuvooluhulgal 8 l/s (paremal).

Normaalaasta energiakulu ventilatsiooniõhu soojendamisele on 3,0 MWh. Koos ventilaatorite elektrikulu ja süsteemi hoolduskuludega on see praeguste energiahindade juures 2-toalise korteri korral umbes 3400 krooni aastas.

Lisasoojustamata hoone korral võib antud lahenduse korral tekkida probleeme olemasoleva küttevõimsuse puudujäägiga. Seda eriti juhul, kui hoones renoveeritakse vaid osa kortereid. Vajaliku lisasoojuse kompenseerimiseks on järgnevad võimalused:

- küttekehade vahetamine suurema võimsusega küttekehade vastu (ainult kahetorusüsteemi puhul);
- elektrisoojendusega värske õhu klappe kasutamine;
- elektriliste lisaküttekehade kasutamine.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise mehaanilise väljatõmbega süsteemiks vt. Joonis 13.24.



Joonis 13.24 Mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest kahetoalise (vasakul) ja kolmetoalise (paremal) korteri näitel.

13.2.4 Veevarustus

Tabel 13.14 Veevarustussüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Veevarustus			
Majaühendus	• Kontrollida, lekke korral remontida		
Veemõõdu-sõlm	• Vajadusel asendada toruarmatuur, veearvesti		
Külma vee torustik	• Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga		
Sooja vee torustik	• Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga		
Segistid	• Kontrollida, lekke korral remontida	• Vanad segistid asendatakse nn kangsegistitega	

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Korteri veearvestid	Vajadusel taadeldakse, asendatakse või paigaldatakse, kui puuduvad		
Korteri sanitaar-seadmed (WC loputuskast)	Kontrollida, lekke korral remontida	Kasutatakse 2-süsteemset loputuskasti	

13.2.5 Kanalisatsioon

Tabel 13.15 Kanalisatsioonisüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Kanalisatsioon			
Soojussõlme kanalisatsioon	Puudumisel rajada		
Kanalisatsioonisüsteemi püstikud, korterisisene torustik	Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga	Kanalisatsioonisüsteemi kasutamine sooja tarbevee eelsoojendamiseks (nõuab põhjalikumalt süsteemi ümberehitust)	
Keldripõranda alune torustik	Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga		

13.3 Energiatõhusus

Energiatõhususe renoveerimispakettidesse on koondatud erinevad meetmete kombinatsioonid, mis tagaksid taotletava energiatõhusustaseme. Energiatõhususe renoveerimispakettide jaotus ei vasta eelkirjeldatud A, B, C klassifikatsioonile, vaid keskendub ainult sisekliima ja energiatõhususe taseme parandamisele.

Selleks, et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud kaks renoveerimise paketi varianti:

- pigem mitmeetapiline renoveerimine, kus igas etapis püritakse elamu osarenoveerimisega maksimaalse energiatõhususe saavutamisele (iga kord tehakse üks või mitu tööd maksimaalselt hästi) ja lõppkokkuvõttes on saavutatav madalam energiakulu odavamate rajamiskuludega;
- pigem üheetapiline renoveerimine, millega saavutatakse optimaalsete kulutustega püstitatud energiatõhususe eesmärk, aga edasine energiatõhususe parandamine on keerukam/kallim.

Tervikrenoveerimine on esmajärjekorras soovitatav lahendus, kuid terviklahenduseni on võimalik jõuda ka etapiviisiliselt. Osades pakettides on ühe renoveerimismeetmena sees otsuste soojustamine. Seda tuleb käsitleda kui ühte vaheetappi elamu tervikrenoveerimisel. Kui täisrenoveerimist ei ole võimalik läbi viia, tuleb teha tööd etapiviisiliselt, aga iga etapi juures tuleb pürgida parimale lahendusele. Näiteks kui paigaldada elamule väikest soojustagastust võimaldav ventilatsioonisüsteem, siis on selle hilisem ümberehitus kokkuvõttes keerukam ja kallim. Näiteks kui soojustada välisseinad õhukese soojustuskihiga, siis hilisema lisasoojustamise käigus tuleb viimistlustööd teha uuesti ja kokkuvõttes on kulutused suuremad. Vaheetapis võib jätta osad piirded lisasoojustamata vaid juhul, kui see ei põhjusta sisekliimaprobleeme, näiteks külmasildadel hallitus või kondensaad. Erinevates variantides on kasutusel erinev ventilatsioonisüsteem, mis ei tähenda, et ühe- või mitmeetapilisel renoveerimisel on vaid teatud ventilatsioonisüsteem võimalik. Käesolevas raportis on üritatud jääda põhimõtetlike lahenduste juurde. Konkreetse hoone renoveerimisprojekti juures on otstarbekas läbi analüüsida rohkem variante ja valida elamu renoveerimiseks otstarbekas strateegia.

4-korruseline 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu

Selleks, et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud kaks renoveerimise paketi varianti, vt. Tabel 13.16.

Tabel 13.16 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett E (ETA 201-250 kWh/(m ² ·a))	ETA=217 kWh/(m ² ·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,8$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Otsaseinte lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +20 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +40 \text{ cm}$). - Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.	ETA=235 kWh/(m ² ·a) - Tagatakse vajalikud õhuvooluhulgad korteri või hoonepõhise mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooniga. - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +20 \text{ cm}$). - Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m ² ·a))	ETA=189 kWh/(m ² ·a) - Korteri või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, soojustagastusega (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,6$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +30 \text{ cm}$). - Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.	ETA=158 kWh/(m ² ·a) - Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump ($\text{COP} \geq 4,0$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +30 \text{ cm}$). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. - Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.
Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 kWh/(m ² ·a))	ETA=127 kWh/(m ² ·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,8$). - Välisseina lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +20 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +40 \text{ cm}$). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. - Päikesepaneelid sooja tarbevee tootmiseks. - Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele.	ETA=150 kWh/(m ² ·a) - Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump ($\text{COP} \geq 4,0$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +20 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +40 \text{ cm}$). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. - Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.

Erinevate renoveerimispakettide energiakasutuse profiil vt. Tabel 13.17.

Tabel 13.17. 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu renoveerimiskomponentide mõju hoone energiatarbimisele.

Energia- tõhusus- pakett	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						Soe tarbevesi
	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri- seadmed	Valgustus	
E ₁	217	95	11	25	34	11	41
E ₂	235	138	(kaetakse küttega)	11	34	11	41
D ₁	189	46	32	25	34	11	41
D ₂	158	62	(kaetakse küttega)	51	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)
C ₁	127	26	11	25	34	11	20
C ₂	150	54	(kaetakse küttega)	51	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)

5-korruseline keraamilistest tellistest kolme trepikojaga sektsioonelamu

Selleks, et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud kaks renoveerimise paketi varianti, vt. Tabel 13.18.

Tabel 13.18 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett E (ETA 201-250 kWh/(m ² ·a))	ETA=221 kWh/(m²·a) - Korteri põhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,8$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.	ETA=215 kWh/(m²·a) - Tagatakse vajalikud õhuvooluhulgad korteri või hoonepõhise mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooniga. - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +20 \text{ cm}$). - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m ² ·a))	ETA=178 kWh/(m²·a) - Korteri või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, soojustagastusega (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,6$). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +30 \text{ cm}$). - Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.	ETA=194 kWh/(m²·a) - Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon. - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +15 \text{ cm}$). - Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ($\approx +30 \text{ cm}$). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, $U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. - Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 kWh/(m ² ·a))	ETA=126 kWh/(m²·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,10 W/(m²·K) (≈+40 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=1,5 m³/(h·m²). - Päikesepaneelid sooja tarbevee tootmiseks. - Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele.	ETA=144 kWh/(m²·a) - Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump (COP≥4). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värskeõhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,10 W/(m²·K) (≈+40 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=1,5 m³/(h·m²). - Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.

Erinevate renoveerimispakettide energiakasutuse profiil vt. Tabel 13.19.

Tabel 13.19. 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu renoveerimiskomponentide mõju hoone energiatarbimisele.

Energia-tõhusus-pakett	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)						Soe tarbevesi
	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	
E ₁	221	106	12	21	34	11	37
E ₂	215	125	(kaetakse küttega)	9	34	11	37
D ₁	178	44	32	21	34	11	37
D ₂	194	104	(kaetakse küttega)	9	34	11	37
C ₁	126	31	12	21	34	11	18
C ₂	144	52	(kaetakse küttega)	48	34	11	(soojuspumbaga)

5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest elamu

Selleks, et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud kaks renoveerimise paketi varianti, vt. Tabel 13.20.

Tabel 13.20 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett E (ETA 201-250 kWh/(m ² ·a))	ETA=241 kWh/(m²·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Otsaseinte lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,16 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=3 m³/(h·m²).	ETA=249 kWh/(m²·a) - Tagatakse vajalikud õhuvooluhulgad korteri või hoonepõhise mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooniga. - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus U=0,21 W/(m²·K) (≈+15 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,16 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Olemasolevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m²·K), U_{keskm}=1,4 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=3 m³/(h·m²).

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m ² ·a))	ETA=180 kWh/(m²·a) - Korteri või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, soojustagastusega (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,6). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,13 W/(m²·K) (≈+30 cm). - Esimese korruse vahelae soojustamine U=0,36 W/(m²·K) (≈+5 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=3 m³/(h·m²).	ETA=169 kWh/(m²·a) - Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump (COP≥4,0). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid). - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,12 W/(m²·K) (≈+30 cm). - Esimese korruse vahelae soojustamine U=0,36 W/(m²·K) (≈+5 cm), - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=3 m³/(h·m²). - Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.
Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 kWh/(m ² ·a))	ETA=136 kWh/(m²·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,10 W/(m²·K) (≈+40 cm). - Esimese korruse vahelae soojustamine U=0,25 W/(m²·K) (≈+10 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=1,5 m³/(h·m²). - Päikesepaneelid sooja tarbevee tootmiseks. - Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele.	ETA=150 kWh/(m²·a) - Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8). - Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. - Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+20 cm). - Katuse lisasoojustus U=0,10 W/(m²·K) (≈+40 cm). - Esimese korruse vahelae soojustamine U=0,25 W/(m²·K) (≈+10 cm). - Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). - Õhupidavuse parandamine: q₅₀=1,5 m³/(h·m²).

Erinevate renoveerimispakettide energiakasutuse profiil vt. Tabel 13.21.

Tabel 13.21. 5- korruselise keraamilistest tellistest elamu renoveerimiskomponentide mõju hoone energiatarbimisele.

Energiatõhususpakett	Energiatõhususpakett						
	Kokku	Ruumide kütte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektriseadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
E ₁	241	130	12	26	34	11	28
E ₂	249	165	(kaetakse küttega)	11	34	11	28
D ₁	180	47	34	26	34	11	28
D ₂	169	76	(kaetakse küttega)	48	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)
C ₁	136	39	12	26	34	11	14
C ₂	150	39	12	26	34	11	28

10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest elamu

Selleks, et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud kaks renoveerimise paketti, vt. Tabel 13.22.

Tabel 13.22 10-korruselise 5 trepikojaga silikaattellistest elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett E (ETA 201-250 kWh/(m ² ·a))	ETA=235 kWh/(m ² ·a) • Tagatase vajalikud õhuvooluhulgad korteri või hoonepõhise mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooniga. • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid). • Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. • Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.	ETA=206 kWh/(m ² ·a) • Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump ($\text{COP}\geq 4$). • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid). • Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m ² ·a))	ETA= 198 kWh/(m ² ·a) • Tagatakse vajalikud õhuvooluhulgad korteri või hoonepõhise mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooniga. • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid). • Välisseina lisasoojustus $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +10 \text{ cm}$). • Katuse lisasoojustus $U=0,17 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +20 \text{ cm}$). • Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ • Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.	ETA= 158 kWh/(m ² ·a) • Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump ($\text{COP}\geq 4$). • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid). • Välisseina lisasoojustus $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +10 \text{ cm}$). • Katuse lisasoojustus $U=0,17 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +20 \text{ cm}$). • Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. • Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.
Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 kWh/(m ² ·a))	ETA=146 kWh/(m ² ·a) • Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv $\geq 0,8$). • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. • Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +15 \text{ cm}$). • Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +30 \text{ cm}$). • Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. • Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.	ETA=147 kWh/(m ² ·a) • Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump ($\text{COP}\geq 4$). • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid). • Välisseina lisasoojustus $U=0,21 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +15 \text{ cm}$). • Katuse lisasoojustus $U=0,13 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ($\approx +30 \text{ cm}$). • Olemasolevate akende vahetus: uued aknad $U=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $U_{\text{keskmise}}=1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. • Õhupidavuse parandamine: $q_{50}=3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. • Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.

	Variant 1	Variant 2
Energiatõhususpakett B (ETA 101-120 kWh/(m ² ·a))	ETA=117 kWh/(m ² ·a) • Soojustagastusega sissepuhke- väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8). • Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine. • Välisseina lisasoojustus U=0,17 W/(m²·K) (≈+15 cm). • Katuse lisasoojustus U=0,13 W/(m²·K) (≈+30 cm). • Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m²·K). • Õhupidavuse parandamine: q₅₀=1.5 m³/(h·m²). • Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele. • Päikesepaneelid sooja tarbevee tootmiseks.	

Erinevate renoveerimispakettide energiakasutuse profiil vt. Tabel 13.19.

Tabel 13.23. 5-korruselise keraamilistest tellistest elamu renoveerimiskomponentide mõju
hoone energiatarbimisele.

Energia- tõhusus- pakett	Kokku	Ruumide küte	Energia kaalutud erikasutus, kWh/(m ² ·a)				Soe tarbevesi
			Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri- seadmed	Valgustus	
E ₁	235	148	(kaetakse küttega)	9	34	11	34
E ₂	206	116	(kaetakse küttega)	46	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)
D ₁	198	111	(kaetakse küttega)	9	34	11	34
D ₂	158	67	(kaetakse küttega)	46	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)
C ₁	146	37	11	20	34	11	34
C ₂	147	56	(kaetakse küttega)	46	34	11	(kaetakse soojuspumbaga)
B ₁	117	26	10	20	34	11	17

14 Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs

Ehitusmajandusliku analüüsi põhieesmärgiks oli energiasäästumeetmete majandusliku mõju hindamine. Kompleksse hindamise läbiviimiseks tuleb püüda hinnata nii soovituslike meetmete investeerimis- kui ka kasutuskulusid. Erinevalt suurpaneel elamute uuringu metoodikast on käesolevas projektis ehitusmajanduslik analüüs keskendunud peamiselt energiasäästumeetmete hindamisele. Kui elamut otsustatakse pikaajaliselt kasutada, siis tegevused, mis

- likvideerivad avariiohtliku olukorra,
- tagavad turvalisuse,
- tagavad tervislikud elutingimused,

tuleb teha igal juhul sõltumata selle investeeringu tasuvusest. Elamu väga halva seisukorra puhul võib nende renoveerimis-rekonstrueerimistööde maksumus olla väga suur, mistõttu investeeringu tasuvus on väike või tasuvusaeg ebamõistlikult pikk. Sellisel puhul tuleb kaaluda elamu lammutamise ja uue kvaliteetse elamu ehitamise otstarbekust.

