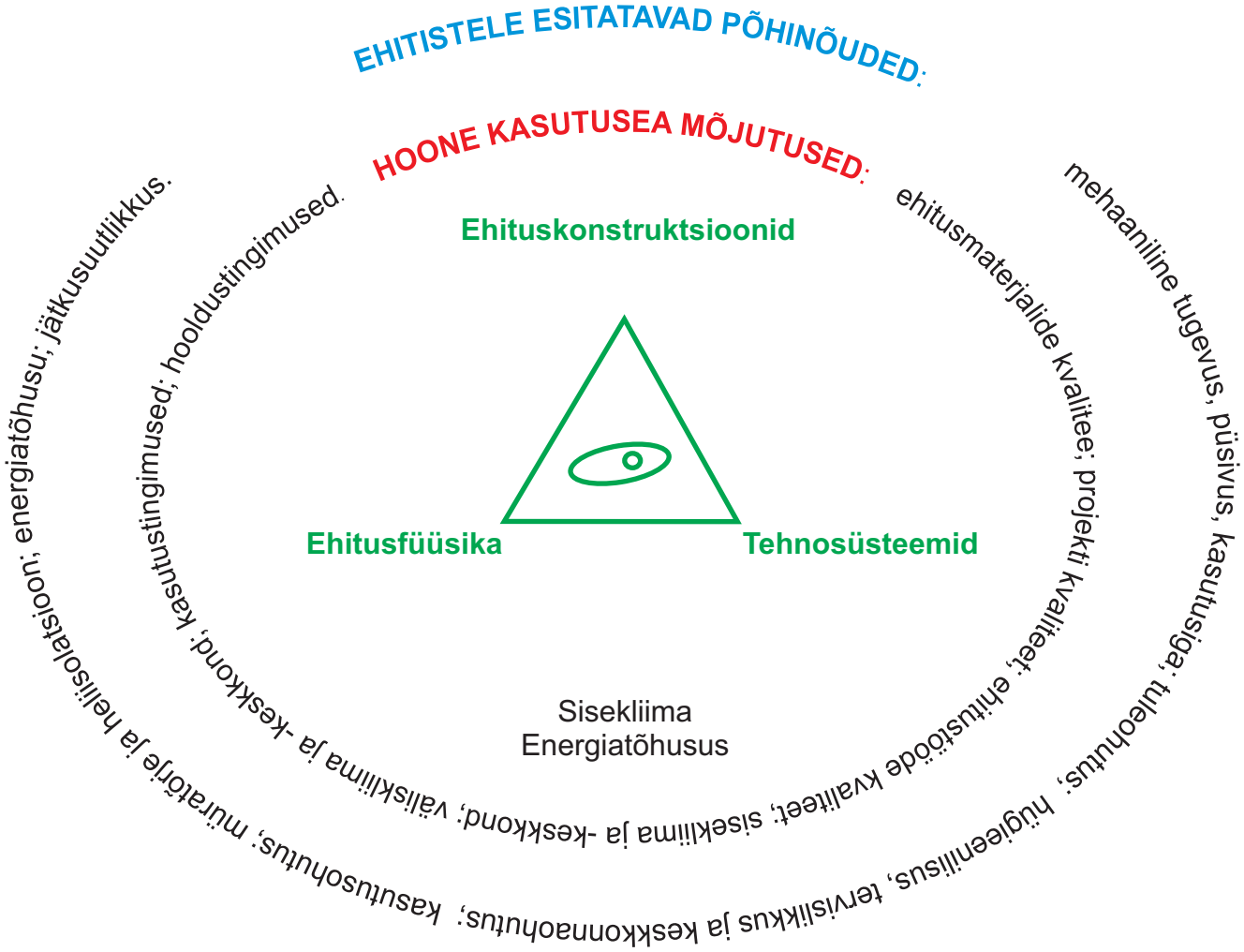
1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSTEADUSKOND

Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Uuringu lõpparuanne



Tallinn 2011

1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
EHITUSTEADUSKOND

Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Uuringu lõpparuanne

Targo Kalamees, Endrik Arumägi, Alar Just, Urve Kallavus, Lauri Mikli, Martin Thalfeldt, Paul Klõšeiko, Tõnis Agasild, Eva Liho, Priit Haug, Kristo Tuurmann, Roode Liias, Karl Õiger, Priit Langeproon, Oliver Orro, Leele Välja, Maris Suits, Georg Kodi, Simo Ilomets, Üllar Alev, Lembit Kurik

2011

Toimetanud: ehitusinsener Targo Kalamees

Projekti vastutav täitja: professor Roode Liias

Autoriõigused: autorid, 2011

ISBN 978-9949-23-127-0

Eessõna

Käesolev uurimistöö aruanne võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas ajavahemikul september 2009 kuni mai 2011 läbiviidud uuringu „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" tulemused. Uurimistöö on tehtud Sihtasutuse KredEx tellimusel ja finantseerimisel. Lisaks KredEx-ile osalesid uurimistöö juhtrühmas veel Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ehitus- ja elamuosakonna ning energeetikaosakonna esindajad:

Sihtasutus KredEx: Mirja Adler, Kalle Kuusk (KENA), Mikk Maivel (KENA);
Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium: Margus Sarmet, Pille Arjakas, Annika Tamm.

Tallinna Tehnikaülikooli poolt osalesid uurimistöös järgmised asutused ja isikud:

Ehitiste projekteerimise instituut (ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool, ehituskonstruktsioonide õppetool): Targo Kalamees, Endrik Arumägi, Alar Just, Karl Õiger, Lauri Mikli, Georg Kodi, Simo Ilomets, Üllar Alev. Kaasa töötasid: Paul Klõšeiko, Tõnis Agasild, Eva Liho, Priit Haug, Kätlin Miilberg, Mari Emmus, Erik Prits, Klaus Treimann, Raido Schiff, Arno Liiskmann, Raimo Roots, Erko Tamm).
Keskkonnatehnika instituut (kütte- ja ventilatsiooni õppetool): Martin Thalfeldt;
Ehitustootluse instituut (ehitusökonoomika ja -juhtimise õppetool): Roode Liias, Kristo Tuurmann.
Materjaliuuringute teaduskeskus: Urve Kallavus, Lembit Kurik.

Uurimisraporti erinevate peatükkide kirjutamisel on osalenud järgmised isikud: Targo Kalamees, Endrik Arumägi, Alar Just, Urve Kallavus, Lauri Mikli, Paul Klõšeiko, Tõnis Agasild, Eva Liho, Kristo Tuurmann, Priit Haug, Roode Liias, Priit Langeproon (OÜ Langeproon Inseneriehitus), Oliver Orro (Tallinna LV, Tallinna Kultuuriväärtuste Amet, Muinsuskaitse osakond), Leele Välja (Eesti Kunstiakadeemia, Muinsuskaitse ja restaureerimise osakond), Karl Õiger, Georg Kodi, Simo Ilomets, Lembit Kurik.

Uurimisraporti sisulise poole on toimetanud Targo Kalamees ja keelelise poole Mari-Ann Tamme.

Täname uurimistöö rahastajaid ning uuritud elamute elanikke ja korteriühistute esimehinaisi oma panuse eest uurimistöö õnnestumisesse. Säästva Renoveerimise Infokeskus, Eesti Korteriühistute Liit, omavalitsuste Kultuuriväärtuste Ametid ja Muinsuskaitseamet, restauraator ja ehitaja Jüri Reemann on tänatud abi eest uurimisobjektide leidmisel. Tallinna LV, Tallinna Kultuuriväärtuste Ameti Muinsuskaitse osakond (Oliver Orro) ja Eesti Kunstiakadeemia Muinsuskaitse ja restaureerimise osakond (Lilian Hansar, Leele Välja, Anneli Randla, Maris Suits) on tänatud abi eest puitasumite kujunemise ja puidust korterelamute ajaloo tutvustamisel ning renoveerimislahenduste väljatöötamisel. OÜ Langeproon Inseneriehitus (Priit Langeproon) on tänatud abi eest abi eest keldriseinte niiskustehnilistel uuringutel ja renoveerimislahenduste väljatöötamisel. Clik AS (Aivar Uutar, Kevin Vaher) on tänatud abi eest tehnosüsteemide renoveerimise maksumuse väljatöötamisel. Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ on tänatud abi eest helipidavuse mõõtmistel. Kristi Talvik on tänatud abi eest vanade sisekliima- ja energianõudmiste leidmiste juures. Täname Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia instituuti väliskliimaandmete eest, Eesti Energia AS-i, AS-i Tartu Vesi, AS-i Viljandi Veevärk, AS-i Eesti Gaas uuritud elamute elektri, vee, gaasi ja muude kuluandmete eest.

Tallinnas, august 2011.

Tegijad

Sisukord

1 Sissejuhatus 9
1.1 Uuringu eesmärk 9
1.2 Uurimisobjektide valiku alused 9
1.3 Projekti kaasatud linnade puitasumite kujunemine 10
1.3.1 Viljandi 10
1.3.2 Pärnu 12
1.3.3 Tartu 14
1.3.4 Tallinn 16
1.4 Puidust korterelamud Eesti linnades. Arengulugu ja põhitüübid 19
1.4.1 Kõige vanemad puitelamud 19
1.4.2 Tsaariaegne tööliselamu 22
1.4.3 Vabrikuasulad 24
1.4.4 Suurte korteritega elamud historitsismi ja juugendi ajal 26
1.4.5 Nn. Tallinna maja ja teised 1920. – 1930. aastate puidust korterelamud 29
1.4.6 Modernism puitarhitektuuris 32
1.4.7 Puidust korterelamud pärast 1940. aastat 33
2 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid 36
2.1 Üldist 36
2.2 Uurimismetoodika ja hindamise alused 38
2.3 Katused 41
2.3.1 Katuste lahendused 41
2.3.2 Katuste olukord ja põhilised puudused 42
2.3.3 Sademevee äravoolusüsteemide lahendused ja tehniline seisukord 47
2.4 Seinad 53
2.4.1 Välisseinte lahendused 53
2.4.2 Välisseinte seisukord ja peamised probleemid 55
2.4.3 Siseseinte lahendused ja olukord 62
2.5 Vundamendid, soklid ja keldripõrandad 63
2.5.1 Vundamentide, soklite ja keldripõrandate lahendused 63
2.5.2 Keldri- ja soklikorruse niiskusrisk 65
2.5.3 Vundamentide, soklite ja keldripõrandate peamised probleemid 66
2.6 Vahelagede ja põrandate lahendused, seisukord ja peamised probleemid 75
2.7 Trepid ja trepikojad 77
2.7.1 Treppide ja trepikodade lahendused 77
2.7.2 Treppide ja trepikodade seisukord ja peamised probleemid 78
2.8 Avatäited 79
2.8.1 Akna lahendused 79
2.8.2 Akende seisukord ja peamised probleemid 80
2.8.3 Uste lahendused, seisukord ja peamised probleemid 82
2.9 Märjad ja niisked ruumid 82
2.9.1 Märgade ja niiskete ruumide lahendused 82
2.9.2 Märgade ja niiskete ruumide seisukord ja peamised probleemid 83

2.10 Tuleohutus 86
2.11 Puitkorterelamute kasutusiga ja renoveerimise vajadus 89
3 Külmasillad 91
3.1 Meetodid 91
3.1.1 Külmasilla kriitilisuse hindamine 91
3.1.2 Külmasilla hindamine termograafia infrapuna kaamera abil 92
3.1.3 Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega 93
3.2 Tulemused 95
3.2.1 Termograafia mõõtmistulemused 95
3.2.2 Arvutustulemused 96
3.2.3 Keldriseinte lisasoojustamise arvutuslik analüüs 101
4 Hoonepiirete õhupidavus 106
4.1 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine 107
4.2 Õhupidavuse hindamise meetodid 109
4.3 Tulemused 111
5 Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus 115
5.1 Seestpoolt lisasoojustatud rõhtpalkseina soojus- ja niiskustehnilised võrdlusmõõtmised 117
5.1.1 Meetodid 117
5.1.2 Tulemused 121
5.1.3 Tulemuste hindamine 129
6 Piirdetarindite helipidavus 131
6.1 Sisepiirete helipidavuse tagamise lahendused 131
6.2 Meetodid 131
6.2.1 Sisepiirdetarindite helipidavuse kvaliteedi otsustamise alused 131
6.2.2 Sisepiirdetarindite helipidavuse hindamismeetodid 132
6.2.3 Helipidavuse mõõtmistulemused ekspluatatsioonitingimustes 133
7 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites 135
7.1 Meetodid 137
7.1.1 Mõõtmised 137
7.1.2 Väliskliima 137
7.1.3 Siseõhu temperatuuri hindamiskriteeriumid 139
7.1.4 Siseruumide niiskuskoormuse hindamiskriteeriumid 140
7.2 Tulemused 141
7.2.1 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist 141
7.2.2 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist 143
7.2.3 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel 144
7.2.4 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel 145
7.3 Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele 146
7.4 Niiskuskoormused korterites 148
8 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet 152
8.1 Meetodid 154
8.1.1 Mõõtmised 154
8.1.2 Siseõhu CO_2 sisalduse hindamiskriteeriumid 155
8.1.3 Ainevahetusliku CO_2 meetod 156
8.1.4 Eluruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid 158
8.1.5 Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid 159
8.2 Tulemused 159
8.2.1 Siseõhu CO_2 sisalduse mõõtmised korterites 159
8.2.2 Magamistubade õhuvahetus 161

9 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline kahjustus 164
9.1 Elukeskkonna levinumate hallitusseente kirjeldused 165
9.2 Meetodid 166
9.2.1 Mikrobioloogiline kasv ruumide sisepinnal 166
9.2.2 Hoone konstruktsioonide kandevõime ja tehnilise seisukorra väljaselgitamiseks tehtavad analüüsid 167
9.2.3 Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüs 167
9.3 Tulemused 168
9.3.1 Mikrobioloogiline kasv ruumide sisepinnal 168
9.3.2 Hoone konstruktsioonide kandevõime ja tehnilise seisukorra väljaselgitamiseks tehtavad analüüsid 169
9.3.3 Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüs 171
10 Tehnosüsteemide olukord 174
10.1 Ventilatsioon 174
10.2 Küttesüsteem ja soojusvarustus 175
10.3 Elektri- ja sidepaigaldis 177
10.4 Veevarustus ja kanalisatsioon 179
11 Puitkorterelamute energiatarbimise analüüs 181
11.1 Mõõdetud energiatarbimise analüüs 181
11.1.1 Elektritarbimise analüüs 181
11.1.2 Gaasitarbimise analüüs 182
11.1.3 Vee tarbimise ja vee soojendamise energiatarbimise analüüs 182
11.2 Arvutuslik analüüs 185
11.2.1 Meetodid 185
11.2.2 Energiaarvutuste tulemused 190
12 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud: ankeetküsitluse kokkuvõte 202
12.1 Elamistingimused 202
12.2 Akende iseloomustus 203
12.3 Niiskuskahjustused 204
12.4 Sisekliimaprobleemid 204
12.5 Müraga ja päevavalgusega seotud probleemid 206
12.6 Korterielanike märgitud terviseprobleemid 206
12.7 Korterite sanitaarremont 206
13 Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest 208
13.1 Piirdetarindid ja ehituskonstruktsioonid 213
13.1.1 Sokkel, vundament ja keldriseinad 213
13.1.2 Välisseinad 222
13.1.3 Katused 227
13.1.4 Vahelaed 229
13.1.5 Niisked ja märjad ruumid 230
13.1.6 Avatäited: aknad ja uksed 232
13.1.7 Trepid ja trepikojad 233
13.1.8 Korstnad 233
13.1.9 Müratõrje ja helipidavus 234
13.2 Tehnosüsteemid 234
13.2.1 Soojusvarustus 234
13.2.2 Küte 235
13.2.3 Ventilatsioon 236

13.3 Energiatõhususe renoveerimispaketid 249
14 Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs 260
14.1 Meetodid 260
14.2 Arvutustes kasutatud ehitustööde mahud 262
14.3 Arvutustes kasutatud ehitustööde maksumus 263
14.4 Tulemused 268
14.4.1 Kütmata keldriga variantlahendused 269
14.4.2 Keldrita puitkorterelamu 283
14.4.3 Köetud keldriga variantlahendused 289
14.5 Kokkuvõte energiatõhususe parandamise majanduslikust mõjust 296
15 Järeldused 299
15.1 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid 299
15.2 Külmasillad 299
15.3 Hoonepiirete õhupidavus 300
15.4 Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus 300
15.5 Puitelamute helipidavus 300
15.6 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites 301
15.7 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet 301
15.8 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline kahjustatus 301
15.9 Tehnosüsteemide olukord 302
15.10 Puitkorterelamute energiatarbimise analüüs 302
15.11 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud 302
15.12 Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs 303
16 Conclusions 304
16.1 The technical condition and defects of building envelope and load-bearing structures 304
16.2 Thermal bridges 305
16.3 The air tightness of building envelope 305
16.4 The hygrothermal performance internally insulated external walls 305
16.5 Sound insulation of wooden buildings 305
16.6 Hygrothermal conditions in apartments 306
16.7 Performance of ventilation and indoor air quality 306
16.8 The microbiological damage of building materials and indoor air 307
16.9 The condition of utility systems 307
16.10 Analysis of energy consumption of wooden apartment buildings 308
16.11 The assessments and strategic attitudes of apartment owners 308
16.12 The economic analysis of improvement of energy performance of buildings 308
17 Kasutatud kirjandus 310

1 Sissejuhatus

1.1 Uuringu eesmärk

Uuringu eesmärgiks oli Eesti erinevates piirkondades ehitatud ning erinevas vanuses olevate põhikonstruktsioonina puidust ehitatud korterelamute kaardistamine, ehitustehnilise seisukorra hindamine ja elanike hinnangute väljaselgitamine nende omandis olevate korterite ning hoonete seisundi kohta.

Uuringu eesmärgiks olnud puitkorterelamute ehitustehnilise seisukorra väljaselgitamiseks oli lepinguline kohustus:

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

Uuringu raames tuli keskenduda järgmistele töödele:

- uuringuobjekti 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.

Uurimistöö lõppraport on sisu järgi jaotatud kahte ossa:

- olemasoleva olukorra kaardistamine;
- kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest.

1.2 Uurimisobjektide valiku alused

Kõnesolevas uuringus valiti enamik uuringuobjektidest Tallinna, Tartu, Pärnu ja Viljandi linnast. Uurimisobjektide valikul konsulteeriti ja kutsuti objekte pakkuma mitmeid teemaga seotud organisatsioone ja ameteid:

- Muinsuskaitseamet (juhtkond, kohalikud inspektorid);
- • Kultuuriväärtuste Ametid või vastava kohaliku omavalitsuse kultuuriväärtustega tegelevad ametnikud (Tallinn, Tartu, Viljandi, Pärnu);
- Säästva Renoveerimise Infokeskus (Tallinn, Tartu, Paide, Viljandi);
- Eesti Korteriühistute Liit (Tallinn, Tartu, Pärnu, Viljandi).

Tallinna Kultuuriväärtuste ameti spetsialistid klassifitseerivad Tallinna puitkorterelamuid järgmise jaotuse alusel:

- väga vana puitelamu, varane agulimaja (s.h. vanabalti majad, klassitsistlikud tüüpfassaadid);
- „Lenderi maja“ tüüpi 20 sajandi alguse tööliselamu;
- Terviklikult planeeritud töölisasumi barakkelamu;
- • Suurte korteritega esinduspuumaja, varane periood (historitsism);
- • Suurte korteritega esinduspuumaja, hilisem periood (juugend, ka 1920. aastad);
- • 1920.-30. aastate väikeelamu;
- • „Tallinna maja“ tüüpi 1920-30 a. kivitrepikojaga korterelamu;
- „Tallinna maja“ krohvitud variant;
- Nõmme eramu või korterelamu, varasem periood, ehitatud suvilaks;
- Nõmme eramu või korterelamu uuem periood;
- Nõmme krohvitud funktsionalistlik korterelamu;
- Nõukogudeaegne puitelamu.

Nagu näha, on juba Tallinnas väga mitmeid arhitektuurilt erinevaid puitkorterelamute tüüpe. Lisanduvad erinevused ehituskonstruktsioonide ja piirdetarindite osas. Lisaks Tallinnale on erinevaid puitkorterelamute tüüpe ka teistes linnades. Kui valida igast alajaotusest üks uurimisobjekt, ei teki uurimisobjektide juhusliku valimi korral piisavat esindatust ja üksiku hoone iseärasused hakkaksid liialt mõjutama hinnanguid mainitud hoonetüübi kohta. Seetõttu on valimist jäetud teadlikult välja teatud hoonetüübid (väga vana puitelamu, varane agulimaja, suurte korteritega esinduspuumaja) ning valitud osadest hoonetüüpidest rohkem objekte.

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							
	<1900		1900-1920		>1920		Kokku	
	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid	Elamuid	Kortereid
Tallinn	-	-	5	6	6	10	11	16
Tartu	1	1	5	7	1	1	7	9
Pärnu	2	3	2	3	-	-	4	4
Viljandi	3	4	1	1	3	5	7	10
Kokku	6	6	13	13	10	10	29	41

1.3 Projekti kaasatud linnade puitasumite kujunemine

Tallinna, Tartu, Pärnu ja Viljandi puitasumid annavad meile ülevaatliku pildi puitarhitektuuri mitmekesisusest Eesti linnades. Nende kujunemislugudes on ühisjooni ja erisusi, üldpilt on hoolimata Eesti väiksusest mitmekesine ja selgeid kohalikke eripärasid eviv. Tallinn kui kõige suurem ja „kivisema“ arenguga linn (seda küll ainult Eesti kontekstis) on tänaseni säilinud puitarhitektuuri osas selgelt üheülbalisem kui väiksemad linnad, samas on siingi omad erijooned, mis teistes linnades puuduvad. Puitarhitektuur on Eesti rikkus, mida sageli piisavalt hinnata ja hoida ei osata. Mitmetes linnades on puitasumite terviklikkuse kaitseks moodustatud miljööväärtuslikud hoonestuspiirkonnad, mis pakuvad kohalikule omavalitsusele võimaluse hoida ja säilitada alasid, mis mängivad piirkonna identiteedi ja üldilme seisukohalt olulist rolli. Tuleb aga kohe lisada, et miljööväärtusliku piirkonna staatuse olemasolu ei ole veel iseenesest kvaliteedisertifikaat – nii Tallinnas, Pärnus kui Viljandis on alasid, mis oma arhitektuurse kvaliteedi ja homogeensuse poolest kõhklematult seda väärivad, ometi omavalitsuse poolt sellest ilma on jäetud. Praeguse seisuga on miljööväärtuslik ala eelkõige juriidiline formaat, mis kõneleb omavalitsuse väärtushinnangutest ja võimekusest, mitte niivõrd konkreetse linna arhitektuursetest väärtustest.

1.3.1 Viljandi

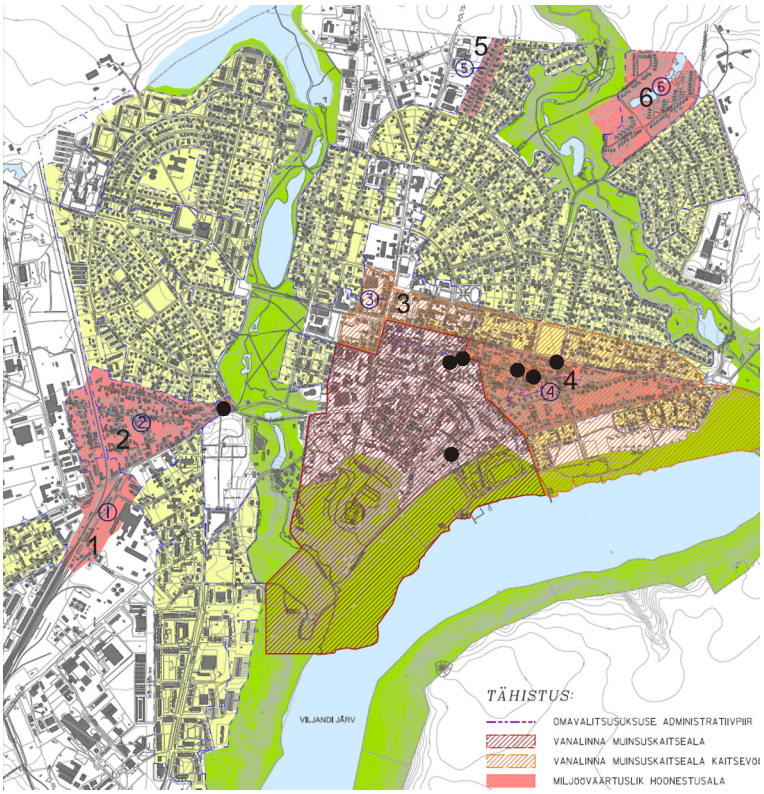
Viljandi linna algust võib hakata lugema keskajast, kui 1224. aastal alustati ordulossi ehitamisega. Juba 1283. aastal hakkas linnas kehtima Hamburgi linnaõigus. Müüriga ümbritsetud linna oluliseks sissetulekuallikaks oli transiitkaubandus. Linnakodanike arv oli 1500 ringis, sama palju inimesi elas ka väljaspool linnamüüri paiknevates lihtsates puust agulites. Sissetulekud saadi põllumajandusest, käsitööst ja linnaelanike teenijatena.

Liivi sõda mõjus linnale laastavalt ja tõi kaasa venelaste kätte langemise 1560. aastal. 1582 tõi vaherahu tulemusena uuteks peremeesteks poolakad. 1600. aastal alanud Poola ja Rootsi vaheline võitlus Venemaa pärast tähendas, et linn käis seitse korda käest kätte ja sõja lõppedes oli kunagisest õitsvast linnast jäänud vaid varemed. 1629. aastal saabunud rahu kehtestas rootslaste ülemvõimu. Õitsva kaubalinna asemel oli aga tegemist käsitööliste külaga (1682. aastal loeti 55 perekonda ja 43 elamut), kes oma sissetuleku said ümberkaudsetest mõisatest. Kogu tegevust kontrollis Jacob de la Gardie´le kuuluv Viljandi mõis, mis arengut linnana pigem pärssis kui soodustas. Järgnenud Põhjasõda tähendas taas mitut rüüstamislainet ja põletamist. 1710. aastal, kui linn lõplikult Vene vägede kätte langes, oli sõja, katku ja nälja tõttu linn elanikest tühi.

Kuna jätkus sõltuvus mõisast, puudusid ka tingimused arenguks. Oma madalate õlgkatusega puitelamute ja kitsaste tänavatega meenutas see pigem küla. Ja kuigi pidevalt õigusi kärbiti, hakkas elanike arv vähehaaval kasvama, ehitati uusi elamuid ja paranes ka heakord. 1765. ja 1770. aasta suured tulekahjud tähendasid rangemaid nõudeid ehituses ja heakorras – hoonetel pidi olema korsten ja kivikatused, samuti muutus aktuaalseks tänavate sillutamine. 1783 taastati Viljandi linnaõigus. Kreisilinna asukad olid valdavalt baltisakslased, eestlaste osakaal hakkas jõudsalt kasvama pärast pärisorjuse kaotamist. Viljandi linnasüdames leiame rohkelt väärikas vanuses puitarhitektuuri – traditsioonilisi vanabalti tüüpi ristkülikulise põhiplaani ja kõrge kelpkatusega hooneid. Nii mõnelegi neist lisandus moe muutudes ka klassitsistlikke detaile – sammastega portikus, hammaskarniisd vms. 19. sajandi lõpuks oli Viljandi oma elanike arvult tõusnud Eestis 6. kohale. Väljaspool linnapiire paiknesid agulid (Kantreküla, Kivistiku ja Ridaküla), kus elasid peamiselt eestlased. 20. sajandi saabumine tõi Viljandisse mitmed moodsa aja ilmingud – elektri ja raudtee.

Uus Eesti vabariik tähendas linna territooriumi kasvu eespool mainitud eeslinnade jt alade näol. Kokku lisandus 914 hektarit. See tõi kaasa aktiivse elamuehituse, lisandus enam kui 500 elamut, tänavatevõrk viiekordistus. Aktiivsem elamuehitus (ja ühtlasi ka puitarhitektuuri paremik) koondus Uueveskile ja Paalalinna. Kasvasid ka ambitsioonid suvituslinnaks – järve äärde rajati paadisadam, ujumisbassein ja rannakohvik. Maaliline järve suunas langev maastik ahvatles paljusid jõukal järjel linnakodanikke rajama Trepimäe kanti suurejoonelisi villasid. Selle kõrval leidus linnas ka arvukalt piirkondi lihtsamate üürielamutega.

Viljandi miljööväärtuslikud piirkonnad, peamised suurimad puitasumid ja uurimisobjektide asukohad vt. Joonis 1.1.



1 Vaksali

2 Kantreküla

3 Tallinna mnt. Ridala

4 Tartu-Jakobsoni

5 Lina

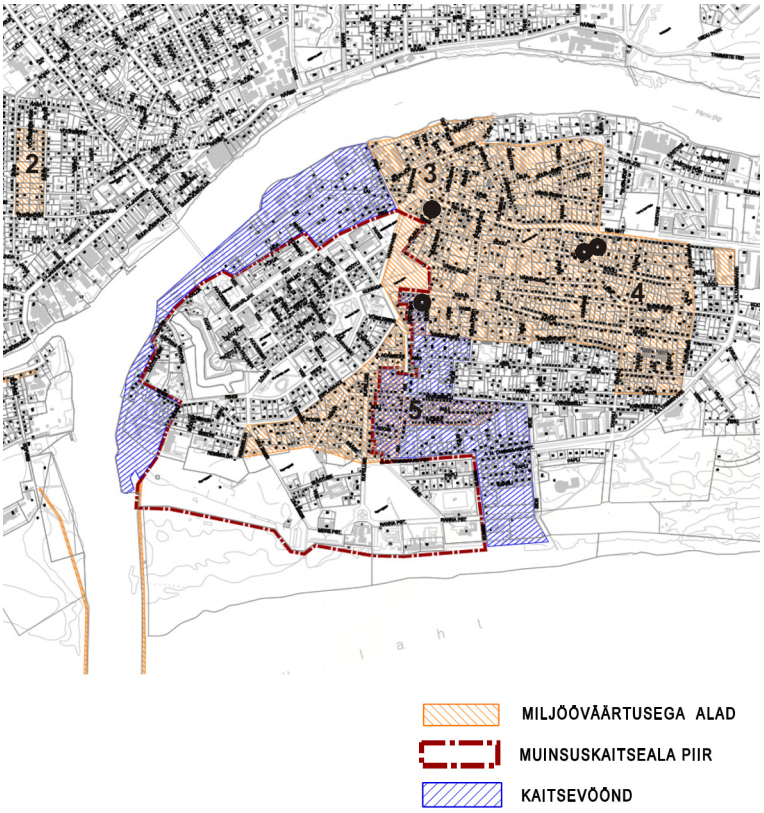
6 Uus-Peetrimõisa

● Uurimisobjekti asukoht

Joonis 1.1 Miljööväärtuslikud piirkonnad, peamised suurimad puitasumid ja uurimisobjektide asukohad Viljandis (vt. täpsemalt http://www.viljandi.ee/yldplaneering/viljandi/kaust%20i%20-%20pohilahenduse%20joonised/4_miljooalad.pdf).

1.3.2 Pärnu

Pärnu pakub esinduslikku läbilõiget viimase kolmesaja aasta puitarhitektuurist. Valdav enamus Pärnu varasemast puithoonestusest on pärit siiski Põhjasõja (1700-1721) järgsest perioodist, mil seoses Peterburi linna ehitamisega oli teistes Vene Impeeriumi linnades keelatud kivist elamute püstitamine. Nii ehitati kuni 1749. aastani puidust ka jõukamate linnakodanike esinduslikud elamud linnakindlustustest sissepoole jäävatel aladel. Samast perioodist pärinevad ka Pärnu vanimad majad väljaspool linnamüüri. Kuigi eeslinnad hakkasid Riia suunas kasvama juba keskajal, on meie päevini jõudnud vanimad hooned siiski 18. sajandi II poolest. Pärnu üheks eripäraks võibki pidada suhteliselt ühtlast ekspansiivset laienemist, mis tähendab, et veel tänagi katavad märkimisväärse osa linna territooriumist puitasumid, vt. Joonis 1.2.



1 Haapsalu mnt äärsed kinnistud Mõrra ja Emajõe tn vahelises lõigus;

2 Jaani - Voorimehe - Kadri - Uus-Sauga tänavate vaheline kvartal;

3 Vanapargi tn - Vingi tn - Pärnu jõe parem kallas - IV Jõe tn - Suur-Jõe tn - Liiva tn - Riia mnt - Karjamaa tn - Pardi tn - Kanali tn - Väike-Posti tn - Aia tn - A. H. Tammsaare pst - Remmelga tn - Esplanaadi tn vaheline territoorium;

4 Riia mnt - A.H.Tammsaare pst - Kooli tn - Heina tn vaheline piirkond;

5 Aia tn - Karusselli tn - Auli tn - Kajaka tn vaheline ala;

6 Riia mnt äärsed kinnistud Raja ja Lennuki tn vahelises lõigus;

7 Pärnu muulid.

● Uurimisobjekti asukoht

Joonis 1.2 Miljööväärtuslikud piirkonnad, peamised suurimad puitasumid ja uurimisobjektide asukohad Pärnus (vt. täpsemalt http://www.parnu.ee/fileadmin/user_upload/muinsuskaitse/miljoovaartusega_alade_kaart.pdf).

1.3.2.1 Riia maantee eeslinn

On arvatud, et juba keskajal paiknesid piki jõekallast linnakalurite puust hooned, mis oma tüübilt sarnanesid lihtsate taluelamutega. Riia mnt. ja Karja tänava (seda mööda liikus linlaste kari mereäärsetele karjamaadele) vahel asetsesid linlaste aiamaad. 18. sajandil tekkis Pärnu mereäärsele karjamaale uus eeslinn, ametliku nimega Morskoje, mida rahvasuus slobodaa'ks kutsuti. Valitsus soodustas sõjaväelaste perekondade ja errulastud sõjaväelaste siia asumist, et edendada pisutki venekeelsete linnaelanike arvu kasvu. Praeguse Aisa, Karuselli, Auli ja Kajaka tänavate kandis kujunes väikeste puust elamutega tihedasti asutatud piirkond. Varasema eeslinnahoonestuse kohta on vähe andmeid, kuid analoogiate põhjal võib oletada, et tegemist oli küllalt arhailist tüüpi lihtsate palkehitistega, mis siiski erinevalt talurahvaelamutest olid varustatud (mantel)korstna ja klaasitud akendega. Pilt muutus linlikumaks alles 19. sajandil, kui hooned said laudvoodri ja seni rooga kaetud katused asendati esialgu laudadest, hiljem laastu- ja sindlikatustega. Puitkatuste kõrval kogusid populaarsust ka põletatud katusekivid. Piirkonnast leiab ka

üksikuid efektseid tüüpfassaadide rakendusi 19. sajandist, kuid olulise osa hoonestusest moodustavad siiski 19. sajandi lõpu ja 20. sajandi alguse elamud, mis oma ideoloogialt jätkavad tüüpfassaadidega sissejuurdunud traditsioone. Veel enne I maailmasõda kerkivad piirkonda ka üksikud kahekorruselised korterelamud, mis jäävad siiski suhteliselt marginaalseks ja piirkonna üldilme jääb 1-1,5-korruseliseks. Ala hoonestati suhteliselt tihedalt juba enne I maailmasõda, ja nii jäävad Eesti Vabariigi ajal püstitatud hooned seal pigem üksikuteks eranditeks. Stiilipuhast funktsionalismi siinsete elamute hulgas eriti ei leia, küll aga mõned näited 1930. aastate teisel poolel Pärnus populaarseks muutunud „kikkis“ katusega elamutest, mida rannapiirkonnas tervete kvartalite kaupa kerkimas näeb. Siit leiame ka hästi säilinud näited nõukogude perioodi puithoonestusest – väikesed stalinistlikud korterelamud sulanduvad oma traditsiooniliste rõhtlaudadest fassaadidega suhteliselt valutult väljakujunenud miljöösse.

1.3.2.2 Rannarajoon

Kui aastal 1834 kustutati Pärnu kindluslinnade nimekirjast, sai võimalikuks linna areng väljapoole kindlustuste vööndit. Endistele militaarobjektidele anti äriline sisu ja juba 1830. aastatel alustas ühe mereäärse rannakaitsepatarei asukohas tegutsemist kõrts. Selleni viis pikk sirge ilmselt militaarvajaduste tarbeks ehitatud tee, mida täna tuntakse Supeluse tänavana. 1837. aastal esitati Pärnu magistraadile avaldus kõrtsi ümberehitamiseks supelasutuseks. Suvel sooje mereveevanne pakkuv ja talviti saunana töötanud asutus avati 1838 ja oli mõeldud eelkõige kohaliku elanikkonna jaoks. Seda aastat loetakse Pärnu kuurordi alguseks. Vaikselt hakkas tekkima ka hoonestus Supeluse tänava kanti. Vanim terviklikult säilinud hoonetekogum on nn Kartoffelplatzi ümbrus (täna Roosi tänava pikendus Supeluse ja Aia tänava vahel), kus on mitmed 18. sajandi keskele dateeritavad hooned. Suhteliselt stiihiline tegevus sai uue hoo 1890. aastatel, kui halvenenud kaubandusoludest tingituna võttis linnavalitsus suuna kuurordi arendamisele. Riia avalike aedade direktorina töötanud Georg Kuphaltilt telliti kuurordipiirkonna arendamise projekt. 1888–1889 valmis ulatuslik planeering, millega määrati kindlaks parkide, alleede, spordiplatside ja mänguväljakute asukoht, samuti pansionite ning villade krundid ja hoonestustingimused. Oluliseks probleemiks kujunes kuurordikülastajate majutusküsimus ja nii asus linn hoogsalt reguleerima tubade väljaüürimist. Et olukorda pisutki leevendada, anti soovijatele sümboolse hinna eest rendile krundid Lehe–Tammsaare–Kuuse tänava vahelisel alal kohustusega ehitada sinna eesaedadega villad, kus on vähemalt neli üürituba suvitajatele.

Esimeses maailmasõjas sai kogu kuurordipiirkond tublisti kannatada, hävis ka mudaravila. Sellest hoolimata kasvas kogu kuurordi- ja suvituselu populaarsus ja koos sellega aktiveerus ka elamuehitus. 1930. aastatel hoonestati Papli ja Kaarli tänava vaheline ala, kerkis mitmeid suurjoonelisi villasid (Tammsaare 1A, Supeluse 26 jne), mis kohati asendasid varasema hoonestuse. Nõukogude perioodi lausnatsionaliseerimine viis suure osa hooneid sanatooriumide käsutusse. Rannaparki kerkis terve rida uusi sanatooriumihooneid, üks mastaapsem kui teine.

Kui rannarajoonis leiame puutepunkte ka tagasihoidlikuma agulitüüpi hoonestusega, siis selle piirkonna olulisimaks panuseks puitarhitektuuripärandisse on suvitusvillad ja pansionaadid. Rohkete puitpitside ja elavalt liigendatud katusemaastikuga villad olid piirkonna peamised miljöökujundajad. Kahjuks on aeg nende vastu halastamatu olnud ja suurem osa sellest hiilgusest vaadeldav vaid arhiivifotodelt. Seda enam tuleb hinnata entusiaste, kes nii mõnelegi hoonele tükikese endisest edevusest tagasi on andnud.

1.3.2.3 Ülejõe ja Rääma

Kuni 20. sajandi alguseni arenes linn peamiselt Riia suunal, alles pärast esimese silla valmimist (1904) elavnes äri- ja elutegevus ka jõe paremkaldal. 1867. aastal jagati Ülejõe kalameesteküla maad 73 rendikrundiks, millest 38 läksid küll põlisperedele, 35 aga enampakkumisele. Põlispered asustati enamikus ümber praeguse Mihkli tänava ümbrusse. Sellest hakkaski kujunema Ülejõe eeslinn. Piirkonna peateljena toimis kaua

Tallinna postmaantee (tänane Jannseni tänav). Alles pärast esimese silla valmimist üle Pärnu jõe 1904. aastal kandus liiklus üle Jänesselja maanteele (tänane Tallinna mnt).

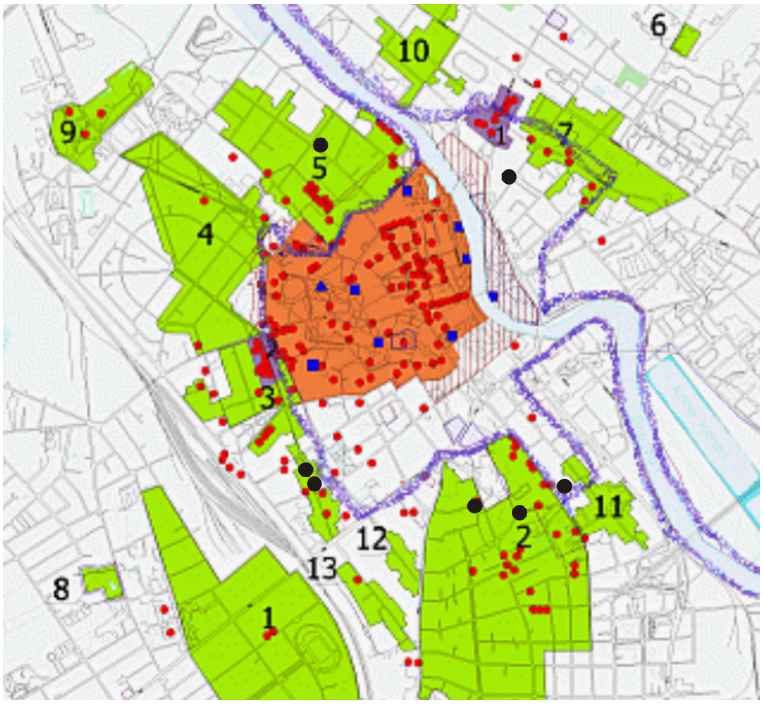
Asustus kujuneski välja eelkõige piki neid kahte maanteed. Enne I maailmasõda koondus hoonestus paari kvartali laiuselt just nende kahe tee äärde. Tänaseni on piirkonnas arvukalt miniatuursete elamutega idüllilist äärelinna meeleolu pakkuvaid tänavaid, kus väikeste elamute vahelt aeg-ajalt kadakasakslikult edevad (Lubja 35 nt) või ootamatult väljapeetud hooned (nt. Uus-Sauga 4) esile kerkivad. Ka Rääma piirkonnas hoonestati enne I MS põhiliselt Tallinna maantee äärsed ja jõe lähedased alad. 20. sajandi teisest kümnendist pärineval Pärnu linna plaanil on maha märgitud hulk regulaarseid kvartaliteid koos tänavavõrgustikuga, reaalne ehitustegevus (sh tänavad) aga Rääma ojast kaugemale ei ulatanud, v.a jõeäärne ala, kuhu rajati osa praegusest Rääma (tollal Ravassaare) tänavast. 20. sajandi alguse Räämat on pikemalt kirjeldanud Elss Järvi oma mälestusteraamatus: „Räämal elasid töölised, kes endale liivaluidete vahele väikesed majauberikud olid soetanud. Enamasti kaks tuba ja köök, loomalaut kõrval. Peeti lehma, lammast ja siga. Ei seal kasvanud muud kui orasrohi ja nõgesed. Ei saanud aru, kus oli tänav ja kas tänavat üldse oligi".

Aktiivsem ehitustegevus läks lahti pärast I maailmasõda, kui Rääma vald liideti Pärnu linnaga (1921) ja piirkonda hakati rajama väikeelamuid. Ka vabariigi perioodil jäi piirkond valdavalt töölislinnaosaks, tööstuse koondumine Pärnu jõe äärsele alale soosis seda igati. Teatud mõttes jätkus sama liin ka nõukogude perioodil.

Pärnu eripäraks Eesti puitelamute kontekstis on ühelt poolt selle massilisus, aga ka ajaline ja tüpoloogiline mitmekesisus, lisaks selgelt vaatamisväärsuse potentsiaali omav võimalus sõita läbi linna, olles kümnete kilomeetrite kaupa palistatud just puidust korterelamutest.

1.3.3 Tartu

Tartu puitelamute pärand on ajalises mõttes ehk pisut kompaktsemgi. Kuigi ka siin ulatuvad vanimad puitelamud vanalinna territooriumil juurtega barokkperioodi, on Tartu tuntud ikkagi klassitsistliku pärandi ja rohke aguliarhitektuuri poolest. Kuigi puitelamuid leiab pea kõigist Tartu piirkondadest (Joonis 1.3), saab neist esindusliku ülevaate piirdudes kolme järgnevaga: Toometaguse, Supilinna, Karlova.



Joonis 1.3 Miljööväärtuslikud piirkonnad, peamised suurimad puitasumid ja uurimisobjektide asukohad Tartus (http://www.tartu.ee/?lang_id=1&menu_id=0&page_id=3592).

1.3.3.1 Toometagune

Toometagusena on tuntud ala Toomemäe ja raudtee vahel. Piirkonna teadlik hoonestamine algas pärast ülikooli taasavamist 1802. aastal, kui vahepeal jäätmaaks muutunud Toomemäele püstitati esimesed õppehooned ja rajati park. Kuni raudtee avamiseni 1876. aastal ehitati siiski hooneid küllalt stiihiliselt ja hõredalt. 1885. aastal kinnitatud linnaplaani kohaselt nähti aga Toomemäe ja vaksali vahelist ala aktiivse arengupiirkonnana. Jaamahoone juurde rajati lai diagonaalne puiestee Kuperjanovi tänava jätkuna. Nähti ette hoonestada Veski ja Vallikraavi tänavate piirkond. Ala kujunes eriti just oma linnapoolsemas osas n.ö harituma rahva elupaigaks. Ülikooli õppejõud, ametnikud, üliõpilased ja teenistujad tähendasid ka suhteliselt siivsat hoonestust, viisakat ehituskvaliteeti ja elamuid, millel lisaks seintele ja katusele ka tibake arhitektuuri leidus. Tartu lõikes leiab sealt kindlasti eelmise sajandivahetuse puitarhitektuuri paremiku. Siiski leidub piirkonna raudteejaamapoolses osas ka lihtrahvale mõeldud tagasihoidlikumaid üürielamuid.

Puidust linnaosadele on iseloomulik pigem küllalt ühtlane arhitektuurne tase, kus esindatud küll erinevad ajastud, stiilid ja esinduslikkus, puudub aga üks dominantne hoone või ansambel. Kuigi Toometagusel on põnevat puitarhitektuuri rohkelt, eristub selgelt ansambel Kastani tänav 23-29. Hilisjuugendlik hoone koos ohtra historitsistliku dekoori, neorenessanslike teemantlõikes nurgakvaadritega meenutab oma mõõdutundetuses Peterburi kaupmeeste suvevillasid Narva-Jõesuus. Ansambel, mis valmides ei andnud sugugi tunnistust heast maitsest, on täna unikaalne arhitektuurne objekt just oma eripärase dekoori ja ebahariliku hoovihoonestusega.

Arhitektuuriajaloos silmapaistvaid hooneid leidub aga teisigi. Olgu siis klassitsistlik Karl Ernst von Baeri elamuna tuntud hoone Veski tänaval, Kassitoome nõlval, mille poolkorrusena vormistatud madalate akendega teine korrus (nn. trempel- , ka nivendisein) on meie arhitektuuripildis haruldane (Põhjamaades seevastu väga levinud).

1.3.3.2 Supilinn

Kaua aega lõppes Tartu linn praeguse Botaanikaaia kandis, sealt edasi laius märg Emajõe luht ja ligipääsmatu soo. Kui Emajõe veeseis alanes ja igakevadised üleujutused lakkasid, võeti piirkond kasutusele juurviljaaedade tarvis. Maa oli madal ja odav, muld aga viljakas ja köögiviljade kasvatuseks sobilik. 19. sajandil hakati siia vähehaaval ka madalaid puitelamuid ehitama ja tekkisid esimesed tänavad. Kuni II maailmasõjani pidevalt tihenenud hoonestus koondus eelkõige tänavate äärde, kvartalite sees säilisid suured aiamaad. Nõukogude ajal muutus hoonestus põlengute läbi suhteliselt hõredamaks, hakates taas tihenema uute elamutega alles viimasel kümnendil.

Olles läbi aegade vastanud kõige paremini inimeste ettekujutusele vaesest agulist (vt. kas või Johannes Pääsukese kuulsad agulivaated 20. sajandi algusest), on seda hõngu seal veel tänagi. Kuid selle kõrval on mitmeid huvitavaid mentaalseid kihistusi: boheemlaslik tudengielu, kunstnikud ja muusikud, kes põlgavad väikekodanlikke raame, vaba vaim, mis loob ja lehvitab jne.

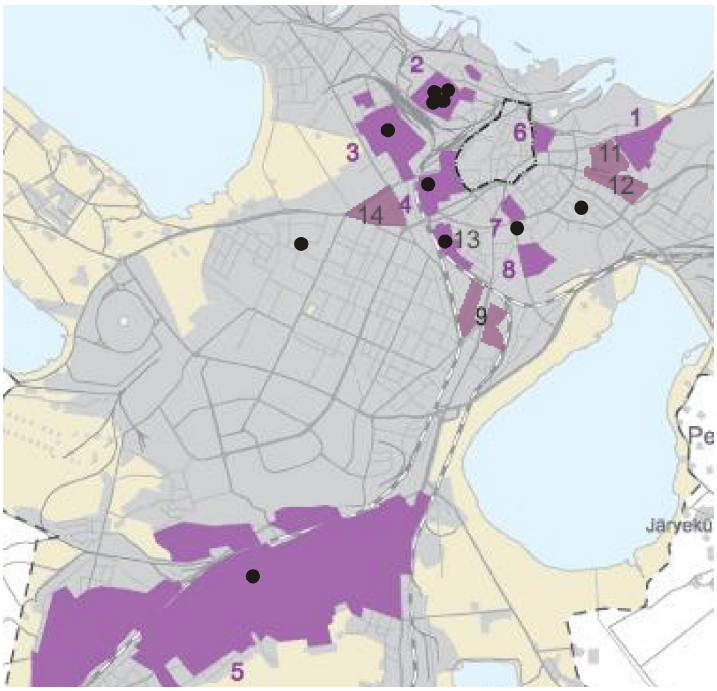
Supilinna puitelamud on sama mitmekesised kui inimesed nende sees või hoiakud selle linnaosa suhtes väljaspool seda. Piirkonnast leiab mõned tüüpfassaadide ajastu näited – tõsi küll, kõige väiksemad ja tagasihoidlikumad n.ö. kolmandasse linnaossa mõeldud lahendused. Lihtsaid tagasihoidlikke kööktubadega elamuid, mille arhailised sisedetailid, viltused trepid ja olematu elamismugavus 21. sajandil tõsist jahmatust tekitab. Historitsistlikku dekooriga üürielamuid, Šveitsi stiilis nikerdustega verandadega väikeelamuid. Jõe ääres paikneval Emajõe tänaval üllatavad esinduslikud suurte korteritega elamud, mis pisut jõukamale rahvale mõeldud. Emajõe-äärne soine pinnas on hoonetele huvitavaid deformatsioone tekitanud – nii viltuseid, lainetavate katustega või silmini maasse vajunud hooneid mujal naljalt ei kohta. Supilinn on keskkond, mis on ainulaadne, natuke hull ja nihkes, aga seda äärmiselt sümpaatsel moel.

1.3.3.3 Karlova

Karlova linnaosa oli 1916. aastani väljaspool Tartu linna piire. Ajaloolistele Karlova mõisa maadele kerkis terve suur linnaosa tänu mõisaomanike huvile müüa oma maad ehituskruntideks. Need tehingud võimaldasid maast sootuks suuremat tulu saada kui traditsioonilise põllumajandusega. Samas olid hinnad oluliselt odavamad kui naabruses, linna territooriumil. Ka ei soositud linnas eestlaste kinnisvara omandamist, sest teatavasti moodustus valijaskond just omanikest. See tähendas, et 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi alguses kasvas siinne hoonestus plahvatusliku kiirusega, omanikeks peamiselt eestlased. Kuigi vähesel määral oli piirkonda elamuid varemgi kerkinud. Kuna alad jäid linna piiridest välja, ei kehtinud siin linna ehituseeskirjad. Paraku tähendas see sageli ka mööndusi ehituskvaliteedis ja tõi kaasa odavatest ja ebakvaliteetsetest ehitusmaterjalidest rajatud vaesemale rahvale mõeldud üürielamuid. Just see asjaolu andis jõukamatele linnakodanikele ülbuse kutsuda Karlova elurajooni Pilpakülaks. Otsekui vastulöögiks pandi asumi tänavatele eriliselt helged ja tulevikku suunatud nimed (Õnne, Lootuse, Vabaduse, Päeva jne). Lihtsate väikekorteritega elamute kõrval on ka õige esinduslikke ja ruumikate korteritega hooneid. Eraldi tähelepanu väärib Karlova puitelamute dekoori programm. On lahendusi, millele analooge ei leia tervest Eestist. Eripärased lahendused hakkavad silma ka lihtsate tööliselamute puhul. Vaadeldes samasse kümnendisse kuuluvaid ja sama majanduslikku taset esindavaid üürielamuid näiteks Tallinnas ja Tartus, ei ole erinevused vaid detailides. Tihti hõlmavad need tervet elufilosoofiat, abiruumide olemasolu ja paigutust, aia- ja hoovikasutust. Karlovas on säilinud küllalt ka huvitavaid kõrvalhooneid. Ühelt poolt selgelt taluarhitektuurist lähtuvad palkhooned, mille konstruktsioon ja kujundus viitavad üheselt omaniku talupoeglikele juurtele ning harjumusele teha nii nagu alati, sõltumata keskkonna muutumisest. Teisalt aga Tartule omased kahekorruselised kuurid. Karlova kulges läbi nõukogude perioodi suhteliselt valutult – kui välja arvata mõned kohatult kogukad korterelamud Tähe tänava ääres ja valutult konteksti sulanduvad eramud, on siinne tänavamiljöö üsna puutumatu. Hinnata tuleb ka arhailisi munakivisillutisega tänavaid.

1.3.4 Tallinn

Tallinnas on puidust korterelamute pärand hoopis üheülbalisem, ulatudes ometi paljudesse asumitesse, .vt. Joonis 1.4. Neist suuremad ja värvikamad on siin esindatud.



1 Kadriorg
2 Kalamaja
3 Pelgulinn
4 Kassisaba
5 Nõmme
6 Rotermanni
7 Süda-Tatari
8 Veerenni-Herne-Magasini
9 Kitseküla (Tallinn-Väike)
10 Laevastiku
11 Raua
12 Torupilli
13 Uue Maailma
14 Lille
● Uurimisobjekti asukoht

Joonis 1.4 Miljööväärtuslikud piirkonnad, peamised suurimad puitasumid ja uurimisobjektide asukohad Tallinnas (http://www.tallinn.ee/Miljoovaartuslikud-piirkonnad-Tallinnas).

1.3.4.1 Kassisaba ja Uus Maailm

Tallinna vanimate eeslinnade hulka kuuluva Kassisaba arengulugu on seotud kunagise Toompea eeslinnaga. Tõenäoliselt tekkis piirkonna vanim hoonestus praeguse Paldiski maantee äärde. 17.-18. sajandil muldvallide nurgakohtadesse ehitatud kõrgemad tugipunktid kantsid nimetust „Katze“ (kass), vanematel linnaplaanidel on mõnda aega ka Paldiski maanteed Kassisabaks nimetatud. Kõige väärtuslikumaks võib Kassisabas pidada ajaloolist tänavavõrku ja krundistruktuuri, mis kujunes välja 19. sajandiks. Läbi mitme sajandi ulatuv ajalugu tähendab muuhulgas, et mitmel pool on juba mitmes hoonestuskihistus ja üldpilt suhteliselt kirjum kui nt suhteliselt lühikese aja jooksul rajatud Pelgulinnas. Kassisaba vanim hoonestuskihistus, laia rõhtlaudisega ühekorruselised puitelamud on pärit 19. sajandi lõpust. Kuigi ka siin on rohkelt eelmisele sajandivahetusele iseloomulikke nn. Lenderi maju (nimetus insener Lenderi järgi), on siin ka mitmeid teisi hoonetüüpe. Eesti Vabariigi aegsed kivitrepikojaga hooned paiknevad suhteliselt juhuslikult, moodustades tervikliku kogumi vaid Kapi tänaval. Teistest puitasumitest suhteliselt rohkem on siin nõukogudeaegseid ebamastaapseid uusehitisi. Kui I maailmasõjani hoonestatud ala ulatus üle Endla tänava vaid õige pisut Koidu tänava osas, kujunes iseseisvuse ajal aga Pärnu mnt hoonestuse ja Suur-Ameerika tänava ja raudtee vahelistele heinamaadele terve uus valdavalt kivitrepikojaga korterelamutest koosnev asum – Uus Maailm, mille nimi tulenes piirkonnas paiknevatest Suur-, Väike- ja Kesk-Ameerika tänavatest.

1.3.4.2 Kadriorg

Kadriorg on Tallinna puitrajoonidest eripalgelisim. Ühelt poolt tingib tema väärikas ajalugu arvukate kihistuste olemasolu, teisalt on aga läbitud ajalooetapid suurejoonelisemad kui üheski teises puitasumis. Kuigi Kadriorus leidub vähesel määral ka kivihoonestust, on selle peamiseks tunnusmärgiks siiski puitarhitektuur.

Kadrioru algust võib lugeda 17. sajandi keskpaigast, kui uute muldkindlustuste rajamine Tallinna keskaegse linnasüdame ümber tingis vajaduse kompenseerida kindlustuste alla jäänud aedade ja suvemajade omanike kahjud. Täna Kadrioruna tuntud ala oli siis väheviljakas rohkete rändrahnudega liivarand, mis oli jõudnud osaliselt kattuda huumuse ja taimestikuga. Maa pool leidus ka niiskeid heinamaid ja puudesalusid. Kompensatsiooniks saadud maavaldustesse rajati mitmeid suvemõisaid. Põhjasõja ajal jäid need hooletusse ja lagunesid.

Uue hingamise andis Kadriorule Peeter I. Esmalt elamu ehitamine 1714. aastal ning seejärel lossi ja pargi rajamine. Lisaks lossiansamblile rajati praeguse Poska tänava piirkonda lossiteenijate ja ehitajate elamuid. Selle hooneterühma riismeid Poska tänaval nimetatakse tänaseni Kadrioru slobodaaks. Need väikesed ühe-kahekorruselised elamud moodustavad täna Kadrioru hoonestuse vanima (alates 18. sajandist) ja ühe ajalooliselt väärtuslikuma osa. Linnaosa edasist arengut mõjutas kõige rohkem supelasutuste rajamine. 19. sajandi algusest alates muutus Kadriorg Tallinna elanikele ja arvukatele kuurordikülalistele armastatud suvitus- ja jalutuspaigaks. Kuurordipiirkonnale omaselt ehitati siia mitmeid suvemõisaid, supelasutusi, restorane ja villasid. Kuurordiarhitektuur, mis on puitarhitektuuri efektseim ilming, on Kadrioru puhul veel vaevu loetav. Vaid üksikud hooned, mille seost kuurordiga palja silmaga vaadates ei pruugi näha. Alles lisainformatsiooni olemasolu võimaldab teatud äratundmist. Koos 20. sajandi saabumisega said mööda ka kuurordi hiilgeajad, sest linna industrialiseerimine ja elanikkonna kasv tõid kaasa Härjapea jõe ja Tallinna lahe sellise reostatuse, et linna sanitaarteenistus soovitas supelranna viia üle Piritale. Identiteedimuutus tõi 1910. – 1920. aastatel kaasa ka uut tüüpi hoonestuse – hakati ehitama suuremaid üürielamuid, mille paigutustihedus erines senisest villa tüüpi hoonestusest. Sellised elamud on näiteks Köleri tänava alguses. Kuigi fassaadidelt ja konstruktsioonidelt sarnased Kalamajas, Pelgulinnas jm. Tallinnas levinud Lenderi majale, sisaldavad need siiski 3 – 5-toalisi suhteliselt ruumikaid kortereid, samas kui Kalamaja ja Pelgulinna analoogid koosnesid valdavalt kööktubadest. 1930. aastatest pärinevad aga funktsionalistlikud ning *art deco* sugemetega korterelamud ning villad Koidula tänaval ning Narva maanteel.

1.3.4.3 Kalamaja

Kalamaja puhul on tegemist Tallinna vanima eeslinnaga, mille sajanditepikkust arengut on võimalik küllaltki suure täpsusega veel tänagi jälgida. Seda nii arhiiviandmete kui ka ehitatud keskkonna näol. On arvatud, et Kalamaja vanimates osades on tegemist isegi kaheksanda põlvkonna hoonestusega.

Esimesed kirjalikud andmed Kalamajast pärinevad 14. sajandi teisest poolest, võib aga oletada, et asustus oli seal juba märksa varem. Enamik uurijaid on veendunud, et rannaäärsed alad olid peatuspaigaks ümberkaudsete külade kalameestele juba muinasajal. Sadama lähedus muutis paiga külgetõmbavaks ka keskajal. Teada on, et 1527. aastal oli seal 78 iseseisvat majapidamist. Keskajal elasid linnaosas mündrikud, kalurid, kalakaupmehed. 18. sajandi alguse kaartidelt on näha, et asustust leidub pea kogu Kalamaja ulatuses. Tänapäeva mõistes linlikku ehk tiheasustust, kohtame aga eelkõige mereäärsetel Suur- ja Väike-Patarei tänavatel.

Erilise hoo sai Kalamaja areng 19. sajandi lõpul, kui koos raudtee rajamisega kerkisid piirkonda mitmed tehased. See tähendas linnaelanike arvu kasvu eelkõige tööliste arvelt, kes kõik peavarju vajasid ja lihtsate, odavate üürielamute võidukäik võis alata.

Kalamaja praegune hoonestus pakub läbilõike piirkonna viimaste sajandite ajaloost. Tänavad, mis paistavad silma pikema ajalooga, pakuvad täna üsna ebaühtlast pilti, kus eakate hütikeste kõrval kõrguvad tsaariaegne punastest tellistest kasarmu, üksildane soliidne kivihoone eelmise vabariigi perioodist ja nõukogudeaegse täiendusena ebamastaapsed tüüpelamud. Märksa ühtlasema arhitektuuripildiga paistavad silma 20. sajandi alguses hoonestatud lihtsate kööktubadega kahekorruseliste üürielamute (nn Lenderi majad) piirkonnad. Kõige terviklikum ansambel kujunes endisele Lausmanni heinamaale (praegu Salme kultuurikeskuse ümbrus), kuhu 1930. aastatel kerkisid juba märksa paremat elamiskvaliteeti pakkuvad kivitrepikojaga üürielamud. Vastavalt A. Soansi ja E. Habermanni planeeringule jäeti kvartali keskosa tühjaks kogu asumi tarbeks mõeldud haljasala jaoks. Nõukogude periood lisas sinna Kalamaja mõistes hiigelehitise täna Salme kultuurikeskusena tuntud hoone näol.

1.3.4.4 Pelgulinn

Pelgulinna rabade ja liivaküngaste vahele kerkisid esimesed hooned tõenäoliselt juba 18. sajandil, linnaosa tekkest ja arengust saame aga rääkida alates 1870. aastatest, kui Tallinn – Peterburi raudtee valmimine tõi kaasa linna elanikkonna kiire kasvu – Pelgulinn paiknes meeldivalt lähedal paljudele vabrikutele ja raudteega seotud ettevõtetele. Esmalt Telliskivi, Härjapea, Heina ja Õle tänavatele kerkinud üksikud hooned panid aluse tihedalt hoonestatud piirkonnale, mis I maailmasõja alguseks ulatus Roo ja Kolde tänavateni. Valdavalt tagasihoidlike Lenderi tüüpi üürielamutega hoonestatud piirkond on üks homogeensemaid Tallinna puitasumite hulgas. Iseseisvuse ajal toimus teine aktiivne laienemisprotsess, kui seni hoonestatud ala ümber kerkisid tänu soodsale ehituslaenule kvaliteetsed elamud. Neist tuntuimad on euroopa edumeelsemaid elamutüüpe peegeldav „Oma Kolle“, aga ka linnateenistujate elamud Maisi tänaval. Lisaks kerkisid terved piirkonnad ka kivitrepikojaga elamutega ja paariselamutega. Nõukogude aja saabumine tekitas kolmanda kihistuse ümber senise hoonestusala – väikesed stalinistlikud elamud liituvad Pelgulinna varasema hoonestusega suhteliselt orgaaniliselt.

Puitasumite miljöö ja elamisväärtus on aasta-aastalt üha enam hinda läinud ja nii on nendes paiknevate puitkorterelamute kaasajastamine üha aktuaalsem. Oluline on teha seda nii, et hoone uus kuub piirkonna väärtustele kaasa mängiks ja lisa annaks, hoone väärtuste tajumine, professionaalsed lahendused ja kvaliteetne töö on selle eelduseks. Kuigi uued majad pakuvad sageli rafineeritumat elukvaliteeti saab selliste piirkondade õige tunde kätte ikka ajaloolises hoones elades.

1.4 Puidust korterelamud Eesti linnades. Arengulugu ja põhitüübid

Vanadel majadel, olgu nad puust või kivist, on alati mingi eriline emotsionaalne tähendusrikkus, mille annavad neile talletunud aja jäljed. Need meenutavad kõiki inimesi ja elatud elusid, mis selle majaga seotud on, kõiki neid võimalikke sündmusi, mis seal on toimunud, lugusid, mida seal on jutustatud, mõtteid, mis seal on mõeldud ja tundeid, mida seal on läbi elatud. Puitkorterelamutel ja puitasumitel on meie pärandi kontekstis eriline tähendus muidugi veel selle poolest, et sageli on nad just meie endi esivanemate ehk linnaeestlaste elu- ja kultuurikeskkond. Suur osa sellest ajaloolisest ehituspärandist, millega me Eestimaal tegeleme ja mida hoiame, on ju meile justkui kellegi teise poolt hoida jäetud või antud: mõisad, kirikud või linnused on enamjaolt valminud minevikus valitsenud kõrgklassi esindajate tellimusel, kes valdavalt ei olnud eestlased. Ka Tallinna keskaegsetes kaupmehemajades ei rääkinud omaaegne pererahvas tavaliselt maakeeles. See on suurejooneline ja euroopalik, ent pisut võõras pärand, mille üle võime uhkust tunda ning mis on ka Eesti kultuurile mõistagi väga oluline, aga ta ei ole justkui siiski päris „meie oma“. Seevastu vernakulaarne maa-arhitektuur, näiteks rehielamud, on paljude inimeste maailmatajus sageli see „päris oma“, see keskkond, kust tulid meie esivanemad ja kus on kujunenud ka siis Eesti kultuur, oma tõekspidamistega, kommete, ja tabudega ja arusaamadega õigest ja ilusast. Talurahva kõrvale hakkavad 19. sajandi keskpaigast alates olulise jõuna kerkima aga ka linnaeestlased, kes sageli asustasid ja ehitasid just eeslinnade puitmaju. Nii on puitasumitel oluline osa meie kultuuriruumi ja kaasaegse eestikeelse linnaühiskonna kujunemisel.

Korterelamu on omal moel kujunenud linliku elulaadi sümboliks. Korterelamud hakkasid Euroopas hoonetüübina välja kujunema 18. sajandil, Eesti linnades saavad need seoses rahvastiku kiire juurdekasvuga üldlevinuks 19. sajandi keskpaigas, mil ka mitmed varasemad peremajad jagatakse mitme korteriga elamuks. Eestis, kus on põline puitehituse traditsioon, ehitati linnades massiliselt puitelamuid, mis jäid meie linnade ruumilise identiteedi üheks peamiseks kujundajaks kuni 20. sajandi keskpaigani.

1.4.1 Kõige vanemad puitelamud

Vanimaks Eesti linnades hulgaliselt ehitatud meile tuntud puithoone tüübiks on nõndanimetatud urbaltisch-maja, ehk vanabalti või põlisbalti elamutüüp. Need on ühekorruselised ristkülikukujulise põhiplaaniga pikad kõrge pool- või murdkelpkatusega hooned, mille keskel on või on varem olnud sageli mantelkorsten. Seda tüüpi elamutele on omane raskepärane “maadligi” hoonemaht, originaaldetailid – uksed ja aknad, aknaluugid, uksekäepidemed jne. – kui need on säilinud, on arhailiselt rustikaalsed ja stilistiliselt seostatavad barokiajastuga. Aknad on olnud algselt sageli ruudukujulised ja barokile omase tihedaruudulise jaotusega, kuid sageli on need juba 19. sajandil muudetud klassitsistlikeks püstipidi piklikeks kuue ruuduga akendeks, nagu on tavapärane hilisematel puitelamutel. Vahel harva võib sellistes hoonetes leiduda ka kõrgema kunstiväärtusega detaile, näiteks barokseid ahje või maalitud talalagesid. Välisviimistluseks on tavaliselt silmapaistavalt lai rõht- või püstlaudis, mis seina löödud suurte käsitsi valmistatud sepanaeltega. Mõned kõige varasemad elamud võisid olla ka laudiseta, kuid juba alates 18. sajandist hakati puitmaju meil linnades laudisega katma. Tüübilt sarnaste vanabalti majadena on ehitatud ka köstrimaju, pastoraate, koole, mõisahooneid ja vanemaid taluhäärbereid ning mõisate moonakatemaju väljaspool linnu. Linnades olid seda tüüpi hooned algselt enamasti ühepereelamud, kuid hiljem on enamik neist kohaldatud korterelamuteks. Vanimad sellised elamud pärinevad 17. sajandist, enamik aga 18. sajandi II poolest ja 19. sajandi algusest (Joonis 1.5), väiksemates linnades, näiteks Paides ja Rakveres on mantelkorstnaga maju ehitatud veel 1860. aastatelgi. Sageli on selliste hoonete probleemiks n.ö. pinnasesse uppumine, hoone on ehitatud väga madalal soklil ja teepind on hiljem ebasobivalt kõrgele tõstetud.