Oluline on rõhutada veel üht renoveerimistöödega seonduvat aspekti. Elamu hea käekäik sõltub väga palju ka sellest, kui teadlikud ja aktiivsed elanikud seal elavad. Paremat elukvaliteeti soovivad ja suurema sissetulekuga elanikud võivad kolida ära ja elamusse jäävad need, kes rahulduvad vähemaga, aga ei suuda elamut tervikuna ülal pidada ega leia endas ka initsiatiivi elamut korras hoida. Aktiivsemate elanike ära kolides võib selline arengutsenaarium käivituda ja seda eelkõige seetõttu, et korteriomanike (elanike) hulgast ei leita neid, kes sooviks ja suudaks elamu käekäigu eest vastutada.

14.1 Meetodid

Tehtavate tööde maksumuste määramisel kasutatakse konstruktiivelemendi maksumuse määramise metoodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjõud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, mõistlikku kasumit ja käibemaksu. Projekti raames koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustöid tegevatest ettevõtjatest. Ehitusmaksumus sõltub nii ajahetkest, objekti asukohast kui ka tellija poolt koostatud töövõtuprogrammist. Siinkohal tuleb rõhutada renoveerimise kavandamise, s.o. tehniliste lahenduste projekteerimise olulisust. Projektlahenduste põhjendatus, detailsus ja põhjalikkus parandavad ilmselgelt tööde kvaliteeti ja ka renoveerimise tehnilist ning majanduslikku tulemust.

Märkused renoveerimistööde maksumuste kalkulatsiooni kohta:

- arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb näidiselamutele võetud hinnapakkumustest, analoogobjektide tegelikest hinnapakkumustest ning kasutatud on ka konkreetsete hoonete osas ehitustöödele tehtud hinnapakkumusi ja sarnastel objektide renoveerimistööde tegelikku maksumust;
- 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;
- kui meede viiakse ellu täies ulatuses, eeldatakse olukorda, et eelnevalt ei ole meetme osas töid tehtud.

Lisaks elamu renoveerimistööde tegemisele (kulutused ehitusettevõtjale tehtud tööde eest) ja tööde tegemiseks vajalike rahaliste vahendite leidmisele (kulutused laenu põhiosa ja intresside tagasimaksmiseks) tekib renoveerimisega seonduvalt üldjuhul järgmised kulutused (lihtsustatud loetelu):

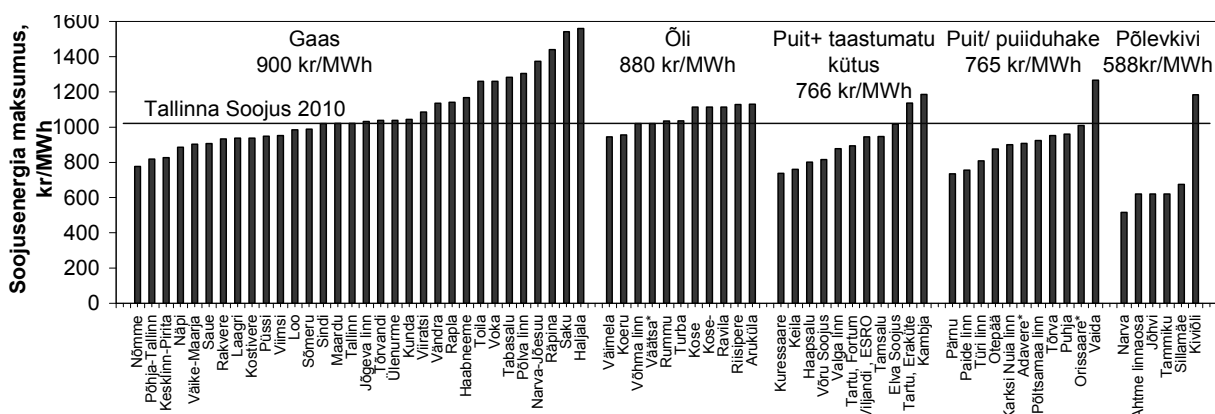
- korterelamu olemasoleva tehnilis-majandusliku olukorra hindamine vastavate spetsialistide poolt – kulutused uuringutele ja ekspertiisidele;

- arhitektuurse ja tehniliste projektdokumentide koostamine ning ehitusloa taotlemine – kulutused projekteerimisele ja vastavate lubade taotlemisega seotud kulud;
- projekti juhtimine e. renoveerimistöde hanke korraldamine – kulutused (aeg, raha) hanke ettevalmistamiseks; vajadusel kulutused konsultantidele.

Loetletud kulutuste katmiseks elamu kompleksse renoveerimise korral on arvestatud 210 krooni ruutmeetri kohta.

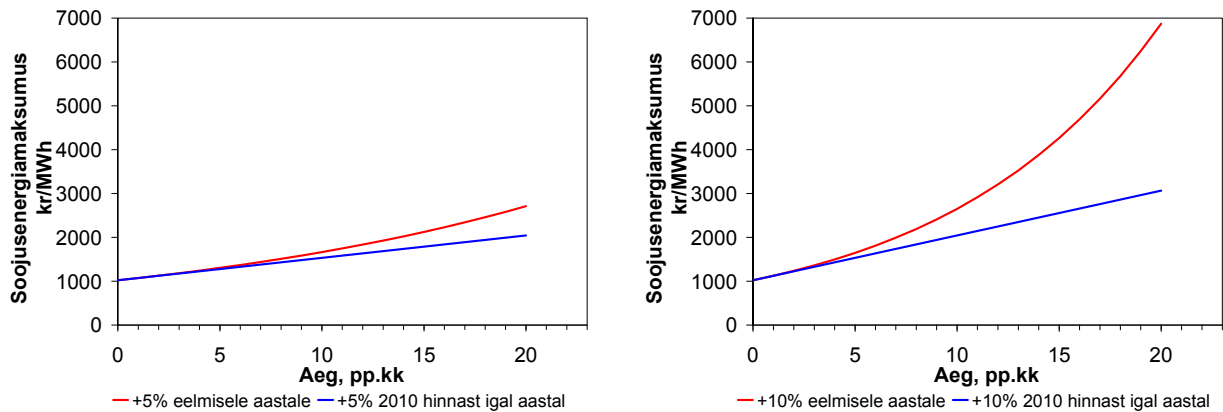
Majandusarvutustes kasutatavate sisendandmete puhul lähtutakse järgnevalt:

- hoone energiatõhususe parandamiseks võetava laenu intressimäär vastavalt hetkel kehtivale KredEx-i renoveerimislaenule 3,8% kogu laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimaksmise aeg on 20 aastat;
- laenu tagasimaksmise ajal on konstantseks soojusenergia maksumuseks võetud Tallinna Küte AS soojusenergia (2010. a) kehtinud hind 1068 kr/MWh ja elektrienergia maksumuseks on võetud Eesti Energia AS elektrienergia (2010. a) kehtinud hind 1550 kr/MWh. Joonis 14.1-l on toodud Eesti erinevates piirkondades kehtivate soojusenergiaindude maksumus. Kuna Tallinna Soojuse klientuur moodustab suhteliselt suurima osa korterelamute soojusenergiaga varustamisest on lähtutud sellest baashinnast. Kuna Eesti Energia on suurima hinnamõjuga elektrienergiaga korterelamute varustaja, on lähtutud sellest baashinnast.



Joonis 14.1 Eesti erinevates piirkondades kehtivate soojusenergiaindude maksumus kevadel 2010 (KENA 2010).

- lihttasuvusaja arvutustes eeldatakse energiahinna 5% aastast suurenemist võrreldes 2010 aastaga (st., et 20 aastaga energiahind kahekordistub, vt. Joonis 14.2 vasakul (sinine graafik). 5%-se iga-aastase hinnatõusu korral progresseerub hinnatõus aja jooksul, vt. Joonis 14.2 paremal (punane graafik). Kahe hinnatõusu muutuse erinevus on eriti suur suurema hinnatõusu korral, vt. Joonis 14.2 paremal;
- lihttasuvusaja arvutustes eeldatakse energiahinna püsivust ning ei arvestata investeeringute tegemiseks võetud laenu intressimäära muutumisega; energia kallinemise analüüsiks on tehtud võrdlusarvutused 10% kõrgema energiahinnaga;
- majandusarvutustes on arvestatud riigipoolse toetusega renoveerimistöödele (investeeringu maksumus miinus toetuse summa = laenusumma):
 - o energiatõhususpakett C (energiatõhususarv $\leq 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) korral hüvitatakse 35% investeeringutest (laenuintress ei kuulu hüvitamisele),
 - o energiatõhususpakett D (energiatõhususarv $\leq 200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) korral hüvitatakse 25% investeeringutest (laenuintress ei kuulu hüvitamisele),
 - o energiatõhususpakett E (energiatõhususarv $\leq 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) korral hüvitatakse 15% investeeringutest (laenuintress ei kuulu hüvitamisele);



Joonis 14.2 Soojusenergia hinna protsentuaalse muutuse erinev tõlgendus 5% (vasakul) ja 10% korral (paremal).

Renoveerimistööde tegemiseks soodsaimatel tingimustel on soovitatav, et tellija küsib hinnapakkumusi mitmelt potentsiaalselt töid tegevalt professionaalselt ettevõtjalt; seda võib tellija läbi viia kas ise või kasutada professionaalse konsultandi-projektijuhi abi. Oluline on siinkohal märkida, et valiku tegemise objektiivsuse ja tulemuslikkuse tagamiseks tuleb koostada korralik renoveerimistööde projektlahe ja tuleks väga selgelt määratleda tööde koosseis ja maht (koostada täpne mahutabel) ning määratleda muud olulised projekti tulemust mõjutavad tegurid (nt kvaliteedinõuded, ehituskestus jms). Tuleb tagada pakkumuste esitamine ühtsetel alustel ja võrreldavana; selle eelduseks on alati projektdokumentide olemasolu. Samas tuleks nõuda pakkujatelt hinnapakkumuste esitamist ühtse struktuuri alusel, kasutades ehituskulude liigitamise süsteemi (nt. EVS 885:2005 Ehituskulude liigitamine). Kavandatavate renoveerimistööde mahutabelid annavad võimaluse määratleda pakkuja jaoks tööde koosseisu ja esitatava pakkumiseelarve detailsustaseme.

Investeeringu keskmise tootluse leidmiseks on investeeringu sisemise tasuvuse määr jagatud vastava valitud arvestusperioodi pikkusega.

Investeeringu sisemise tasuvuse protsendi puhul on vastaval ajaperioodil saavutatav energiasäästu meetmete paketist tulenev rahaline kokkuhoid jagatud paketi maksumusega ja tulemus esitatud protsentides.

Investeeringute tasuvust võib hakata mõjutama ka ehitushindade muutumine, mille dünaamikat ei ole käesolevas töös prognoositud. Ehitushindade tõusmisel (küllaltki tõenäone) ning muude tegurite samaks jäämisel investeeringu tasuvus väheneb, kui ehitushinnad aga langevad võrreldes arvutuses eeldatuga, investeeringute tasuvus suureneb.

Arvutustes kasutatud maksumused

Arvutustes kasutatud ehitustööde maksumus on saadud näidiselamutele võetud hinnapakkumustest, analoogobjektide tegelikest hinnapakkumustest ning kasutatud on ka konkreetsete hoonete osas ehitustöödele tehtud hinnapakkumusi ja sarnaste objektide renoveerimistööde tegelikku maksumust, vt. Tabel 14.1. Ehitus- ja projekteerimisturul varieeruvad hinnad küllaltki oluliselt. Käesolevad hinnad on esitatud selleks, et näha, milliste ehitushindadega majandusarvutused on tehtud. Kui võrdlushinnapäringute alusel saadakse kas suuremad või väiksemad hinnad, siis on teada, millises suunas lõpptulemus muutub.

Ehitusmajanduslikus osas on arvestatud olemasoleva olukorra väljaselgitamiseks tehtavate uuringute ja ekspertiiside, arhitektuurse ja tehniliste projektdokumentide koostamise, renoveerimistööde hanke korraldamine ja omanikujärelevalve kulutusteks on arvestatud „Tervislik ja Säästev Kodu“ pilootprojekti (viiekorruseline nelja trepikojaga suurpaneelamu) hinnapakkumistega:

- projekteerimise (eel- ja tööprojekti staadiumis) hinnapakumused:
 - Pakkumus 1: 380 000 + km. = 456 000.- ehk 130 kr/m²;
 - Pakkumus 2: 282 000 + km. = 338 400.- ehk 97 kr/m²;
 - Pakkumus 3: 390 000 + km. = 468 000.- ehk 134 kr/m²;
 - Pakkumus 4: 150 000 + km. = 180 000.- ehk 51 kr/m²;
- projekteerimis- ja ehitustööde projektijuhtimine ning omanikujärelevalve kuus:
 - Pakkumus 1: 20 000 + km. = 24 000.-
 - Pakkumus 2: 45 000 + km. = 54 000.-
 - Pakkumus 3: 46 000 + km. = 55 200.-
 - Pakkumus 4: 10 000 + km. = 12 000.-

Projekteerija valikul tuleb eelistada kogenuid projekteerimisfirmasid, kellel on renoveerimistööde kogemus ja kes pakuvad elamu tervikrenoveerimise kõiki osasid (arhitektuur, ehituskonstruksioonid, tehnosüsteemid). Projekteerijat ja projektijuhti ainult hinna alusel valides võib tekkida olukord, et projekteerimise protsess venib nii, et ehitustöödega ei jõuta õigel ajal alustada või lõpetada ning kvaliteet võib kannatada. Halvimal juhul tuleb projekteerijat, projektijuhti või järelevalvet vahetada, mis võib veelgi projekteerimis-ehituse protsessi pikendada ja lõpptulemust kallimaks muuta. Lisaks tuleb arvestada, et enne projekteerimistööd tuleb teostada renoveeritavale elamule tuleb teha uuringud ja ekspertiis.