Joonis 1.5 Vanabalti (*urbaltisch*) tüüpi maja Rakveres, ehitatud 18. sajandil või 19. sajandi algul, taastatud 1980. aastail Rakvere linnakodaniku muuseumiks (vasakul). Vanabalti tüüpi maja Valgas, 19. sajandi keskpaik (paremal).

Järgmisena ilmuvad klassitsistlikud hoonetüübid, mille levikule aitasid kaasa näidisfassaadide albumid. Peterburis joonistatud klassitsistlike näidisfassaadide kasutamine oli elamuehituses kohustuslik kõikjal kubermangu- ja kreisilinnades üle kogu Venemaa 19. sajandi algusest kuni 1850. aastate lõpuni. Näidisfassaade kasutati nii puit- kui ka kiviarhitektuuris, neid vastavalt detailide ja proportsioonide osas kohaldades. Ilmus neli albumit, kus leidus nii uhkemate kui tagasihoidlikumate elamute ehitamiseks sobivaid näiteid. Albumites olid ette antud üldjuhul ainult fassaadid, sarnase fassaadi taha võis paigutada täiesti erineva ruumiprogrammiga hooneid. Varasemad, 19. sajandi algupoolel ehitatud elamud järgivad näidisfassaade üsna täpselt ja neile on omane kiviarhitektuurist laenatud klassitsistlike detailide püüdlik teostamine puidus, seevastu hilisemad, eriti just tagasihoidlikumad vaesema rahva elamud, on dekoori osas tunduvalt lihtsustunud, äratuntavana säilivad aga hoonete üldtüübid, sellist arhitektuuri on hakatud nimetama aguliklassitsismiks. Sel ajastul välja kujunenud puitelamute tüüpe kasutati ka pärast näidisfassaadidest kinni pidamise kohustuse kaotamist, kuni 19. sajandi lõpuni, seda eriti väiksemates linnades. Hoonetel võivad olla nii kivi- kui plekk-katused, algselt ka laudkatused. Välisviimistluseks on horisontaallaudis, iseloomulikest klassitsistlikest detailidest võib ära märkida poolkaarjad nn. termi aknad, mida sageli kohtab viiluväljadel.

Valdavalt on klassitsismiajastu puitkorterelamud ühe- või poolteisekorruselised. Varasemad neist on enamasti rajatud ühele perele ja sageli hiljem mitmeks korteriks jagatud, hilisemad aga juba algusest peale kavandatud korterelamutena, sest linnade arenedes tekkis vajadus väiksemate üürikorterite järele. Üheks kõige levinumaks variandiks on kitsa otsafassaadiga tänava poole pööratud ühekorruselised pikad kitsad hooned (vt. Joonis 1.6), mida katab kahepoolne viilkatus, nii et tänava poole jääb kolmnurkne otsaviil. Tänavafassaadil võib olla 1–3, harva ka 4–5 akent, vahel kasvab hoone hoovi pool üle sellega ühe katuse alla kokku ehitatud abihooneks. Ajastule on iseloomulik nurgakvaadrite imiteerimine puidus. Hilisemad elamud kaugenevad klassitsistlikest eeskujufassaadidest ja on lihtsama välisviimistlusega, kuid äratuntavana säilivad hoonete üldtüübid.

Teiseks Eesti linnades sel ajal levinud olulisemaks hoonetüübiks on pikema küljega tänava poole pööratud elamud, mida iseloomustab sageli kolmnurkviiluga kroonitud kõrgem, kahekorruseline keskosa (vt. Joonis 1.7). Ka need hooned võivad esineda väga erinevas suuruses ja dekoreerituse astmes, samuti võib erineda nende sisestruktuur: mõnikord on need lihtsad tagasihoidlike väikekorteritega agulimajad, teisal jälle jõukamale kodanlusele orienteeritud ja avaramate elamistingimustega. Kui tänavafassaad on rangelt klassitsistlik ja enamasti sümmeetriline, siis hoovi pool on need elamud sageli sootuks ebasümmeetrilise põhiplaaniga ja fantaasiarikkalt sipi-sopilise kujuga. Hiljem on sellest elamutüübist välja arenenud ka nn. trempel- ehk nivendseinaga variandid (Joonis 1.8 paremal), kus I korruse ja katusekorruse vahelagi ei asu mitte hoone räästajoonel, vaid madalamal. See tuli moodi 19. sajandi keskpaigas ja lõpus ning võimaldas katusekorrusele mugavamalt eluruume paigutada.




Joonis 1.6 Ühekorruseline otsaga tänava poole pööratud klassitsistlike tüüpfassaadide ajastu elamu Tallinnas Kadrioru nn. Vanas slobodaas ehk lossiteenijate alevis (vasakul) ja 19. saj. keskpaiga nn. aguliklassitsistlik elamu Võrus (paremal).




Joonis 1.7 Klassitsistliku tüüpfassaadi järgi ehitatud elamud Tartus Kalevi tänavas (vasakul). Massiivse keskviiluga klassitsistlik puitkorterelamu Viljandis (paremal).

Oli ka uhkemaid tüüpfassaade, kuid neid realiseeriti puitarhitektuuris harva ja säilinud on veel vähem, uhkematest klassitsistlikest puitkorterelamutest võib ära mainida Baeri majana tuntud elamu Tartus Veski tänaval ja aastakümneid Kadrioru apteegi funktsiooni täitnud algselt kahe korteriga elamu Tallinnas Narva maantee ja Vilmsi tänava nurgal.

Tüüpfassaadide ajastu lõpus anti välja veel eraldi eeskujualbumid tagasihoidlikumate puitkorterelamute tarbeks. Need näitasid muuhulgas mitmeid pikema küljega tänava poole pööratud ühekorruselisi, tihti tänavafassaadis 2–3 aknaga lihtsaid, ilma eelkirjeldatud tüübile omase kõrgema katusekorruse väljaehitusteta hoonevariante. Sellised elamud said kõikjal agulites tavaliseks, need on siin vaadeldavatest puitkorterelamute tüüpidest kõige lakoonilisemad ja vernakulaarsemad, enamasti orienteeritud vaesemale rahvale. Sageli puudub neil tänava pool välisuks ja majja pääseb üksnes hoovi kaudu. Mõnikord on sellist elamut mitmes järgus pikemaks ehitatud, nii et moodustuvad väljavenitatud liitmahud.

Lisaks klassitsistlikele puitkorterelamutele ja nende lihtsustatud variantidele ehitati ka tagasihoidlikumaid agulihooneid (Joonis 1.8 vasakul), mis olid sageli inspireeritud tüüpfassaadide ajastu lõpus 19. sajandi keskel ilmunud spetsiaalselt väiksemate puitelamute tarbeks mõeldud eeskujuraamatutest. Sellised hooned on sageli tänava poolt ühe-, hoovi poolt aga kahekorruselised, sisaldades vaatamata oma näilisele väiksusele mitut korterit.

Kõik siinkirjeldatud vanemad elamutüübid on rõhtpalkehitised, sageli väga madalal vundamendil ja tihti kellerdamata, ehitatud tuulutatava põrandaalusega, nagu maamajad. Tihti ehitati selliseid elamud pikkade tihedate ridadena üksteise kõrvale, selliseid tänavaseinu on hakatud nimetama slobodaa-tüüpi hoonestuseks (nn. vene küla või vene

agul), sest tänavapilt meenutas vene ridaküla. Hoonete vahele jäid kõrged plangud koos veel kõrgemate väravatega, mis sulgesid hooviruumi, praeguseks on selliseid väravaid järel vaid üksikuid. 19. sajandi eeslinnades levis ka segaehitusviis, mis tähendas et hoone oli osaliselt kivist ja osaliselt puust (Joonis 1.9 vasakul). Eriti sageli on niimoodi ehitatud hoovimaju. 19. sajandi vaesemate eeslinnade tänavapilti iseloomustasid tihedalt üksteise kõrvale ehitatud agulitarede read, sellist linnaehituslikku kihistust on hakatud kutsuma slobodaa-tüüpi hoonestuseks (Joonis 1.9 paremal).



Joonis 1.8 Tagasihoidlikumad agulihooned Tartus ja Valgas.



Joonis 1.9 19. sajandi eeslinnade hoonestus Tartus ja Rakveres.

1.4.2 Tsaariaegne tööliselamu

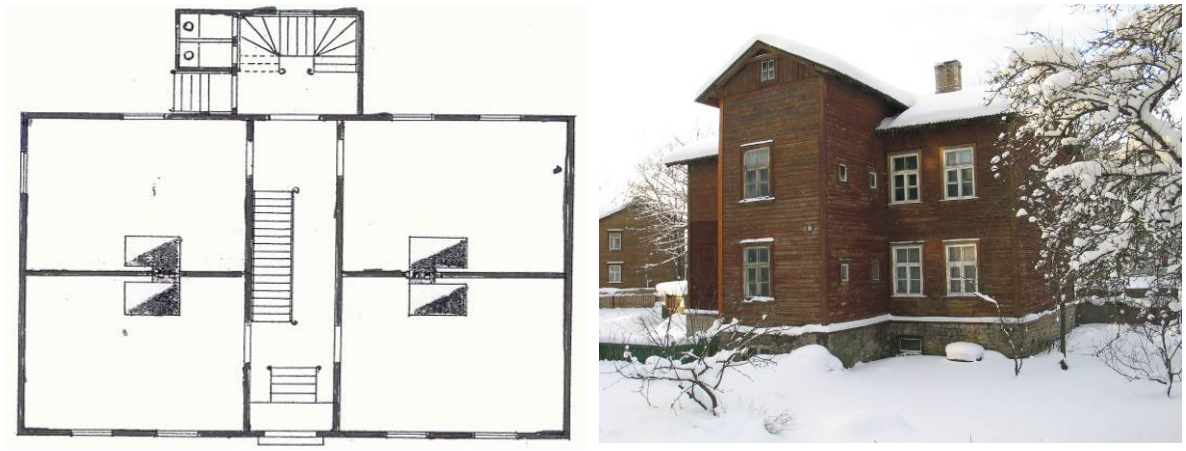
Seoses tööstusliku pöördega ja sellega kaasneva kiire urbaniseerumisprotsessiga hakkas 19. sajandi viimastel kümnenditel Eestis kiiresti muutuma linnaelanikkonna sotsiaalne koosseis. Varasemate kaupmeeste, käsitööliste ja jõukamat rahvast teenindavate ametite pidajate (voorimehed, kojamehed, pesunaised jm) kõrvale kerkib nüüd suure massina vabrikutes töötav tööstusproletariaat. Uue hoonetüübina ilmuvad linnapilti kahekorruselised väikeste üürikorteritega tööliskasarmud, mis kuulusid eraomanikule, kes ise võis, aga ei pruukinud elada samas hoones. Väljaüüritavad korterid olid enamasti ainult ühest toast ja köögist koosnevad või kogunisti kööktoad, ometi pidi sinna elama mahtuma terve perekond, sageli õige mitme lapsega. Kõige rohkem ehitati seesuguseid töölismaju Tallinna ja Tartusse, kus moderniseerumisprotsess ja rahvastiku juurdekasv oli kiireim. Varasemad lihtsamad kahekorruselised elamud kujutasid endast ühekorruseliste edasiarendusi ja sageli kahekorruseline elamu saadigi nii, et olemasolevale ühekorruselisele ehitati lihtsalt üks korrus peale. Need elamud võivad olla nii pikema küljega kui ka otsfassaadiga tänava poole. Sageli puudub just vanematel sedalaadi elamutel analoogiliselt varasemate ühekorruseliste agulimajadega ka tänavale avanev välisuks (Joonis 1.10 vasakul).

Tallinnas kujuneb viimati kirjeldatud varasemate kahekorruseliste agulimajade edasise arengu tulemusena välja massiliselt ehitatud elamutüüp, mida nimetatakse Lenderi

elamuks (Joonis 1.10 vasakul, Joonis 1.11). Elamutüübi nimetus tuleneb neid maju palju projekteerinud ja hiljem Tallinna esimeseks eestlasest linnapeaks saades nende ehitamist soosinud insener Voldemar Lenderi järgi. Sellisel elamul on välisuks juba ka tänava pool hoone keskteljel ning seda rõhutab ukse peale selle kaitseks paigutatud dekoratiivne sepiskonsoolidel varikatus ja sageli ka selle kohal elamu katuseräästast esile tõusev kolmnurkfrontoon. Hoonet läbib keskel tänavaga risti asetsev koridor, mida kõige vanemates elamutes algselt kasutati ka korruse korteritele ühise köögina. Hiljem seesugune praktika seoses uute tuletõrjeeeskirjadega kadus, pliidid viidi korteritesse sisse ja tekkisid kööktoad. Hoone tagaküljel on tavaliselt elamu põhikehandist eenduv trepikoja maht, kus paremates elamutes paiknesid ka kuivkäimlad, kehvemates olid need eraldi hoovis. Lisaks nõuti tuletõrje-eeskirjadega ka teist treppi, see on tavaliselt keskses koridoris paiknev pikk järsk ühemarsiline trepp. Igal korrusel oli tavaliselt 4 kööktuba, erilise mugavusi see elamu ei pakkunud, veekraan paiknes koridoris, vahel aga koguni õues pesuköögis. Samas tuleb tunnistada, et Tallinnas juba 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi alguses laiemalt levinud veevärk ja kanalisatsioon oli toonasest oludes iseendest suureks luksuseks. Väiksemates linnades tuli joogivett tuua õuest kaevust, vahel aga ka kaugemalt, kvartali ühisest tänavakaevust. Tänapäevalgi on just seda tüüpi elamute kohaldamine nüüdisaegseteks elamuteks sageli kõige keerulisem, eriti juhtudel, mil kunagisi väikekortereid pole õnnestunud suuremateks kokku ühendada. Näiteks korterisse pesemisvõimaluse loomiseks duširuumide ehitamine, sealhulgas sageli ka selleks sobimatutesse asukohtadesse ning sellega seonduv stiihiline kommunikatsioonide vedamine vastava kvalifikatsioonita isikute poolt on paljudes hoonetes praeguseks põhjustanud täiendavaid ehitustehnilisi probleeme.



Joonis 1.10 Varasemat, ilma tänavale avaneva välisukseta, tööliskasarmu tüüpi puitkorterelamu (vasakul). Tüüpiline 20. sajandi alguse nn. Lenderi maja tüüpi tööliselamu (paremal).



Joonis 1.11 Lenderi maja kõige tavapärasem plaanitüüp nelja kööktoaga korrusel (vasakul). Lenderi maja hooviküljel on enamasti eenduv trepikoja maht (paremal).

Teistes linnades kujuneb 20. sajandi alguseks mõneti sarnane kompaktse mahuga kahekorruselise puidust tööliselamu (Joonis 1.12, vasakul) on üldtüübilt Tallinna Lenderi maju meenutavad, ent mitte täpselt identsed. Sageli on nad madalamal soklil, viimistletud laiema laudisega ja ka detailikäsitluse osas Tallinna tööliselamutest erinevad.

Kuigi kõigis linnades esineb koridoripõhist planeeringut, on näiteks Tartu analoogilistes kahekorruselistes agulimajades põhiplaan tihti komplitseeritum, nii võib elamu olla lahendatud mitme iseseisva trepikäiguga, ilma läbiva koridorita või on esimese korruse korteritel eraldi sissekäigud hoovist. Tallinnas on kõige rohkem kööktube, mujal linnades koosnesid ka tööliskorterid sagedamini siiski mitmest ruumist: iseseisvast toast ja köögist või näiteks suuremast eluköögist ja sellega külgnevast kahest tillukesest toast. Erinevusi on ka hoonete väliskujunduses, mahulistes proportsioonides ja detailides, igas linnas kujunes välja oma ehitustraditsioon. Konstruktsioonilt on selles grupis enamasti tegemist rõhtpalkelamutega, kuid vahel harva kohtab ka püstpalkmaju, tsaariaja lõpul juba ka sõrestikhooneid. Välisviimistluseks on rõhtlaudis, mida liigendavad püstlaudisest vahevööd ja karniisid. Kasutatavad voodrilauad muutuvad 20. sajandi algul kõigepealt Tallinnas, seejärel ka teistes linnades varasemaga võrreldes palju kitsamaks ja ka õhemaks. Ka tagasihoidlike tööliselamute (Joonis 1.12, paremal) fassaadidekoor, niivõrd-kuivõrd seda esineb, järgib ajastuomaseid stiilipüüdlusi. Kui varasemad seda tüüpi elamud on veel järelklassitsistlikud, siis järgmised on juba 19. sajandi lõpule ja 20. sajandi algusele omaste saelõikedetailidega ning tsaariaja lõpul hakkab ka tavaliste agulimajade fassaade mõjutama juugendstiil, mis sageli avaldub vaid pisidetailides – teistsuguse kujuga aknapealdised või varasemast erinev välisuste ja varikatuste kujundus.



Joonis 1.12 Tartu 19.-20. sajandi vahetuse lihtsam puidust korterelamu (vasakul) ja kahesektsiooniline tsaariaegne tööliselamu (paremal).

1.4.3 Vabrikuasulad

Kiiresti arenevad tööstusettevõtted vajasid 19. sajandil ja 20. sajandi alguses palju inimtööjõudu, uusi töölisi värvati nii maalt linna paremat elu otsima tulnud talurahva hulgast kui ka meelitati kohale Venemaalt. Kõik töölised ei suutnud piisavalt kiiresti leida eraomanikele kuuluvates elamutes kortereid, isegi mitte kõige viletsamaid. Seetõttu hakkasid tööstürid kavandama tootmisterritooriumi lähedusse terviklikke asundusi, kus elamud ei kuulunud eraomanikele, vaid tööstusettevõttele endale, ja neid anti töölistele soodsalt kasutamiseks kui tööandja elamispinda. Lisaks tööliselamutele ehitati sellistesse vabrikulinnakutesse sageli ka korralikumate korteritega maju ametnikele, inseneridele ja meistritele, vahel ka ettevõtte juhtkonnale. Nii pakuvad vabrikuasulad omalaadse sissevaate toonasesse rangelt hierarhiseeritud klassiühiskonda, direktori villa ja viletsad töölisbarakid võivad paikneda füüsiliselt lähestikku, kuid nende inimeste elumaailmu lahutab kuristik. Hiljem on tihti ka juhtkonnale mõeldud eramud jagatud mitme perekonna vahel ning inseneride ja vanemteenistujate suured korterid tükeldatud väiksemateks, nii on kunagistest vabrikuasundustest saanud tüüpilised korterelamute piirkonnad. Tasub märkida, et omal ajal kuulusid selliste asunduste juurde ka koolid, haiglad, klubihooned-seltsimajad, politseijaoskonnad, tuletõrjekomandod, kirikud ja mõnel pool isegi kalmistud, nii et kogu inimese eluring võis mööduda asulast väljumata.

Varasemad vabrikuasulad on sageli seotud tekstiilitööstusega. Üks vanemaid praeguseni säilinud vabrikuasulaid on Sindi tekstiilitööstuse oma, kus eriti väärtuslikuks tuleb pidada just varasemaid, klassitsistlikke meistritemaju. Vabrikuasulate vanemasse põlvkonda kuuluvad ka Kärdla kalevivabriku elamud Hiiumaal. Kõige suurejoonelisemana võib mõistagi nimetada Kreenholmi manufaktuuri linnaosa Narvas, kus enamik elamuid on kivist, puitarhitektuuri esindavad aga siiski varasem direktori villa ja nn. pikad meistritemajad. Viimaste näol on tegemist Eesti ühtede esimeste ridaelamutega. Igal perekonnal oli siin omaette sissekäiguga läbi kahe korruse ulatuv korter. Nüüd on üks elamutest restaureeritud piiripunktiks (Joonis 1.13 vasakul).



Joonis 1.13 Narva Kreenholmi manufaktuuri 1870. aastatel ehitatud meistritemajad on ühed vanimad ridaelamu tüüpi hooned Eestis (vasakul). Türi vabrikuküla on ehitatud 20. sajandi esimestel aastatel sealse puupapi- ja paberivabriku tööliste ja teenistujate asulaks (paremal ülal). Waldhofi vabriku meistrite elamu Pärnus Riia maanteel (paremal keskel). Vene-Balti laevaehitustehase asundus Tallinnas Kopli poolsaare tipus (paremal all).

Tallinna vanimaks tehaseasulaks on Balti manufaktuuri ehk Sitsivabriku elamud Koplis. Seejärel hakkavad sarnased vabrikurahva elamute kogumid arenema ka muude ettevõtete, näiteks tselluloosi- ja paberitööstuste juurde, meenutatagu siinkohal näiteks Türi vabrikuküla (Joonis 1.13 paremal ülal) või Waldhofi vabriku maju Pärnus (Joonis 1.13 paremal keskel). Dvigateli masinaehitustehase töölistele rajatud elamud on säilinud Tallinnas Vilmsi tänaval. Kõige mastaapsemad puidust vabrikuasundused rajati 20. sajandi algul, 1912–1917, Tallinna Kopli poolsaarele seoses hiiglaslike laevaehitustehaste asutamisega. Selle projekteeris koos ettevõtte tootmishoonetega Peterburi arhitekt Aleksandr Dmitrijev (Joonis 1.13 paremal all). Vene-Balti ja Bekkeri töölisasulates oli kümneid töölisbarakke, kui Bekkeri asulas olid juhtkonna ja inseneride-ametnike elamud kivist, siis Vene-Balti tehase omas ehitati lisaks tööliste kolooniale, mida nüüd tunneme Kopli liinide nime all, ka kogu “sakste” pool välja puitkorterelamutega.

Vabrikuasulatele on omane planeeringuline terviklikkus ja identse välimusega, tüüpprojekti järgi ehitatud elamute asetamine regulaarselt paigutatud ridade või gruppidena üksteise kõrvale, erinevalt eramute linnaosadest, kus enamasti iga hoone oli naabrist millegi võrra erinev. Muudest linnaosadest eristab tervikliku planeeringu järgi rajatud vabrikuasulaid ka teistsugune väliseluruumi kontseptsioon. Siin, eriti just tööliskasarmute piirkondades, puuduvad sageli iga elamu juurde kuuluvad privaatsed õued ja aiad ning hoonetevaheline ruum on lahendatud ühtse kõigile avatud alana.

Eraldiseisva grupina võib märkida raudteelaste elamuid (Joonis 1.14), mida võib kohata mitmete tsaariaegsete jaamakomplekside juures nii linnades kui väljaspool linnu, ka Tallinnas Kopli kaubajaama ligiduses. Vanimad neist pärinevad 1870. aastast, mil rajati Peterburi-Tallinn-Paldiski raudteeliin. Nende hulgas on suuremaid kahekorruselisi maju, kuid enamik on siiski ühekorruselised pikad madalal soklil hoonemahud, sageli mitme sissekäiguga. Korterid võivad olla suuremad või väiksemad, vahel on ühes elamus üks suurem, kõrgemale raudteeametnikule mõeldud korter ja rida pisemaid tööliste kööktube. Erilisi mugavusi siin sageli ei ole, käimlad ja veevõtukohad on tihti õues. Ülejäänud tsaariaja elamuarhitektuurist eristavad neid hooneid rikkalikud, kuid justkui pisut kohmakad venepärase maitsega disainitud saelõikekaunistused ja uhked puitkonsoolidel varikatused. Raudteemajad, mis on rajatud ülevenemaaliste tüüpprojektide järgi, esindavad sageli ka venemõjulist ehitustehnikat, olles ehitatud tahumata ümarpalkidest.



Joonis 1.14 Raudteetööliste elamu Keila jaamakompleksi juures.

1.4.4 Suurte korteritega elamud historitsismi ja juugendi ajal

Sugugi mitte kõik puitkorterelamud ei ole vaesemale elanikkonnale orienteeritud agulimajad. Puitehitust ei peetud 19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses ka jõukama tellijaskonna hulgas sugugi millekski häbenemisväärseks ja palju kerkis ka kõrgemale keskklassile orienteeritud suurte esinduslike korteritega puuelamuid, vt. Joonis 1.15. Tsaariaegsed suured korterid olid tõesti suured, sageli 5–6-toalised. Avarate korteritega puitkorterelamutest osa on nn. linnavilla tüüpi, kus kummalgi korrusel teineteise peal on ainult üks suur korter, osa aga ka klassikaliselt korterelamule omase trepikojapõhise planeeringuga, kahe-kolme korteriga ühel korrusel. Peaaegu alati on sellises elamus kaks eraldi trepikoda, nn. paraad- või peatrepikoda ja köögitrepikoda, vastavalt igal korteril ka eraldi ees- ja tagauks, viimast nimetati ka „mustaks“ sissepääsuks. Köögitrepikoja kaudu käisid tavaliselt teenijad, teenijatoad leiame enamasti köögi kõrvalt, vahel elasid teenijad eraldi hoovis teenijate elamus.

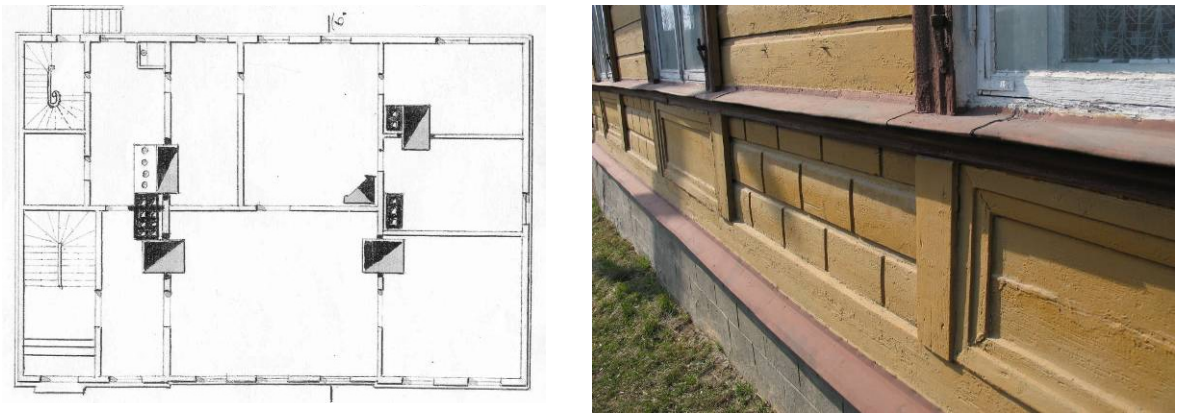
Korterites püsis kaua aega mõisaarhitektuurist laenatud anfilaadne planeering, kus toad olid ridamisi läbikäidavad ja puudus esik, kõige tagumisse tuppa minekuks tuli läbida kõik esimesed. 20. sajandi alguses see taandub, andes teed ajakohasematele, mugavamatele ja paindlikumatele ruumiplaanidele. Korterid olid üldjuhul kahepoolse insolatsiooniga, ulatudes läbi hoone, seejuures on tavaliselt vähemat kaks suuremat esindusruumi: eraldi elu- ja söögituba. Söögitoa juurde kuulub sageli veranda. Sissekäigu juures võib veel eraldi ruumina olla kabinet, vahel koos eraldi ootetoaga, sest näiteks arstid võtsid patsiente ja advokaadid kliente sageli oma kodus vastu.



Joonis 1.15 Üks vanemaid kahekorruselisi puitelamuid Tallinnas: historitsistlik puitelamu Tallinnas Narva maanteel on oma praeguse välimuse saanud 1875 veel varasema hoone ümberehituse tulemusena (vasakul). Esinduslik historitsistlik korterelamu Haapsalu vanalinnas (paremal): esimese korruse kaaraknad annavad hoonele neorenessansilikku joont.

Kaua püsisid ka jõukates elamutes suured, kogu perele ühised magamistoad, alles 20. sajandi algul jõutakse tõdemuseni, et iga pereliige peaks saama endale oma toa. Praegusest erinev oli ka arusaam puhtusest – 19. sajandil ehitati isegi väga suuri kortereid sageli ilma vannitoata, ka jõukamad inimesed pesid ennast avalikes saunades, igapäevaselt piisas silmapesukausist magamistoas. Vannitoad hakkavad laiemalt levima 20. sajandi algul, mil need ei ilmunud üksnes uutesse elamutesse, vaid ehitati tihti sisse ka varasematesse korteritesse. Sellistes suurtes korterites on sageli säilinud uhked interjöörid: kahhelahjud, parkettpõrandad, lagedel stukkdekoor, mõnikord seintel väärispuidust tahveldis jm hämmastavalt uhkeid detaile, mida puitkorterelamust ei oskakski oodata. Paraadtrepikodades võib sageli oletada ka maalinguid, mistõttu remonti tehes tuleks olla ettevaatlik, et väärtuslikke viimistluskihte mitte hävitada. Huvitavad on ka köögitrepikojad, kuhu sageli avanevad teenijatubade ja sahvrite tuulutamiseks mõeldud siseaknad.

Välisdekoori osas võisid need elamud olla väga erinevad, enamasti on tegemist väga rikkalikult kaunistatud hoonetega, nagu jõukama rahva elamisele vääriline. Puitkorterelamud võisid historitsismi ajajärgul järgida nii puit- kui kiviehitusviisi (Joonis 1.16 paremal). Viimane tähendas seda, et puidus imiteeriti võimalikult täpselt kiviarhitektuurist üle võetud proportsiooni ja detailikäsitlust, sealhulgas välisviimistluse dekoorielemente, nagu akende keeruka profiiliga raamistused, akendealused kassetid või seinapindu liigendavad rikkalikult profileeritud vahekarniisid. Kõige sagedamini on sellised, nn. kiviehitusviisi järgivad puitkorterelamud, neorenessanslikud, harvem teostati puidus neogootikat.



Joonis 1.16 I korruse põhiplaan puitkorterelamus, kus elamus on eraldi köögitrepikoda ja peatrepikoda. Üks korter täidab terve korruse ja tal on anfilaadina läbikäidavad (vasakul). Historitsismile (19. sajandi lõpp) on omane puitarhitektuuris jäljendada kivihoonete elemente (paremal): Detail puitelamult Valgas.

Puitehitusviis võimaldas aga kasutada, vastupidi, just puiduspetsiifilisi elemente: kaunistusena levis rikkalik saelõikepits, eriti aknapealdistel ja viiluväljadel (Joonis 1.17). Puitehitusviisi puhul eristati teoreetilistes käsitlustes ja eeskujuraamatutes šveitsi, vene ja norra stiili, enamasti esinesid need aga segunenult ja sellist laadi tuntigi ennekõike lihtsalt "puitehitusstiili" nime all. Historitsismile oli omane ka armastus edevate nurgalahenduste vastu: tänavanurkadele paigutati efektsete tornide, erkerite ning rõdudega maju.



Joonis 1.17 Lisaks puidus kiviarhitektuuri imiteerivale historitsismile arenes välja ka puitehitusstiil, kus püüti luua just võimalikult õhulisi ja puidu spetsiifilisi võimalusi esile toovaid saelõikekaunistusi (vasakul: elamu Rakveres). Historitsism ja juugend (20. sajandi algus) armastasid efektseid nurgalahendusi (paremal: elamu Pärnus).

Tsaariaja lõpul vahetab historitsismi välja juugendstiil (Joonis 1.18, Joonis 1.19). See võib esineda nii rikkalikumas, voogavate ja kaarduvate vormidega variandis kui ka kaine geomeetrilise-ratsionaalse suuna näol. Viimast kohtab puitarhitektuuris sagedaminigi. Kui varasemad historitsismiajastu puitkorterelamud on üldjuhul üsna kompaktse üldmahuga ning fassaadikompositsioonilt pigem sümmeetrilised, siis nüüd ilmuvad elavalt liigendatud, sageli asümmeetrilise kompositsiooniga hooned. Kasutatakse palju erikujulisi aknaid, millel peeneruuduline raamijaotus. Juugendiga seoses tuleb moodi puithoonete ülekrohvimine. Krohvitud puithoonete välisilmes on sageli heimatstiili ning neobiidermeieri mõju. Saksa talupojaarhitektuurist vaimustudes imiteeriti mõnikord fassaadidel vahvärkkonstruktsiooni, olgugi et meil kohalikku vahvärkehituse traditsiooni kuigivõrd polnud. Enamasti jäigi see ka juugendiajastul pelgalt dekooriks: tegelikult ei ole tegemist sõrestikkonstruktsioonis elamutega, vaid rõht- või püstpalkehitistega, millele on vahvärksõrestikku imiteerivad ehislauad lihtsalt krohvipinnale peale "kleebitud". Juugendi ajal muutuvad ka korteriplaanid ratsionaalsemaks ja tänapäeva mõistes mugavamaks, kaob tubade lõputu läbikäidavus.

Historitsismiajastu korteriga võrreldes on juugendstiilis elamute siseplaneering muutunud mõnevõrra tänapäevasemaks: ilmunud on esikud, kõik toad ei ole enam läbikäidavad. Endiselt on igale korterile ette nähtud eraldi paraad- ja köögisissepääs.



Joonis 1.18 Juugendstiil 20. sajandi alguses toob puidust korterelamute arhitektuuri dünaamiliselt liigendatud mahud ja uued arhitektuursed vormid (vasakul elamu Tallinnas, paremal Tartus).




Joonis 1.19 Juugendstiilis puitkorterelamud esinevad sageli ka krohvituna, nagu näiteks ka see, arhitekt Artur Perna poolt projekteeritud elamu Viljandis (vasakul). Tallinna üks uhkemaid juugendpuumaju on Peetri aedlinna kuraatori elamuks ja ohvitseride klubiks ehitatud elamu Pärnu maanteel Pääskülas (paremal). Kunagine villa jaguneb nüüd paljudeks väikesteks korteriteks.

Omaette nähtusena tuleb ära mainida tsaariaja suvitusarhitektuur (Joonis 1.20). Suurte verandade ja rõdudega, sageli rikkalikult puitpitsilisi jõukama klassi suvilaid ehitati kogu Eesti rannikualal, sealhulgas kuurortlinnades, nagu Narva-Jõesuu, Haapsalu, Pärnu ning toona ka oluliseks merekuurordiks peetud Tallinn, eriti Kadrioru ja Pirita-Kose piirkond. Hiljem tekkisid suvitusasulad ka merest kaugemal: näiteks Nõmme Tallinna külje all ja Elva Tartumaal. Väiksemad suvilad olid tavaliselt ehitatud ühele perele, esines aga ka suuremaid, nn. pansionaadi tüüpi asutusi, mida üüriti suvitajatele (nagu toona öeldi: supelvõõrastele) tubade kaupa välja. Sellised elamud on hiljem sageli kohaldatud korterelamuteks, tõsiseks probleemiks võib renoveerimata elamute puhul siinkohal olla ebapiisav soojapidavus ja väheotstarbekas ruumijaotus, kus näiteks külmad verandad moodustavad ebamõistlikult suure osa korterist, sest need elamud ei ole algselt ehitatud aastaringseks elamiseks.



Joonis 1.20 Suvitusvilla Tallinnas Pirital Purje tänavas.

1.4.5 Nn. Tallinna maja ja teised 1920. – 1930. aastate puidust korterelamud

Kuigi palju räägiti arhitektide ringkondades ja kirjutati ka toonastes ajalehtedes vajadusest ehitada Tallinna eeslinnadesse ja ka mujale Eesti linnadesse rohkem kivimaju, nagu tehakse Riias ja Helsingis, jätkus puitelamute ehitamine hoogsalt ka pärast Eesti vabariigi iseseisvumist. Tallinna majaks nimetatakse 1920. – 1930. aastail Tallinnas ehitatud korterelamu tüüpi (vt. Joonis 1.21), mida iseloomustab keskne kivist trepikoda, samas kui ülejäänud hoone on ehitatud puitkonstruktsioonis. Kivitrepikoda tulenes uutest

tuletõrjenõuetest, üksikuid kivitrepikojaga puumaju ehitati juba tsaariajal, kuid nüüd sai see üldlevinuks. Valdavalt on tegemist kahekorruseliste elamutega. Ühel lühikesel perioodil lubati ehitada ka kolme täiskorrusega Tallinna maju, enamasti oli aga võimalik kaks korrust ja katusekorrus, viimasele püüti sageli aga anda kõrge mansardi kuju, mis võimaldas sinna ikkagi praktiliselt terve täiskorruse mahutada. Korterite suurus on kõikuv, enamalt jaolt on see hoonetüüp orienteeritud paremale järjele jõudnud töölisperedele ja kujunevale keskklassile, kuid esineb ka suurte esinduslike kodanlike korteritega maju. Erinevalt tsaariaegsetest elamutest, kus väikeste korteritega tööliselamud ja suurte esinduskorteritega puitkorterelamud hoiti enamasti selgelt lahus, võib nüüd ühest elamust sageli leida ka erineva suurusega kortereid. Ka väiksemad korterid on seda tüüpi elamutes tavaliselt lahendatud moodsamate ja mugavamatena, enamasti on käimla juba igas korteris sees, köögis on kraanikauss voolava veega, vannituba esineb küll enamasti ainult suuremates korterites.



Joonis 1.21 Enamik nn. Tallinna maju on kahekorruselised kõrgemal soklil puitelamud, soklikorrusel võisid paikneda äriruumid. Sageli lisab hoonele dekoratiivsust trepikoja suur peeneruuduline aken (vasakul). Paljudel kivitrepikojaga elamutel on kõrge mansardkorrus, mis algusest peale oli kasutusel eluruumidena (paremal).

Suur osa Tallinna maju on viimistletud laudisega, mõned aga on ka krohvitud (Joonis 1.22). Laudisega viimistletud hoonetel võib olla tegemist nii püst- kui rõhtlaudisega. Katteliistuga püstlaudis, mida selle järgi, et seda palju kasutati ka toona rajatud asunikutaludes, hakati nimetama ka asunikulaudiseks, kujunes omamoodi moevõtteks, mis aitas uue ajastu maju eraldada varasemast, tsaariaja elamupärandist. Hoonete väliskujunduse keerukuse aste on väga erinev, paljud neist on peaaegu dekoorita, mõnedel Tallinna majadel esinevad seevastu aga peenevormilised kaunistused ja erinevad laudisetüübid, näiteks akendealused kalasabamustrilised kassetid. Konstruktsioonitüübilt on need enamasti kõik püstplank- või püstprusshooned, harva esineb ka sõrestikkonstruktsiooni.



Joonis 1.22 Ühel lühikesel perioodil 1930. aastate I poolel Tallinnas siiski lubati ehitada ka kolme täiskorrusega puitkorterelamuid (vasakul). Mõned kivitrepikojaga puitkorterelamud krohviti väljastpoolt üle, nii et need eemalt vaadates meenutavad kivihooneid (paremal).

Teistes linnades Tallinna majale täpselt vastavat hoonetüüpi välja ei kujune, enamasti ehitatakse siin kortermaju ilma kivitrepikojata. Paljud 1920. ja isegi veel 1930. aastate alguse elamud väljaspool Tallinna on hilisjuugendlikud. Vähehaaval hakatakse aga sellest stiilist kaugenema, hoonemahud muutuvad lihtsamaks ja kompaktsemaks, dekoor lihtsustub, siin-seal kohtab ka moodsa *art deco* mõju. Igas linnas kujuneb oma elamutüpoloogia, näiteks Rakveres levivad poolteisekorruselised, keskelt kõrgemad elamud, mis meenutavad natuke sajand varasemaid klassitsistlike tüüpfassaadide ajastu elamuid. Elamus on tavaliselt neli korterit, all kaks suuremat, üleval kaks pisemat, vahel hõlmab kogu alumise korruse omaniku suur korter. Tinglikult on neid hakatud nimetama Rakvere tüüpi majaks.



Joonis 1.23 Sellised pooleteisekorruselised elamud olid väikelinnades üheks kõige levinumaks elamutüübiks 1920.–1930. aastatel (vasakul tüüpiline nn. Rakvere-tüüpi elamu Rakveres). Lisaks kivitrepikojaga korterelamutele ehitati ka Tallinna puitasumites 1920.–1930. aastatel väiksemaid elamuid, kus lisaks omaniku elamispinnale oli 1–3 väiksemat välja üüritavat korterit (paremal).

Paljudel 1920. aastate Nõmme korterelamutel on fassaadil väikesed verandataolised eenduvad risaliidid või erkerid (Joonis 1.24 paremal)



Joonis 1.24 Tartus ehitatakse suuremate korteritega puumaju veel 1920. aastatel tsaariaja lõpuga sarnases saksa *heimat*-stiilist ja juugendist mõjutatud romantilises laadis (vasakul). Palju on seesuguseid elamuid Tammelinnas, kus neid võib leida nii krohvituna kui laudisega viimistletuna. Nõmmel, mis oli toona eraldi linn, olid mõnevõrra leebemad tuletõrje-eeskirjad kui Tallinnas ja siin ei nõutud kahekorruselisesse kortermajja tingimata kivitrepikoda (paremal).

Linnadesse ilmub sel ajal, 1920.–1930. aastail, ka sotsiaalehitus ehk nn. linnamajad (Joonis 1.25), linn rajab vaestele või tulekahjus kodu kaotanud inimestele sotsiaalkorterid, sageli eelistati sel puhul just puitehitust kui odavamat, niisuguseid tolle aja sotsiaalmaju

on järel näiteks Võrus ja Tartus. Tallinnas olid sellised sotsiaalelamispinnad Sitsi ja Keava tänaval asunud nn. linnabarakkides, mis on hävinud. Linn võis lisaks materiaalselt vähekindlustatud inimgruppidele ehitada kortereid ka ametnikele või linna teenistuses olevatele õpetajatele. Nii nagu tsaariajal, nii võib ka Eesti ajal omaette grupina eristada raudteelaste elamuid, need on eriti just toonase kitsarööpmelise raudtee liinide äärde ehitatud traditsionalistlikud kõrge kivikatusega, tavaliselt püstlaudisega viimistletud hooned. Tallinnas on raudteelaste elamuid 1920. aastail projekteerinud ka tuntud arhitekt Karl Burman.



Joonis 1.25 Eestiaegne nn. linnamaja (tänapäeva mõistes sotsiaalmaja) Võrus (vasakul, arh. Anton Soans). Tallinnas Kopli kaubajaama juures on rida 1920. aastate raudteelaste elamuid (paremal, arh. Karl Burman).

1.4.6 Modernism puitarhitektuuris

1930. aastail tuleb puitarhitektuuri ka modernistlik arhitektuurikeel. Ilmuvad puitkorterelamud, mille puhul saab rääkida funktsionalismi mõjust: toona väga ehmatavana ja moodsana mõjunud lamekatused (päris lamekatust toona enamasti ei suudetud ehitada, need on valdavalt tegelikult parapeti taha peidetud madalakaldelised valtspleki või rullmaterjaliga kaetud katused), suured horisontaalsed vähese raamjaotusega aknad, dekoor taandub peaaegu täielikult, fassaade iseloomustavad suured tühjad liigendamata pinnad. Moodne esteetika avaldub ka detailides: reelingpiiretega rõdud, dekoratiivse raamjaotusega ümaraknad, ustel napp geomeetriline ornament. Need modernistlikud puitkorterelamud esinevad nii krohvituna, nii et neid on isegi esmapilgul raske eristada kivihoonetest, kui ka laudisega viimistletuna. Viimasel juhul võib tegemist olla nii püst- kui rõhtlaudisega, laudade laius on aga varasemate historitsismi- ja juugendiajastu elamutega võrreldes palju väiksem. Palju krohvitud modernistlikke puumaju on Tallinnas Nõmmel, kuid see hoonetüüp levis ka Tartus, näiteks Tähtvere linnaosas, aga ka Karlova tagumistes osades, neid leidub ka teistes linnades. Konstruktsioonitüübilt on enamasti tegemist sõrestikhoonetega, ehk nagu toona öeldi: täidisseintega elamutega, kus soojustusmaterjaliks on sõrestiku täiteks pandud saepuru. Sisemiselt ruumijaotuselt on sellised elamud erinevad, siia gruppi kuulub nii kahepereelamuid, kus kummalgi korrusel on ainult üks korter kui ka tagasihoidlikumate korteritega keskse trepikojaga maju. Puitfunktsionalism arhitektuuriajaloolise fenomenina on väga huvitav, sest ühendab Lääne-Euroopast meile jõudnud kõige moodsamat stiilikäsitlust ja sajanditepikkust kohalikku puitehituse traditsiooni.




Joonis 1.26 1930. aastatel jõudsid ka puidust korterelamute arhitektuuri uued esteetilised arusaamad (elamu Rakveres, paremal). Modernistlikele puuelamutele annab sageli uhke ilme efektselt liigendatud mahuline kompositsioon (elamu Tallinnas, vasakul).




Joonis 1.27 Üksikuid modernistlikke puumaju kerkis ka vanadesse, varem välja kujunenud puitlinnaosadesse, kui suuri krunte 1930. aastatel väiksemaks jagati, oma uudse arhitektuurikeele ja lameda katusega tekitasid need algul palju imestust (vasakul). Paljud modernistlikud puitelamud, mis tegelikult ehitatud puitsõrestik- või püstplankkonstruktsioonis, krohviti väljastpoolt üle. Tallinn-Nõmme villalikes puitelamutes, mis tüübilt meenutavad ühepereelamut, oli sageli siiski 2–3 korterit (paremal).

1.4.7 Puidust korterelamud pärast 1940. aastat

Eesti linnades ehitati puitkonstruktsioonis korterelamud ka pärast II maailmasõda. Enamasti on need monteeritavad puitkilpmajad või puitsõrestikmajad, harva ka püstplank- või püstprusskonstruktsioonis hooned. Ühed kõige omapärasemad on rahvakorterite ehk RaKo majad Tallinnas Pelgulinnas ja Vana-Lasnamäel. Need elamud ehitati esimesel Nõukogude aastal 1940–1941 ja nende ehitamist jätkati ka veel esimestel sõjajärgsetel aastatel. Väliselt lihtsates ja üsna ilmetutes elamutes olid tegelikult päris head korterid, enamik ühe- ja kahe-, ent mõned ka kolmetoalised. Elamus on Tallinnas traditsiooniliseks kujunenud kivitrepikoda, kuid see kaeti väljast laudisega üle, et eristada nõukogude arhitektuuri mingil moel eestiaegsetest kodanlikest elamutest. Siin püüti sisse tuua uuendusi, et näidata, kuidas Nõukogude võim hoolitseb töötava rahva korteriolude eest: Näiteks kavandati igasse korterisse duširuum. Ülesehituselt on tegemist Tallinna maja hoonetüübi jätkuga, kuid kivitrepikoda kaeti nüüd laudisega üle, et eristada neid elamuid, mis pidid sümboliseerima uut epohhi eestiaegsetest eramutest. Ka hoonete paigutus ridadena üksteise taha, otsaga tänava poole pidi eristama RaKo kvartaleid tsaari- ja eestiaegsest linnaosadest ning kajastama uue egalitaarsusele rajatud klassideta ühiskonna printsiipe.

Kui RaKo majad olid Eestis kohalike olude jaoks välja töötatud ja nende põhiautoriks oli tuntud eestiaegne arhitekt Alar Kotli, siis järgmised, 1940. aastate lõpul kuni 1950. aastate alguses levinud puitelamute tüübid olid juba valdavalt Venemaalt üle võetud üleliiduliste tüüpprojektide mugandused. Hoonete proportsiooni- ja detailikäsitluses avaldub selgelt venepärane maitsekool. Eestiaegsetele elamutele omast kivitrepikoda neil ei ole. Sellised maju on palju Pelgulinna tagumistes osades ja mujal Põhja-Tallinnas, aga ka Kristiines, ent samade tüüpprojektide järgi on peale Tallinna ehitatud puitelamuid ka teistes Eesti linnades. Nõndasama kui eestiaegsed Tallinna majad, võisid ka nõukogudeaegsed puitkorterelamud esineda nii laudisega viimistletuna kui ka krohvituna, sealjuures võisid ka sarnast tüüpi elamud samas kvartalis või sama tänava ääres valmida erineva viimistlusviisiga. Sageli ehitasid neid asutused oma töölistele.

Puitelamute gruppe kohtab ka sõjaväeosade juures, sest kiiresti püstitavaid karkasskonstruktsioonis maju ehitati elamuteks üleajateenijatele-allohvitseridele. Tihti hoonestati terve kvartal või tänavalõik ühte tüüpi elamutega. Tegemist on monteeritavate puitkilphoonetega, mis on aga üle krohvitud ning millele on antud stalinistlikule ajastule omane väliskujundus. Krohvitud puuelamud on sageli sõna otseses mõttes stalinistlikud, kaunistatud tollele ajale omaste stiliseeritud uusklassitsistlike detailidega. Seevastu laudisega viimistletud hoonetüübid on barakitaoliselt lihtsad, ajastuomastest stiilielementidest esinevad sageli vaid välisuste portaalitaolised raamistused. Seda elamutüüpi ehitasid sageli kiiresti paisuva töötajaskonnaga asutused oma personalile.

Üks kõige erilisemaid sõjajärgsete puitelamute kogumeid Eestis on Sõtke tänaval Sillamäel, kus need moodustavad hämmastavalt tervikliku stalinistliku ansambli. Korterid nõukogudeaegsetes puitelamutes on erineva suurusega, 1–3-toalised. Esineb ka keskse koridoriga ühiselamutüüpi elamuid.



Joonis 1.28 RaKO maja Pelgulinnas (vasakul). Need 1950. aastate algul valminud elamud Tallinnas Koplis (paremal ülal) esindavad üleliidulist sõjaväebaraki tüüpprojekti, mida on ehitatud üleajateenijate perekondadele ka näiteks Pihkvas ja mujal Venemaal. Ka see (paremal all) elamu Keilas esindab üht üleliidulist tüüpprojekti, mida erinevates variatsioonides on kasutatud paljudes linnades üle Eesti.

Omaette teemaks on Tallinna Pääsküla, aga ka mitmele poole mujale Eestisse ehitatud ühekorruselised nn. Soome barakid, mis olid monteeritavad puitsõrestikelamud ning võisid esineda nii laudisega viimistletuna kui ka krohvituna.



Joonis 1.29 Soome baraki tüüpi väljast krohvitud maja Tallinnas Pääskülas (vasakul) ja ülevenemaalise projekti järi ehitatud ühekorruseline sõjaväebarakk Raplas (paremal). Väikesesse majja paigutati tavaliselt 2, vahel võis mahtuda aga ka 3-4 tillukest korterit.

Barakke oli mitut tüüpi, need varieerusid alates ühepereelamust kuni nelja korteriga elamuni. Sageli jagunesid need kahe pere vahel pooleks, üks korter käis sisse ühest ja teine teisest hoone otsast. Soome barakkideks kutsutakse neid seetõttu, et seesuguseid hooneid pidid ehitama soomlased Nõukogude Liidule sõjakahjude katteks.

Puitelamuid ehitati eelkõige just Nõukogude perioodi esimesel poolel, nn. stalinistlikul ajastul, mil kivihoonetega võrreldes odavam ja kättesaadavam puitehitus aitas üle saada sõjajärgsest korterikitsikusest. Hiljem, alates 1950. aastate keskpaigast, Eestis puidust korterelamuid praktiliselt enam ei ehitatud. Tänapäeval püstitatakse miljööväärtuslikeks hoonestusaladeks tunnistatud piirkondades küll mõnikord uusehitisi, mille välisviimistluses on kasutatud puitu, et sobitada uut hoonet paremini ajaloolisese ümbruskonda. Paraku on enamasti tegemist vaid fassaade katva välise kestaga, kandvat puitkonstruktsiooni kohtab uueaegsete korterelamute puhul harva.

Uuemast puitkorterelamute ehituskvaliteedist võib eeskujuks tuua 2000-aastate alguse poole Tartusse rajatud nüüdisaegsed kolmekorruselised ruumelementidest puitkorterelamud.

2 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

2.1 Üldist

Vanemad säilinud puitelamud on ehitatud Eestimaa asumites 18. sajandil. Vanemaid elamuid on palju Rakveres, Paides ja Lõuna-Eesti väiksemates linnades. Tallinnas on selle perioodi elamuid Kadriorus Poska tänava kandis ja Kassisabas Vismari tänava ja Adamsoni tänava kandis. Puitelamute ehitamine ise algas loomulikult veel varem. Koos nende elamute ehitamisega kujunes välja ka teede ning tänavate võrk asumites – üldjuhul ehitati asumid just tollaste põhiliste liikumisteede äärde.

Asjaolu, et vanemaid puitelamuid ei ole palju säilinud, ei tulene otseselt nende halvast ehituskvaliteedist ega ka mitte varasest ehitusajast, sest, nagu näitavad Põhjamaade kogemused, võib järjepidevalt hästi hooldatud puithoone püsida kasutuskõlbulikuna sajandeid. Puitelamud moodustasid peamiselt eeslinnad, mis said sõdade ja vallutuste ajal mitmeid kordi maha põletatud (nii vaenlaste kui ka linna kaitsjate poolt). Lisaks teadlikele põletamistele sõdade ja piiramiste korral võis tulekahjusid puhkeda ka õnnetustest elanikel endil. Tule levikut võis soodustada ka tollane puitkatuste kasutamine. Lisaks tuleb arvestada seda, et, nagu eelpool mainitud, algas puitasumite kujunemine üldjuhul peamiste liikumisteede äärest. Seetõttu puithoonestuse kõige vanem osa sattus hiljem linnade kasvades sageli suurte peatänavate servadesse, kus surve väikeste puumajade asendamiseks suuremate ja moodsamate ehitistega on olnud kõige tõsisem.

Enamik säilinud puithoonestust pärineb 19. saj. lõpust ja 20. saj. algusest seoses üldise linnastumisega ja tööstuse arenguga kaasnenud ehitusbuumiga. Erinevad ajajärgud on eraldatavad peamiselt arhitektuuri ja plaanilahenduse osas. Konstruktsiooni osas suuri muudatusi ei olnud. Rõhtpalkkonstruktsiooni kõrvale hakkab tekkima püstpalk-konstruktsioon 20. saj. algul ja puitsõrestikkonstruktsioon viimastel I maailmasõja eelsetel aastatel. Püstpalk-konstruktsiooni levik tulenes võimalusest kasutada erineva läbimõõduga puitu ning asjaolust, et püstpalkhoones on vähem ehitusjärgseid liikumusi ja vajumisi. Viimane omadus muutus eriti oluliseks 20. sajandi alguskümnenditel seoses elektripaigaldise levikuga. Nimelt ei saanud esimestel ehitusjärgsetel aastatel tugevasti “kokku vajuvasse” traditsioonilisse rõhtpalkmajja, eriti kahekorruselisesse majja, kus valmimisjärgne vajumine oli eriti suur, kohe juhtmeid panna, mistõttu hoone kasutusele võtmine venis ja see oli ka üks põhjus, miks hakati hiljem vähehaaval üle minema püstpalk, püstpruss- või sõrestik-konstruktsioonile.

Üldjuhul olid puitkorterelamud ehitatud kvaliteetselt ja kapitaalselt. Mõned, just vanemad (19. saj. lõpus või varem valminud) hooned on ehitatud väga madalal soklil, kus vundamendi maapealset peaaegu osa ei olegi. 20. saj. algul hakati järjest enam ehitama täiskeldriga hooneid ja tegema paremaid sokleid ja vundamente. Ehitusjärgne puitkonstruktsioon oli kapitaalne ja korralik. Asjaolu, et puitelamute praegune olukord on sageli kaunis kurb, ei tulene sellest, et nad oleksid halvasti ehitatud vaid on kujunenud eelkõige seetõttu, et nõukogude ajal, mil enamik korterelamutest oli natisonaliseeritud, jätsid majavalitsused need hooned enamasti ilma piisava hoolduseta.

Nõukogude ajal puithoonestust ei väärtustatud ja mitmel pool nähti pikemas perspektiivis ette valdavalt puitelamutest koosnevate linnaosade terviklik lammutamine. Osalt tulenes see modernismiajastu üldisest väärtushinnangutest, mis soosisid uue eelistamist ja vana kõrvale jätmist. Teisalt võib rääkida ka Nõukogude perioodile omasest teadlikust ideoloogilisest hoiakust, kus püüti vanu, tsaari- ja Eesti ajal loodud ehitisi, linnakeskkonda ja kultuuritraditsioone hävitada, sest need justkui esindasid aegunuks ja valeks peetud kapitalistlikku ühiskonnakorraldust. Kõige rohkem kannatasid selle suhtumise tõttu just vanemad elamud (eelkõige tsaariaegsed puithooned), mida majavalitsused peaaegu üldse ei remontinud ega hooldanud, sest neid peeti esmajoones lammutamisele kuuluvateks. Tihti on just hooldamata jätmisest tingitud nende puitelamute praegune halb seisukord ning arvamus, et vanemad puithooned, eriti tööliselamud, olid algusest peale

halvasti ja lohakalt ehitatud, on pigem ekslik. Kui majavalitsused puithooneid ka remontisid, siis oli ehitustööde kvaliteet tihti lohakas ja hoonet hävitav. Remondi eesmärgiks oli tagada elanikele hädapärased elutingimused, kuid see ei olnud suunatud pikemaajalisele jätkusuutlikule ehitishooldele ega võtnud arvesse puitelamute arhitektuurset ning konstruktiivset spetsiifikat. Tihti läksid nende remontide käigus kaduma ka hoonete dekoratiivdetailid ja esialgne arhitektuurne ilme. Rikuti hoone algsed proportsioonid ning väljanägemine.

Arhitektuuriajaloolaste ringkondades hakati puithoonestust juba 1960.–1970. aastail mõningal määral siiski väärtuslikuks pidama, selle tulemusena moodustati paljudes linnasüdametes, näiteks Kuressaares, Viljandis, Võrus ja mujal muinsuskaitsealad. Palju väärtuslikke puithoonestusega alasid jäi siiski kaitsetsoonidest (nagu muinsuskaitsealasid siis kutsuti) paratamatult välja. Suuremates linnades, nagu Tallinn ja Tartu, peeti vajalikuks kaitsta vaid valdavalt kivihoonestusega linnasüdant, puumajade kvartaleid muinsuskaitseala siin esialgu praktiliselt ei hõlmanud. Kaasaegne väärtustav suhtumine puitarhitektuuri jõudis Eestisse suuresti Skandinaaviamaade vahendusel 1990. aastatel ja sai valdavaks 21. sajandi algul, mil paljudes linnades on puithoonestusega elamualade esile tõstmiseks ja arengute suunamiseks moodustatud miljööväärtuslikud hoonestusalad.

See eelkirjeldus on toodud taustaks, mis tuleb arvesse võtta puitkorterelamute kasutusea ja kestvuse hindamisel. Praegu on enamikul puitkorterelamutel omanikud ja on näha olulist suhtumise muutust paremuse poole. Teadvustatakse, et puitkorterelamutes on tegemist väärtusliku elukeskkonnaga ja suure tulevikupotentsiaaliga. Selline suhtumine pole küll kahjuks veel valdav. Ehitiste hooldamist ning terviklikku säästvat renoveerimist takistab pahatihti ka eelpool toodud asjaoludest tulenev erakordselt halb seisund – Eesti Vabariigi taasiseseisvumise järel õigusjärgsetele omanikele tagastatud või ka korterite kaupa erastatud elamud on pikaajalise hooldamatuse tulemusena tegelikult märksa halvemas olukorras, kui need oma east tingitud loomuliku amortisatsiooni tõttu õigupoolest peaksid olema. Nende korrastamiseks on mõnelgi puhul vaja teha suhteliselt suuri kulutusi ja teostada keerukaid töid (näiteks välisperimeetri põhikonstruktsioonide osaline proteesimine, vahelaetalade asendamine vms.), mille läbi viimine elamuna kasutusel olevas hoones, eriti juhul, kui elanikel puudub võimalus tööde ajaks mujale kolida, võib osutuda komplitseerituks.

Kujunenud olukorras on oluline jälgida, et hoone seisund veelgi ei halveneks. Hoonete omanikud peavad tagama selle, et ehitis oleks ohutu ning samas ka säiliks. Hoonete omanikud peaksid enam saama aru oma vara (hoone) säilimise tagamiseks vajalikest tegevustest / meetmetest, mis sõltuvad eelkõige neist endist. Tehnilisest aspektist vaadates on eelkõige jutt katustest, välisseintest, vundamentidest ja hoone ümber olevast planeeringust. Ilmselt ei ole paljusid puitelamuid kunagi põhjalikumalt renoveeritud, mistõttu nad on muutunud tehniliselt puudulikuks ning sealsed elutingimused praeguseks enam ei vasta tänapäeva nõuetele, samas puuduvad paljudel hoonetel näiteks vihmavee-süsteemid täielikult või need on paigaldatud valesti, mille tulemuseks on pidevalt süvenevad kahjustused hoonete fassaadielementidele.

Puitelamute puhul on näha hulgaliselt ka „isehakanud meistrimeeste“ kätetööd ning ilmselt omandisuhete põhjal toimuvat elamute ümberehitamist, mille puhul iga korteriomandi või reaalosa omanik või valdaja tegutseb omaette ning elanike vahel puudub koostöö. See on pahatihti põhjustanud nii hoone tehnilise seisukorra halvenemise ja arhitektuuri-ajaloolise väärtuse kahanemise. Paljudel elamutel on kaootiline välisilme, kus erinevad piirded (seinad) on erinevalt viimistletud, paigaldatud on erinevaid avatäiteid (eriti aknad). Samas on sageli tööd jäänud lõpetamata, mõnel puhul on teostatud töid, mis hoone kui terviku tehnilise seisundi parandamiseks ei pruugi olla primaarsed, samal ajal kui paljusid hoone säilimise tagamiseks hädavajalikke töid (näiteks katusekatte vahetus, sademeveesüsteemi remont) ei ole isegi alustatud ega lähitulevikus planeeritud.

2.2 Uurimismetoodika ja hindamise alused

Puitkorterelamute piirdetarindite tehnilist seisukorda hinnati 133 elamu välise ülevaatlust baasil. Uuring viidi läbi 2010. aasta suvel Tallinnas (46 %), Pärnus (14 %), Tartus (29 %) ja Viljandis (11 %). Suur osa vaadeldud hoonetest asusid kehtestatud või planeeritavatel miljööväärtuslikel aladel (Tallinnas peaaegu kõik). Uuringu arendas välja ja viis läbi 2 uurijat, tulemuste ühtsuse huvides anti hinnanguid koos. Hilisemates faasides täitsid juhendamise all ankeete ka teised uurijad.

Lisaks sellele valimile teostati kõikide sisekliimamõõtmiste all olnud elamute (29 tk.) piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide uuring, tarindite avamist ning proovide võtmist hilisemateks laboriuuringuteks. Nendest kolmes teostati konstruktsioonide avamine. Uuritud hooned on ehitatud aastatel 1887–1938. Vähestele nendest oli viimasel kümnendil läbiviidud suuremad ehituskonstruktiivseid renoveerimistöid. See võimaldas hinnata renoveerimata puitkorterelamute tehnilist seisukorda. Jooksvaid, väiksemaid remonttöid oli tehtud kõikides hoonetes. Tihti vaid korteri piires (otsene eraomand).

Kõigi uuritud hoonete kohta täideti ankeet, kus hinnati tehnilist seisukorda vundamendist kuni korstnani, sealhulgas vundamendi seisundit sokliosas ning vajumite ebaühtlust, voodri ja veelaudade, akende, katuse ja korstna seisukorda jne.

Lisaks valimis olnud põhjalikult uuritud puitkorterelamutele tehti väline visuaalne vaatlus ka teistele puitkorterelamutele. Uuringu arendas välja ja viis läbi 2 uurijat, tulemuste ühtsuse huvides anti hinnanguid koos. Hilisemates faasides täitsid juhendamise all ankeete ka teised uurijad. Kokku uuriti 162 puitkorterelamut. Uuring viidi läbi ajavahemikul suvi 2010…kevad 2011 Tallinnas (44 % majadest), Pärnus (28 %), Tartus (14 %) ja Viljandis (14 %). Suur osa vaadeldud hoonetest asusid kehtestatud või planeeritavatel miljööväärtuslikel aladel (Tallinnas pea kõik).

Kasutati järgmist hinnete skaalat 0-st 5-ni (vt. Joonis 2.1, Joonis 2.2):

- **0** praktiliselt olematu, täielikult hävinenud, vajalik kohene taastamine/uuestiehitus;
- **1** avariiohtlikkus või väga halvas seisukorras, väga tõsised kahjustused, nõuab kohest rekonstrueerimist / renoveerimist / restaureerimist;
- **2** halvas seisukorras, mõõdukad kahjustused, nõuab renoveerimist/restaureerimist lähitulevikus (1 kuni 3 aasta jooksul);
- **3** rahuldavas seisukorras, kerged kahjustused, hooldus/uuendamine vajalik 3 kuni 5 aasta jooksul ;
- **4** heas seisukorras, kahjustusi praktiliselt pole, hooldus/uuendamine vajalik 5 kuni 10 aasta jooksul;
- **5** väga heas seisukorras, kahjustusi pole, renoveerimist/hooldust enne 10 aasta möödumist ei vaja.

Lõplikku klassifitseerimisskaalat muudeti töö käigus ühe hinde võrra, seetõttu erinevad esialgsed tulemused (Klõšeiko jt. 2011) mõnevõrra praeguses aruandes esitatutest.

Hinded anti halvimas seisundis oleva eksemplari järgi. Hinne anti arvestades esinenud kahjustusi ja nende põhjuseid. Võttes arvesse hoone olemust (nikerdused, katus, aknad, sokli etteaste) anti hinnang suuremate ümberehitusteta lisatava soojustusmaterjali paksusele (sokli etteaste, räästa laius, akende lahendus jne.).

Igast uuritud elamust ja tähtsamatest hooneosadest tehti andmetöötlusel tekkivate küsimuste lahendamiseks ja raporti illustreerimiseks fotod.



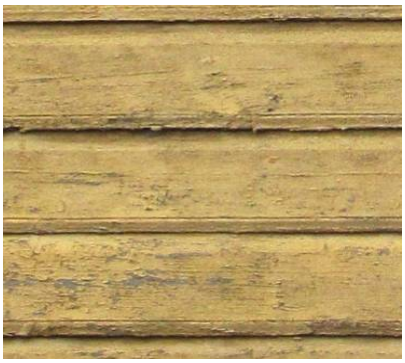
0 - hävinenud



1 - väga halb



2 - halb



3 - rahuldav



4 - hea



5 - väga hea

Joonis 2.1 Näide hindamisskaala vastetest välisvoodri värvkatte puhul.



0 - hävinenud



1 - väga halb



2 - halb



3 - rahuldav



4 - hea



5 - väga hea

Joonis 2.2 Näide hindamisskaala vastetest soklipealse veelaua puhul.

Seinte kandevõime kahtluste korral kontrolliti alumiste palkide olukorda, uurides biokahjustuste (puidumädanik, putuka/mardikakahjustused) olemasolu. Vajadusel võeti palkidest puurproove (visuaalselt kahjustamata materjalidest /tarinditest/ konstruktsioonidest) (vt. Joonis 2.3), mida vaadeldi visuaalselt ning tehti mikrobioloogiline analüüs. Uurimismetoodika hõlmas samuti uuritavate elamute elanike küsitlemist.



Joonis 2.3 Puurproovide võtmine katusekonstruktsioonist ja välisseina alumistest palkidest.

Renoveerimistööde vajadust hinnati erinevatele hoone osadele kolmepallisel skaalal:

- renoveerimine vajalik kohe (avariiohtlik või hoone kestvuse seisukohalt kiiret reageerimist vajav olukord; olukorra hinded 0, 1, 2);
- renoveerimine vajalik 3 kuni 5 aasta jooksul (vaja võtta lähiaastate tegevuskavasse; olukorra hinded 3);
- renoveerimine vajalik 10 aasta jooksul (olukorra hinne 4).

2.3 Katused

2.3.1 Katuste lahendused

Puitkorterelamute peamine katusekonstruktsioon on puitsarikatel kelp- või viilkatus. Sõltuvalt hoone laiusest oli kandekonstruktsioon lahendatud lihtsa sarikas-penn lahendusega või laiematel hoonetel toolvärk-konstruktsioonina (Joonis 2.4).



Joonis 2.4 Katuse kandekonstruktsioonid uuritud elamutes.

19. sajandi keskel oli peamiseks katusekatteks laud ja katusekivi. 19. sajandi lõpul hakkas domineerima katusepapp, mille ees varasemad kattematerjalid (laud, sindel, laast) kiiresti taandusid (Mäsak 1981). Jõukamatele majadele hakati alates 19. sajandi lõpust tegema ka plekk-katuseid. Tallinnas keelati juba 19. sajandi lõpus laudkatused, kuid jätkuvalt lubati kasutada katusepappi. Hiljem, 1930. aastate lõpul, keelati kõigis linnades kasutada kergestisüttivaid kattematerjale, nagu õlg, roog, pilbas ja laast sootuks (RT 43 – 1937, art. 386) ja katused pidid olema kaetud mittesüttiva materjaliga (RT 59 – 1932, art. 495).

Uuritud hoonete katused olid kaetud põhiliselt valtsplekk-kattega (eluiga hooldusega ~60 aastat). Plekk-kate oli peamine kattematerjal puitkorterelamute ehitamisel ja see sobis selleks hästi ka katuse madala kalde tõttu. Vähemal määral oli uuritud elamute katused kaetud katusekividega või asbesttsementplaatidega (eterniit, eluiga hooldusega ~40 aastat). Eterniit oli pealmine katuskate, mida oli kasutatud katuse vahetamisel 20. sajandi teisel poolel. Sageli paigaldati eterniitplaadid otse vanale katuseplekile. Nüüdseks on mõlema materjali kasutusiga ületatud või ületamas ning see kajastub nii vaatluskäikudel kujunenud üldmuljes kui ka statistikas.