Arvestades:

- uuringute ja ekspertiiside maksumuseks ≈100 000.-
- projekteerimistöödeks ≈330 000.-
- projekteerimis- ja ehitustööde projektijuhtimine ning omanikujärelevalveks 6 kuu jooksul (1-2 projekteerimisele + 4-5 kuud ehitamisele) ≈6×50 000.-

kujuneb ≈3500 m²-se elamu uuringute, ekspertiiside ja projekteerimise, projektijuhtimise ja omanikujärelevalve maksumuseks ≈730 000.-. ehk ≈210 kr/m² (suletud netopinna kohta). Ehitustööde projektijuhtimise ning omanikujärelevalve kestvus on suurema ja väiksema elamu korral samas suurusjärgus, kuid kuna väiksema elamu juures on vähem töid ja probleeme ning suurema elamu juures vastavalt rohkem on siingi arvestatud tööde maksumust netopinna ruutmeetri kohta.

Tabel 14.1 Majandusarvutustes kasutatud ehitustööde ühikhinnad.

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
Olemasoleva lamekatuse remont lisasoojustuse lisamisega (kompaktne lamekatuse)	
• Katuslaele uue lisasoojustuse (vahtpolüstüreen 20 cm + tuulutussoontega ülikõvad 2-3 cm paksused kivivillplaadid, tuulutuskorstnad), katusekatte paigaldamine (koos läbiviikude ümbriste tegemisega), uued parapetiplekid, uued vihmavee lehid.	599 kr/m ²
• Katuslaele uue lisasoojustuse (vahtpolüstüreen 30 cm + tuulutussoontega ülikõvad 2-3 cm paksused kivivillplaadid, tuulutuskorstnad), katusekatte paigaldamine (koos läbiviikude ümbriste tegemisega), uued parapetiplekid, uued vihmavee lehid.	661 kr/m ²
• Katuseluuikide asendamine (kahekordsed, soojapidavad, töökindlad).	*
• Ventilatsioonikorstnate remont (sh. korstna kateplaatide katted).	*
• Katuslae ventilatsiooniavade kinniehitamine, vajadusel ajutiste tuulutuskorstnate paigaldus niiskunud soojustuse väljakuivamiseks.	*
• Liftišahti uste ja akende asendus, tamburite remont.	*
Välisseinte ja soklite maapealse osa lisasoojustamine (soojustatakse kogu fassaad)	
• Tuulutatav soojustussüsteem mineraalvillaga ja fassaadiplaadiga: 10 cm paksune mineraalvillast plaat puitkarkassi vahel (10×5 cm s. 60 cm, kinnitus kandeseinale), katteks tsementkiudplaat;	923 kr/m ²

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
Tuulutatav soojustussüsteem mineraalvillaga ja fassaadiplaadiga: 15 cm paksune mineraalvillast plaat puitkarkassi vahel (15×5 cm s. 60 cm, kinnitus kandeseinale), katteks tsementkiudplaat.	977 kr/m ²
Tuulutatav soojustussüsteem mineraalvillaga ja fassaadiplaadiga: 20 cm paksune mineraalvillast plaat puitkarkassi vahel (2×10×5 cm s. 60 cm, kinnitus kandeseinale), katteks tsementkiudplaat.	1066 kr/m ²
Mittetuulutatav krohvitud liitsüsteem 10 cm paksuse vahtpolüstüreenist soojustusega; Soojustatakse ka aknapaled 2,5-5 cm paksuselt;	651 kr/m ²
Mittetuulutatav krohvitud liitsüsteem 15 cm paksuse vahtpolüstüreenist soojustusega; Soojustatakse ka aknapaled 2,5-5 cm paksuselt.	708 kr/m ²
Mittetuulutatav krohvitud liitsüsteem 20 cm paksuse vahtpolüstüreenist soojustusega; Soojustatakse ka aknapaled 2,5-5 cm paksuselt või aknad tõstetakse olemasoleva fassaadi välispinda uue soojustuse sisse.	756 kr/m ²
Kahjustunud telliste asendus, fassaadivoodri sidumine kandeseinaga, silluste asendus või tugevdamine, rõdude ja lodžade kandeplaatide renoveerimine jne. muud tööd, mille eesmärgiks on avariiohtliku olukorra likvideerimine ning kandevõime tagamine.	*
Rõdude ja lodžade renoveerimine ja tugevdamine, uued piirded, soovi korral kinniehitamine ühtse lahenduse kohaselt (olemasolevad kinniehitused ehitatakse ümber).	*
Keldriseinte veetõkke ja soklisillutise ehitus; keldriseinte maa-aluse osa soojustamine.	*
Avatäidete vahetus	
Kõikide akende vahetus ja tõstmine olemasoleva välisseina välispinnale, uue soojustuse sisse. Uue akna ja rõduukse summaarne soojusläbivus $U \leq 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$: 3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam; aknaplekkide paigaldus, palede viimistlus, uus aknalaud.	3285 kr/m ²
Vahetamata akende vahetus, akende asukoht säilib. Uue akna ja rõduukse summaarne soojusläbivus $U \leq 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$: 3-kordne selektiivklaasidega argoontäitega klaaspakett, väikese soojusjuhtivusega raam; aknaplekkide paigaldus, palede viimistlus, uus aknalaud. Hoone akende keskmiseks soojusläbivuseks on arvestatud $U \leq 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.	2700 kr/m ²
Trepikoja välisuste asendamine.	*
Ventilatsioonisüsteemi renoveerimine (köetava pinna m ² kohta)	
- Lokaalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast, värske õhu klappide lisamine (tagatakse õhuvooluhulgad): - o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse, - o kööki paigaldatakse kubu ja sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) väljatõmbeventilaatorid (võimalusel ka mürasummutid) ning vaheustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, - o korteri elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/kohale paigaldada värske õhu klapid, - o väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu ühendatakse ühtsesse juhtsüsteemi.	390 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 303...538 kr/m ²)
- Tsentraalne mehaaniline väljatõmme (soojustagastuseta) köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast, värske õhu klappide lisamine: - o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse,	375 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel)

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
- o sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) paigaldatakse reguleeritavad plafoonid; köögi kubu on reguleeritava klapiaga, - o köögi ja sanitaarruumide ustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, - o korteri elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/kohale paigaldada värske õhu klapid, - o katusele, ventilatsioonikorstnatele paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid ja mürasummutid; süsteem on juhitud ja reguleeritav tsentraalselt ning tagab ruumide püsiva ventileerimise, - o väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu ühendatakse ühtsesse kesksesse juhtsüsteemi.	300...534 kr/m ²)
• Tsentraalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast, värske õhu klappide lisamine, väljatõmbeventilatsiooni soojuspump (soojust kasutatakse tarbevee ja ruumide kütte soojuskandjate eelsoojendamiseks): - o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetes püstikutesse, - o sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) paigaldatakse reguleeritavad plafoonid; köögi kubu on reguleeritava klapiaga, - o köögi ja sanitaarruumide ustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, - o korteri elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/kohale paigaldada värske õhu klapid, - o katusele, ventilatsioonikorstnatele paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid ja mürasummutid, - o soojuspumba soetamisega ja paigaldamisega seotud kulutused ja ehitustööd katusel ja keldris; - o vajadusel küttesüsteemi ümberehitus madalatemperatuurilisele küttegaafikule, - o süsteem on juhitud ja reguleeritav tsentraalselt ning tagab ruumide püsiva ventileerimise, - o väljatõmbeventilaatorid, pliidikubu ja soojuspump ühendatakse ühtsesse kesksesse juhtsüsteemi, - o lisanduva elektrivõimsuse ostmise ja soojuspumba paigaldusega seotud elektritööd.	550 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 435...786 kr/m ²)
• Soojustagastusega ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon: - o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetes püstikutesse, - o elu- ja magamistoa välisseintesse paigaldatakse soojustagastusega ruumiagregaadid; - o kööki paigaldatakse kubu ja suuremate korterite sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) väljatõmbeventilaatorid (võimalusel ka mürasummutid) ning ustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, - o sanitaarruumide väljatõmme ja köögikubu ajutist töötamist juhitakse aegreleega, - o trepikoja ventilatsioon, - o ventilatsiooni paigaldusega seotud elektritööd.	400 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 360...560 kr/m ²)
• Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon - o ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetes püstikutesse, - o korteri kööki välisseina lähedale või esikusse paigaldatakse soojustagastusega ventilatsiooniagregaat, - o sanitaarruumid ja elu- ja magamistoad ühendatakse ventilatsiooniagregaadiga torustike abil,	1142 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 930...1660 kr/m ²)

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
- o kõõgi kuba asendatakse ventilatsioonisüsteemiga sobivaks, - o trepikoja ventilatsioon, - o ventilatsiooni paigaldusega seotud elektritööd.	
• Keldri ventilatsioon lahendatakse loomulikult tuulutusel, kui keldriruume kasutatakse vaid hoiuruumina ja puuduvad niiskuskahjustused.	*
Küttesüsteemi renoveerimine (kõetava pinna m² kohta)	
• Uue 2-toru küttesüsteemi ehitamine	403 kr/m ²
- o olemasoleva korras toru ja radiaatorite säilitamisel küttesüsteemi läbipesu, - o uute püstikutorude või olemasoleva püstiktoru säilitamisel teise toru lisamine ja ühendamine küttekehadega, - o püstikutele paigaldatakse seadeventiilid ja küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiil, - o süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine.	(erinevatel hoonetüüpidel 243...594 kr/m ²)
• Soojussõlme renoveerimine ning olemasolevate keldrimagistraalide asendamine ja soojustamine	128 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 52...219 kr/m ²)
• Seadeventiilide ja termostaatventiilide paigaldamine + küttesüsteemi tasakaalustamine.	222 kr/m ² (erinevatel hoonetüüpidel 140...302 kr/m ²)
• Olemasolevate amortiseerunud torustike ja radiaatorite (üldjuhul on vanemad plekkradiaatorid halvemas olukorras) asendamine.	*
• Soojussõlme ja olemasolevate keldrimagistraalide asendamine ja soojustamine.	*

*Maksumus on objekti- ja vajadusepõhine ning seda ei ole praegustes energiatõhususe parandamise majandusarvutustes arvestatud

Vee- ja kanalisatsiooni, elektripaigaldise- ja side tehnosüsteemide renoveerimist ei ole energiatõhususe majandusarvutustes arvestatud, kuna nende tööde mõju hoone energiatõhususele on väiksem.

14.2 Tulemused

Analoogselt energiaarvutustele on renoveerimistööde ehitusmajanduslik analüüs tehtud neljale korterelamu tüübile, vt. Tabel 11.4.

Ehitusmajandusliku analüüsi selgitamiseks tehakse arvutusnäited esimese 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüp elamu energiatõhususpakett C variant 2 andmete alusel. Järgmistel kolmel vaatluse all oleval hoonetüübil on ehitusmajanduslike arvutuste sisu sama ning järgnevalt kirjeldatavad arvutusvalemid samad.

4-korruseline 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu

Vastavalt ehitise tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele koostati ehitusmahtude arvutus. Tabel 14.2 kirjeldab paketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi.

Tabel 14.2 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiatõhususpakett E₁ (ETA=217 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Otsaseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	248	756	187 892
• Katuse lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	393	706	277 581
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	267	2701	721 224
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	1154	561	647 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh. väljatõmme)	1154	1663	1 918 590
		E₁ kokku	4 043 tuh kr
Energiatõhususpakett E₂ (ETA=235 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	756	707	534 336
• Katuse lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	393	589	231 469
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	267	2701	721 224
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	1154	764	882 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh. väljatõmme)	1154	538	621 000
		E₂ kokku	3 280 tuh kr
Energiatõhususpakett D₁ (ETA=189 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	756	707	534 336
• Katuse lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	393	661	259 947
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	267	2701	721 224
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	1154	561	647 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump) Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele	1154	1394	1 608 590
		D₁ kokku	4 062 tuh kr

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaühikpakett D₂ (ETA=158 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	756	707	534 336
• Katuse lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	393	661	259 947
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K),	267	3285	877 035
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	1154	764	882 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti 0,8)	1154	786	907 000
		D₂ kokku	3 751 tuh kr
Energiaühikpakett C₁ (ETA=127 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	756	756	571 758
• Katuse lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	393	706	277 581
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	267	3285	877 035
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	1154	561	647 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump)	1154	1663	1 918 590
• Päikesepaneelid tarbevee jaoks Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele	1154	364	420 000
		C₁ kokku	5 002 tuh kr
Energiaühikpakett C₂ (ETA=150 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			290 430
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	756	756	571 758
• Katuse lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	393	706	277 581
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	267	3285	877 035
• Küttesüst. renoveerimine	1154	764	882 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti 0,8)	1154	786	907 000
		C₂ kokku	3 806 tuh kr

Tabel 14.3 kirjeldab soojus- ja elektrienergia muutust (säestu või juurdekasvu) remondipaketi elluviimisel. Ehitusjärgset olukorda võrreldakse remondipaketijärgse olukorraga ning saadud suurused on ehitusjärgse olukorra ja remondipaketijärgse olukorra vahe. Energiasääst tuleneb kütte kokkuhoiust ja tarbevee päikesepaneelidega soojendamise nendepakettide puhul, kus päikesepaneelid on ette nähtud. Samas aga energiatarbimine mõnevõrra suureneb lisandunud tehnosüsteemide elektrienergia tarbimise ning ventilatsiooniõhu soojendamise tõttu.

Tabel 14.3 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu energiatõhususe parandamise paketi maksumus ja saavutatav energiasääst võrreldes ehitusjärgse olukorraga.

Energiatõhusus-pakett	Maksumus tuh. kr	Maksumus kr/m ²	Soojusenergia muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a) / %		Tehnosüsteemide elektrienergia tarbimise muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a)
			Ruumide küte + ventilatsiooniõhu soojendamine	Tarbevee soojendamine	
E ₁	4 043	3503	-132 / -54	0	+16
E ₂	3 280	2843	-91 / -37	0	+6
D ₁	4 062	3520	-172 / -70	0	+16
D ₂	3 751	3250	-176 / -72	-46 / 100	+33
C ₁	5 002	4335	-208 / -85	-23 / -50	+16
C ₂	3 806	3298	-184 / -75	-46 / -100	+33

Aastane kokkuhoid kroonides on oluliseks sisendiks järgmisele majandusanalüüsile, mille tulemusi kajastab Tabel 14.4. Majandusarvutused on tehtud nii praeguse energiahinna alusel kui ka olukorras, kus energia hind on kerkinud 10%. Laenu tagasimakse suuruse arvutamisel arvestatakse, et kogu remondipaketi maksumus kaetakse laenuvahenditega. Investeeringu sisemine tootlikkus kajastab seda investeeringu osa, mis tagastub vastava arvestusperioodi vältel. Investeeringu sisemine tasuvus näitab protsenti summast, mis kulub laenu tagasimaksmiseks vastava ajavahemiku jooksul. Mida kõrgem on energiahind ning säästetav energiahulk, seda suurem on algandmete samaks jäämisel investeeringu sisemine tasuvus.