Katuste soojustus paiknes peamiselt pööningu vahelael, kuna algselt ei olnud planeeritud katusealust eluruumidena kasutusse võtta. Puust taladega laed all- ja pealpool eluruume pidid olema mustalagedega ja soojustpidava vahetäitega. Soojustpidav vahetäide pidid olema tulekindlatel vahelagedel (nõue ei olnud kehtiv suvemajade kohta) RT 43 – 1937, art. 386.

Aknad pööningu valgustuseks paiknesid põhiliselt otsaseintes (peamiselt viilkatuse korral) või katuseuukides / vintskappides (peamiselt kelpkatuse korral).

2.3.2 Katuste olukord ja põhilised puudused

Katuste põhilised tehnilised puudused olid katusekatte ebatihedusest tingitud vee lekked. Selle peamiseks põhjuseks oli katusekatte kvaliteedist ja vanusest tingitud amortisatsioon. Põhilised lekked on liidete ja neelukodade juures.

Eterniitplaadid ja katusekivid (vt. Joonis 2.5) muutuvad aja jooksul rabedaks ega ole vastupidavad mehaanilistele löökidele. Puudelt kukkuvad oksad, katusel käimine, lumekoormusest põhjustatud deformatsioon jms. võivad eterniiti või katusekive purustada. Eterniitplaatide ja katusekivide pragunemine ning puudumine võib põhjustada katuse läbijooksu. Pragunenud eterniitplaatide kahjustused ei pruugi olla märgatavad maapinnalt ega ka eemalt, katusel ülevaatust tehes (vt. Joonis 2.6). Samas ei talu vana eterniitkate temal käimist, et kahjustuste ulatust kindlaks teha. Seetõttu võib eterniitkatte kahjustuste kindlakstegemine olla raskendatud.



Joonis 2.5 Lagunenud eterniitkatus, puuduvad harjalauad, liited vintskapiga: katuse tööiga on lõppenud ja tuleb välja vahetada.



Joonis 2.6 Väljastpoolt vaadates on katusekate korras, kuid eterniitplaatide vahel on praod, kust lekib vesi pööningule.

Plekk-katuste puhul on katusekatte lagunemise peamine põhjus pleki korrosioon, vt. Joonis 2.7. Korrosioon esines peamiselt katusepleki valtside juures ja kohtades, kus vesi kogunes pikemaks ajaks seisma.

Katusekatte lagunemise kõrval olid teised peamised katuselekke põhjused läbiviigud, eelkõige antennikinnituste, korstnate, torustike ja katuseluukide juures, vt. Joonis 2.8.



Joonis 2.7 Plekk-katuste lekkimise ja lagunemise peamised põhjused: katusekatte korrosioon, lekked valtside ja liidete juurest.



Joonis 2.8 Peamised lekkekohad katuste läbiviikude juures: antennikinnitused, katuseluugid, korstnad.

Tüüpilisemaks kivikatuse puuduseks on lahtised katusekivid – eraldunud olid nii tavalised kui ka viilukivid, vt. Joonis 2.9. Sellisel juhul jõuab vihmavesi katuselt otse hoonesse ning loob soodsad tingimused tarindite ja konstruktsioonide lagunemiseks. Samas on tegemist ka haldajal endal võrdlemisi lihtsalt lahendatava probleemiga, kui iga-aastaste hoolduste juures tuvastatakse kahjustunud kohad ja need aegsalt parandatakse. Kivikatus on teiste katustega võrreldes üldiselt kõige pikaealisem. Kõikidele majadele ei saa neid siiski soovitada. Nimelt võib kivikatuse kasutamise takistuseks olla ebapiisav katusekalle, kuna valdavalt on puitkorterelamute katusekalle alla 45 ° ja arhitektuurne sobimatus: mõnede puidust korterelamute tüüpide puhul ei ole kivikatuseid ajalooliselt kunagi kasutatud, ka eri linnades on erinev ehitustraditsioon, näiteks Tallinnas on kivikatused puitelamutel pigem haruldased, Tartus ja Viljandis palju levinumad. Samas võib kivikatuse kasutamise takistuseks olla ka puudulik katusekalle, kuna valdavalt on puitkorterelamute katusekalle alla 45 ° ja arhitektuurne sobilikkus. Kivikatused on plekk- ja eterniitkatustest raskemad. Sarikate ja roovide mõõtmed, kandevõime ja jäikus peavad olema kivikatustel suuremad.



Joonis 2.9 Lahtised katusekivid ja puuduvad harjalauad/kivid põhjustavad veeleket.

Katuse lekete tagajärjeks on katusekonstruktsioonides või/ja pööningu vahelae vee- ja niiskuskahjustused: puitmaterjali biokahjustus, märgunud soojustus, kahjustunud siseviimistlus jne., vt. Joonis 2.10. Paaris elamus oli läbijooksu tagajärgi püütud vähendada veeanumate ja pööningu põrandale laotatud kilede abil, vt. Joonis 2.10 paremal.

Selline tagajärgedega võitlemine võib teha asja ainult halvemaks. Veeanumad täituvad veega ja vesi valgub ikkagi põrandale või kilede vahele, kust vee väljakuivamine on takistatud või väga aeglane. Katusekatte lekete korral on katusekatte väljavahetamine möödapääsmatu. Probleemi võibki põhjustada just selline väike lekkekoht, kust tilgub pidevalt natuke vett. See on piisav kahjustuste tekkeks kandekonstruktsioonides, aga ei ole veel näha elamu siseruumides, enne kui kahjustuse ulatus on juba väga suur.

Kuna korterelamute puhul on tegemist linnatänavate ääres asuvate hoonetega, siis on oluline, et hoone katusel oleks lumetõkked. Uuritud korterelamutest olid lumetõkked väga vähestel. Lumetõkke eesmärgiks on takistada katusel oleva lume ühekorraga mahatulekut. Katuselt korraga allatulev lumi ohustab hoone ääres olevaid inimesi või vara.

Teine ohutusega otseselt seotud probleem on katuseräästasse tekkivad jääpurikad, vt. Joonis 2.11. Jääpurikate tekkimise peamine põhjus on katuse või pööningu vahelae puudulik soojustakistus. Kui soojustakistus on puudulik, siis see tõuseb temperatuuri katusel oleva lumekihi all kõrgemaks kui lume sulamistemperatuur ja sulanud lumi valgub mööda katust räästa poole. Räästa tsoonis vesi jäätub ja moodustuvad jääpurikad. Jääpurikad kukuvad alla, kui purikas muutub piisavalt raskeks või kui soojemate ilmadega kaob purikal nake katusega. Viimastel aastatel on seoses sellega olnud mitu rasket õnnetust. Seega katuse soojapidavus ei ole ainult energiatõhususe probleem, vaid mõjutab oluliselt ka hoonete kasutusohutust.



Joonis 2.10 Katuse läbijooksudest põhjustatud kahjustused ülemise korruse laes (vasakul). Katuse läbijooksu tagajärgi on püütud vähendada veeanumate ja pööningu põrandale laotatud kilede abil, kuid see teeb tagajärjed veelgi halvemaks.



Joonis 2.11 Mitme meetri pikkused jääpurikad viitavad katuse või pööningu vahelae puudulikule soojustusele.

Sarikate seisukord oli uuritud hoonetes hea või rahuldav. Sarika olukorda on pööningul võimalik lihtsam alt näha ja hinnata kui katusekatte olukorda. Seetõttu on kahjustatud sarikad üldiselt parandatud. Probleemsed kohad esinesid katuse lekkekohtade juures. Katuse kandekonstruktsioonides võis kohati märgata koorega laudu ning prusse, mis võivad kujutada endast riski putukakahjustuste arenguks ja levikuks.

Kõik katused vajavad igakevadist ja -sügist hooldamist. Hooldamata katustel kasvavad taimed ja sammal, vt Joonis 2.12. Need takistavad vee liikumist katusel ja hoiavad katusekatte niiskena, mis soodustab selle lagunemist. Sambla kasvu oht katusel on suurem, kui hoone lähedal asuvad suured puud.

Korstnate katusest väljaulatuvad osad ehk korstnapitsid olid paljudes elamutes korda tehtud ja nende olukord on reeglina parem, kui katuste endi olukord. Samas renoveerimata korstnate olukord oli reeglina halb ja korrastamist vajav. Mõnel pool on korstnate kiiret lagunemist põhjustanud see, et üksikutesse korteritesse individuaalse gaasiküttе paigaldamisel on põlemisgaasid juhitud otse vanasse korstnalõõri lõõre eelnevalt ette valmistamata (tavaliselt paigaldatakse korstnatelliste kahjustumise vältimiseks sel puhul lõõri sisse spetsiaalne metallkest, kuid sageli ei ole seda tehtud). Lagunevatest korstnapitsidest katusele kukkuvad tellised võivad omakorda kahjustada katusekatet, eriti eterniit- ja kivikatuste korral, mis on löökide suhtes tundlikud. Katuselt alla kukkudes võivad need ohustada ka möödujaid või hoone läheduses parkivaid autosid.

Korstnaplekid nii korstna ümber, kui pealispinnal olid valdavalt viimase kümne aasta jooksul vahetatud ja korralikud. Renoveerimata korstnaplekkide olukord oli halb ja hädasti korrastamist vajav.



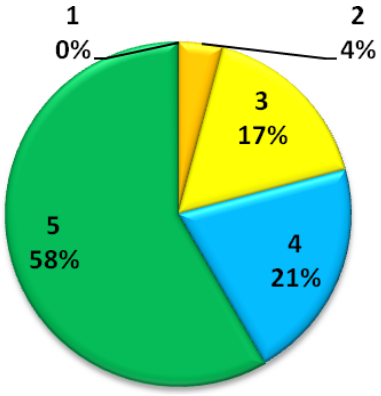
Joonis 2.12 Hooldamata katusel kasvav sammal või muud taimed soodustavad katusekatte lagunemist ja lühendavad oluliselt katuse tööiga.

Kokkuvõtvalt on tüüpilised katustel esinenud puudused järgmised:

- katusel ja sademeveesüsteemis kasvav taimestik takistab vihmavee äravoolu: 50 % kivi- ja eterniitkatustest kasvasid taimed ja/või sammal;
- lahtised või puuduvad katuse-/viilukivid või lauad;
- puuduvad või defektsed harja- ja otsaplekid;
- metalli korrosioon: 63% plekk-katustest vajas lähima 3 aasta jooksul värvimist – neil juhtudel on pleki kaitsekiht tugevalt kahjustunud, samas on värvimine suhteliselt odav ja lihtne viis katusekatte täielikku väljavahetamist edasi lükata;
- pragunenud katusekate (eterniitplaadid, katusekivid): tõenäoliselt põhjustatud liiga suurtest koormustest, roovituse läbivajumistest ning lõtkudeta kinnitatud plaatide temperatuurideformatsioonidest;
- lagunenud räästad.

Enamik kahjustusi saavad alguse regulaarse hoolduse puudumisest ja/või katusekatte eluea lõppemisest. Esimese poolt räägib fakt, et paljud puudused (nt. sammaldumine, lahtised katusekivid) saaks kõrvaldada ka minimaalsete kuludega majaelanikud ise. Teataval määral saab katuse seisukorra järgi hinnata katusekattematerjali majandusliku võimekuse kõrval ka elanike üldist hoolt oma maja eest. Katus on maja kriitiline osa ning soovimatus selle eest elementaarset hoolt kanda näitab vastutustundetust.

Viiepallises süsteemis (vt. lk. 39) hinnatuna on üle poolte katuste ja korstnate olukord hea või väga hea, vt. Joonis 2.13. Ülejäänud osas on vajalik katuste hooldus või uuendamine lähima ühe kuni viie aasta jooksul.



Joonis 2.13 Korstnate seisukord üldistatult (paremal). Number kajastab hinnet olukorrale vt. lk. 39. Protsent kajastab sellele hindele vastava olukorra osakaalu.

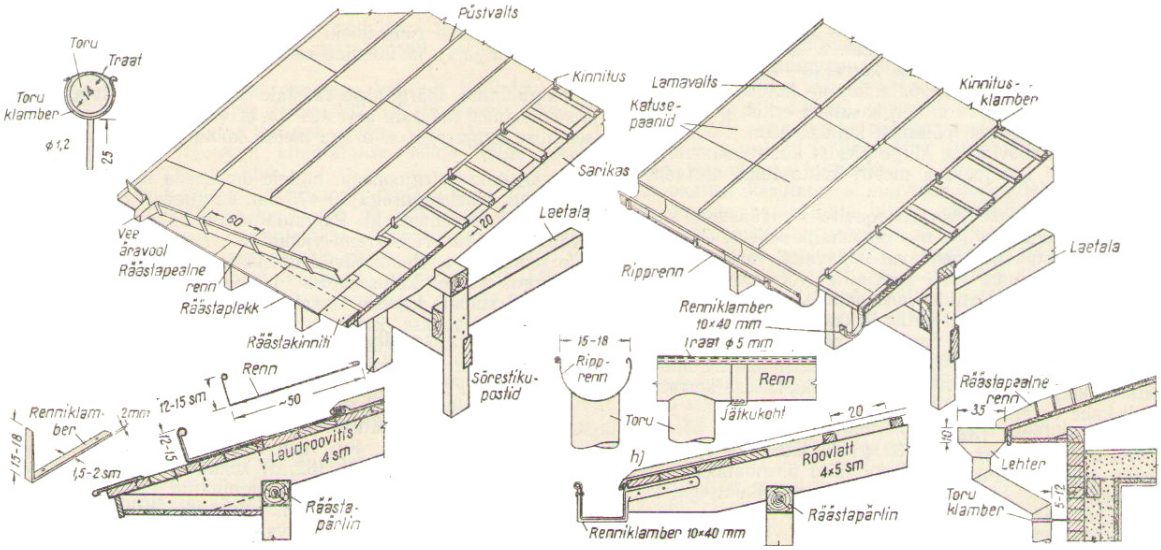
Tabel 2.1-s on esitatud katuste kattematerjalide jaotus uuritud korterelamutes ning nende hinnanguline jääkkasutusiga. Kiireimat väljavahetamist vajavad vanad eterniitkatused ja valtsplekk-katused. Profiilplekk-katuste hea olukord tuleneb sellest, et nad on ehitatud valdavalt viimase 10 aasta jooksul ja on veel korras.

Tabel 2.1 Katuste seisund erinevate katuse kattematerjalide järgi.

Katusekattematerjal	Valtsplekk	Eterniit (paigaldatud valdavalt viimase 40-10 aasta jooksul)	Profiilplekk (paigaldatud valdavalt viimase 10 aasta jooksul)	Kivikatus
Katusekatte esinemissagedus (ühe hoone katusel võib olla kasutatud mitut materjali)	54 %	35 %	15 %	9 %
Katuseid halvas või väga halvas seisundis	3 %	4 %	0 %	0 %
Katuseid, mis hinnanguliselt vajavad vahetamist lähima 3 aasta jooksul	13 %	35 %	0 %	25 %
Katuseid, mis hinnanguliselt vajavad vahetamist lähima 10 aasta jooksul	33 %	48 %	0 %	17 %

2.3.3 Sademevee äravoolusüsteemide lahendused ja tehniline seisukord

Puitkorterelamute katused pidid olema varustatud rennidega juba varasemate ehitusmääruste (RT 59 – 1932, art. 495) kohaselt. Rennid võisid asuda kas katuse alumise ääre all ehk tegu oli ripprenniga (Joonis 2.14 paremal) või selle ääre peal ehk tegu oli räästapealse renniga (Joonis 2.14 vasakul) või). Räästapealse renniga lahendus on peamine lahendus valtsplekkkatustel. Ripprenniga lahendus on peamiselt kasutatud eterniitkatustel, kivikatustel ja profiilplekist katustel. Rennidest tuli vesi ära juhtida vihmaveetorudega, mille alumine ots pidi olema mitte kõrgemal, kui 15 cm kõnnitee pinnast.



Joonis 2.14 Sademevee äravoolusüsteem peamise katusekatte, plekk-katuse, korral (Veski, Aarmann, Niine 1959).

Sademevee äravoolusüsteemi ülesanne on koguda katuselt vesi kokku ja juhtida see maapinnale hoonest eemale. Katkine sademeveesüsteem (torud, rennid) soodustab vee sattumist seinale ja soklile ning sellega võib kaasneda puidust, kivist või betoonist kandekonstruktsioonide ja piirdetarindite kahjustused.

Arvestades kahjustuse ulatust ja tagajärgede olulisust, võib katkiseid sademevee-süsteeme pidada puitkorterelamute üheks suurimaks probleemiks. Samas ei ole selle likvideerimine seotud suurte väljaminekutega. Sademeveesüsteemi olemasolu hoonel ei ole mingi luksus, vaid oluline osa hoone kasutusea mõjutajatest.

Kui vihmaveetorude- ja rennide materjal oli halvas seisus 26 %-l hoonetest, siis nende terviklikkus ja õige toimimine osutus oluliselt laiapõhjalisemaks probleemiks – 72 % vihmaveesüsteemidest olid defektsed (neist 54 % kiireloomulist parandamist vajavad).

Positiivne on, et paljudel hoonetest oli täielikult renoveeritud vihmaveesüsteemid, kuid taunida tuleb fakti, et paljudel neist oli teostus kergemate või tõsisemate tehniliste puudujääkidega, vt. Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sademeveesüsteemide olukord.

	Vihmavee äravool seinale või soklile	Defektsed ja mitte-terviklikud süsteemid	Ummistunud süsteemid
Kõigist vihmaveesüsteemidest	62 %	44 %	29 %
Renoveeritud vihmaveesüsteemidest	40 %	21 %	14 %

Kokkuvõtvalt võib välja tuua peamised sademeesüsteemide puudused:

- ummistunud sademeveerenn;
- katkised sademeveerennid ja -torud;
- valesti liidetud torud: ülemise toru sisse paigutatud vihmaveetoru kaotab kiirelt oma vähesegi veetiheduse ning vesi juhitakse mööda toru alla ning jõuab ka fassaadile;
- pole tagatud vihmavee ohutu hoonest eemale juhtimine: sademeveetorude liiga kõrgel või liiga maja lähedal lõppemine tingib niiskuse sattumise soklile;
- puuduv või lahtiühendatud vihmaveetoru oli eelkõige Tallinna laiade räästastega hoonetel esinev nähtus – kahjustatud vihmaveetorud olid rennidest lahti ühendatud ning vihmavesi ei voola otse fassaadile;
- sademeveerenn puudub.

Kui katusel sademevee kogumise renntorud puuduvad või on katkised, juhitakse kõik kokkukogutud vesi seinale, vt. Joonis 2.15. Selle tagajärjel satub välissein suure veekoormuse alla. Probleemne lahendus on ka sademeveetorude puudumine ning vee hoonest eemale juhtimata jätmine. Selle tagajärjel võidakse ära uhtuda pinnast hoone

kõrvalt, mis omakorda põhjustab hoone või hooneümbruse vajumise, vt. Joonis 2.16 vasakul.

Sagedased sademeveesüsteemi mittetoimimise põhjused olid ka ummistunud ja katkenud rennid ja torud, vt. Joonis 2.17.

Kuna puitkorterelamud asuvad tihti linnatänavate ääres, siis on üheks vihmaveetorude lagunemise põhjuseks ka vandalism, vt. Joonis 2.18. parempoolselt jooniselt on näha, et just sademeveetoru tsoonis on paekivisokkel oluliselt kahjustunud. Heaperemeheliku hoolduse korral tuleb kahjustunud sademeveesüsteem kohe korrastada.

Uuritud elamutel esines ka selliseid probleeme, kus hoonel olid korralikud sademeveerennid ja -torud kuid seintel esines siiski veekahjustusi, kuna sademeveerennist oli vesi valgunud seinale, vt. Joonis 2.19. Selle põhjuseks olid: renni otsatüki puudumine või leke, ebapiisav renni kalle või vale kalde suund.



Joonis 2.15 Katkenud vihmaveetoru korral satub välissein suure veekoormuse alla.



Joonis 2.16 Vihmaveetoru puudumisest põhjustatud välisseina ja pinnase ärauhtumine (vasakul) ja soklikahjustus (paremal). Vasakpoolsel fotol on näha fassaadilaudise paiknemine lubamatult maapinna lähedal.



Joonis 2.17 Sademeveerennide ummistumine takistab vee ärajuhtimist katuselt.



Joonis 2.18 Tänavaäärsed sademeveetorud võivad sattuda vandalismi ohvriks.



Joonis 2.19 Sademeveerennist seinale valguva vee korral satub välissein suure veekoormuse alla.

2.3.3.1 Varikatuste lahendused ja olukord

Uuritud puitkorterelamute varikatused olid tavaliselt plekist või eterniidist kattega. Elamute sissepääsud olid sageli kaetud dekoratiivselt kujundatud metallkonstruktsioonil varikatustega, mille kattematerjaliks oli valtsplekk. Harvem esineb ka dekoratiivsetel puitkonsoolidel varikatuseid, eriti omased on need näiteks just raudteearhitektuurile.

Varikatused esinesid 2/3 uuritud hoonetest ning nende keskmine seisukord oli „hea“. Sellegipoolest oli 16 %-l varikatustest kalle ebapiisav või vale suunaga, kujutades nõnda hoonele ohtu. Varikatuse teraskonstruktsioon oli sageli roostes. Esines ka varikatuseid, mille kandevõime oli ammendunud suure lumekoormuse tõttu ja olid muutunud elanikele ohtlikuks, vt. Joonis 2.20.



Joonis 2.20 Amortiseerunud varikatuse kandekonstruktsioon ja katteplekk.

Teine, varikatusega seotud suurim probleem on nende kahjustav mõju välisseintele, vt. Joonis 2.21 ja Joonis 2.22, näiteks:

- varikatuselt valgub või pritsib vesi seinale;
- varikatusel olev lumi on vastu seina (katuse liiga väike kalle);
- puudub varikatuse kattepleki ülespööre seinale (min. 30 cm (vt. katuselt seinale pritsinud vee tsoon (Joonis 2.22 ja Joonis 2.21), võib olla ka laudise taga).

Joonis 2.22 ja Joonis 2.21 paremal toodud hoone sisenurka ehitatud varikatus on tüüpprobleem – sinna hoone nurka on väga raske projekteerida mingit mõistlikku varikatust, nii et vesi ei pritsiks emmale-kummale seinale või ei oleks juhitud trepile või keldrisissepääsu ette. Rääkimata sellest, et arhitektuurselt võiks see ju ka enam-vähem mõistlik välja näha. Head lahendust ei olegi.



Joonis 2.21 Varikatus hoone sisenurgas, millele kogunev lumi ja vesi kahjustavad ka külgnevaid seinu (vasakul). Õhukesest plekist varikatus on läbi roostetanud (paremal).



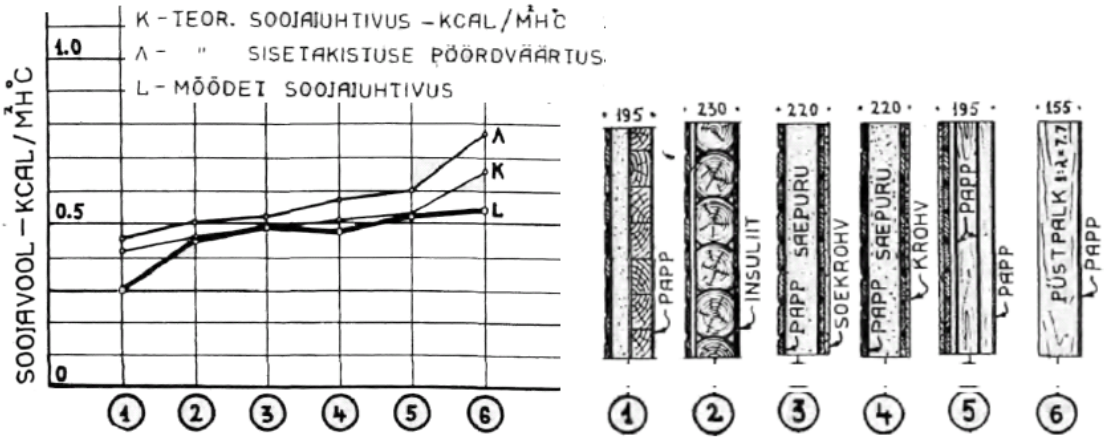
Joonis 2.22 Varikatusest põhjustatud kahjustused välisseinal.

2.4 Seinad

2.4.1 Välisseinte lahendused

1930. aastate ehitusmääruste kohaselt pidi Tallinnas ehitatava elamu välisseina soojusjuhtivus olema ≤ 1,0 kcal/(m^2·h·K) so. 1,17 W/(m^2·K) (RT 59 – 1932, art. 495) ja Nõmme linnas ≤ 0,9 kcal/(m^2·h·°C) so. 1,05 W/(m^2·K) (RT 43 – 1937, art. 386) soojustehniliste arvutuste alusel

1937. – 1939. aastatel insenerkoja välisseinte uurimise komisjoni poolt läbiviidud uuringu kohaselt oli toonaste puitseinte soojusjuhtivus vahemikus 0,54…0,92 W/(m^2·K), vt. Joonis 2.23. Seinte soojusjuhtivuse võrdluse juures tuleb teada, et püstplanksein ja sõrestiksein on oluliselt väiksema õhupidavusega, mis suurendab ruumide küttekulu.



Joonis 2.23 Puitseinte mõõdetud soojusjuhtivused (Insenerkoda 1939).

Eesti vanemad puitkorterelamud olid ehitatud üldjuhul rõht- või püstpalkseintega ning ilma täiendava soojustuseta välisseintel, vt. Joonis 2.24 kuni Joonis 2.26. Esines ka sõrestikseintega korterelamuid.



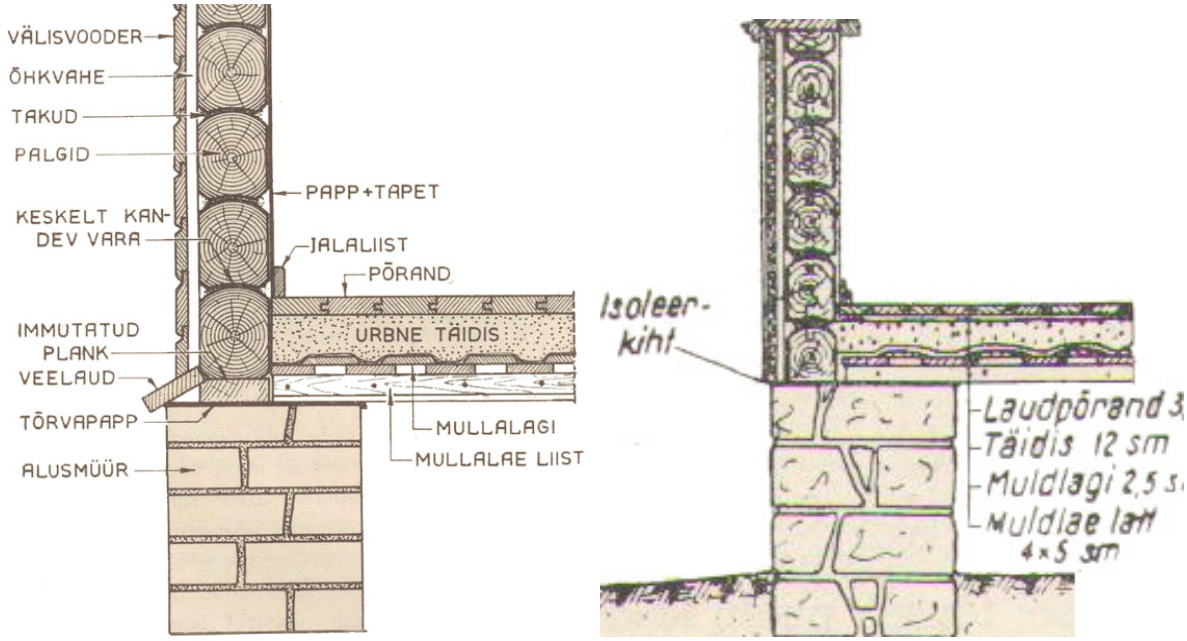
Joonis 2.24 Rõhtpalkseintega korterelamu (vasakul) ja püstpalkseintega korterelamu (paremal) välisseinakonstruktsioon.

Valdavalt on välisseinad väljastpoolt kaetud laudvoodriga, kuid esineb ka krohvitud palkseinu, vt. Joonis 2.25 ja Joonis 2.27, tõrvapapiga/ruberoidiga kaetud välisseinu. Viimast lahendust tuleb pidada puitseintele sobimatuks, kuna materjal on veeaurutihe ja tõrvapapi/ruberoidi taha sattunud vihmavesi või toaniiskus ei pääse välja kuivama. Seestpoolt on välisseinad kaetud papi, ehitusplaadiga või on seinad krohvitud.

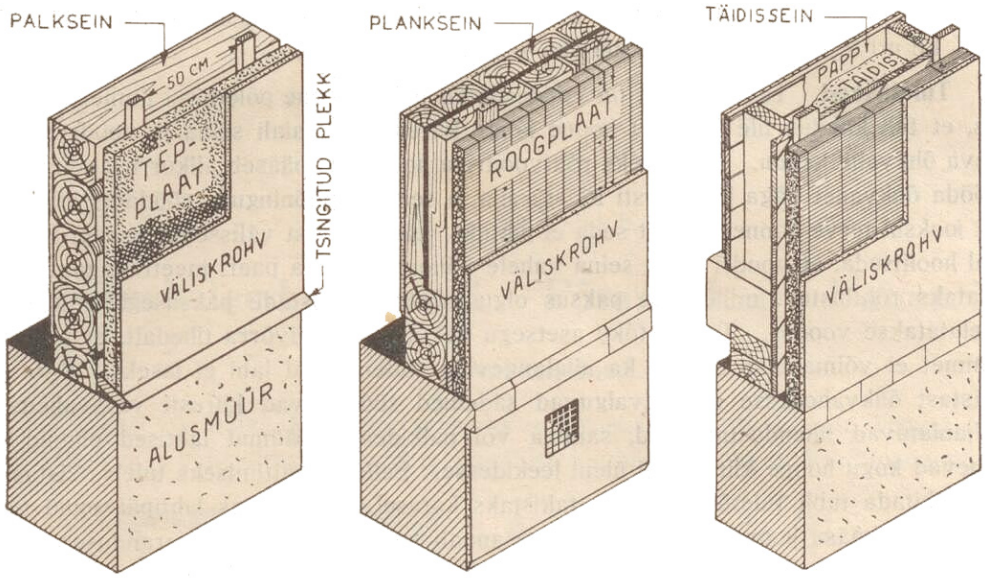
Uuritud hoonete fassaadidest olid ligi 90 % kaetud voodrilaudadega ning ligi 10 % krohvitud. Lisaks oli Tallinnas kahel juhul kasutatud bituumenrullmaterjali. Puitfassaad on sageli rikastatud puitkaunistustega ja -nikerdustega.



Joonis 2.25 Puitlaudisega fassaad (vasakul) ja krohvitud fassaad (paremal).



Joonis 2.26 Tüüpse rõhtpalkvälisseina soklisõlm (Veski 1943).



Joonis 2.27 Krohvitud puitseina lahendusi (Veski 1943).

2.4.2 Välisseinte seisukord ja peamised probleemid

Välisseinte palgi paksus varieerus 12…18 cm vahel. Kahe-kolmekorruselise hoone puhul ei teki ohtu sellise täispuitristlõike survetugevuse kaotusele väiksemate niiskuskahjustuste puhul. Seetõttu võib hinnata hoonete välisseinte olukorda kandevõime osas üldjoontes heaks. Kandevõime osas võib probleeme tekkida järgmistel juhtudel:

- vundamendi ebaühtlasest vajumisest tekkinud kahjustused;
- palgi (eelkõige alumised palgiread) biokahjustus (eelkõige mädanikseente kahjustus);
- rõhtpalkseina puhul võib tekkida probleemi seina stabiilsuse kaotuse osas, kuid salapulgad ja siduvad siseseinad on üldjuhul sellele piisavaks takistuseks;
- seina enda vajumine tulenevalt kuivamisest või mädanikust.

Vundamentide ebaühtlased vajumid tekitavad samuti probleeme seintele. Rõht-palkhoonetes on vundamendi vajumi mõju seina kandevõimele väiksem, kuna seintel on suhteliselt suur jäikus ja tugevus. Karkass-seinad on ebaühtlaste vajumite suhtes tundlikumad ja võivad tekitada avariiohtlikke olukordi. Vundamendi ebaühtlast vajumist (Joonis 2.28) esines uuritud elamutes peamiselt Tartus. Vundamentide vajumine on peamiselt aluspinnase geoloogilistest tingimustest tulenev probleem.



Joonis 2.28. Hoone on ebaühtlaselt vajunud

Välisseinte kahjustuste peamiseks põhjustajaks on liigne vesi, mis võib olla:

- seinale voolav vesi (katuselt, varikatuselt, aknalt, vihmavee torust, üle katuseääre olevad antennikaablid, seina poole kaldu olevad elektrikaablid), vt. Joonis 2.30 ülal;
- läbi katuse seinale valguv vesi (sh. lumesulavesi), vt. Joonis 2.30 all vasakul;
- madalast soklist põhjustatud maapinnalt seinale pritsiv vesi, vt. Joonis 2.29 paremal; või seina äärde kuhjunud lume sulamisest seina valguv vesi, vt. Joonis 2.30 all paremal;
- pinnasest, soklist või vundamendist seina imenduv vesi.

Akna veelauad ja -plekid peavad kaitsma liigvee tungimise eest kande-konstrukt-sioonidesse ning on seetõttu väga olulise tähtsusega. Uuritud hoonetest olid aknaplekid lagunenud või puudusid hoopis (oli vaid puitliist akna all) 32 % juhtudest.

Sageli oli akna veeplekk kinnitatud aknalengi peale nii, et pleki ja lengi vahele pääses vesi. Aknaalused piirkonnad, vt. Joonis 2.31 olid seinte alaosa kõrval üheks teiseks enim kahjustunud piirkonnaks. Kuigi ka vanemate ehitusmääruste (Ehitusseadus 1937) kohaselt pidi ehitatavate ja ümberehitatavate elamute eluruumide esimese korruse põrandapind olema kõrgem kõnniteest või maapinnast, oli harva nõutav miinimummõõt ette määratud. Tallinnas (RT 59 – 1932, art. 495) oli nõue, et eluruumide põrandapind (ja sellega ka välisseina kaugus maapinnast) peab olema vähemalt 15 cm. üle maapinna. Välisseinte kestvuse kohaselt on seda liiga vähe, kuna sokli kõrgus peab olema vähemalt 30 cm, arvestades lisaks võimalikku hilisemat maapinna tõusu.



Joonis 2.29 Madalas soklist tingitud veekoormusest lagunenud puitsõrestiksein. Kõrge kõnniteetasapind on kaotanud sokli ja puitsein on niiskes pinnases.



Joonis 2.30 Välisseina niiskuskahjustuste allikad: vee valgumine seinale vihmavee torust, antennikaabli kaudu, lumesulamisvee valgumine seinale.



Joonis 2.31 Aknaalune piirkond oli seinte alaosa kõrval üheks teiseks enim kahjustunud piirkonnaks.

Mitmed eelloetletud põhjused (vihmaveerennide ebakorrektne lõpetus, üle katuseääre olevad antennikaablid, seinapoole kaldu olevad elektrikaablid) on likvideeritavad kerge vaevaga. Seetõttu ei tohiks hoolika omaniku hoones selliseid põhjuseid leida. Samas on põhjuseid, mille likvideerimine nõuab juba suuremaid ettevõtmisi: pinnasest või vundamendist seina imenduv vesi, läbi katuse seinale valguv vesi (sh. lumesulavesi), madalast soklist põhjustatud maapinnalt seinale pritsiv vesi jne.

Seina alumise osa, sokli ja vundamendi ülemise osa kestvusel on oluline roll soklipealsel veelaual. Veelaua ülesanne on kaitsta seinatasapinnast etteulatuvat vundamenti niiskuskoormuse eest ja juhtida seinalt allavalguv vesi üle vundamendi ääre. Plekiga kaitsmata või amortiseerunud katteplekiga veelaud laguneb aja jooksul ja tema kaitsev mõju kaob. Ka terve veelauaga võib sein ja vundament märguda, eriti, kui veelaud on aja jooksul ära vajunud, nii et selle kalle on muutunud ebapiisavaks või sootuks valeks, st. mitte seinast eemale vaid seina poole, vt. Joonis 2.32, Joonis 2.33 (vasakul).

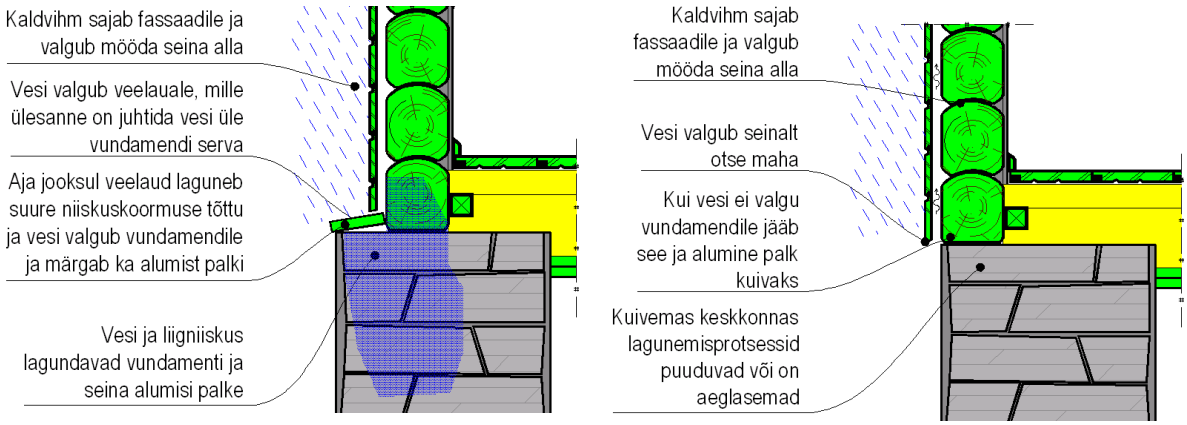


Joonis 2.32 Etteulatuv sokkel on hoone kestvuse seisukohalt riskantne lahendus. Soklit katvale veelauale jääb vesi ja lumi pidama, mis valgub kedriseinale ja niisutab palkseina.

Veelaud saab täita oma funktsiooni üksnes siis, kui see ulatub vähemalt 3-5 cm kivisoklist ettepoole. Esineb aga olukordi, kus veelauaks on (sageli nõukogudeaegse remondi käigus) pandud liiga kitsas laud või on maja remontimisel soklit paksemaks krohvitud, nii et veelaua eenduvus on täiesti kadunud. Selle tulemusena toimib veelaud algselt mõelduga võrreldes vastupidiselt, juhtides vee otse soklile.

Soklit katvalt veelaualt üles pritsinud või imendunud niiskus võib põhjustada seinalaudiselt värvi koorumist ja laudise või seina lagunemist. Horisontaalne puitdetail on püsivalt niiske, mida on näha sellel kasvava sambla järgi. Püsivalt niiske puitdetail laguneb kiiresti. Veelauaga sarnaselt riskantne lahendus on ka fassaadil olevad arhitektuursed vahekarniisid. Vesi võib vahekarniisi kohalt valguda voodrilaua taha ning koguneda soklis. Seetõttu on väga oluline, et vahekarniise katvad veeplekid oleksid terved ja õigesti paigaldatud.

Kirjanduse (vt. Joonis 2.26) kohaselt olid tehnilised lahendused rõhtpalkseinte jaoks olemas ehitatud nii etteastuva sokliga kui ka ilma selleta. Tehniliselt on parem lahendus, kui laudvooder on sokliservaga samas tasapinnas või astub sellest 2…4 cm. ette, vt. Joonis 2.33 (paremal). Siis ei valgu seinalt tulev vesi soklile, vt. Joonis 2.32 parem ülemine. Vanematel (valdavalt enne I maailmasõda ehitatud) puitkorterelamutel on tegemist valdavalt etteastuva sokliga. Ehitustehniliselt võib selle põhjuseks olla soov, et palksein ei oleks liiga vundamendi serval (ekstsentriline koormus vundamendile) ja ehitustolerantsi arvessevõtmine. Ehitustehniline põhjus võib siin olla tagajärjeks ka arhitektuursele lahendusele. Puitkorterelamuid ollakse harjutud nägema etteulatuva sokliga. Kahjuks ollakse harjutud ka nägema lagunenud sokliga hooneid. Sokli renoveerimisel tuleb teha valik arvestades sokli tehniliselt paremat toimimist (Joonis 2.33 paremal) ja aastatega harjunud arhitektuurset välisilmet (Joonis 2.33 vasakul). Kuigi etteulatuva sokli kaotamine on tehniliselt oluliselt parem lahendus, muudab see osade puitkorterelamute väljakujunenud arhitektuurset välisilmet. Seetõttu tuleb selline lahendus hoolikalt läbi kaaluda kaasates otsustusprotsessi nii arhitekti kui ka ehitusinseneri. Oluline on, et iga arhitektuurne lahendus oleks ehitustehnilisest ja ehitusfüüsikaliselt töökindel ega põhjustaks hoone lagunemist. Ainult nii on võimalik säilitada hoone arhitektuuri. Hoonetel, mille arhitektuuri juurde kuulub eenduv sokkel, nõuab see sõlm kindlasti regulaarset kontrollimist ja hooldust.



Joonis 2.33 Etteulatuv sokkel (vasakul) on hoone kestvuse seisukohalt riskantne ja ehitishoolde seisukohalt nõudlik lahendus. Tehniliselt on parem lahendus, kui laudvooder on sokliservaga samas tasapinnas või astub sellest 2…4 cm. ette (paremal).

Puidust võetud puurproovid näitasid, et palkides esines nii pruun- kui valgemädanikku. Põhiliseks kandeseinte kahjustuste kohaks on alumised palgid ja seinte aknaalune piirkond. Uuringu käigus võetud puurproovid näitasid, et 10 % hoonetest on alumises palgis mädanik. Teise rea palkidest võetud proovid näitasid väiksemat mädanikukahjustust. Sagedane mädaniku esinemise koht oli ka voodrilaua õhkvahepoolne külg sokli piirkonnas.

Uuritud hoonete välisseinte palkosa ja välisvoodri vahel oli vihmatõkkeks sageli kasutatud tõrvapappi. Sama materjali lisaks kasetohule oli kasutatud sageli ka alumise palgi ning vundamendi vahel. Tõrvapapi tööiga on ligikaudu 30 aastat. Aja jooksul kaovad või vähenevad ka tõrvapapi ja kasetohu niiskuse liikumist takistavad omadused (kuigi materjal ise võib paista korralik). Siis on sellel materjalil rohkem tavalise ehituspapi omadused ja seina alumine palk ei ole enam kaitstud vundamendist tuleva niiskusvoo eest.

Vahel on hooned kaetud ronitaimedega, vt. Joonis 2.34. Need võivad anda hoonele küll romantilise välimuse, kuid põhjustavad ka:

- seinte niiskumist,
- takistavad seinte kuivamist,
- sademeveerennide ummistumist;
- pikemas perspektiivis viivad need tõsiste kandekonstruktsioonide kahjustusteni.



Joonis 2.34 Sammal ja ronitaimed ei mõju hästi puitkonstruktsioonide kestvusele.

Puidust välisvoodri juures tuleb arvestada, et see ei ole veetihe: kaldvihma korral laseb see vett läbi, vt. Joonis 2.35. Kui laudvooder on otse vastu palki, märgub seetõttu ka palk või selle pinnal olev papp. Kuna laudvoodri ülesanne on kaitsta palkkonstruktsiooni märgumise eest, peab laudvoodri ja seinapalkide vahel olema välisõhuga tuulutatav õhkvahe. Välisvoodri lekete kaudu võib märguda ka pööning.



Joonis 2.35 Välisvoodri juures tuleb arvestada, et see ei ole veetihe: kaldvihma korral laseb vett läbi.




Joonis 2.36 Selline laudvooder (ja võimalik, et ka selle taga olev seinapalk) tuleb kiiremas välja vahetada.

Uuritud elamutest olid krohvitud fassaadid halvemas seisus kui puitvoodriga fassaadid – uuritud elamutest 73 % vajas vähemalt 10 aasta jooksul materjalivahetust, laudisega majadel oli vastav osa 34 %, vt. Tabel 2.3. Tõstmaks tarindi õhu- ja soojapidavust ning andmaks krohvitud hoonele paremat välimust, lisati paljudele puitfassaadidele 20. sajandi teisel poolel tsementlaastplaat (TEP) ja sellele lubikrohv. Tänaseks on krohv plaatide servadest pragunenud, (vt. Joonis 2.37 vasakul) ja maha pudenenud, võimaldades seega vee juurdepääsu kandvale puitseinale. Krohvikiht võib aja jooksul täielikult laguneda ja eemalduda (vt. Joonis 2.37 paremal).




Joonis 2.37 Krohv on liigniiskuse tõttu eemaldunud ja palgid mädanikkahjustustega (vasakul). Krohvi lagunemine on alguse saanud tsementlaastplaatide (TEP-plaadid) liitekohtadest (paremal).

Tabel 2.3 Uuritud hoonete fassaadikatte materjalide jaotus ja nende hinnanguline olukord.

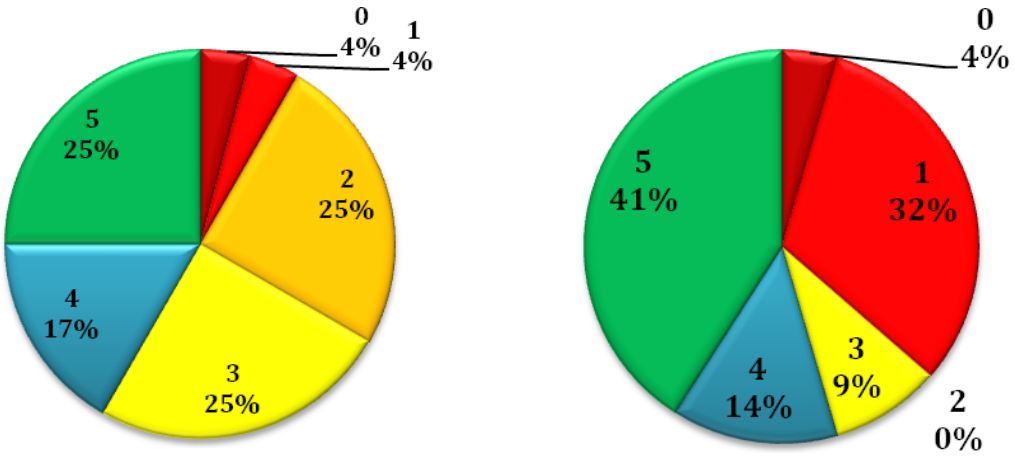
	Puitvooder	Krohvitud fassaad
Fassaadikatte esinemine kõigist hoonetest (märkus: ühel hoonel võis esineda ka mõlemat tüüpi korraga)	93 %	7 %
Hooneid, mis vajavad lähima 3 aasta jooksul värvimist	63 %	46 %
Hooneid, mis vajavad lähima 3 aasta jooksul uut voodrit	8 %	46 %
Hooneid, mis vajavad lähima 10 aasta jooksul uut voodrit	34 %	73 %

Puidust välisvoodri eluiga on õige hoolduse puhul pikk (aastakümneid). 33%-l vaadeldud hoonetest värvikihi hinnang alla „rahuldava“. Välisvooder ise oli mitmel hoonel kiiret väljavahetamist nõudev, vt. Joonis 2.36. Paljudel juhtudel oli selge, et selline olukord oli kestnud juba pikka aega. Mida kauem on fassaad ilma kaitsva värvikihita, seda enam ta pleekub ja praguneb ning ka tulevase värvikihi nakkeomadused langevad. See tähendab omakorda, et fotodegradeerunud puidu värviga katmine nõuab suures mahus eeltöid ning

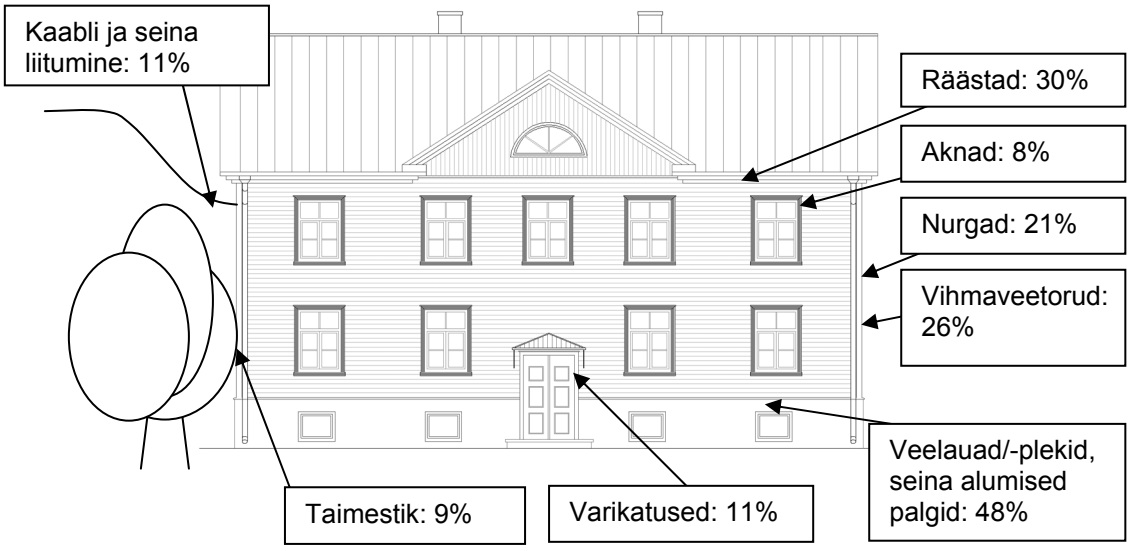
nii töökindluse tagamiseks kui ka majanduslikult tasuvamaks võib osutuda uue fassaadilaudise paigaldus. Eriti tähtis on korralik värvkate kaitsealustel hoonetel ja aladel, kus on nõutav algupärase välimuse säilitamine. Kui soovitakse hoone originaallaudist säilitada (eriti oluline on see just kõige vanemate majade puhul, millel sageli efektne väga lai laudis) on selle esmaseks eelduseks, et puidupind peab olema korralikult värvitud. Tüüpiliseks veaks oli uuritud hoonetes ka vana värvi eemaldamata jätmine, eriti kui hoone on varasemalt juba värvitud ebasobivat tüüpi värviga, mis varem või hiljem hakkab puidupinnalt kooruma – nõnda pudeneb uus värvikiht koos eelmis(t)ega maha. Praktikas on üks hullemaid laudise lagundajaid ebasobiv värvitüüp ja/või selle paigaldustehnoloogia (kruntimata aluspind, värvi halb nake puiduga jne). Seetõttu tuleb ülevärvimisel kasutada alusvärvile sobivat värvitehnoloogiat. Tihti on sellest nõudest mööda mindud, mis on ka üks fassaadide lagunemise põhjusteks.

Joonis 2.38-l on toodud fassaadi värvkatte üldise hinnangu kohta. Ligi kahel kolmandikust elamutest ootab fassaadi värvkate lähiaastatel uuendamist: puhastamist, kruntimist ja värvumist. Ülejäänutel on vajalik välisvoodri väljavahetamine. Välisvoodri väljavahetamine on otstarbekas ühendada välisseinte lisasoojustamisega.

Joonis 2.39-l on esitatud ülevaade uuritud elamute fassaadide peamiste kahjustuste ulatusest.



Joonis 2.38 Hinnang 5-palli süsteemis. Värvkatte seisukord (vasakul). Akna veelaudade seisukord (paremal). Number kajastab hinnet olukorrale vt. lk. 39. Protsent kajastab sellele hindele vastava olukorra osakaalu.



Joonis 2.39 Fassaadi põhilised kahjustused, nende põhjused ja alad.

2.4.3 Siseseinte lahendused ja olukord

Konstruktiivselt on siseseinad kandvad ja mittekandvad. Valdavalt on palkhoone kandvad siseseinad analoogselt välisseintega, ehitatud kas rõht- või püstpalk lahenduses. Mittekandvad siseseinad võivad olla tehtud ka puitsõrestik lahendusena (vt Joonis 2.40).

Kandvad palksiseseinad paksusega 12…15 cm ja seotult välisseintega tappliitega on piisavalt tugevad, et võtta vastu vahelagedelt tuleva koormuse nende levinuimate sillete juures. Oluline on, et siseseinad oleksid välisseintega seotud (eriti just rõhtpalkseinte puhul) ja konstruktsioon töötaks tervikuna. Seinte omavaheline sidumine tagab selle, et palksein ei vajuks keskelt välja.

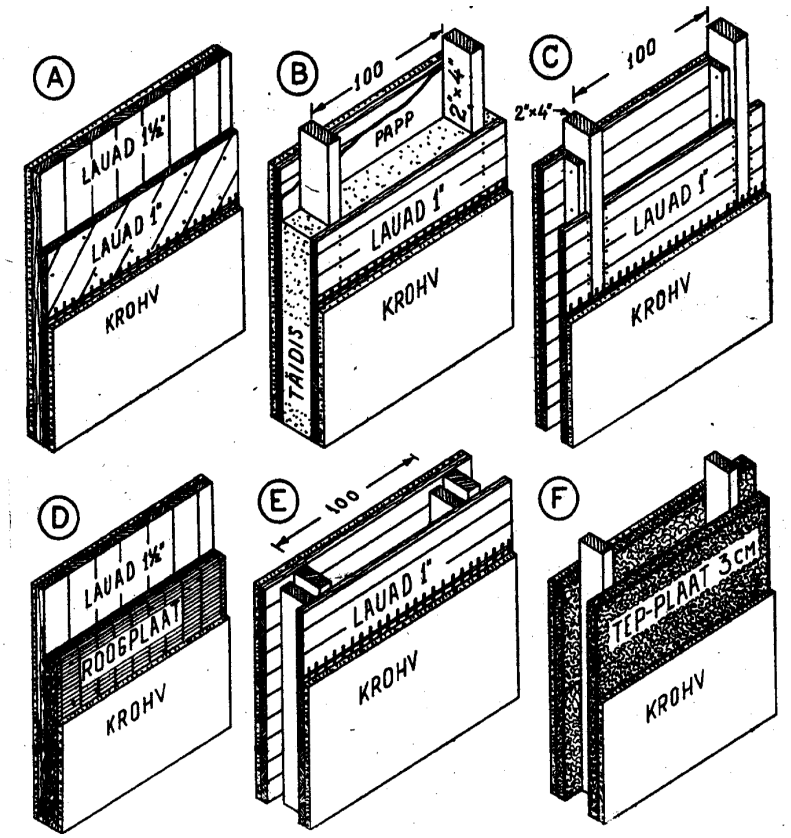
Mittekandvad siseseinad ei kanna küll vahelagedelt tulevat koormust, kuid võivad olla tuletõkkeseinteks (kahe korteri vahel või mujal erinevate tuletõkkesektsioonide vahel), hoone jäigastavateks konstruktsioonideks ja tagamaks helipidavust.

Puit on põlev materjal. Seetõttu ilma täiendava kaitsekihita (krohv, TEP-plaat, kipsplaat) ei taga katmata puitsein piisavat tulepüsivust (EI 30: 1–2-korruselistel elamutel, EI 60: 3–4 korruselistel elamutel). Palkseina puhul võib kandevõime arvutustes arvestada puidu söestumiskiirusega, kuid suitsugaaside läbivuse tõttu ei saa ka katmata palksein olla tuletõkkeseinaks.

Kuna mittekandvad siseseinad võivad olla hoone jäigastavateks konstruktsioonideks, tuleb suhtuda ettevaatlikult nende lammutamisse või nendesse avade tegemisse. Algselt mittekandvaks projekteeritud siseseinad võivad olla muutunud aja jooksul kandvateks, näiteks kui vahelae läbivajumisest või välisseinte vajumisest on siseseinale langenud vahelae koormus.

Algsed siseseinad ei taga üldiselt tänapäevaseid nõudeid helipidavusele (EVS 842), vt. täpsemalt peatükk 6 Piirdetarindite helipidavus lk. 131.

Uuritud hoonete siseseinte olukord oli hea, kuna siseseinad asuvad üldiselt kuivas keskkonnas. Põhiline kahjustuste põhjustaja – liigniiskus – on määravaks eelkõige märgade ja niiskete ruumide juures, vt. täpsemalt pt. 2.9 Märjad ja niisked ruumid lk. 82.

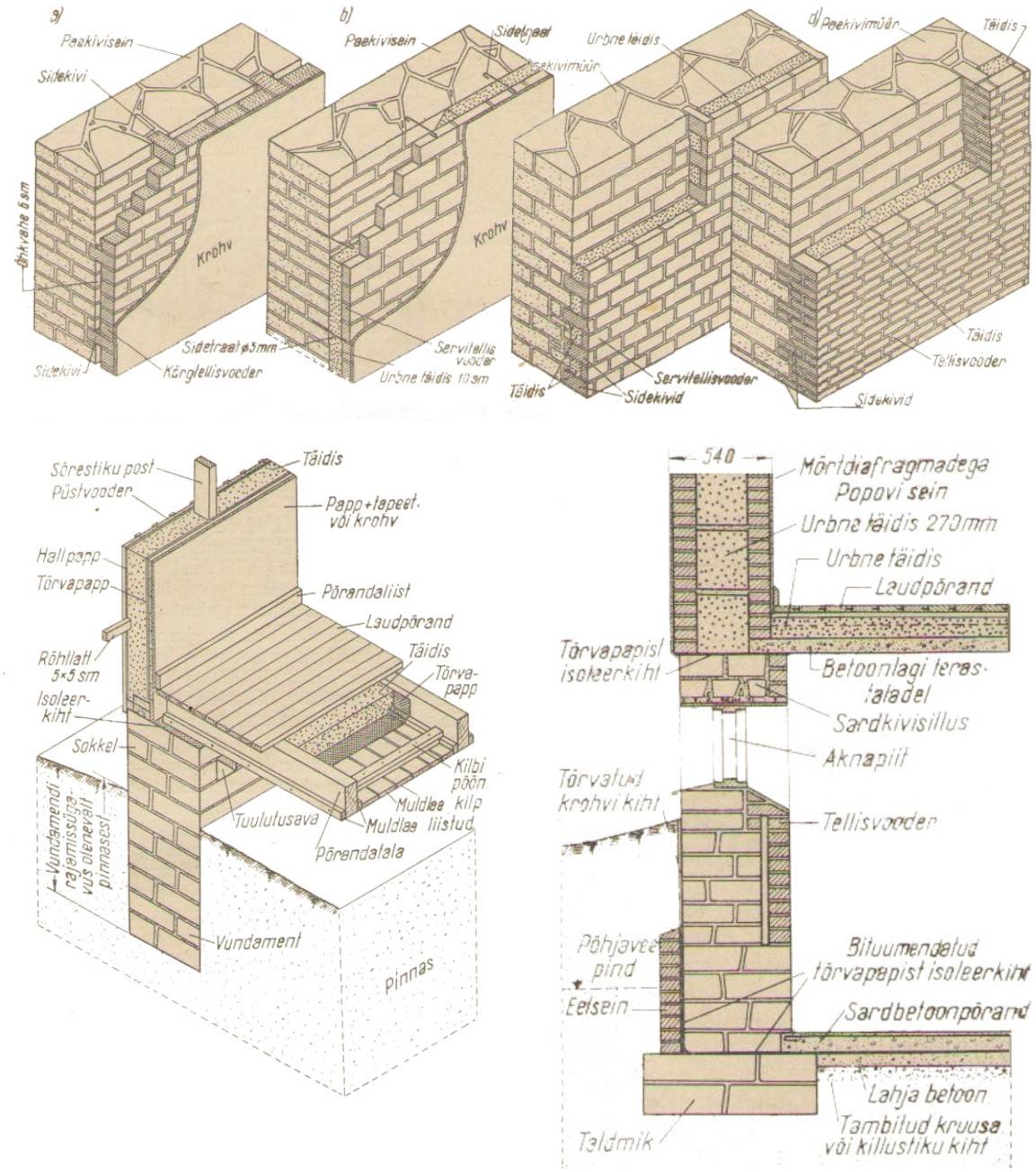


Joonis 2.40 Vanemate puitelamute puitsõrestik-siseseinte lahendusi (Veski 1943).

2.5 Vundamendid, soklid ja keldripõrandad

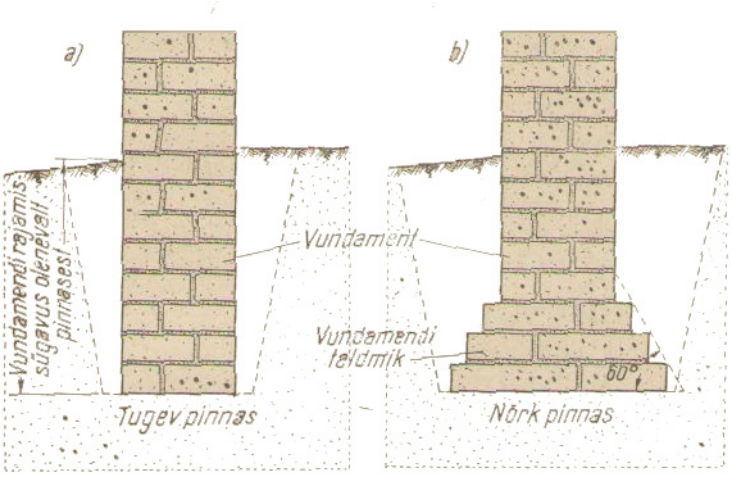
2.5.1 Vundamentide, soklite ja keldripõrandate lahendused

Uuritud elamute vundamendid ja keldriseinad olid valdavalt laotud looduskivist, konkreetne materjal vastavalt kohalikule kättesaadavusele: paas või raudkivi. Vundamendi materjal oli tuvastatav viimistlemata olukorras. Erinevaid vundamendi ja keldriseina lahendusi vt. Joonis 2.41.



Joonis 2.41 Erinevaid vundamendi ja keldriseina lahendusi (Veski 1948).

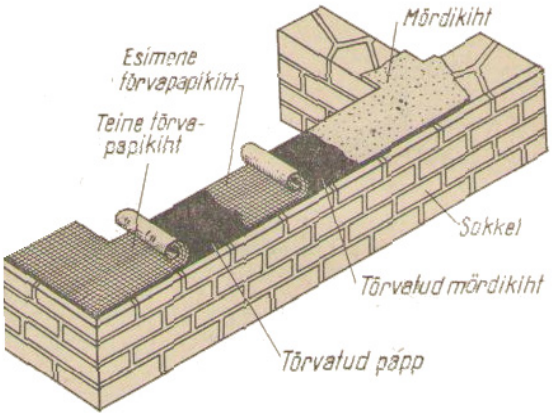
Vundamentide ja keldriseinte paksus varieerus vahemikus 40…70 cm. Kuna looduskivimüüritise ladumistehnilistest põhjustest tulenev müüritise paksus tagab üldjuhul piisava toetuspinna laiuse kerge kahe-kolmekorruselise puitelamu jaoks, laoti vundament tavaliselt ilma täiendava taldmikuta, vt. Joonis 2.42 (Veski 1948).



Joonis 2.42 Vundamendi lõiked: taldmikuta lahendus tugeva aluspinnase jaoks (vasakul) ja taldmikuga lahendus nõrga aluspinnase jaoks (paremal).

Ehitusprojektide koostamise määruse (RT 41 – 1933 art. 332) kohaselt tuli ehitusprojekti seletuskirjas anda lahendus keldriseinte niiskuse vastu isoleerimise viiside kohta, juhul kui inimeste kestvaks seesviibimiseks määratud ruumide põrandapind asub allpool maapinda. Seetõttu võib olla keldrite niiskusisolatsioon tegemata kui esialgu ei olnud keldrisse eluruume planeeritud. Kõik elamiseks määratud keldriruumid pidid olema laitmatult isoleeritud niiskuse ja külmumise vastu ning ruumide põrandad ja seinad pidid olema kuivad (RT 59 – 1932, art. 495.).

Vanemate käsiraamatute kohaselt pidi vundamendipealne hüdroisolatsioon olema järgmine: alusmüüri pealmine pind tasandati tsementmördiga 1:3. Pärast mördi kivistumist asetati vundamendile tõrvapapi kiht, mis tõrvatakse ja millele asetatakse teine tõrvapapi kiht. Paremate ja vastupidavamate ehitiste puhul tõrvati või kaeti bituumeniga vundamendil asuv mördikiht enne papi paigaldamist ja kasutati ka kolmandat tõrvapapi kihti. Kui vanemaid puitkorterelamuid ei peetud parematekss ja vastupidavamateks hooneteks, siis võidi jätta täiendavad hüdroisolatsioonikihid tegemata. Materjalivaliku osas ei saa heaks valikuks pidada tõrvapapi kihi kasutamist vundamendi hüdroisolatsiooniks, kuna tema kestvus niiskes keskkonnas ei ole pikaealine. Seda tuleb silmas pidada, kui soovitakse hoone konstruktsioonid taastada täielikult algsel kujul. Vanasti ei olnud lihtsalt paremaid (kestvamaid) materjale.



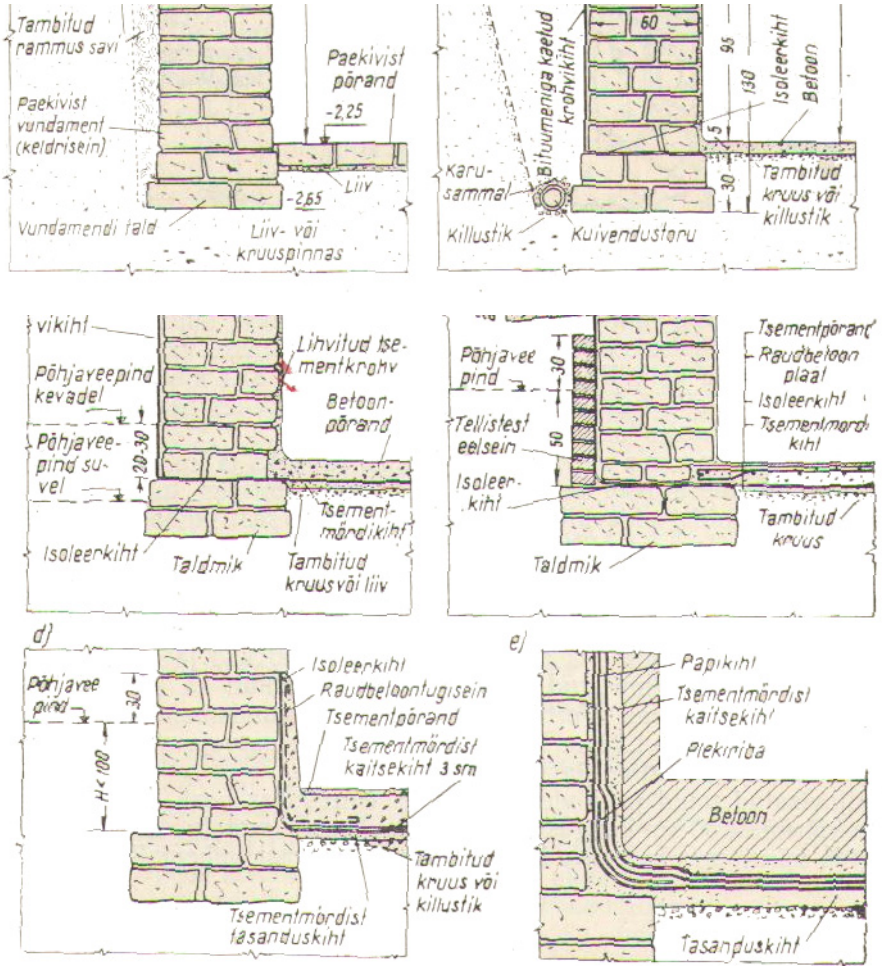
Joonis 2.43 Vundamendi ja seina vahelise hüdroisolatsiooni tegemine (tõrvapapiga hüdroisolatsioon ei ole vastupidav ja sobiv lahendus tänapäeval ehitamiseks) (Veski 1948).

Vihmavee ja lumesulamisvee soklilt mahavoolamiseks soovitati sokli serv vormistada tsementmördiga kaldu. Selle soovituse kohaselt jääb alumine palk osaliselt külje pealt kontakti niiske või märja tsementmördiga ja tekib mädanikseentele sobiv kasvukeskkond.

Parim on soovitus, et sokli viimase rea kivid raiutakse kaldu. Seda lahendust uuritud elamute juures aga ei esinenud.

Uuritud hoonete vundamendid olid valdavalt kas paekividest (Põhja-Eesti) või maakividest ja tellistest (Lõuna-Eesti). Tartus esines ka puitparvedele rajatud hooneid. Kolme elamu keldris teostatud surfimise tulemusena võib väita, et esines nii taldmikuta kui ka taldmikuga vundamendilahendusi. Viimane oli kasutusel peamiselt nõrgemate aluspinnaste korral.

Keldripõranda lahendus sõltub keldri kasutusaktiivsusest ning see võis olla tavaline muldpõrand, paekividest põrand või betoonpõrand, vt. Joonis 2.44.



Joonis 2.44 Erinevaid keldripõranda lahendusi (Veski 1948).