Tabel 14.4 4-korruselise 2 trepikojaga I-317 ja I-318 tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2010, aasta energiahind	2010, aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010, aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010, aastaga võrreldes
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%
Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a), kr/m ²				
E ₁	18	16	18	18
E ₂	14	13	14	14
D ₁	16	14	16	16
D ₂	15	13	15	15
C ₁	17	15	17	17
C ₂	13	12	13	13
Investeeringu keskmine tootlus aastas, %				
E ₁	2,6	2,9	4,2	5,5
E ₂	2,5	2,8	4,0	5,3
D ₁	3,9	4,3	6,2	8,3
D ₂	3,9	4,3	6,1	8,2
C ₁	5,5	6,0	8,6	11,5
C ₂	4,7	5,2	7,5	10,0
Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat				
E ₁	38	35	24	18
E ₂	40	36	25	19
D ₁	25	23	16	12
D ₂	26	23	16	12
C ₁	18	17	12	9
C ₂	21	19	13	10

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Energiaatõhusus- pakett	2010, aasta energiahind		2010, aasta energiahind		Energiahinna tõus 5% aastas 2010, aastaga võrreldes		Energiahinna tõus 10% aastas 2010 aastaga võrreldes	
	Intress 3,8%		Intress 2,8%		Intress 3,8%		Intress 3,8%	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (kr/m ²) või lisainvesteeringu vajadus (kr/m ²) või toetuse % investeeringust, et energiaatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul							
	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%
E ₁	2 762	55	2 335	51	1 472	29	293	6
E ₂	2 322	57	1 975	53	1 321	33	407	10
D ₁	2 057	41	1 627	35	347	7	0	0
D ₂	1 927	41	1 531	36	365	8	0	0
C ₁	1 798	29	1 269	22	0	0	0	0
C ₂	1 806	38	1 403	33	134	3	0	0

Laenu igakuine tagasimakse, investeeringu keskmine tootlus aastas ja investeeringu lihttasuvusaeg on arvatud vastava energiaatõhususpaketi riigipoolse investeeringule antava lisatoetusega: E: 15%, D: 25%, C: 35%. Ehitushinna vajalik odavnemine, vajalik lisainvesteering (kr/m²) lisatoetusena või lisatoetuse % investeeringust, et energiaatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase jooksul, on arvatud ilma igasuguse esialgse lisatoetuseta.

Investeeringu keskmist tootlikust saab vaadelda kui täiendavat investeerimisvõimalust. Teoreetiliselt on võimalik ka olukord, kus korterielanikud investeerivad oma vahendid mujale kui korterelamu renoveerimisse – näiteks väärtpaberitesse, mille investeeringu keskmine tootlikkus aastas on kõrgem. Siis saab võrrelda olukordi, kus raisatakse energiat ja makstakse energia eest rohkem, kuid samal ajal toodab allesjäänud elanike raha vahendeid mujal.

5-korruseline keraamilistest tellistest kolme trepikojaga sektsioonelamu

Vastavalt ehitise tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele koostati ehitusmahtude arvutus. Tabel 14.5 kirjeldab paketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi.

Tabel 14.5 5-korruselise keraamilistest tellistest kolme trepikojaga korterelamu energiaatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaatõhususpakett E₁ (ETA=223 kWh/(m²•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² •K)	545	3285	1 789 546
• Küttesüst. renoveerimine	2623	338	885 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojus-tagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8)	2623	944	2 475 600
		E₁ kokku	5 811 tuh
Energiaatõhususpakett E₂ (ETA=215 kWh/(m²•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² •K)	1944	707	1 373 652
• Katuslae lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² •K)	684	598	409 230
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	2623	479	1 255 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh. väljatõmme)	2623	300	786 000
		E₂ kokku	4 485 tuh kr

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaühenduspakett D₁ (ETA=178 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	1944	707	1 373 652
• Katuse lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	684	661	452 218
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	545	2701	1 471 622
• Küttesüst. renoveerimine	2623	337	885 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojus-tagasti temperatuuri suhtarv ≥0,6)	2623	791	2 075 600
		D ₁ kokku	6 919 tuh kr
Energiaühenduspakett D₂ (ETA=194 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	1944	707	1 373 652,2
• Katuse lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	684	661	452 217,5
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	545	3285	1 789 546,2
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	2623	479	1 255 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh.väljatõmme)	2623	300	786 000
		D ₂ kokku	6 317 tuh kr
Energiaühenduspakett C₁ (ETA=125 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	1944	756	1 469 856
• Katuse lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	684	706	482 895
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	545	3285	1 789 546
• Küttesüst. renoveerimine	2623	337	885 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojus-tagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8)	2623	944	2 475 600
• Päikesepaneelid tarbevee jaoks Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele	2623	320	840 000
		C ₁ kokku	8 604 tuh kr
Energiaühenduspakett C₂ (ETA=144 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			660 870
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	1944	756	1 469 856
• Katuse lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	684	706	482 895
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	545	3285	1 789 546
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	2623	476	1 255 000
• Vent.süst. renoveerimine	2623	435	1 140 000

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
(soojuspump COP ≥ 4.0) Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele			
		C ₂ kokku	6 798 tuh kr

Tabel 14.6 kirjeldab soojuse- ja elektrienergia muutust (säästu või juurdekasvu) remondipaketi rakendamisel võrreldes ehitusjärgse olukorraga.

Tabel 14.6 5-korruselise keraamilistest tellistest kolme trepikojaga korterelamu energiatõhususe parandamise paketi maksumus ja saavutatav energiasääst või juurdekasv võrreldes ehitusjärgse olukorraga.

Energia- tõhusus- pakett	Maksumus tuh. kr	Maksumus kr/m ²	Soojusenergia muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a) / %		Tehnosüsteemide elektrienergia tarbimise muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a)
			Ruumide küte + ventilatsiooniõhu soojendamine	Tarbevee soojendamine	
E ₁	5 811	2216	-98 / -44	0	+13
E ₂	4 485	1710	-85 / -38	0	+5
D ₁	6 919	2638	-154 / -69	0	+13
D ₂	6 317	2409	-109 / -49	0	+5
C ₁	8 604	3280	-182 / -81	-21 / -50	+13
C ₂	6 798	2592	-166 / -74	-41 / -100	+31

Tabel 14.7 kajastab majandusarvutuse tulemusi.

Tabel 14.7 5-korruselise keraamilistest tellistest kolme trepikojaga korterelamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus- pakett	2010. aasta energiyahind	2010. aasta energiyahind	Energiyahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiyahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%
Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a), kr/m ²				
E ₁	11	10	11	11
E ₂	9	8	9	9
D ₁	12	11	12	12
D ₂	11	10	11	11
C ₁	13	12	13	13
C ₂	10	9	10	10
Investeeringu keskmine tootlus aastas, %				
E ₁	3,0	3,3	4,7	6,3
E ₂	4,0	4,4	6,3	8,4
D ₁	4,7	5,2	7,5	9,9
D ₂	4,2	4,6	6,6	8,8
C ₁	6,3	6,9	9,9	13,2
C ₂	5,4	5,9	8,5	11,3
Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat				
E ₁	33	30	21	16
E ₂	25	23	16	12
D ₁	21	19	13	10
D ₂	24	22	15	11
C ₁	16	15	10	8
C ₂	19	17	12	9

Energiaatõhusus-pakett	2010. aasta energiahind	2010. aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%
Vajalik ehitushinna odavnemine (kr/m ²) või lisainvesteeringu vajadus (kr/m ²) või toetuse % investeeringust, et energiaatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul				
	kr/m ²	%	kr/m ²	%
E ₁	1 548	49	1 278	44
E ₂	780	32	572	26
D ₁	1 094	29	772	22
D ₂	1 280	37	987	31
C ₁	846	18	446	10
C ₂	1 114	30	798	24

5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest korterelamu

Vastavalt ehitise tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele koostati ehitusmahtude arvutus. Tabel 14.8 kirjeldab paketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi.

Tabel 14.8 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest korterelamu energiaatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaatõhususpakett E ₁ (ETA=241 kWh/(m ² ·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Otsaseinte lisasoojustus U=0,17 W/(m ² ·K) (≈+20 cm)	292	756	220 459
• Katuslae lisasoojustus, U=0,16 W/(m ² ·K)	98	598	58 642
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K),	164	3285	538 703
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	480	677	325 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh. väljatõmme)	480	1031	495 120
		E ₁ kokku	1 764 tuh kr
Energiaatõhususpakett E ₂ (ETA=249 kWh/(m ² ·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	583	707	412 060
• Katuslae lisasoojustus, U=0,16 W/(m ² ·K)	98	598	58 642
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	164	2701	442 999
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	480	875	420 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh. väljatõmme)	480	333	160 000
		E ₂ kokku	1 619 tuh kr

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaühikpakett D₁ (ETA=180 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	583	756	440 919
• Katuslae lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	98	661	64 802
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	164	3285	538 703
• I k. vahelaie lisasoojustus, U=0,36 W/(m ² ·K)	98	300	29 400
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	480	677	325 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump)			
• Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele	480	865	415 120
D ₁ kokku			1 940 tuh kr
Energiaühikpakett D₂ (ETA=169 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	583	756	440 919
• Katuslae lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	98	661	64 802
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K)	164	3285	538 703
• I k. vahelaie lisasoojustus, U=0,36 W/(m ² ·K)	98	300	29 400
• Küttesüst. renoveerimine	480	875	420 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti)	480	542	260 000
D ₂ kokku			1 879 tuh kr
Energiaühikpakett C₁ (ETA=136 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	583	756	440 919
• Katuslae lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	98	706	69 198
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	164	3285	538 703
• I k. vahelaie lisasoojustus, U=0,25 W/(m ² ·K)	98	540	52 920
• Küttesüst. renoveerimine	480	677	325 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti)	480	1031	495 120
• Päikesepaneelid tarbevee jaoks			
• Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele	480	271	130 000
C ₁ kokku			2 177 tuh kr

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaatõhususpakett C₂ (ETA=150 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			125 580
• Välisseina lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	583	756	440 919
• Katuslae lisasoojustus, U=0,10 W/(m ² ·K)	98	706	69 198
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	164	3285	538 703
• I k. vahelaie lisasoojustus, U=0,25 W/(m ² ·K)	98	540	52 920
• Küttesüst. renoveerimine	480	677	325 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti)	480	1031	495 120
	C₂ kokku		2 047 tuh kr

Tabel 14.9 kirjeldab soojuse- ja elektrienergia muutust (säästu või juurdekasvu) remondipaketi rakendamisel võrreldes ehitusjärgse olukorraga.

Tabel 14.9 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest korterelamu energiaatõhususe parandamise paketi maksumus ja saavutatav energiasääst või juurdekasv võrreldes 0 olukorraga.

Energia- tõhusus- pakett	Maksumus tuh. kr	Maksumus kr/m ²	Soojusenergia muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a) / %		Tehnosüsteemide elektrienergia tarbimise muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a)
			Ruumide küte + ventilatsiooniõhu soojendamine	Tarbevee soojendamine	
E ₁	1 764	3673	-202 / -57	0	+16
E ₂	1 619	3373	-171 / -48	0	+6
D ₁	1 940	4040	-279 / -79	0	+16
D ₂	1 879	3915	-270 / -76	-31 / -100	+31
C ₁	2 177	4535	-303 / -86	-16 / -50	+16
C ₂	2 047	4265	-303 / -86	0	+16

Tabel 14.10 kajastab majandusarvutuse tulemusi.

Tabel 14.10 5-korruseline ühe trepikojaga silikaattellistest korterelamu energiaatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiaatõhusus- pakett	2010 aasta energiyahind	2010 aasta energiyahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 10% aastast 2010. aastaga võrreldes
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%
Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a), kr/m ²				
E ₁	19	17	19	19
E ₂	17	16	17	17
D ₁	18	17	18	18
D ₂	17	16	17	17
C ₁	18	16	18	18
C ₂	17	15	17	17
Investeeringu keskmine tootlus aastas, %				
E ₁	4,2	4,6	6,6	8,8
E ₂	4,2	4,6	6,6	8,8
D ₁	6,0	6,6	9,5	12,7
D ₂	5,7	6,3	9,0	12,0

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Energiatõhusus- pakett	2010 aasta energiahind	2010 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes				
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%				
C ₁	7,4	8,1	11,6	15,5				
C ₂	7,4	8,1	11,7	15,6				
Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat								
E ₁	24	22	15	11				
E ₂	24	22	15	11				
D ₁	17	15	10	8				
D ₂	17	16	11	8				
C ₁	14	12	9	6				
C ₂	13	12	9	6				
Vajalik ehitushinna odavnemine (kr/m ²) või lisainvesteeringu vajadus (kr/m ²) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul								
	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%
E ₁	1 527	29	1 079	22	0	0	0	0
E ₂	1 371	28	959	22	0	0	0	0
D ₁	536	9	43	1	0	0	0	0
D ₂	797	14	320	6	0	0	0	0
C ₁	253	4	0	0	0	0	0	0
C ₂	213	3	0	0	0	0	0	0

10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest korterelamu

Vastavalt ehitise tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele koostati ehitusmahtude arvutus. Tabel 14.11 kirjeldab paketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi.

Tabel 14.11 10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest korterelamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiatõhususpakett E₁ (ETA=235 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	10781	392	4 224 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump COP ≥ 4.0) Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele	10781	444	4 783 000
		E₁ kokku	11 568 tuh kr
Energiatõhususpakett E₂ (ETA=206 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värsked õhu radiaatorid)	10781	392	4 224 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh.väljatõmme)	10781	309	3 330 000
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskmise} =1,4 W/(m ² ·K)	2614	2701	7 061 514
		E₂ kokku	17 177 tuh kr

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energiaühenduspakett D₁ (ETA=198 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Välisseina lisasoojustus, U=0,29 W/(m ² ·K)	4941	651	3 218 039
• Katuslae lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	1634	589	961 933
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värskeõhu radiaatorid)	10781	392	4 224 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump COP ≥ 4.0); Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele	10781	444	4 783 000
		D ₁ kokku	15 748 tuh kr
Energiaühenduspakett D₂ (ETA=158 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Välisseina lisasoojustus, U=0,29 W/(m ² ·K)	4941	651	3 218 039
• Katuslae lisasoojustus, U=0,17 W/(m ² ·K)	1634	589	961 933
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskm} =1,4 W/(m ² ·K)	2614	2701	7 061 514
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	10781	392	4 224 000
• Vent.süst. renoveerimine (meh.väljatõmme)	10781	309	3 330 000
		D ₂ kokku	21 357 tuh kr
Energiaühenduspakett C₁ (ETA=146 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21 W/(m ² ·K)	4941	707	3 492 264
• Katuslae lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K)	1634	661	1 080 279
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskm} =1,4 W/(m ² ·K)	2614	2701	7 061 514
• Küttesüst. renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid)	10781	392	4 224 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojuspump COP ≥ 4.0); Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele)	10781	444	4 783 000
		C ₁ kokku	23 202 tuh kr
Energiaühenduspakett C₂ (ETA=147 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	4941	707	3 492 264
• Katuslae lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	1634	661	1 080 279
• Ol.olevate akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m ² ·K), U _{keskm} =1,4 W/(m ² ·K)	2614	2701	7 061 514
• Küttesüst. renoveerimine	10781	271	2 924 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojus-tagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8)	10781	930	1 002 6180
		C ₂ kokku	27 145 tuh kr

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Töö kirjeldus	Ehitusmaht m ²	Ühikhind kr/m ²	Kogumaksumus, kr
Energia- ja soojus- ja elektrienergia muutmise pakett B₁ (ETA=117 kWh/(m²·a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			2 561 160
• Välisseina lisasoojustus, U=0,21W/(m ² ·K) (≈+15 cm)	4941	707	3 492 264
• Katuslae lisasoojustus, U=0,13 W/(m ² ·K) (≈+30 cm)	1634	661	1 080 279
• Kõikide akende vahetus, uus asukoht, U=1,1 W/(m ² ·K)	2614	3285	8 587 063
• Küttesüst. renoveerimine	10781	271	2 924 000
• Vent.süst. renoveerimine (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8)	10781	930	10 026 180
• Päikesepaneelid tarbevee jaoks Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele	5800	530	3 074 000
B₁ kokku			31 745 tuh kr

Tabel 14.12 kirjeldab soojuse- ja elektrienergia muutust (säästu või juurdekasvu) remondipaketi rakendamisel võrreldes ehitusjärgse olukorraga.

Tabel 14.12 10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest korterelamu energia- ja soojus- ja elektrienergia muutmise paketi maksumus ja saavutatav energiasääst või juurdekasv võrreldes 0 olukorraga.

Energia- ja soojus- ja elektrienergia muutmise pakett	Maksumus tuh. kr	Maksumus kr/m ²	Soojusenergia muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a) / %		Tehnosüsteemide elektrienergia tarbimise muutus võrreldes ehitusjärgse olukorraga, kWh/(m ² ·a)
			Ruumide küte + ventilatsiooniõhu soojendamine	Tarbevee soojendamine	
E ₁	11 568	1073	-18 / -10	0	+5
E ₂	17 177	1593	-53 / -29	-38 / -100	+29
D ₁	15 748	1461	-59 / -32	0	+5
D ₂	21 357	1981	-107 / -59	-38 / -100	+29
C ₁	23 202	2152	-134 / -74	0	+12
C ₂	27 145	2518	-119 / -66	-38 / -100	+29
B ₁	31 745	2945	-146 / -80	-19 / -50	+12

Tabel 14.13 kajastab majandusarvutuse tulemusi.

Tabel 14.13 10-korruseline viie trepikojaga silikaattellistest korterelamu energia- ja soojus- ja elektrienergia muutmise paketi maksumus ja saavutatav energiasääst või juurdekasv võrreldes 0 olukorraga.

Energia- ja soojus- ja elektrienergia muutmise pakett	2010. aasta energiahind	2010. aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%
Laenu tagasimakse kuus kätavale pinnale (periood 20 a), kr/m²				
E ₁	5	5	5	5
E ₂	8	7	8	8
D ₁	7	6	7	7
D ₂	9	8	9	9
C ₁	8	8	8	8
C ₂	10	9	10	10
B ₁	11	10	11	11

Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord

Energiatõhusus- pakett	2010. aasta energiahind	2010. aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes				
	Intress 3,8%	Intress 2,8%	Intress 3,8%	Intress 3,8%				
Investeeringu keskmine tootlus aastas, %								
E ₁	0,8	0,9	1,3	1,8				
E ₂	0,6	0,6	0,9	1,2				
D ₁	4,4	4,8	7,0	9,3				
D ₂	2,6	2,8	4,1	5,5				
C ₁	4,1	4,5	6,5	8,6				
C ₂	5,1	5,6	8,1	10,8				
B ₁	5,7	6,2	8,9	11,9				
Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat								
E ₁	118	108	75	56				
E ₂	172	157	109	82				
D ₁	23	21	14	11				
D ₂	38	35	24	18				
C ₁	24	22	15	12				
C ₂	19	18	12	9				
B ₁	18	16	11	8				
Vajalik ehitushinna odavnemine (kr/m ²) või lisainvesteeringu vajadus (kr/m ²) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul								
	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%	kr/m ²	%
E ₁	1 313	86	1 182	84	1 187	77	1 071	70
E ₂	2 052	90	1 857	89	1 922	84	1 804	79
D ₁	705	34	526	28	0	0	0	0
D ₂	1 728	61	1 486	57	1 093	39	514	18
C ₁	1 432	47	1 169	42	486	16	0	0
C ₂	1 193	33	886	27	0	0	0	0
B ₁	1 109	26	749	19	0	0	0	0

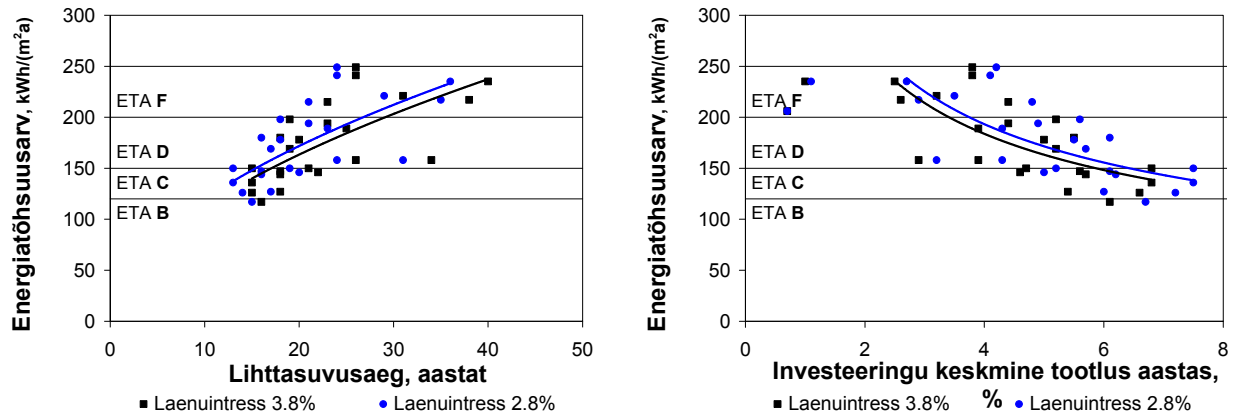
14.3 Kokkuvõte

Vaadeldes võrdlevalt nelja tüüpelamu renoveerimismaksumusi, on igati usaldusväärselt näha – mida suurem elamu (kõetava pinna suuruse alusel), seda suhteliselt madalam on tööde maksumus ruutmeetrile. 10-korruselise korterelamu puhul on mediaan keskmiseks renoveerimistööde maksumuseks 1800 kr/m² (sh odavaim pakett 900 kr/m² ja kalleim 2700 kr/m²). Samas väikseima elamu (ühe trepikojaga 5-korruseline elamu) puhul on renoveerimistööde pakettide mediaan keskmine 4300 kr/m² (sh odavaim pakett 3200 kr/m² ja kalleim 4400 kr/m²). Ülejäänud näidiselamute puhul on keskmised renoveerimismaksumused (suurusjärgus) 2400 kr/m² ja 3400 kr/m².

Arusaadavalt on mitmetuhandeliste renoveerimismaksumuste puhul tööde tegemiseks vajalik investeering küllaltki suur võrreldes korteriühistu oma majandustegevusega, mistõttu probleemid võivad tekkida nii vajaliku suurusega laenu saamisega kui tagasimaksmisega korteriomani ke poolt.

Elamu energiatõhususe parandamise paketid, mis tagavad väiksema energiatõhususarvu klassi (B, C) on lühema tasuvusajaga (vt. Joonis 14.3 vasakul) ja suurema aastase investeeringu keskmise tootlikkusega (vt. Joonis 14.3 paremal).

Laenuintressi vähendamine parandab investeeringu tootlikkust ja lühendab lihttasuvusaega (laenuintress 3,8 % → 2,8 %, siis lihttasuvusaega väheneb keskmiselt 3 aastat).

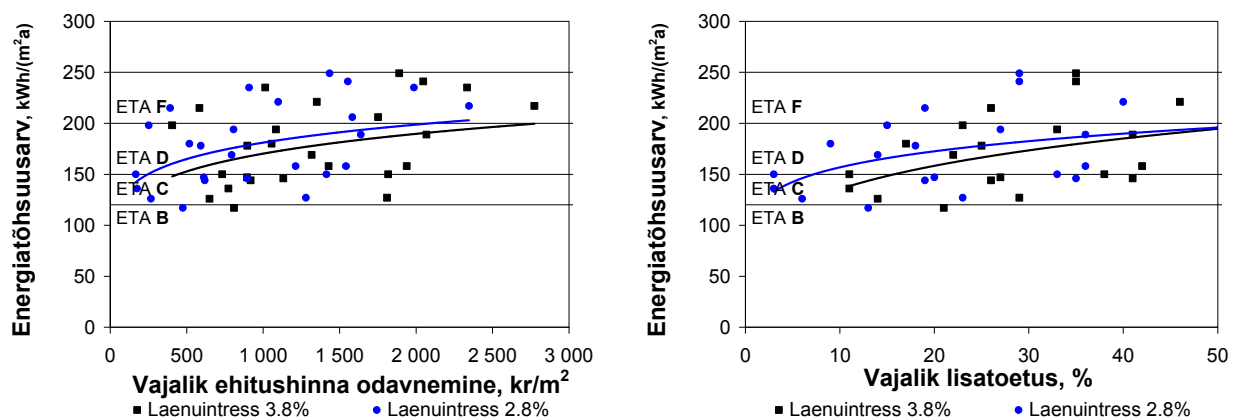


Joonis 14.3 Energiatõhususe renoveerimistööde lihttasuvusaeg (vasakul) ja investeeringu keskmine tootlus aastas (paremal).

Ilma täiendavate toetusteta ei ole korterelamute energiatõhusamaks renoveerimine praeguste energia- ja ehitushindade juures majanduslikult otstarbekas (tasuvusaeg on liiga pikk ja investeeringu tootlikkus on liiga väike), vt. Joonis 14.4. Kui renoveerimise lõplahenduseks on väiksema energiakasutusega elamu (energiatõhususarvu klass B, C), on vajalik lisainvesteering või vajalik ehitusinvesteering ja vajalik lisatoetus väiksem. Praeguste renoveerimistoetuste (MKMm 52) juures on otstarbekas renoveerida elamu väiksema energiakasutusega elamuks, kuna siis tagab pakutav toetus investeeringu tasuvuse 20-aastase perioodi juures paremini:

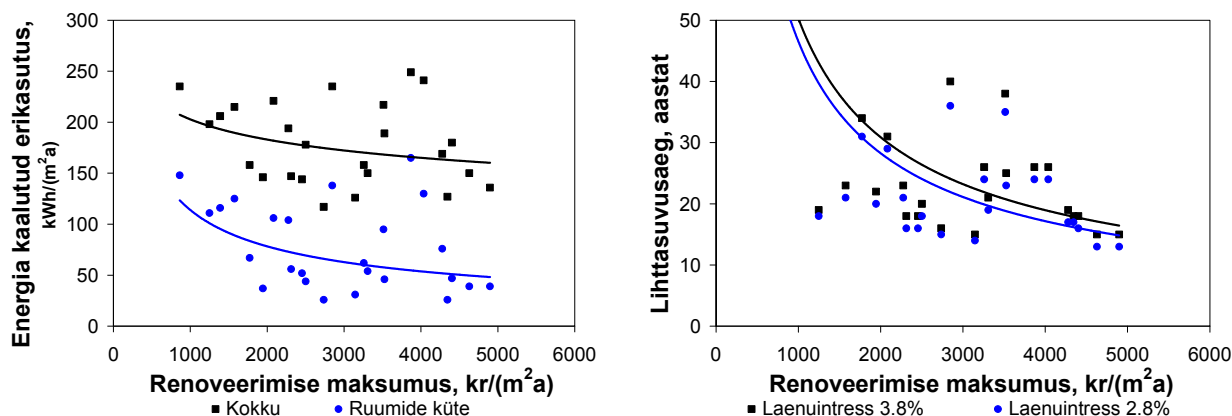
- Energiatõhususpakett C, B: 35% lisatoetus tagab investeeringu tasuvuse 20-aastase perioodi juures 88% arvutatud juhtudest.
- Energiatõhususpakett D: 25% lisatoetus tagab investeeringu tasuvuse 20-aastase perioodi juures 50% arvutatud juhtudest.
- Energiatõhususpakett E, B: 15% lisatoetus ei tagab investeeringu tasuvust 20-aastase perioodi juures.

Laenuintressi alandamine vähendab vajalikku lisainvesteeringu vajadust või lisatoetust (laenuintress 3,8 % → 2,8 %, siis vajalik lisatoetus väheneb keskmiselt 6%).



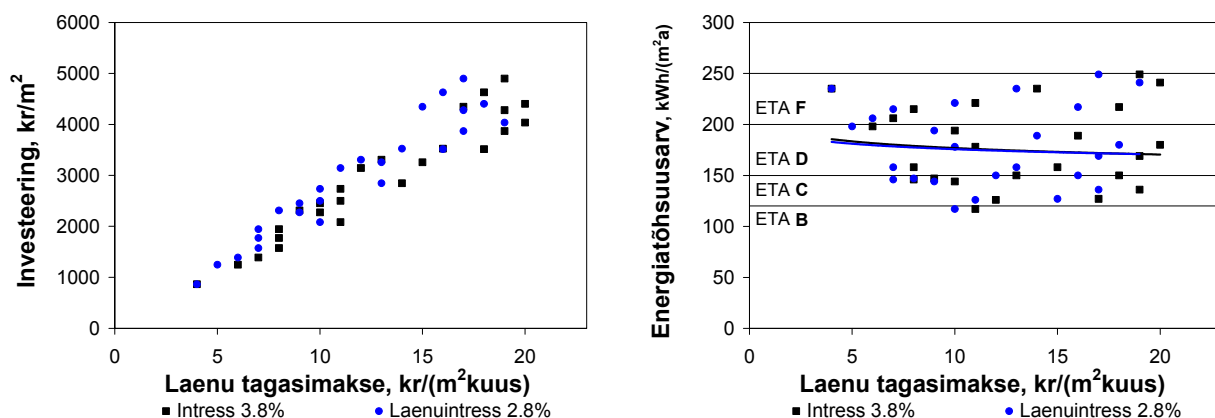
Joonis 14.4 Vajalik ehitushinna odavnemine (kr/m²) või lisainvesteeringu vajadus (kr/m²) (vasakul) või toetuse protsent (paremal) investeeringust sõltuvalt energiatõhususklassist.