2.5.2 Keldri- ja soklikorruse niiskusrisk

Eesti tingimustes on hoonete sokli- ja keldrikorruse konstruktsioonid pidevalt ümbritsetud agressiivse keskkonnaga. Põhiline neist on vesi.

Maapinnaga kokkupuutuv konstruktsioon on mõjutatud erinevast vee- ja niiskuskoormusest:

- surveline vesi – perioodiline või püsiv;
- pinnaseniiskus, mis tungib läbi konstruktsioonimaterjali lahusedifusiooni või veeaurudifusiooni tagajärjel;
- kondenseeruv vesi ruumikonstruktsioonide sisepinnal;
- risk olme ja kanalisatsiooni lekkeveekoormusele – soklikorrus on hoone madalaim osa;
- välised bioloogilised mõjurid (näiteks samblikud, vetikad, mis koguvad endasse niiskust jne.);
- hügroskoopsed soolad, mis liiguvad vee mõjul ja seovad endaga vett;

- täiendavatest niiskes keskkonnas arenevatest bioloogilistest mõjuritest (näit. harilik majavamm – *Serpula lacrymans,* mis täiendavalt oma happesuse neutraliseerimiseks võtab mördist ja ka kivimist kaltsiumi jne.).

Keldri- ja soklikorruse niiskusriski likvideerimise eelised:

- konstruktsioonikahjustuste likvideerimine ja hoone pikaajaline ekspluatatsioon;
- niiskusest põhjustatud terviseriski likvideerimine;
- ruumide küttekulude vähendamine;
- soklikorruse ruumide väärtustamine, andes neile uue kasutustarbe.

Maapinnast väljaulatuv sokliosa on mõjutatud alljärgnevast veekoormusest:

- perioodiline sademevesi (talvisel perioodil sokli vastas oleva lume sulamisvesi);
- maapinnalt põrkuv sademevesi ja sellega kaasnev pinnaosakeste väljauhtumine;
- maapinnaga kokkupuutuvast soklikonstruktsioonist kapillaarselt imenduv vesi;
- hügroskoopsed soolad;
- kondenseeruv vesi sokliosa sisepinnal;
- täiendav märgunud konstruktsiooni lagundav külmatsüklite vaheldumine;
- niiskes keskkonnas arenevad bioloogilised mõjurid (vetikad, sammal jne.), mis ei lase konstruktsioonil välja kuivada ja lagundavad oma juurestiku ja niidistikuga pinnakihti.

2.5.3 Vundamentide, soklite ja keldripõrandate peamised probleemid

Vundamentide ja soklite seisukorra kindlakstegemiseks tehti ulatuslik väline vaatlus 162 puitkorterelamul, vaatlus seestpoolt uuritavates hoonetes ja keldriseina lahtikaevamine kolmes Tallinnas asuvas korterelamus.

2.5.3.1 Välise visuaalse uuringu tulemused

Sokli kõrgus maapinnast kõikus 5 cm kuni 180 cm-ni. Sokli kõrgus on vähenenud, kuna tänavapind ja maapind on aja jooksul inimtegevuse tõttu tõusnud.

Soklite peamised puudused (% kõigist vaadeldud hoonetest):

- niiskuskahjustused, 58 %;
- vajumite erinevused, 32 %;
- sokkel allpool maapinda, 8 %.

Vajumite erinevuse tõttu tekkinud puudused olid enimlevinud Tartus (pinnases on kõrge deformatiivsusega turbakiht) ja Viljandis, kus kahjustatud olid vastavat 61 % ja 40 % hoonetest. Kõige levinumaks kahjustuste põhjuseks oli liigniiskus, mis avaldus 58%-l hoonetest (kooruvast värvist kuni hävinud krohvi, telliste ja paekivini). Sagedaimad sokli märgumise tõenäolised põhjused on antud Tabel 2.4-s. Vetikate olemasolu võib pidada pikemat aega niiske pinna indikaatoriks – nende kasvu täheldati 57%-l soklitest.

Tabel 2.4 Sokli liigniiskuse allikad (% kõigist elamutest).

Defektne vihmaveetoru	Taimestik	Defektne vihmaveerenn	Pritsmed tänavalt	Voolab seinast alla	Vale tänavakalle	Ohtlik äravool vihmaveetorust
35 %	22 %	20 %	14 %	14 %	13 %	11 %

Üksikutel hoonetel esines vundamendi pragunemist, vt. Joonis 2.45 (vasakul). Sagedased vundamendiprobleemid olid seotud hoone ümbruse planeeringuga: pinnas oli liiga kõrge või/ja vale kaldega, vt. Joonis 2.45 (paremal).

Aja jooksul on asumites tänavate katendeid muudetud ja uute katete pealeehitamisega on märkimisväärselt tõusnud elamutega piirnevate teede (eelkõige kõnniteede) tasapind: pidevalt on lisatud tänavatele katendikihte (killustikku ning asfaltbetooni) tee kujundamiseks, samas ei ole arvestatud selle kõrgusega tänavatega piirnevate hoonete suhtes. Kõik hooned on rajatud kunagisi tänavahorisonte silmas pidades ning nende hoonete hilisem tõstmine on ebareaalne nii tehniliselt kui ka majanduslikult. Seetõttu tuleb

asumite teede- ja tänavavõrkude remontimisel ja arendamisel arvestada elamute vundamentide/keldrikorruste/soklite kõrgustega.



Joonis 2.45 Soklit on parandatud. Puitvooder tuleb samuti parandada, et kaitsta palke (vasakul). Sillutisriba peab olema kaldega hoonest eemale (paremal).

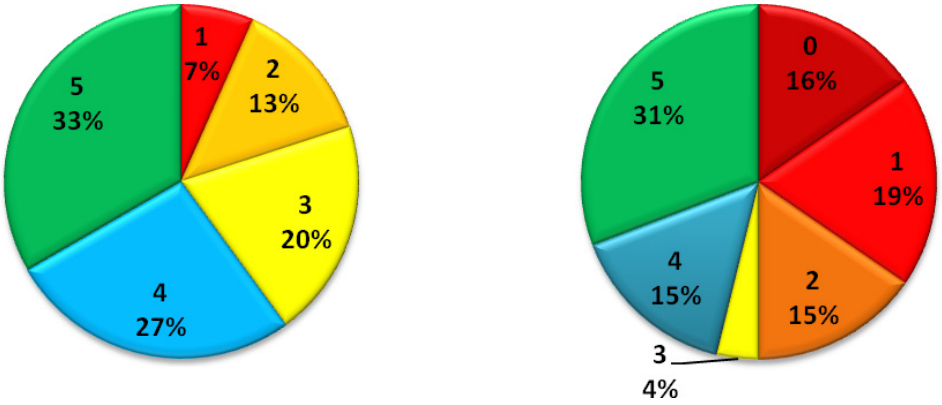
Tänavapindade suhteline tõstmine on kaasa toonud olulise niiskusrežiimi muutuse puitelamutele. Tänava poolt on sokkel üha sügavamalt „vajunud“ pinnasesse, kohati soklid praktiliselt puuduvad; keldrite aknad on suletud või kinni müüritud, vt. Joonis 2.46.



Joonis 2.46 Tänavapind ulatub üle keldri akna ülemise serva ja veelaua.

Algselt tagasid need nii loomuliku valguse juurdepääsu kui ka õhutamise keldritele. Asfaltbetoonist kõnniteed elamute ääres on „ideaalseks“ peegelpinnaks, et katustelt allavoolav vesi pritsiks elamu seinte vastu, hoides niiskena nii vundamente/sokleid kui ka elamu puittarindeid; tulenevalt tänavapinna tõstmisest tõuseb pidevalt ka pritsimise horisont, kahjustades eelkõige fassaadilaudist, samas ka hoone kandekonstruktsioone. Kuna kõikide puitelamute juurde kuuluvad hoovid on aja jooksul jäänud oluliselt allapoole tänavapindadest, siis sageli voolab tänava vihmavesi suurtes kogustes õuedele ning vajub elamu vundamendi alla keldritesse, mis ei ole kaitstud niiskuse mõju eest. Valed tänavakalded olid probleemiks 13 %-l juhtudest.

Vee kogunemise tõttu on vundamendid ja soklid kõige enam kahjustatud piirkonnad hoonetes. Vt. Joonis 2.47. Soklite ja vundamentide põhiliseks lagundajaks on liigniiskus. Pikemat aega märjana seisnud pinna indikaatoriks võib pidada vetikate olemasolu soklil. Mida kõrgem on sokkel, seda paremas seisus see üldiselt on.



Joonis 2.47 Vundamendi sokliosa seisukord (vasakul). Veelaua/pleki seisukord (paremal). Number kajastab hinnet olukorrale, vt. lk. 39. Protsent kajastab sellele hindele vastava olukorra osakaalu.

Veelaudade olukord oli uuritud majades valdavalt halb. Katkiste veelaudade vahelt pääseb vesi hästi vundamenti. Üheks vundamendi kahjustuste põhjustajaks võib olla ka majale liiga lähedal või lausa sokli serva all kasvavad taimed, sh. puittaimed.

Üheks kahjustuste põhjustajaks on puuduvate alaosadega vihmaveetorud, mis juhivad sademeveed otse seinale. Kui selline olukord kestab pikemat aega, saavad lisaks välislaudisele kahjustada ka kandekonstruktsioonid.

Soklid on valdavas enamuses uuritud korterelamutel väljaastega. Väljaaste suurus on 5 kuni 15 cm. Veelaud ulatub sellest veel omakorda 5 kuni 10 cm üle. Väljaulatuva sokliga lahendusse on meie kliimas niiskuskahjustuste tekkimise võimalus sisse projekteeritud. Vt. Joonis 2.48, Joonis 2.49.



Joonis 2.48 Veelaua laius 10 cm, sokli üleulatus ca 5 cm (vasakul), veelaud puudub. See soodustab alumiste palkide märgumist (paremal)







Joonis 2.49 Veelaud on hoonest eemaldunud. Vesi läheb kergelt konstruktsioonide vahele (vasakul). Vee imamine kandeseintesse ei ole takistatud. Ka visuaalselt on märgata, alumised palgid on pehkinud (paremal).

Vundamentide kestvuse seisukohalt on probleemsed ka vundamendile liiga lähedal kasvavad puud, vt. Joonis 2.50.



Joonis 2.50 Puu kasvab vundamendile liiga lähedal.

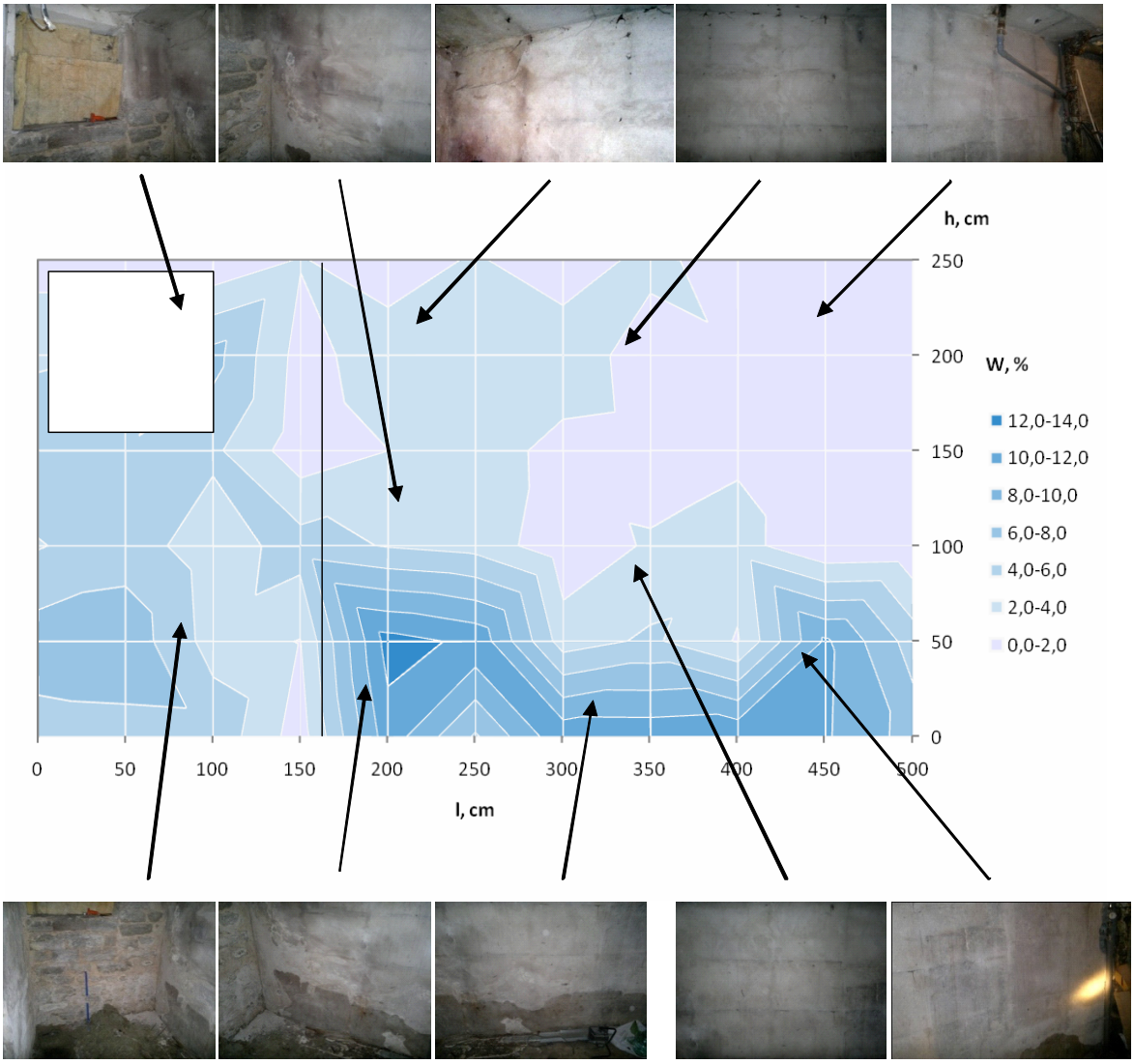
2.5.3.2 Lahtikaevatud vundamentide uuringu tulemused

Uuritud Tallinnas asuvatel puitkorterelamutel olid paekivi ja lubimördiga laotud lintvundamendid. Soklikorruse maapinnast väljaulatuv fassaadiosa ja keldrikorruse ruumide seinad on seestpoolt algselt krohvitud lubi- või lubitsementkrohviga. Keldrikorruse ruumide põrandad on valatud betoonist.

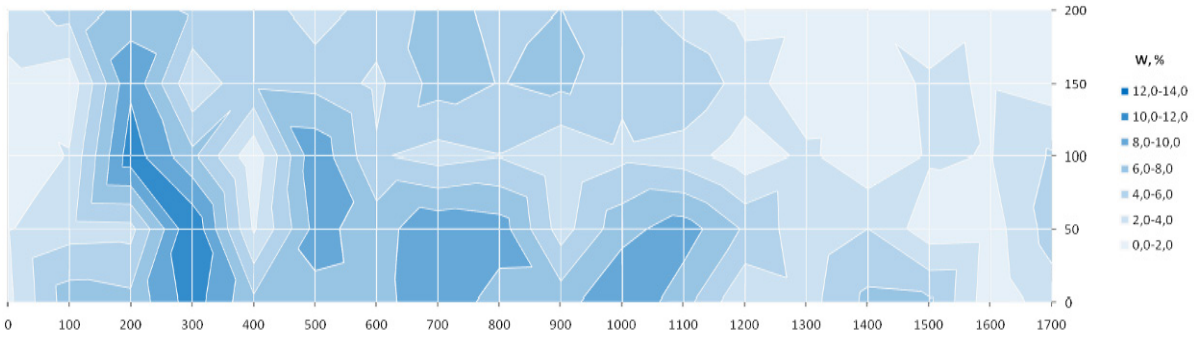
Mõõdistused tehti uuringu prototüüpideks võetud kahes kütmata keldrikorruse ruumides Tallinnas, kus ruume kasutati panipaikadena, tehniliste ruumidena, ja ühes köetava keldrikorruse ruumides, mis oli välja ehitatud olmeruumideks .

Keldriseinte niiskussisalduse mõõtmistel kasutati andurit Moist-P nr 0948, mõõtesügavus 0…30 cm. Mõõtmismeetod mõõdab kuni 0…300 mm sügavusel seinapinnas oleva niiskusetaseme. Kuna seina väljakuivamine toimub mõõdetud siseruumi piirkonnas ruumi poole, siis võib eeldada, et seina sisepinna mõõtmistulemused on varuga madalama niiskusetaseme poole.

Ruumide 1 (vt. Joonis 2.51) ja 2 (vt. Joonis 2.52) (panipaigana kasutatava kütmata kelder; välisseina temperatuur: 0…-1 °C (kui vesi seinas jäätunud, siis mõõtmismeetod pole rakendatav); õhutemperatuur keldris: –2 °C, RH: 51 %) niiskusesisalduse laotuskaardilt võib järeldada, et välisseina välimine vertikaalne hüdroisolatsioon ei toimi. Siseseinal esineb intensiivne kapillaarniiskuse tõus.

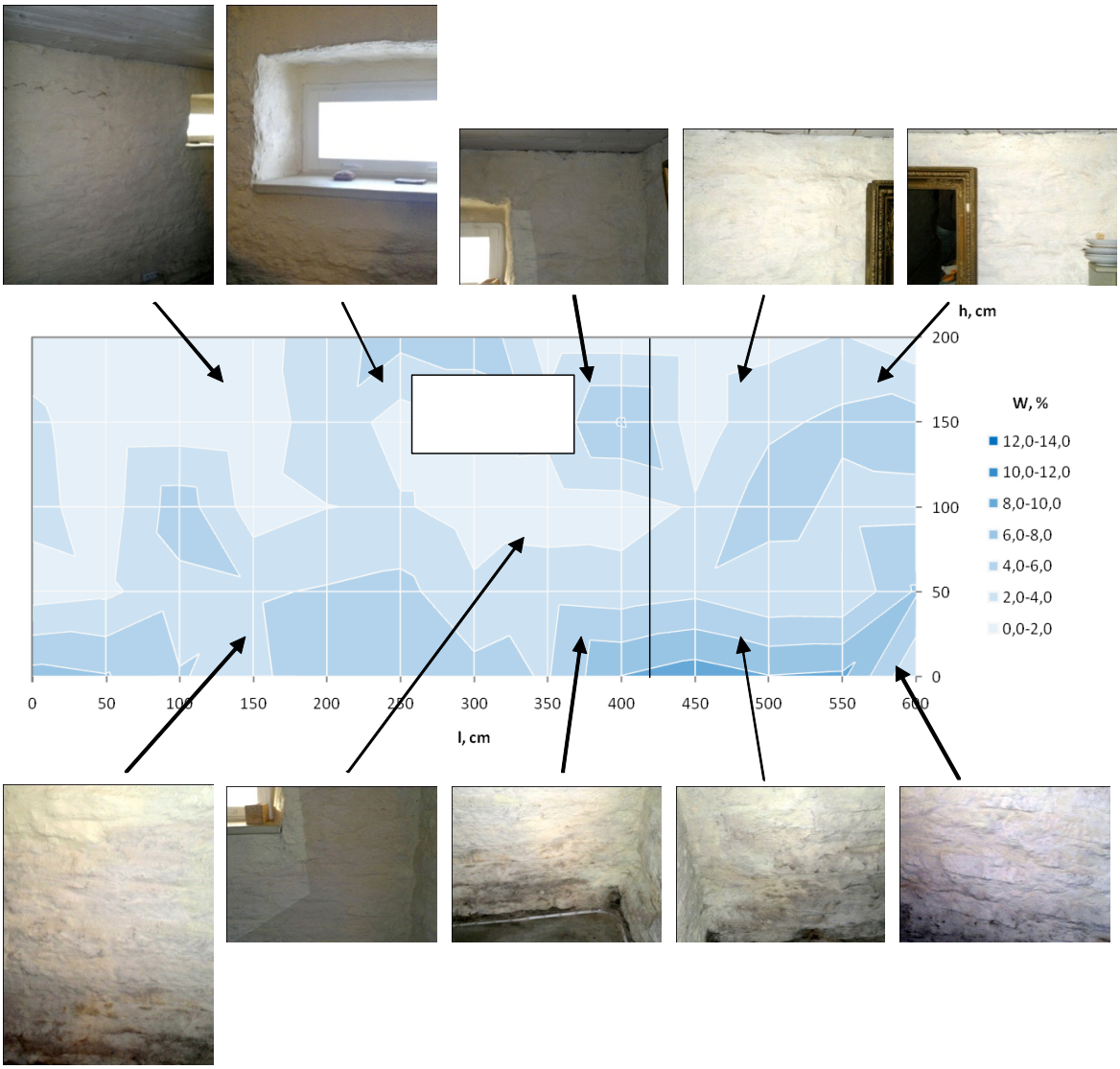


Joonis 2.51 Panipaigana kasutatava kütmata keldri seinte niiskusesisalduse kaart sügavuseni kuni 30 cm.



Joonis 2.52 Panipaigana kasutatava kütmata keldri seinte niiskusesisalduse kaart sügavuseni kuni 30 cm.

Ruumi 3 (kelder kasutuses eluruumidena: elutuba, köök, kabinet; välisseina temperatuur: +11 °C…+14 °C; põranda temperatuur: +25 °C (põrandküte); õhutemperatuur: +18.3 °C; RH: 45 %) niiskusesisalduse laotuskaardilt (vt. Joonis 2.52) võib järeldada, et välisseina välimine vertikaalne hüdroisolatsioon ei toimi. Siseseinal esineb vee kapillaarniiskuse tõus.



Joonis 2.53 Eluruumidena kasutatava köetava keldri seinte niiskusesisalduse kaart sügavuseni kuni 30 cm.

2.5.3.3 Müüritise soolakahjustused

Müüri- ja vuugimaterjalides on poorid suurusega ~80 nm…20 µm, mis lasevad veel liikuda kuni aurustumiseni ruumiõhku. Koos veega transporditakse kapillaaride kaudu vees ja müüritises olevaid vees lahustunud või hüdratiseerunud soolasid, Tabel 2.5.

Kui müüritisel on kokkupuude pideva veeallikaga (pinnas, pidev sademevesi jne.) ja müüritis ei ole veeallikast isoleeritud, siis toimub pidev efloeresentsiprotsess (soolade väljaladestumine). Selle tulemusena ladestuvad veega transporditavad soolad müüritise pinnale ja krohvikihti. Vee aurustumisel soolade kristalleerumisprotsessiga toimub mahu muutus, mille tagajärjel krohvikiht laguneb.

Näitena naatriumkloriidi (NaCl) puhul saavutab C/CS-väärtus (üleküllastusväärtus) 0º C juures kristallatsioonisurve 185 N/mm^2. Võrdluseks enim kasutatud betooni survetugevus on 35-45 N/mm^2.

Tabel 2.5 Tuntuimad müüritises olevad soolad.

Karbonaadid		**Sulfaadid**	
Kaltsiit	$CaCO_3$	Kips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Dolomiit	$CaMg(CO_3)_2$	Bassaniit	$CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$
Magnesiit	$MgCO_3$	Epsomiit	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Nesquehoniit	$MgCO_3 \cdot 3H_2O$	Heksahüdraat	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$
Hüdromagnesiit	$Mg[OH(CO_3)_2]_2 \cdot 4H_2O$	Kiseriit	$MgSO_4 \cdot H_2O$
Natriit	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Mirabiliit	$NaSO_4 \cdot 10H_2O$
Thermonatriit	$Na_2CO_3 \cdot H_2O$	Tenardiit	Na_2SO_4
Nahcoliit	$NaHCO_3$	Arbaniit	K_2SO_4
Troona	$Na_3H(CO_3)_2 \cdot H_2O$	Astrakaniit	$Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$
	$K_2CO_3 \cdot H_2O$	Pikromeriit	$K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
Kalitsiniit	$KHCO_3$	Süngeniit	$K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$
		Glaseriit	$K_3Na(SO_4)_2$
Kloriidid		Nitraadid	
Bisofiit	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Nitrokaltsiit	$Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Antartitsiit	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	Nitromagnesiit	$Mg(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Tachyhüdriit	$CaMg_2Cl_2 \cdot 12H_2O$	Nitronatriit	$NaNO_3$
Haliit	NaCl	Nitrokaliit	KNO_3
Sülviin	KCl	Ammoonium salpeeter	NH_4NO_3
		Darapskiit	$Na_3(SO_4)(NO_3) \cdot H_2O$

Soolade tekkepõhjused ja koostised on piirkonniti erinevad ja sõltuvad mitmetest mõjudest hoonele, näiteks:

- väliskeskkonna mõjutused – CO_2, SO_2, SO_3 jne.;
- looduskivide müüritises kasutatud mördi koostis;
- tehiskividest müüritises materjalide ebasobiv koostis veekeskkonna tingimuste suhtes;
- ajaloolistest tingimustest lähtuv mõju, näiteks ruumides või hoone lähistel ladustatud materjalid: soolad, fekaalid, mineraalväetised jne.

Sagedamini esinevad müüritistes sulfaatsed soolad – Na_2SO_4, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ja paiguti kloriidid NaCl, KCl ning ajalooliselt NH_4NO_3.

Kõige agressiivsema krohvi ja viimistluskihtide (sh. ajaloolistele pinnakihtidele) struktuuri lagundava mõjuga on naatriumsulfaat (Na_2SO_4), millel on faasiüleminekul kõige suurem mahu suurenemine (311 %, vt. Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Soolade faasimuutus.

Vees lahustuv sool	Faasimuutus	Faasimuutuse temp., C°	Mahu suurenemine, %
Na_2SO_4	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32	311
NaCl	NaCl $10H_2O$	0,2	130
$MgSO_4 \cdot H_2O$	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	73	145
$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	$MgSO_4$ $7H_2O$	47	11

Magneesiumsulfaat ($MgSO_4$) võib mõjutada ka müüritises kasutatud vett imava kivimi murenemist. Planeerides uuringus vaadeldud paekivimüüritises krohvikahjustustega pinna viimistlust, tehti laboranalüüsid, et teha kindlaks, kas müüritises esineb sinna kogunenud vees lahustuvaid faasinihkega soolasid.

Krohvikihi paksuse määramisel on vaja teha analüüs, saades massiprotsendiühikuga tulemus. Näiteks müüritise kloriidide sisaldust loetakse kõrgeks, kui selle massiprotsendi väärtus on > 0.80 massiprotsenti, sulfaatide sisaldust loetakse kõrgeks, kui see on > 1.60 massiprotsenti.

Eestis kirjeldatud tulemusi saavutavat analüüsi ei ole võimalik teha, kuna puudub vastav aparatuur. Võimalik on teha laboranalüüsid, identifitseerides veeslahustuvate faasinihkega soolade olemasolu ja soolade omavaheline jaotus.

Uuringu käigus võeti prototüübi soklikorruse seina krohviproovid: 0,5 m, 1,0 m ja 1,5 m kõrguselt soklikorruse põrandapinnast.

Sooladele tehti pulber-röntgen-difraktomeetriline analüüs. Võttepiirkond kõigil proovidel: 2Theta oli 11–79°, sammu pikkus 0,04°, andmete kogumisaeg sammul oli 5 sekundit, röntgentoru vool oli 40 mA ja pinge 40 kV. Kasutati muudetava pilulaiusega pilusid V12.

Difraktomeetria abil saab identifitseerida uuritavas materjalis sisalduvaid kristalseid aineid ning määrata nende ligikaudne suhteline kontsentratsioon nii ainete kui ka nende sisalduvate keemiliste elementide kaupa. Seetõttu sobib see meetod hästi kivimüürides veega liikuvate soolade analüüsiks. Proovist lahustatakse vees välja soolad, kuivatatakse ning soolade segu proov asetatakse difraktomeetrisse, kus registreeritakse kõikide soolade summaarne spekter (joonisel must joon).

Üksikute soolade identifitseerimiseks kasutatakse International Centre for Diffraction Data (ICDD) PDF-4 rahvusvahelist andmebaasi, kuhu on koondatud puhaste kristalsete ainete spektrid spektrijoonte asukoha ning suhtelise kõrguse järgi. Ainete identifitseerimine toimub arvuti abil, kus võrreldakse summaarses spektris olevaid jooni andmebaasis olevate puhaste ainete joonte komplektidega. Aine on tuvastatud kui proovist võetud spektris ning andmebaasis oleva spektri kõik piigid langevad kokku nii asukoha kui ka suhtelise intensiivsuse järgi.

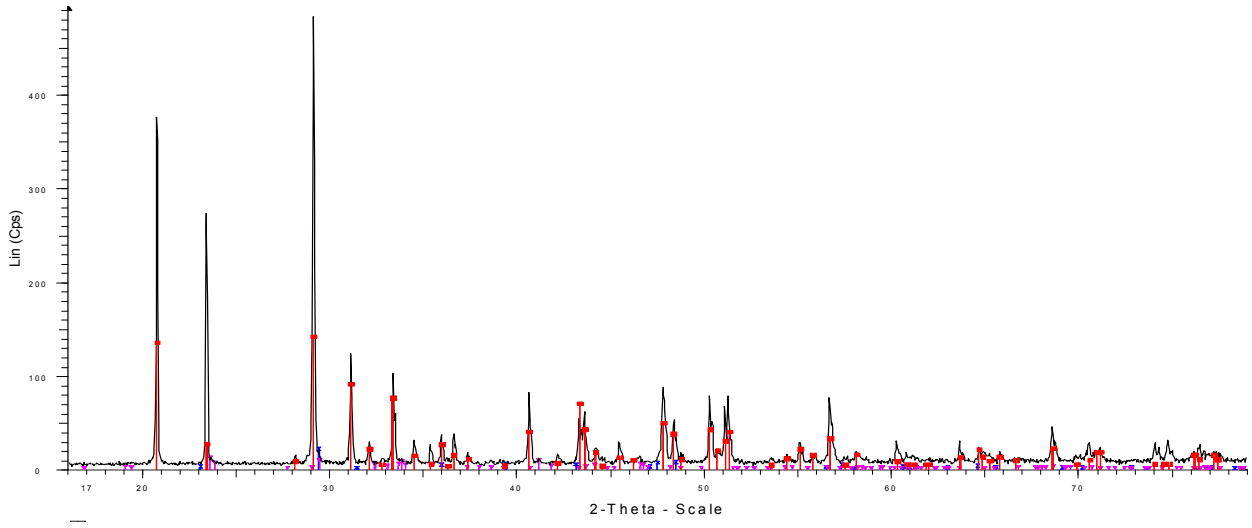
Joonistel (Joonis 2.54, Joonis 2.55, Joonis 2.56) on erinevate puhaste ainete spektrijoonte komplektid esitatud summaarse spektri all erinevat värvi verikaaljoontega, mis tähistavad spektrijoone asikohta ning nende pikkus tähistab piikide suhtelist kõrgust standardproovis. Selline esitlusviis on visuaalse väärtusega, tegelik joonte kokkulangemine määratakse arvutiprogrammi abil.

Lisaks ainete identifitseerimisele saab arvutiprogrammi abil hinnata ainete ligikaudset kontsentratsiooni soolade segus ning ka suhtelist keemiliste elementide jaotust soolade proovis.

Soolade sisaldus algproovis määratakse arvutuslikult algproovi massi ning väljaeraldatud soolade massi kaudu.

Proovidest identifitseeriti iseloomulik vees lahustuv sulfaatse kipsisoola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) kõrge sisaldus. Soolade kõrgem kontsentratsioon 1,0 m ja 1,5 m kõrgusel näitab soola kõrgemat kontsentratsiooni, võrreldes põrandapinna lähedalt võetud prooviga, oletuslikult intensiivset vee liikumist mööda müüritise kapillaare ja kõrgemal seinapinnal väljaaurustumist.

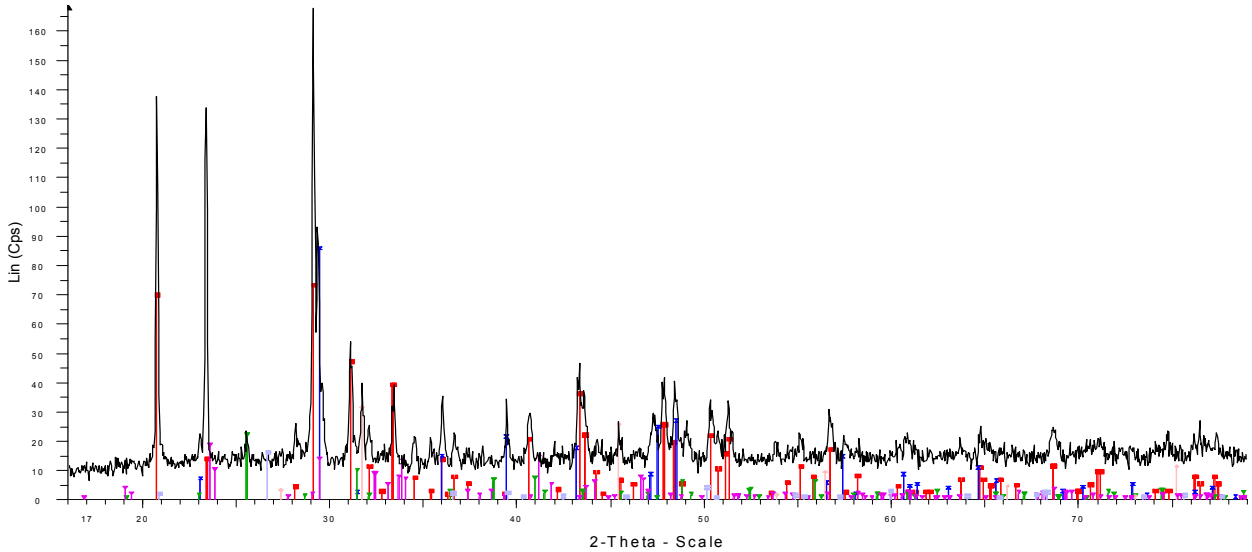
Teise veeslahustuva soolana on identifitseeritud kaltsiit ($CaCO_3$).