Suurema energiasäästu saavutamiseks on vaja teha rohkem investeeringuid, vt. Joonis 14.5 vasakul. Kuna väikese investeeringu juures ei saa tagada elamu energiatõhusust, on lihttasuvusaeg väikese investeeringu juures suur, vt. Joonis 14.5 paremal.



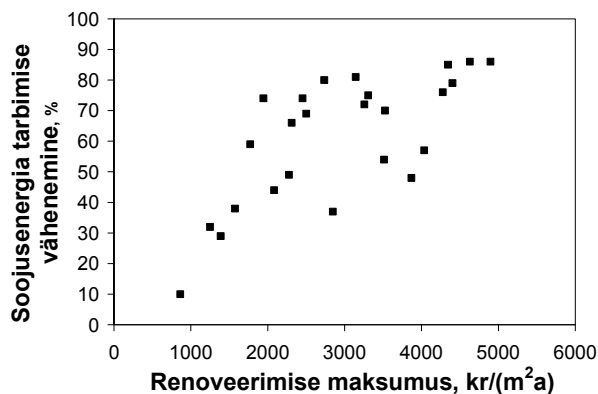
Joonis 14.5 Renoveerimistööde maksumuse mõju elamu energiakasutusele (vasakul).

Suurema investeeringu korral on küll laenu tagasimakse suurem (vt. Joonis 14.6 vasakul), aga kuna suurema investeeringu korral saavutatakse väiksem energiakulu, ei sõltu laenu tagasimakse otseselt taotletavast energiatõhususklassist (vt. Joonis 14.6 paremal).



Joonis 14.6 Renoveerimistööde maksumuse mõju elamu energiakasutusele (vasakul).

Suurema investeeringu korral vähendab madalam laenuintress laenu tagasimakset rohkem. Kuna suurema investeeringuga tagatakse ka suurem energiasääst (Joonis 14.7), tuleks selle motiveerimiseks alandada laenuintressi. Joonis 14.7-l on toodud kütte ja ventileerimise soojusenergia tarbimise vähenemine. Sõltuvalt tehnosüsteemide renoveerimise lahendusest võib kütte ja ventileerimise soojusenergia tarbimise vähenemisega suureneda elektritarbimine (ventilatsiooni soojuspump-lahendus).



Joonis 14.7 Kütte ja ventileerimise soojusenergia tarbimise vähenemine sõltuvalt energiatõhususe parandamise koguinvesteeringust.

Eeltoodud ehitusmajandusarvutuste investeeringute puhul on arvestatud energiatõhusust parandavaid ehitustöid. Lisaks nendele investeeringutele tuleb elamu renoveerimisel kindlasti arvestada ka investeeringutega, mida tuleb teha hoone ohutuse tagamiseks ja kasutusea pikendamiseks. Kuna need tööd on otseselt konkreetse objekti- ja vajadusepõhised, ei arvestatud neid praegustes energiatõhususe parandamise majandusarvutustes. Seetõttu on toodud investeeringuvajadused pigem minimaalsed, millega tuleb arvestada.

15 Järeldused

Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

Paljudel vanematel telliselamutel esineb tõsiseid probleeme fassaadikihi ja kandva seiniosa vaheliste sidemetega: tõsiseim probleem on tellisest sidekividega. Telliste väikese külma kindluse ja suure veekoormuse tõttu on osade telliskorterelamute fassaadid hakanud lagunema. Keraamilistest tellistest fassaadide külma kahjustused on kõige ulatuslikumad. Tellismüüritise kandevõime võib, sõltuvalt telliste ja müürimördi omadustest ning müüritise ladumise tingimustest ja kvaliteedist kõikuda suures ulatuses. Enne renoveerimistöid ja lisasoojustamist tuleb alati kontrollida välisseinte, rõdude ja varikatuste üldist ehitustehnilist seisukorda ja vajadusel teostada tugevdustööd.

Katuste põhilised puudused on seotud katuste läbijooksudega ja suure soojusjuhtivusega. Kuigi rõdude ja lodžade üldine seisukord oli rahuldav, esines üksikutel juhtudel betooni olulist lagunemist ja armatuuri paljandumist. Teine probleem, mis on seotud rõdude ja lodžade kinniehitamisega, on kinniehitamise järgne võimalik hallituse kasv piirete sisepindadel.

Telliselamute välispiirete suure soojusjuhtivuse ja seinas paiknevate külmasildade tõttu võib nende lisasoojustamist pidada möödapääsmatuks ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid ning energiasäästu vajadust arvestades. Sarnaselt katuste ja välisseintega tuleb soojustada ka lodža ja rõdu piirded. Akna ümber oleva külmasilla ja akende „aukus“ olemise probleemi saab vähendada akna välisseinapinnale tõstmisega. Lisasoojustuse vajaliku paksuse määravad energiatõhususarvutus, tarindi niiskusrajoitum ja ehitustehniliselt optimaalne lahendus.

Tehnosüsteemide olukord

Üldhinnanguliselt võib vanemate telliskorterelamute tehnosüsteemide olukorda pidada pigem halvaks ja hädasti renoveerimist vajavaks. Kahjuks tegeldakse praegusel juhul tehnosüsteemide renoveerimisega pigem juhuslikult kui hoolikalt läbimõeldult.

Kõige halvemas olukorras on ventilatsioonisüsteem: ventilatsioonikorstnad lagunevad, on suure õhuvoolutakistusega ning värske õhu sissepääs korteritesse on raskendatud. Paljudes elamutes on probleeme korrodeerunud ja ummistunud veetorustikega. Siiski on kütte- ja tarbeveetorustike vahetamisega ka jõudu mööda tegeldud. Vanad reguleerimisvõimaluseta küttesüsteemid ei taga ühtlast temperatuuri jaotust ruumides, seda eriti osaliselt renoveeritud piirdetarandite tingimustes. Sageli on probleeme küttesüsteemide tasakaalustamatusest. Vahel on probleemiks korterivaldajate poolt omavoliliselt suurendatud küttekehade küttepinnad, mis häirib soojuslikku tasakaalu.

Hoonepiirete külmasillad ja õhupidavus, välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus

Külmasillad on põhjustatud peamiselt telliselamute konstruktsioonilistest iseärasustest, kus seinas olev soojustus ei jätku välispiirete liitekohtades ega välisseintes (sidekivid). Kriitilisi külmasildu ($f_{Rsi} < 0,8$) esines enamus kohtades, kuid võrreldes suurpaneelilamutega oli neid telliselamutes vähem. Olulised külmasillad asuvad telliskorterelamute akende ümbruses, eriti silluse juures ja välisseina ja katuse liitumiskohas. Akende paigaldamisega välisseinale soojustuse tasapinda väheneb oluliselt külmasildade mõju.

Vanemate telliselamute ja suurpaneelilamute hoonepiirete õhupidavus on samas suurusjärgus. Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (õhuvahetuvus 50 Pa juures oli $n_{50} = 5,7 \text{ h}^{-1}$) ja õhulekkearvu baasväärtus: $q_{50\text{baas}} = 4,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ($n_{50} = 6,4 \text{ h}^{-1}$).

Teostatud lisasoojustustööde peamised probleemid on:

- on kasutatud valesid lahendusi või valesid töövõtteid;
- tellisseinte seepoolne lisasoojustamine;

- fassaadide mittetäielik lisasoojustamine: fassaadide renoveerimise korral on lisasoojustatud vaid üksikud seinad;
- lisasoojustust projekteerides pole tarindite liitekohad lahti joonistatud ja on piiratud vaid ehitusloa jaoks vajalike üldvaadetega;
- lisasoojustatud seinte soojusjuhtivus oli suurem, kui arvutuslik (parim ehitatav olukord).

Renoveerimise lisasoojustuse projektis tuleb esitada kõikide oluliste sõlmede ja detailide lahendused.

Mineraalvillaga ja vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud katseseina võrdlusuuringus oli niiskustehniline erinevus kahe seinatüübi vahel väike. Mineraalvillaga lisasoojustatud seina soojusjuhtivus oli ~12% väiksem vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud seina omast. Uuringuid lisasoojustamisel kasutatava soojustussüsteemi ja soojustusmaterjali mõjuvälja selgitamiseks tarindi niiskusrežiimile tuleb jätkata.

Tellisseinte seespoolne lisasoojustamine soojustusvillaga on lubamatu!!!

Sisepiirdetarindite helipidavus

Uuritud korteritevaheliste tellisseinte helipidavus vastab tänapäevastele EVS 842:2003 nõuetele. Vahelagede ja 2-kihiliste korteritevaheliste kipsbetoonseinte õhuhelipidavuse indeks difuusse helivälja tingimustes on 2-3 dB madalam ja vahelagede taandatud löögimürataseme indeks on 2–5 dB võrra kõrgem EVS 842:2003 nõuetest, kuid vastavad INSTA 122 D klassi nõuetele.

Piirete helipidavuse mõõtmise tulemused on seotud mööbli varjestava ja summutava mõjuga ning viimasega seotud helivälja ebapiisava difuussusega, mis üldjuhul suurendavad õhuhelipidavuse näitajaid. Katsete käigus see otsest kinnitust ei leidnud, kuna puudus võimalus võrdluskatseid läbi viia.

Vahelagede renoveerimine nende massiivsuse suurendamisega ja kergete ujuvpõrandate kasutamise helipidavuse näitajaid, võrreldes algse lahendusega, ei parandanud.

Täiendava kergseina ja raske ujuvpõranda kasutuselevõtt tõstab 2-kihiliste korteritevaheliste kipsbetoonist seinte õhumüraisolatsiooniindeksit kuni 5 dB võrra, vahelagedel 4dB võrra ja alandab vahelagede taandatud löögimürataseme indeksit kuni 11dB võrra, tagades nende vastavuse EVS 842:2003 ja praktiliselt ka INSTA 122 B klassile vastavatele nõuetele.

Massiivsetele (250 mm ja paksematele) tellisseintele täiendavate kergseinte ehitamine pole helipidavuse seisukohalt otstarbekas.

Eeltoodu vajab täiendavat kontrolli näitajate täpsustamiseks nii helipidavuse kui ka kandevõime, teostatavuse ja majanduslikkuse seisukohalt eksperimentaalehituse käigus.

Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites

Keskmine sisetemperatuur uuritud korterites oli talvel +21,1 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +12 °C ja +29 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 33% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 19 % ja 54 %). Keskmine sisetemperatuur suvel oli +23,2 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +20,2 °C ja +25,8 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 52% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 42 % ja 60 %).

52% korterites (5% piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele (56% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 15% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil). Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati 88% korterites (88% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 40% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil). Võrreldes teistes naaberriikides tehtud uuringutega, iseloomustab Eesti telliskorterelamute sisekliimat madalam temperatuur ja kõrgem suhteline niiskus. Suvised kõrged sisetemperatuurid ei ole vanemate telliskorterelamute suurim probleem.

Käesolev uurimistöö toetab Eesti elamutes varem läbiviidud sisekliima mõõtmisi, mille alusel kütteperiood muutub suveperioodiks ööpäeva keskmisel välistemperatuuril +15 °C...+10 °C.

Telliselamute niiskustase arvutusliku suuruse (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasemate uuringutega Eestis ja võrdlus Soome korterelamutega näitas, et Eesti vanemate korterelamute niiskuskooormus on kütteperioodil 6...7 g/m³. Suurema niiskuskooormuse peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus (suur asustustihedus, pesu kuivatamine siseruumides jne). Arvestades vanemate korterelamute välispiiretes olevaid suuri külmasildasid, on see väga murettekitav. Ventilatsiooni tõhustamine niiskuskooormuste alandamiseks ja välispiirete lisasoojustamine piirete sisepinnatemperatuuride tõstmiseks on möödapääsmatu.

Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet

Uuritud korterites ei vastanud siseõhu kvaliteet (CO₂ sisalduse alusel, arvestades inimeste kohalolekuga) talveperioodil sisekliimaklassi II normile 62% ja III normile 19% mõõteperioodi ajast. Arvestades piirsuuruste 5% ületamist, vastab talveperioodil sisekliima II klassile vaid 17% ja III klassile 35% mõõdetud korteritest. Suvel ei ole seoses laialdase aknatuulutuse kasutusega CO₂ kontsentratsioonide ületamine probleemiks.

Õhuvahetuskordsuse järgi vastab standardi EVS-EN 15251:2007 soojusliku mugavuse II klassile vaid 4 % ja III klassile 28 % uuringus osalenud magamistubadest. Ventilatsiooni projekteerimise normi EVS 845-1:2004 järgi vastab õhuvooluhulga piirväärtusele inimese kohta vaid 20 % magamistubadest. Õhuvahetuse järgi ühe elaniku kohta vastab sama standardi II klassile 16 % ja III klassile 36 % magamistubadest. Sarnaselt tubadega oli puudulik ventilatsiooni õhuvooluhulk ka köökides ja pesuruumides. EVS-EN 15251:2007 II klassi tasemele vastas vaid 4 % vannitubadest ja 8 % tualettruumidest. III tasemele vastas nii 13 % vannitubadest kui ka tualettruumidest.

Ainult loomuliku ventilatsiooniga ei ole vanemates telliskorterelamutes võimalik tagada piisavat õhuvahetust. Ventilatsioonisüsteem tuleb varustada soojuse tagastussüsteemiga (soojusvaheti, ventilatsiooni soojuspump vms.).

Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline uurimine

Seeneeoste ja bakterite osas on probleemsed korterid hoone ülemiste korruste korterites (väiksem õhuvahetus loomuliku ventilatsiooni korral, sein ja katuslae külmasild) ja suurema niiskuskooormusega korterites. Võrreldes suurpaneelramutega oli keskmine mikroorganismide arv telliskorterelamute õhuproovides väiksem. Selle peamiseks põhjuseks on telliskorterelamute välispiiretes olevad (suurpaneelkorterelamute omadest) mõnevõrra väiksemad külmasillad. Võrreldes varemtehtud uuringutega ruumiõhus olevate seeneeoste kohta võib järeldada, et vanemate telliskorterelamute siseõhk on hallituseoste ja bakteritega rohkem küllastunud, kui Eesti kodud üldiselt.

Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud: kokkuvõtte ankeetküsitlusest

Uuringu objektiks olnud korterelamutes paiknevatest korteritest saadi elanike ankeetidele vastuseid kokku 83% uuritud korteritest. Uuritud korterites oli elamispiinda keskmiselt 25 m² inimese kohta ja keskmine elanike arv korteris oli 2,8.

Vastanute 70% väitis, et nende korteris on viimase kümne aasta jooksul olnud niiskuskahjustusi, mõnel uuritaval isegi mitu. Enim esines torude lekete ja tualettruumi ning vannitoa niiskuskahjustusi, mis enamjaolt olid seotud pesumasina rikkega. Sarnane niiskuskahjustuste hulk (66%) oli ka suurpaneelramutes, ning ka seal oli enamasti tegemist WC ja vannitoa kahjustustega (17%). Vastavalt elanike küsitlustele esines ruumide sisepinnale tekkinud hallitust 37% korteritest ja pooltel nendest juhtudest esineb see probleem sagedasti.

Uuringus osalenud korterite elanikud pidasid suurimaks kütte- ja ventilatsiooniprobleemiks umbset õhku (60% vastanute) ja ruumitemperatuuriga seotud probleeme: temperatuur ei ole eri ruumides sama (58% vastanute) või temperatuuri reguleerimise võimalus ei ole piisav (55%

vastanutest). Müraprobleemidest oli kõige levinum vahelagedest kostuv müra, mille üle kurtis 69% vastanutest.

Telliselamute mõõdetud energiatarbimise analüüs

Kolme-nelja aasta (2006–2009) keskmine elektrieritarbimine (valgustus ja elektriseadmete kasutamine) analüüsitud elamutes oli keskmiselt 35 kWh/(m²·a) (22...49 kWh/(m²·a)).

Aasta keskmine vee eritarbimine analüüsitud elamutes oli 3 l/(m²·d) (st. hälve 0,6 l/(m²·d)), 202 l/(krt·d) (st. hälve 64 l/(krt·d)) ja 86 l/(in·d) (st. hälve 24 l/(in·d)). Keskmine sooja vee osakaal kogu veekulust oli 40%. Aasta keskmine sooja vee eritarbimine inimese kohta analüüsitud elamutes oli 35 l/(in·d) (st. hälve 10 l/(in·d)) ja 1,3 l/(m²·d) (st. hälve 0,3 l/(m²·d)).

Keskmine, ruumide kütteks tarbitud soojusenergia eritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta oli 150 kWh/(m²·a) (st. hälve 41 kWh/(m²·a)). Radiaatori termostaatventiilidega 2-toru küttesüsteemidega elamute keskmine soojusenergia erikulu on väiksem (146 kWh/(m²·a)) kui termostaatventiilideta 1-toru küttesüsteemidega elamute keskmine soojusenergia erikulu (153 kWh/(m²·a)). Lisasoojustatud välisseintega hoonete keskmine soojusenergia eritarbimine oli väiksem (124 kWh/(m²·a)) ülejäänud hoonete keskmisest soojusenergia eritarbimisest (157 kWh/(m²·a)).

Ükski uuringu all olnud hoone ei vasta tänapäevase energiatõhususe nõudele: energiamärgis C (energiatõhususe arv või kaalutud energiaerikasutus <150 kWh/(m²·a)). Elamute keskmine energiatõhususarv oli 238 kWh/(m²·a) (st. hälve 48 kWh/(m²·a)). Ruumide kütteks ja ventileerimiseks tarbitud soojusenergia 62%, vee soojendamise soojusenergia 13% ja elektrienergia tarbimine 25% kaalutud koguenergiatarbimisest.

Telliselamute energiatarbimise arvutuslik analüüs

Hoone energiatõhususe parandamisel annab suurimat säästu n-ö. terviklahendus, kus lähtutakse hoonele komplekselt ja renoveeritakse nii hoone tarindid (katus, välisseinad) ning hoone tehnosüsteemid (kütte ja ventilatsioonisüsteem).

Energiatõhususarvu klassi C saavutamiseks on vaja kasutada suure soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi. Võimalik on kasutada nii hoonepõhist soojuspumbaga lahendust kui ka korteri- või ruumipõhist lahendust. Vajalik on soojustada välisseinad ja katus, samuti tuleks võimalusel kõik aknad vahetada uute energiasäästlike akende vastu.

Energiatõhususarvu klassi D saavutamiseks on vajalik kasutada soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi. Võimalik on kasutada nii hoonepõhist soojuspumbaga lahendust kui ka korteri- või ruumipõhist lahendust. Vajalik on soojustada välisseinad ja katus, seni vahetamata puitraamil aknad tuleks vahetada uute energiasäästlike akende vastu.

Energiatõhususarvu klassi E saavutamiseks on vajalik soojustada välisseinad ja katus, õhuvahetuse tagamiseks kasutada mehaanilist väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi (soojustagastuseta). Kui kasutada kõrge soojustagastusega korteri- või ruumipõhist ventilatsioonisüsteemi, piisab ka katuse soojustamisest ja ventilatsioonisüsteemi väljaehitamisest.

Üksikkomponentide võrdluses annab suurimat energiasäästu välispiirete soojustamine ja akende vahetamine. Peale piirete ja avatäidete renoveerimist vähendatakse oluliselt välisõhu infiltratsiooni siseruumidesse ja tervisliku sisekliima tagamiseks on vajalik sundventilatsioon. Üksikkomponentide energiasäästu võrdlemise eelduseks on, et elamul on renoveeritud kütte- ja ventilatsioonisüsteem. Ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ja soojustagastuse kasutamisel saavutatav suhteliselt madal energiasääst on tingitud sellest, et sisekliima nõuete tagamiseks on vaja suurendada õhuvahetust: paraneb sisekliima.

Olukorras, kus ei ole võimalik sooritada kompleksset renoveerimist, on oluline teha renoveeritav osa maksimaalselt energiasäästlik, kuna hiljem tehtud töö ümbertegemine on kulukam ja ei ole majanduslikult otstarbekas.

Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik otstarbekus

Majandusarvutuste tulemusel saab järeldada, et energiatõhusamad paketid (C, B) on lühema tasuvusajaga ja suurema aastase investeeringu keskmise tootlikkusega.

Ilma täiendavate toetusteta ei ole korterelamute energiatõhusamaks renoveerimine praeguste energia- ja ehitushindade juures majanduslikult otstarbekas (tasuvusaeg on liiga pikk ja investeeringu tootlikkus on liiga väike), kuna:

- renoveerimistööde maksumus on liiga kõrge;
- laenuhaha intress on liiga kõrge;
- elektri- ja soojusenergia maksumus on madal.

Samas vajavad korterelamud renoveerimist, et tagada hoone ohutus (kandevõime, tuleohutus, kasutusohutus, keskkonnaohutus) ja tervislikkus (sisekliima). Kui renoveerimistööd ette võtta, siis on otstarbekas renoveerida juba parimal võimalikul viisil, sest sel juhul on tasuvusaeg kõige lühem ja investeeringu tootlus kõige suurem.

Energiasäästlikuma paketi/pakettide ehitusmaksumus ei ole oluliselt suurem kui vähem energiasäästlikuma paketi puhul. Näiteks, kui võrrelda omavahel tüüpprojekti 317-318 pakette E₁ ja C₁, on nende pakettide ehitusmaksumused vastavalt 4 042 717 kr ja 5 002 394kr, seega maksumuse erinevus 959 676kr ehk 19%. Samas on nende pakettide aastane energiasääst vastavalt 130 000 kr ja 254 000 krooni; erinevus on 124 000 krooni ehk 49%.

Arvutused kinnitavad, et energiahinna tõus lühendab tasuvusaega. Kui energiahind tõuseb aktsiiside tõttu, tuleb aktsiiside tulu eest toetada elamute (nii korterelamute kui ka üksikelamute) renoveerimist.

Investeeringu keskmise tootlikkuse tase on kasutatav alternatiivse investeerimisvõimaluse hindamisel. Teoreetiliselt on võimalik, et korteriomanikud investeerivad oma vahendid mujale (nt väärtpaberitesse, mille aastane keskmine tootlikkus on kõrgem), mitte korterelamu renoveerimisse. Tulemuseks olukord, kus raisatakse energiat ja makstakse selle eest üha rohkem, samal kui allesjäänud raha 'toodab' raha mujal.

16 Kasutatud kirjandus

- Adan, O.C.G. 1994. On the fungal defacement of interior finishes. Doctoral thesis, Eindhoven University of Technology, pp. 224.
- Airaksinen, M., Pasanen, P., Kurnitski, J., Seppänen, O. Microbial contamination of indoor due leakages from crawl space. *Indoor Air* 2004;14(1):55–64.
- Albreht, L. Ruumiõhu sündroom. Kursusetöö keskkonnatervishoius. Tartu Ülikooli arstiteaduskonna keskkonna- ja töötervishoiu õppetool.
- Annus, T. (2008). Tolmulestad põhjustavad allergiat. *Apteeker*, 14. jaanuar 2008.
- Arlian, L.G., Neal, J.S., Vyszynski-Moher, D.L. 1999. Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 1999; 104 4 Pt 1: 852-6.
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals. American Society of Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 1993.
- Backman, E., Hyvärinen, M., Lindberg, R., Reiman, M., Seuri, M. Kokotti H. The effect of air leakage through the moisture damaged structures in a school building having mechanical exhaust ventilation. In: *Proceedings of the Healthy Buildings 2000 Conference*. 6-10 August 2000, Helsinki, Finland.
- Baranowski, J. & Ferdyn-Grygierrek, J. Integrated simulation of heat demand and air exchange in a multifamily building. *Silesian University of Technology, Poland*, 2005.
- Batterman, S., Jia, C., Hatzivasilis, G. Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: a major exposure source. *Environmental Research* 2007;104(2):224-240.
- Bech-Andersen, J. Sisekliima ja hallitusseened. Eesti mükoloogia uuringute sihtasutus. Tartu 2005.
- Binamu A. Integrating building design properties “air tightness” and ventilation heat recovery for minimum heating energy consumption in cold climates. Dissertation. Tampere University of Technology, 2002.
- Bornehag, C. G., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T., Verhoeff, A. 2004. Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature 1998-2000 on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air* 2004; 14 4: 243–257.
- Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järveholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. 2001. Dampness in Buildings and Health. *Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects NORDDAMP*. *Indoor Air* 2001; 11 2: 72-86.
- Building Regulations, BBR, of the Swedish Board of Housing, Building and Planning BFS 1998:38. Mandatory provisions and general recommendations. December 2001. P9:212.
- C3. Rakennuksen lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset, 2007.
- Chang, C.-F., Chen, J.-W. The experimental investigation of concrete carbonation depth. *Cement and Concrete Research*, 2006;36(9):1760-1767.
- Clifton J. R. Stone consolidating materials. National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards. NBS technical note; 1118. 1980.
- CR 1752. Ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment / European Committee for Standardization. European Committee for Standardization. Brussels, 1998.
- D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet, 2007.

- DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Juli 2001, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4108-7:2001-08. Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Airtightness of buildings, requirements, recommendations and examples for planning and performance.
- Eesti Keskkonnatervise Riiklik Tegevusplaan (National Environmental Health Action Plan of Estonia) - EV Sotsiaalministeerium, 1999. - 69 lk.
- Eesti Standardikeskus. Eesti standard EVS 885:2005 Ehituskulude liigitamine.
- Eesti Tervisekaitse Selts 51. Konverentsi ettekannete kogumik. 2005.
- Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 315 (RT I 2004, 75, 525), 27. oktoober 2004.
- EKHHL (2002). Eluhoonete renoveerimise üldistatud aluste ja korralduse põhimõtted ja soovitusel omanikule. Eesti Kinnisvara Haldajate ja Hooldajate Liit, Tallinn, 2002.
- EKK (1994) Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Ehituskonstrueerimise ja katsetuste AS.
- Emmerich, S.J., Gorfain, J.E., Howard-Reed, C. Air and pollutant transport from attached garages to residential living spaces - literature review and field tests. The International Journal of Ventilation 2003;2(3):265–76.
- VVm 258. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258 (RTI, 28.12.2007, 72, 445).
- MKMm 52. Rohelise investeerimisskeemi «Korterelamute rekonstrueerimise toetus» kasutamise tingimused ja kord“. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 17. augusti 2010. a määruses nr 52.
- EPN 11.1 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Ehitusteave (ET-1 0113-0108), 1995.
- EstKONSULT (1996). Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Inseneribüroo EstKONSULT.
- EV MKM. 2007. Uuringu „Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ lähteülesanne. Eesti Vabariigi Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. August 2007.
- EVS 814:2003 „Normaalbetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid“
- EVS 837-1:2003. Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 845-1:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine. Osa 1: Üldnõuded.
- EVS-EN 12504-1:2003 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 1: Puursüdamikud. Võtmine, ülevaatus ja survekatse. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2003.
- EVS-EN 12504-2:2003 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 2: Mittepurustav katsetamine. Põrkearvu määramine. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2003.
- EVS-EN 13187:2001 Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 13369:2006 Betoonvalmistoodete üldeeskirjad. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2006.
- EVS-EN 13829:2001. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Eesti Standardikeskus; 2001.
- EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna algandmed 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, 2010.
- EVS-EN 771 Mürrikivide spetsifikatsioon. Osa 1: Savimürrikivid., Osa 2: Silikaatmürrikivid.
- EVS-EN 772 Mürrikivide katsemeetodid. Osa 1: Survetugevuse määramine.
- EVS-EN 772-18:2005 "Silikaattelliste külmakindluse määramine".
- EVS-EN 814:2003 „Normaalbetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid“.
- EVS-EN ISO 10211-1:2000 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 13788:2001 Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- 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.
- Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O. 1998. Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures. Indoor Air 1998; 8 4: 276-284.
- Fanger, P.O. 1971. Air Humidity, Comfort and Health. Technical University of Denmark, Lundby, Denmark, 1971.
- Ginevicius, R., Podvezko, V., Raslanas, S. 2008. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods. Journal of Civil Engineering and Management, 14(4): 217-226.
- Gorgolewski, M. 1995. Optimising renovation strategies for energi conservation in housing. Building and Environment, Vol. 30, No 4: 583-589.
- GOST 10180-90. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moskva, Russia, 2005. 31 pp.
- GOST 7025-91 - Kirpich i kamni keramicheskie i silikatnye. Metody opredelenija vodopogloshchenija, plotnosti i kontrolja morozostoikosti.
- Guo, L. & Lewis, O. J. Carbon dioxide concentration and its application on estimating the air change rate in typical Irish houses. The International Journal of Ventilation, 2007, 6, 3, 235-244.
- Hagentoft, C.E., Harderup, E. Moisture conditions in a north-facing wall with cellulose loose-fill insulation: construction with and without a vapor retarder and air leakage. ASHRAE Transactions 1995;101(1):639-46.
- Hart, B.J. 1998. Life cycle and reproduction of house-dust mites: environmental factors influencing mite populations. Allergy 1998; 5 48: 13-17.
- Hedenblad, G. Materialdata för fukttransportberäkningar. Byggforskningsrådet-rapport T19:1996, Svensk Byggtjänst, Stockholm. 1996.
- Heidt, F. D. Ventilation for energy efficient buildings, ISES summer Workshop, 2006.
- Hens, H. (ed.). Condensation and Energy, Guidelines and Practice. Vol. 2, Annex 14, International Energy Agency, KU Leuven, 1990.

- Houst Y.F., Wittmann F.H. Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO₂ and O₂ through hydrated cement paste. *Cement and Concrete Research*, 1994;24(6):1165-1176.
- Hukka E., Viitanen H.A., 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* 33, Springer-Verlag.
- Husman, T., Roto, P., Seuri, M. 2001. Sisäilma ja terveys – Tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitoksen julkaisu B14/2002.
- Ince, R., Aricib, E. (2004) Size effect in bearing strength of concrete cubes. *Construction and Building Materials*, 2004;18(8):603-609.
- Indermitte, E. (2005). Eluruum ja inimese tervis. Kägu: Eesti Bioloogia- ja Geograafiaõpetajate Liidu toimetised (9 - 17). Tallinn: Bioloogia- ja Geograafiaõpetajate Liit.
- Indermitte, E. (2008). Hallituseestest ruumiõhus. In: Eesti Tervisekaitse Seltsi 54. konverentsi ettekannete kogumik: Eesti Tervisekaitse Selts 54. konverents "120 aastat sanitaarkontrolli Eestis"; Virumaa, Jõhvi-Narva; 5.-6.09.2008. (Toim.) Saava, A.; Remm, M.. Tallinn:, 2008, 86 - 90.
- IOM Institute of Medicine 2004. Damp Indoor Spaces and Health. National Academy of Sciences. Washington D.C: National Academies Press.
- ISO 9869.
- ISO 9869:1994. Thermal insulation -- Building elements -- In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- ISO EN 7730:1994. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994.
- ISO EN 7730:1994. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort, 1994.
- ISO/FDIS 13789. Thermal performance of buildings -- Transmission and ventilation heat transfer coefficients -- Calculation method.
- Jaakkola, J.J.K., Heinonen, O.P., Seppänen, O. 1989. Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: need for individual control of temperature. *Environmental International* 1989; 15: 163-168.
- Janssens A, Hens H. Interstitial condensation due to air leakage: a sensitivity analysis. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 2003;27(1):15–29.
- Jokela, J., Kukko, H., Metso, J., Pihlajavaara, S., Sarja, A., Vesikari, E., Virtanen, J. (1980). Kovettuneen betonin perusominaisuudet. Tiedonanto 74, VTT, Espoo, Finland, 1980, 102 p.
- Jokisalu J, Kurnitski J. Simulation of energy consumption in typical Finnish detached house. Helsinki University of Technology, HVAClaboratory, Report B74; 2002.
- Jokl, M. V. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC. *Building and Environment*, 1998, 35, 8, 677-697.
- Jolkkonen, K., Huovinen, S. Pinnoiteiden vaikutus sandwich-elementien käyttöikään. Teknillinen korkeakoulu, talorakennustekniikka. Julkaisu 112. 2000.
- Jõgioja, E. Radooniõhutu elamu. OÜ Ehitusteave, Tallinn, 2004.
- 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).
- Kalamees, T. Air tightness and air leakages of lightweight single-family detached houses in Estonia. *Building and Environment* 2007;42(6):2369-2377.

- Kalamees, T. Elamupiirete õhupidavus: Uurimistöö „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetoodika väljatöötamine“, raport. Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
- Kalamees, T., (2006), Hygrothermal criteria for design and simulation of buildings. Doktoritöö. Tallinna Tehnikaülikool.
- Kalamees, T., 2006. Hygrothermal Criteria for Design and Simulation of Buildings. Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn: TTU Press.
- 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.
- Kalamees, T; Õiger, K; Kõiv, T-A; Liias, R; Kallavus, U; Mikli, L; Lehtla, A; Kodi, G; Luman, A; Arumägi, E; Mironova, J; Peetrimägi, J; Korpen, M; Männiste, L; Murman, P; Hamburg, A; Tali, M; Seinre, E. (2009). Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool.
- Karlsson, F., Axell, M., Fahlen, P. Heat pump system in Sweden – Country report for IEA HPP Annex 28. Energy Technology Boras, 2003.
- KENA 2010. Eesti erinevate omavalitsuste kaugkütte maksumus. Kliima- ja Energiaagentuur. Siseraport.
- Keskikuru T., Kokotti H., Lammi S., Kalliokoski P. Variation of radon entry rate into two detached houses. Atmospheric Environment 34 (2000) 4819-4828.
- Kinnistu veevärgi projekteerimine EVS 835:2003. Tallinn 2003.
- Koiv, T.-A., and Toode, A. Trends in Domestic Hot Water consumption in Estonia apartment buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Engng, 12, 1, 2006, 72-80.
- Korsgaard, J. 1983. House-dust mites and absolute indoor humidity. Allergy 1983; 38 2: 85-92.
- Kõiv, T.-A. Õhu konditsioneerimine I. Õhutöötlemisprotsessid. TTÜ Kirjastus, Tallinn, 2006, 6-20.
- Kõiv, T-A. & Rant, A. Küte. Juhised kursuseprojekti koostamiseks. TTÜ Kirjastus, Tallinn 2005, 5-6.
- Kõiv, T-A. Indoor climate and performance on top floors of typical old-type apartment buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2008, 14, 17-28.
- Kõiv, T-A. Indoor climate and ventilation in Tallinn school buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 17-25.
- Kõiv, T-A. Indoor climate and ventilation in Tallinn school buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 17-25.
- Kõiv, T-A. Loigu, E. Elamufondi jätkusuutlikkuse säilitamine läbi ventilatsiooniprobleemide tüüplahenduste väljatöötamise. Tallinna Tehnikaülikool, 2007.
- Külmakindlus GOST 7025 „Keraamilised ja silikaattellised ning kivid“ p.7 nõuete kohaselt massikao ja kahjustuste määramise alusel.
- L1A. The Building Regulations 2000. Conservation of fuel and power in new dwellings. 2006.
- L2A. The Building Regulations 2000. Conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings. 2006.
- Lech, J.A., Wilby, K., McMullen, E., Laporte, K. The Canadian human activity pattern survey: Report of Methods and Population Surveyed, Chronic Diseases in Canada, 1996, 17.
- Leskelä, M. (2008). by 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki, 2008. 711pp.

- Lo, Y., Lee, H.M. Curing effects on carbonation of concrete using a phenolphthalein indicator and Fourier-transform infrared spectroscopy. *Building and Environment*. 2002;37(5):507-514.
- Lowe, R.J. Ventilation strategy, energy use and CO₂ emissions in dwellings - a theoretical approach. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2000, 21, 179.
- Lu, T., Knuutila, A., Viljanen, M. , Lu, X. A novel methodology for estimating space air change rates and occupant CO₂ generation rates from measurements in mechanically-ventilated buildings. *Building and Environment*, 2009, 45, 5, 1161-1172.
- Marchant, E.W. Fire safety systems—interaction and integration. *Facilities* 2000;18(10/11/12):444–55.
- Mattson, J., Carlson, O.E., Engh, I.B. Negative influence on IAQ by air movement from mould contaminated constructions into buildings. In: *Proceedings of indoor air 2002*, vol. 1. Monterey, California, USA, 2002. p. 764–9.
- Mehto, L., Pentti, M., Kähkönen. Betonijulkisivujen karbonisoituminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Julkaisu 41. 1990.
- Möller, G., Petersons, N., Samuelson, P. (1980). *Betonghandbok.. Svensk Byggtjänst, Stockholm*, 1980.
- Neville, A.M., *Properties of concrete*. Second edition, Pitman publishing, Bath, 1973.
- Novák, J., Tywoniak, J. AIRTIGHTNESS OF BUILDING ENVELOPES – TEST RESULTS. Czech Technical University in Prague., 2006.
- NRCan 2004. R-2000 Standard.
- Olesen, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. *Energy and Buildings*, 2007, 39, 7, 740-749.
- Pahapill L, Rulkov A, Rajamäe R, Åkerblom G. Radoon Eestimaa elamutes. 2003.
- Pahapill L., Jõgioja E., Rohumäe T. Indoor radon in Estonia. *Proc. Of the 6-th Int.Conf. on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 4, pp 471-474. 1993.
- Pahapill L., Rulkov A., Rajamäe R., Åkerblom G.. Radon in Estonian dwellings. Results from a National Radon Survey 2003:16.
- Pahapill L. Radoonitasemetest Eestimaa elamutes. *Keskkonnatehnika* 2002/1 lk 14-15.
- Pahapill, L. Siseõhu radoonist Eestis. *Keskkonnatehnika* 3, lk 2-7 2000.
- Pavlovas, V. Demand controlled ventilation. *Chalmers University of Technology, Göteborg*, 2003, 17-50
- Pavlovas, V. Energy savings in existing Swedish apartment buildings. *Chalmers University of Technology, Göteborg*, 2006, 17-83
- Pentti, M. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys. *Betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut*. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Raportti 33. 1988.
- Pentti, M., Mattila, J., Wahlman, J. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa 1 Rakenteet, vauriot ja kunnon tutkiminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Julkaisu 87. 1998.
- Pesur E. „Radoon radooniohtlike alade lasteasutustes“. *Magistritöö* 2006.
- prEN 15242 Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration; 2005.
- Redlich, C., Sparer, J., Cullen, M. Sick-building syndrome. *Lancet*, 1997, 349,1013-1016.

- REN TEKNISK 1997 Statens Bygningstekniske Etat Veiledning til teknisk forskrift til plan-og bygningsloven.
- Riley W. J., Gadgil A. J., Bonnefous Y. C., Nazaroff W. W.. The Effect of steady winds on radon-222 entry from soil into houses. Atmospheric Environment 1352-2310(95)00248-O.
- Rowan, N.J., Johnstone, C.M., McLean, R.C., Anderson, J.G., Clarke, J.A. 1999. Prediction of Toxigenic Fungal Growth in Buildings by Using a Novel Modelling System. Applied and Environmental Microbiology 1999; 65: 4814-4821.
- RT 80-10632 Ehitise kaitseplekid (1997) 19 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- RT 80-10817 Ehitiste valtsimis- ja plekitööd. Üldjuhised.(2004) 12 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- RT 80-10974. Teollisest valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto.
- Rulkov A., Pahapill L. Radoon majades. 2004.
- Sanders, C. (1996). IEA-Annex 24 HAMTIE, Final Report, Volume 2, Task 2: Environmental conditions. Laboratorium Bouwfysica, K.U.-Leuven, Belgium.
- Seppanen, O. A. & Fisk, W J. Some quantitative relations between indoor environmental Quality and Work Performance or Health. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- Seppänen, O. A. Estimated cost of indoor climate in Finnish buildings. Proceedings of Indoor Air 1999, 3, 13-18.
- SIA 180. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Wärmeschutz im Hochbau, Zürich. 1999.
- Silikaatbetooni Instituut. 1977. Soovituste väljatöötamine silikaatbetoonist sisepiirete kandvate konstruktsioonide väljatöötamiseks nende ehitus-akustiliste selgitamise põhjal. Tallinn, 1977.
- SNiP II-3-79, Stroitelnie Normi i Pravila, Construction Norms and Regulations, Building Heat Engineering, Gosstroj SSSR, Moscow (1979).
- Sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määrus nr. 42. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid”.
- Sterling, E.M., Arundel, A., Sterling, T.D. 1985. Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. ASHRAE Transactions 1985; 91 1: 611-621.
- Zavadskas, E., Raslanas, S., Kaklauskas, A. 2008. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case. Energy and Buildings; 40: 573-587.
- Thiery M., Villain G., Dangla P., Platret G. Investigation of the carbonation front shape on cementitious materials: Effects of the chemical kinetics. Cement and Concrete Research, 2007;37:1047-1058.
- TLV 52. Tallinna linnavalitsuse määrus number 52 „Tallinna linna omandis oleva elamu soojusenergia teenustasu jaotus eluruumide vahel“ (30.06.2008).
- Toode, A. and Koiv, T.-A. Domestic hot water consumption investigation in apartment buildings. Proc.Estonian Acad. Sci. Engng., 11, 3, 2005, 207-214.
- Toode, A. and Kõiv, T.-A. 2007. Domestic hot water consumption in Estonian apartment buildings. In: CIBW062 200: Book of Papers: 33rd International Symposium Water Supply and Drainage for Buildings, Brno, Czech Republic, 19.-21.09.2007. Brno: Brno University of Technology, 2007, pp. 31 - 38.
- Töötervishoiu keskus. Niiskus- ja hallitusprobleemid töökohtadel. Metoodiline juhend. Tallinn 2004.

- Uustalu, E. Betooni pragunemine. Ehitaja 6(59) 2001, lk. 8-11.
- Wang, F., Ward, I.C. Radon entry, migration and reduction in houses with cellars Building and Environment 2002;37(11):1153-1165.
- Viitanen, H., Ritschkoff A.C. 1991. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report No 221, Uppsala, Sweden.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpöolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. ja Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- VV määräus nr. 315. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. 27. 10. 2004 (RT I 2004, 75, 525).
- VV määräus nr. 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. 26. 01. 1999 (RT I 1999, 9, 38).
- VV määräus nr. 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. 26.01.1999 (RT I 1999, 9, 38).
- Wyon, D.P., Fang, L., Mayer, H.W., Sundell, J., Weirsoe, C.G., Sederberg-Olsen, N., Tsutsumi, H., Agner, T., Fanger, P.O. 2002. Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. Proceedings of the 9th International Congress on Indoor Air Quality, July 2-6, Monterey, USA; IV: 400-405.
- СНиП II-л.1.-71* "Жилые здания, нормы проектирования" Глава 12. ЗАЩИТА ОТ ШУМА.