Kontsentratsioonid:

				H	2 %	H_2O	18 %
				C	1 %	CO_2	5 %
00-033-0311	83 %	CaSO4·2H2O	Gypsum;	N	0.7%		
syn				O	54 %	Excess	+2 %
04-001-7249	11 %	Ca(CO3)	Calcite; syn	S	16 %	SO3	39 %
01-071-1558	5 %	KNO3	Niter; syn	K	2 %	K2O	3 %
				Ca	24 %	CaO	34 %

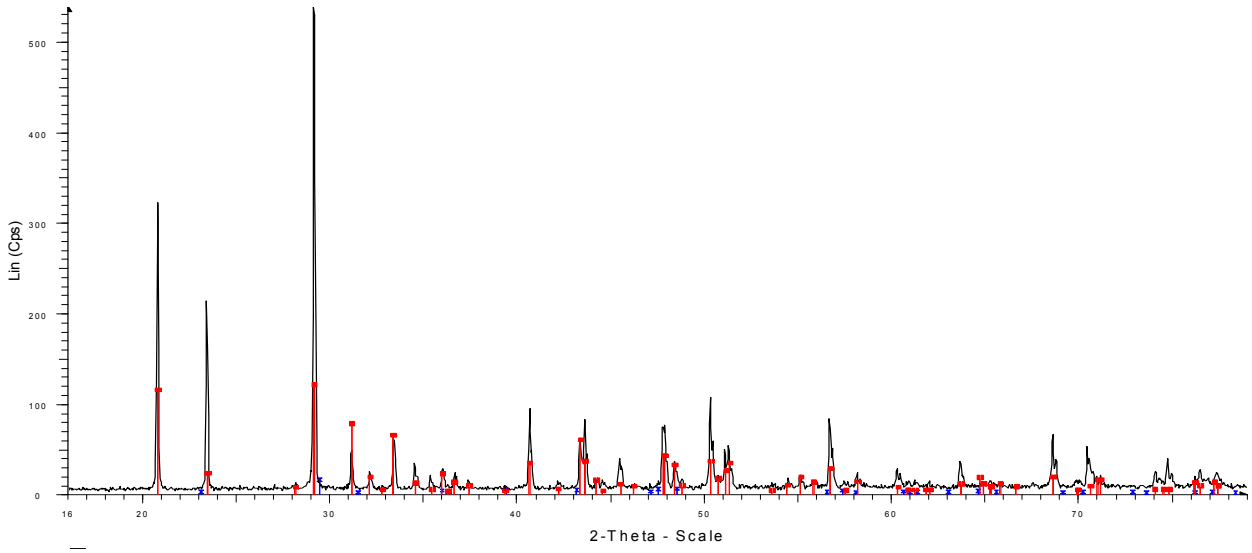
Joonis 2.54 Röntgendifraktogramm panipaigana kasutatavast kütmata keldrist võetud proovist (proov 1, 1,5 m kõrguselt põrandast). Faasianalüüsi tulemusena identifitseeriti joonise all toodud soolad.



Kontsentratsioonid:

				H	1 %	H_2O	9 %
				C	5 %	CO_2	20 %
00-033-0311	45 %	$CaSO_4·2H_2O$	Gypsum; syn	N	0.2 %		
04-001-7249	45 %	$Ca(CO_3)$	Calcite; syn	O	49 %	Excess	+0.1 %
04-008-2186	4 %	$Ca(SO_4)$	Anhydrite	Na	2 %	Na_2O	2 %
01-077-2064	4 %	NaCl	Halite; syn	Si	0.4%	SiO_2	0.8%
01-071-1558	2 %	KNO_3	Niter; syn	S	9 %	SO_3	23 %
01-085-0798	1 %	SiO_2	Quartz; syn	Cl	3 %		
				K	0.7%	K_2O	0.8%
				Ca	29 %	CaO	4 %

Joonis 2.55 Röntgendifraktogramm panipaigana kasutatavast kütmata keldrist võetud proovist (proov 3, 0,5 m kõrguselt põrandast). Faasianalüüsi tulemusena identifitseeriti joonise all toodud soolad.



Kontsentratsioonid:

				H	2 %	H_2O	18 %
00-033-0311	88 %	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Gypsum; syn	C	1 %	CO_2	5 %
04-001-7249	12 %	$Ca(CO_3)$	Calcite; syn	O	5 %		
				S	16 %	SO_3	41 %
				Ca	25 %	CaO	35 %

Joonis 2.56 Röntgendifraktogramm panipaigana kasutatavast kütmata keldrist võetud proovist (proov 2, 1 m kõrguselt põrandast). Faasianalüüsi tulemusena identifitseeriti joonise all toodud soolad.

2.6 Vahelagede ja põrandate lahendused, seisukord ja peamised probleemid

Puidust vahelaed koosnevad puittaladest, millele toetuvad lae- ning põrandalauad, vt. Joonis 2.57 vasakul. Taladevaheline osa on täidetud šlaki, liiva või muu raske täitematerjaliga. Keldrivahelagi on väga vanades, 19. sajandi lõpus või veel varem ehitatud majades ka puittaladel, harva esineb ka arhailisi võlvitud keldreid. 19-20. sajandi vahetusel kogub populaarsust lame tellisvõlv terastaladel, vt. Joonis 2.57 paremal). Keldrita elamute esimese korruse põrandad olid puidust pinnasele toetatuna või lahendatud alt tuulutatud põrandana (vt. Joonis 2.58) või siis otse pinnasele toetatud kivi/betoonpõrandad. Täiesti kuiva looduslikku pinnast eksisteerib väga harva. Arvutuslikult on pinnase suhteline niiskus 100 %, mis tähendab, et kokkupuutel puiduga viimane märgub ja puidus tekib soodne keskkond mädanikseente arenguks. Lisaks on otse liivapadjandile toetatud puittaladega põrand väga tundlik ka hoonet ümbritseva pinnase tõstmise suhtes. Pinnasele toetatud puitpõrand ei ole niiskustehniliselt turvaline lahendus. Seda on juba tõdetud 1942. aasta väljaandes „Elamu soojapidavus“ (Jürgenson 1942). 20. sajandi algul levib laiemalt nn. alttuulutatav põrand.

Puitvahelagedes kasutatud raske täite eesmärk on aidata kaasa helipidavuse saavutamisele, kuid teisest küljest tekitab puittalades pika aja jooksul roomedeformatsioone. Roome tõttu tekivad jääkdeformatsioonid st. põrand jääb läbivajunud kujusse. Täite asendamine kergemaga (näiteks mineraalvill, tselluvill), mida sageli tehakse, vähendab vahelagede helipidavust ning omavõnkesagedust, mis omakorda tekitab ebamugavustunnet.

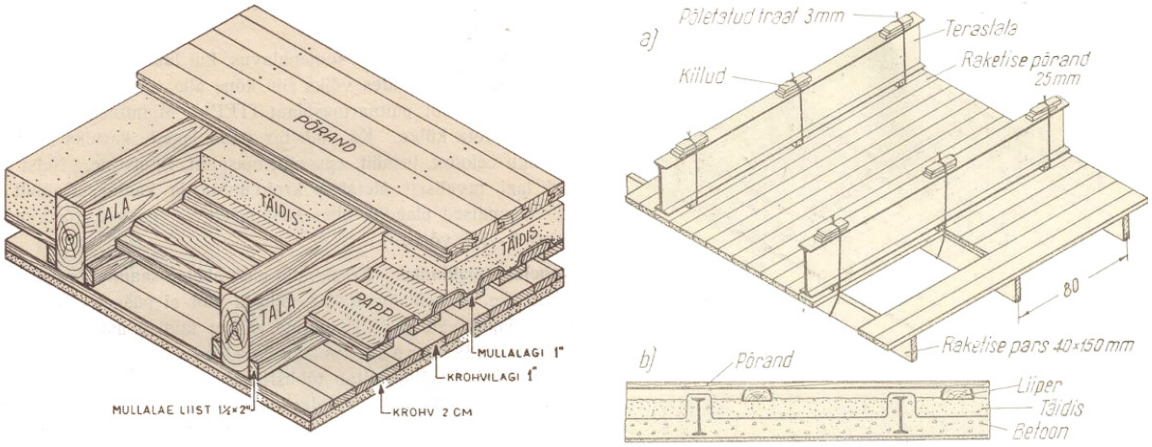
Uuritud hoonete vahelaed olid kandevõime poolest üldiselt heas korras. Vahel esines kasutusmugavusest tulenevaid probleeme, mis olid seotud läbivajumisega, helipidavusega ja madala omavõnkesagedusega, nn ”klirisevate klaaside” efekt.

Kahes elamus olid puitlaed ning keldri betoonsein majavammi poolt kahjustatud.

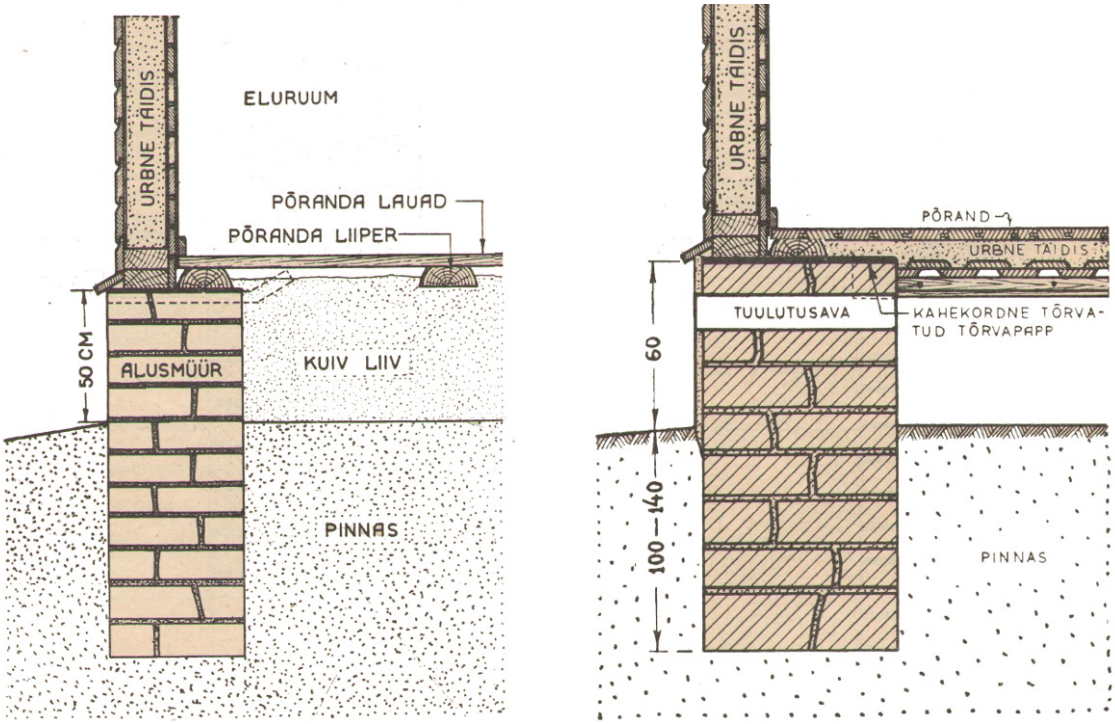
Keldrilae probleemiks võib kujuneda armatuuri või terastalade liiga väike kaitsekiht. Väikse kaitsekihi puhul hakkab armatuur roostetama ning lõpuks avaldab mõju vahelae kandevõimele. Kütmata keldrite puhul on paremal esitatud vahelae soojusjuhtuvus liiga suur: vahelagi vajab täiendavat soojustamist.

Puitkorterelamute algsed vahelaed ei taga üldiselt tänapäevaseid nõudeid helipidavusele (EVS 842), vt. täpsemalt peatükk 6 Piirdetarindite helipidavus lk. 131. Probleem on eriti suur just löögimüra (sammumüra) osas.

Vahelagi on reeglina ka tuletõkkesektsiooni piiriks kahe korteri vahel ja peab tagama, kandevõime, soojusisolatsiooni ja tiheduse / terviklikkuse 30 kuni 60 minuti jooksul. Kuna puit on põlev materjal, peab vahelagi olema vooderdatud krohvi või kipsplaadiga. Vahelae tulepüsivuse nõue on REI 30: 1–2-korruselistel elamutel, REI 60: 3–4 korruselistel elamutel. Vahelagede tulepüsivust on algselt tagatud tulekindla täidise (~5…10 cm savi, liiv, räbu, betoon, tellised) ja krohvi abil.



Joonis 2.57 Tüüpsed vahelagede lahendused (Veski 1943).

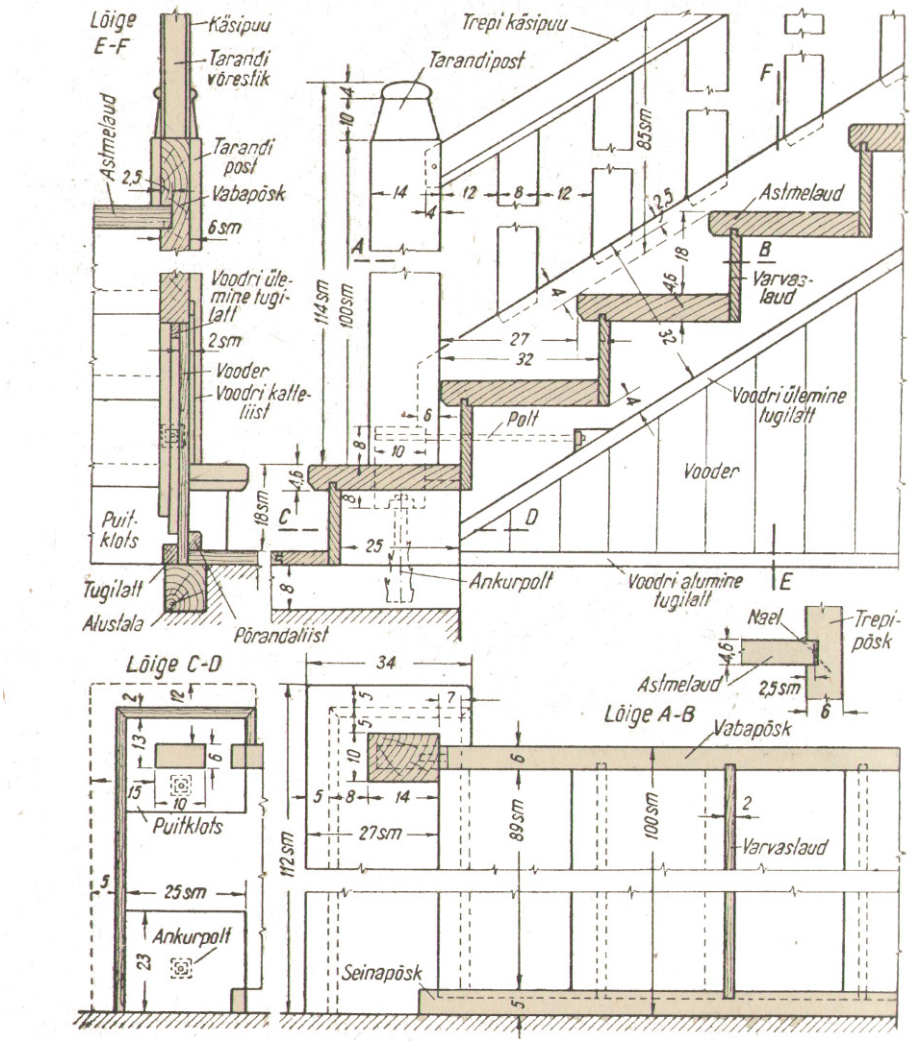


Joonis 2.58 Keldrita elamute lahendusi (Jürgenson 1942).

2.7 Trepid ja trepikojad

2.7.1 Treppide ja trepikodade lahendused

Treppide tehnilised nõuded tulenevad peamiselt kandevõime tagamisest ja evakuatsiooni korraldamisest (tuleohutusnõuded). Need nõuded on aja jooksul muutunud. Näiteks Tallinnas hakati täiendava evakuatsioonitrepi olemasolu nõudma 1890. aastatel, mis tõi kaasa muutusi ka elamute põhiplaanides: kui varem oli vaid jõuka rahva korterelamutes kaks trepikoda (nn. puhas ja must sissekäik), siis nüüd tuli ka väikekorteritega agulimajadesse paigutada lisatrepp. 1930. aastateks (RT 59 – 1932, art. 495, RT 43 – 1937, art. 386) pidid kõikjal ilma kivitrepikojata puitehitises trepid asuma nii, et iga teise või kolmanda korruse korter saaks kasutada vaba juurdepääsu kahele eraldi puittrepile (Joonis 2.60). Need puittrepid pidid asuma eraldi trepikodades, kusjuures trepikojad ei võinud asuda kõrvuti, arvates trepikoja pika seina järgi.



Joonis 2.59 Varvaslaudadega puittrepi lahendus (Veski 1948).

Puittrepikoja seinad pidid olema massiivsed, siseseinad vähemalt 0,10 m. ja välisseinad vähemalt 0,15 m paksud (Tallinnas arvates voodrita ja krohvita, Nõmmel 0,15 m ühes vooderdusega).

Kahekorruselised puitehitised olid lubatud ühe puittrepiga ainult juhul, kui ülemise korruse eluruumide põrandapind ei ületanud 70 m^2. Mõõtes ruumi seinast seinani, kusjuures katusekorruse eluruum pidi olema trepi podesti ääres või sellest eeskojaga lahutatud.

Puidust eluhoonetes lubati ehitada kahe puittrepi asemel üks 1,2 m laiune kivitrepp, mis ulatus pööninguni ja olema kiviseintega ning tulekindlast materjalist laega. Sellise

kivitrepiga puitelamus võis kolmandal korrusel olla mitte rohkem kui kaks korterit, põrandapinnaga mitte üle a' 85 m^2.

Kõnniteelt esimese korruse põrandani viivad trepiastmed pidid olema kivist ka puitehitises. Kui aga ehitise alumine korrus või kaks alumist korrust olid kivist, pidid ka kiviastmed ulatuma kuni teise või kolmanda korruseni.

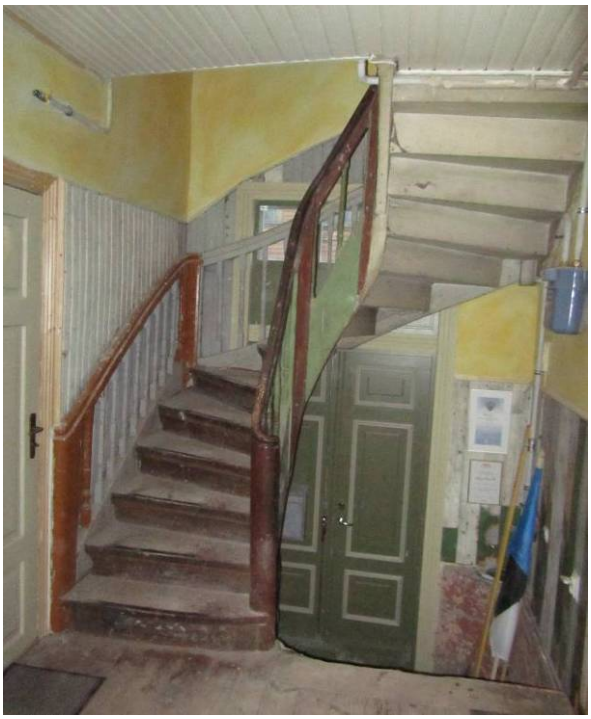
Astmete mõõtude alammäärad olid: trepi laius ≥0,9…1,2 m, astme kõrgus ≤0,18 m ja astme laius ≥0,23 m. Trepil pidi olema käsipuu või võre.

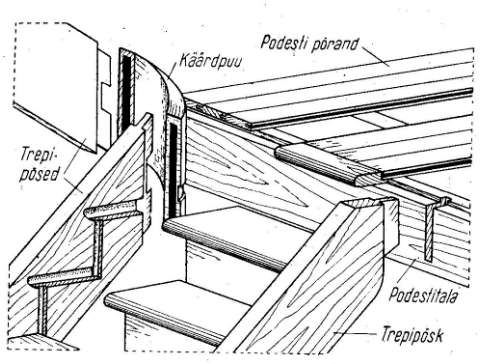
Evakuatsioonitee maksimumpikkus (iga ruumi kaugemast otsast kuni trepini) oli 30 m.

2.7.2 Treppide ja trepikodade seisukord ja peamised probleemid

Uuritud puitkorterelamute maapealsete korruste vahelised trepid olid põhiliselt puittrepid. Tallinna tüüpi elamutes ja teistes elamutes keldritrepid olid peamiselt betoonist või paeastmetest. Puittreppide puhul oli enamasti tegu varvaslaudadega treppidega. Astmelaua paksuseks 40…50 mm. Astmed on toetatud puidust põskedele, mis omakorda toetusid põrandale ja/või mademele, vt. Joonis 2.59.

Uuritud hoonetes võis kohata väga huvitava lahendusega puittreppe (vt. Joonis 2.60), mis on väärtuslikud ja peaksid sellisel kujul säilima. Sageli on uhkelt kujundatud keerdtrepid lihtsas töölismajas kõige esinduslikumaks interjöörielemendiks. Trepid võivad vajada renoveerimist, et likvideerida kulunud astmed, tugevdada käsipuude kinnitusi, plommida kahjustunud trepitalasid.







Joonis 2.60 Levinud trepilahendus väiksemates puitkorterelamutes: kahekäiguline keerdastmetega trepp.

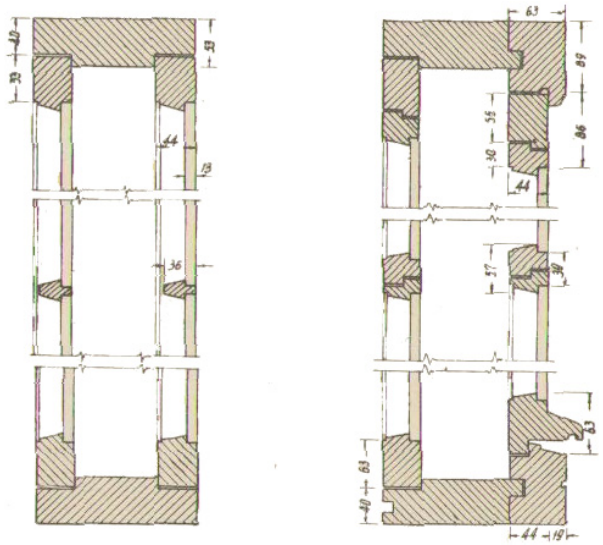
Tihti osutus trepikoja pind allpool ümbritsevat maapinda olevaks. Hoonet ümbritsev maapinnas on tõusnud või maja vajunud. Vesi jookseb trepikotta sisse ning kahjustab treppide tugikonstruktsioone.

Trepikoja tuleohutuse osa vaata peatükk 2.10 Tuleohutus lk. 86. Trepp on oluliseks osaks elamu evakuatsiooni lahendamisel ülemistelt korrustelt. Seetõttu on oluline, et trepi kandevõime ja trepikoja tuletõkketarindite tulepüsivus püsiks tulekahju tingimustes teatud aja: sõltuvalt tuleohutusklassist 30 või 60 minutit. Üldjuhul ei ole see puitkorterelamutes tagatud.

2.8 Avatäited

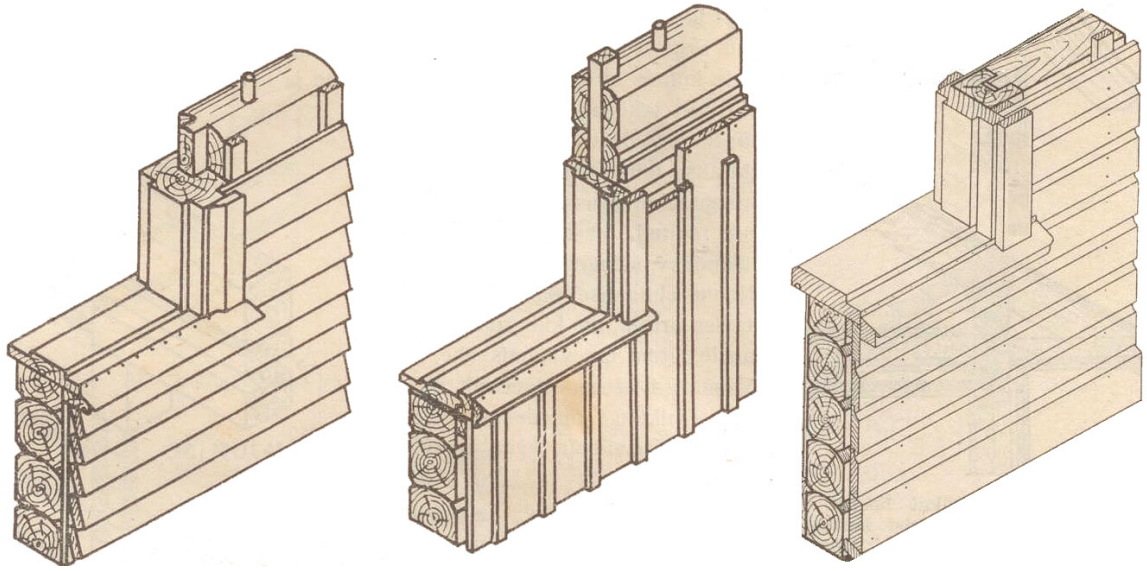
2.8.1 Akna lahendused

Puitkorterelamutel oli ehitusjärgselt peamiselt kahe klaasiga aknad. Kuigi juba tollel ajal arutati ka kolme- ja ka neljaklaasiliste akende üle (Jürgenson 1940). Enamlevinud olid kahele poole avanevad aknad, aga esines ka aknaid, mille mõlemad raamid avanesid sissepoole (vt. Joonis 2.61).



Joonis 2.61 Peamised akna tüübid: sisse-väljapoole avanev aken (vasakul) ja sissepoole avanev aken (paremal) (Veski 1948).

Aknaleng oli tehtud kas ühes- või kahes tükis. Vanematel hoonetel võib aknaleng olla ka rõhtpalkseina tenderpostiks (vt. Joonis 2.62 vasakul). Kuna sellise lahenduse juures kippus piit kergesti viltu minema ja seina vajumisega seotud mõjud kandusid aknalengile, hakati hiljem eelistama aknalengi ja tenderposti lahutamist (vt. Joonis 2.62 paremal).



Joonis 2.62 Aknapiida asetsemine rõhtpalkseinas (Veski 1940).

Kahe raamiga ja kahe klaasiga akna soojusläbivus on (sõltuvalt raami lahendusest) üldiselt vahemikus 2,7…2,9 W/(m^2·K).

Akendega koos tuleb käsitleda ka piirdeliiste, mis mõjutavad oluliselt hoone arhitektuurset välisilmet, vt. Joonis 2.63.




Joonis 2.63. Kaunite piirdeliistudega aknad.

2.8.2 Akende seisukord ja peamised probleemid

Enamus hoonetel olid vahetatud vaid osa aknaid. Vahetatud akendest moodustasid 2/3 plastraamides aknad ja 1/3 puitraamides aknad, vt. Tabel 2.7. Selline tendents on kahetsusväärne, kuna puitkorterelamutele on sobivad just puitraamides aknad.

Tabel 2.7 Aknatüüpide esinemine hoonetes (protsent on antud hoonete arvust, summa on üle 100%, kuna ühel elamul võisid olla erinevat tüüpi aknad).

Vanad puitaknad	Uued puitraamides aknad	Uued plastraamides aknad	Renoveeritud aknad
90%	34%	57%	13%

Aknaplekid/veelauad olid kõigil akendel olemas 54 %-l hoonetest, ülejäänud juhtudel olid 62 % akendest varustatud plekkide/laudadega. Puudujäägid algavad sel juhul tavaliselt akende vahetusega, mil valitakse odavaim võimalik lahendus ning paigaldamata jäävad nii plekid kui akende kattelauad – paljastades montaaživahu lagundavale UV-kiirgusele ning juhtides vihmavett tarindisse.

Akende erinev stiil sama hoone samal fassaadil torkas silma väga paljude hoonete puhul, vt. Joonis 2.64. Teine akende visuaalse küljega seotud probleem on renoveeritud hoonetel akende paiknemine välistasapinnast olulise sisseastega, vt. Joonis 2.65. Puithoonetel algne aknalengi laius tehti võrdseks seina kogupaksusega. Seetõttu asetses akna välimine raam samas tasapinnas voodrilauaga. See ei ole ehitusfüüsikaliselt küll parim lahendus, sest aken astub palkide vahelt ~4…5 cm välja ja akna liitekohta tekib külmasild. Kuna aga tolleaegsete hoonete soojuskaod olid niigi suured, ei avaldanud see külmasild olulist mõju üldisele energiakulule. Kui välisseinte lisasoojustamisel jätta aknad endisesse asukohta, rikutakse puitkorterelamute arhetüüpi.

Akende stiil vajab ühtlustamist, et säilitada hoone korralikku välisilmet. See eeldab elanike kokkulepet, kui aknaid vahetatakse, ning miljööväärtuslikel hoonestusaladel on akende vahetuseks täiendavalt vaja ka kohaliku omavalitsuse kirjalikku nõusolekut. 1990. alguseni asendatud aknad on enamasti puitaknad, kuna plastaknad hakkasid levima hiljem.

Keskmisel majal on tänapäevaste vastu asendatud või renoveeritud 38% akendest, kogu valimi kohta esinenud aknatüübid on antud Tabel 2.8-s.

Tabel 2.8 Keskmine uute akende osakaal hoonel (protsent akende arvust).

Tallinn	Tartu	Pärnu	Viljandi	Keskmine
38%	42%	39%	27%	38%

Kui maapealsete korruste akende tehnilist seisukorda võis hinnata üldiselt rahuldavaks, siis keldrikorruste aknad oli valdavalt kriitilises olukorras, vt. Joonis 2.66.

Akna kahjustuste peamised põhjused on väline kliimakoormus (päikesekiirgus, kaldvihm, niiskuse- ja temperatuurikõikumine, lumi, jää ja tuul), kasutusest tulenev koormus ja hoolduse puudus. Puidu mädanikkahjustuste põhjus võib olla ka akendeks kasutatud puidu kvaliteet. Kliimakoormuse tugevus vaheldub hoone erinevate ilmakaarte suhtes. Väiksemast kliimakoormusest põhja- ja idafassaadi akendel esineb vähem kahjustusi kui lõuna- ja läänefassaadi akendel.



Joonis 2.64. Näide ühes elamu akende erinevatest stiilidest.



Joonis 2.65 Puitkorterelamule sobimatu lahendus: fassaadipinnas aukus plastaken.




Joonis 2.66 Maapinna tasandil olevad aknad on tihti lõhutud või lagunenud suure veekoormuse tõttu.

2.8.3 Uste lahendused, seisukord ja peamised probleemid

Uste seisund uuritud hoonetes oli erinev, alates täielikult amortiseerunutest kuni algupäraste uste tänapäevaste koopiateni. Uste seisund oli üldistatult hea. Välisuste kahjustused olid suuremad, kui välisuksel puudus varikatus: uks oli suurema kliimakoormuse käes. 1990. aastatel on mõnedel puitmajadel välisuksed asendatud hoone välimusega sobimatute metallustega, millest paljud on jõudnud praeguseks juba omakorda tugevasti amortiseeruda.

Vaheuste juures ei olnud korterite välisuksed valdavalt tuletõkkeukse nõuetele (EI 15, EI 30) vastavad.

2.9 Märjad ja niisked ruumid

2.9.1 Märgade ja niiskete ruumide lahendused

Kanalisatsiooni- ja veevõrgu puudumisel ehitati kuivkäimlad 19 saj. lõpuni tavaliselt elamust eemale kas puukuuride otsa, pesuköögi taha, õuenurka vm. 19. –20. sajandi vahetusel hakati koridorelamutes käimlaid tuulekotta planeerima. Kanalisatsiooni ja veevärgi arenemisel hakkasid majaomanikud kuivkäimlat asendama vesiklosetiga (Mäsak 1982).

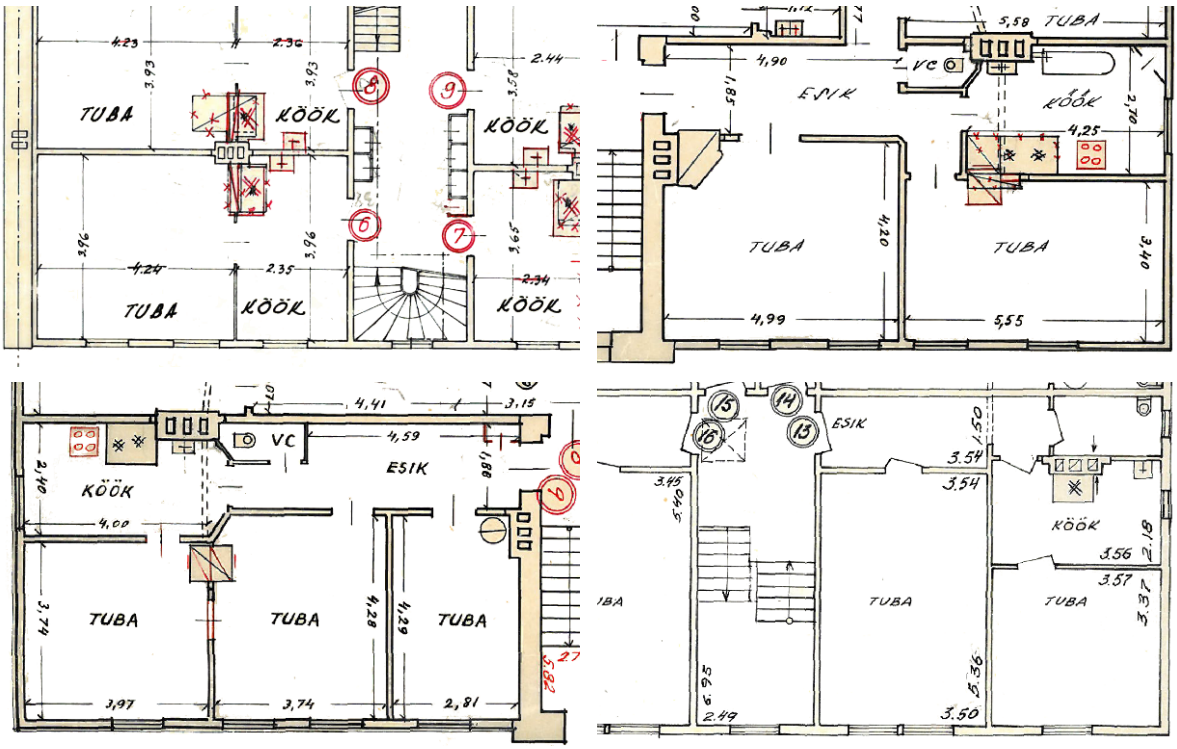
Puhast vett võtmas käia tuli enamasti hoovist pesuköögist, kus asus ainus veekraan, või (eriti väiksemates linnades) ka salvkaevust. Vaid suhteliselt vähestel juhtudel ehitati valamu ühiseks kasutamiseks ühte koridori otsa. Isegi seal, kus veekraan oli juba koridoris, ei olnud selle all enamasti valamut. Et kraani kasutamisel vesi põrandat ei rikuks, pandi selle alla kas plekkvann või mõni muu nõu. Must vesi tuli kanda ämbriga õue. Suurte korteritega esinduslikesse puitelamutesse, näiteks Tallinnas Kadriorus või Tartus Toometaguses linnaosas, hakati siiski juba 19. sajandil vannitube planeerima, kuid sellised puumajad moodustasid kõigist toona ehitatutest vaid väikese osa.

Tallinna maja tüüpi korterelamut hakati ehitama (1920.–1930. aastail) juba nii, et igas korteris oli oma kemps. Vannitubasid ehitati algselt vaid parematesse ja jõukamate omanike elamutesse. Tihti oli nii, et vannituba oli peremehel endal ja teistes, väljaüüritavates korterites oli ainult tualett (mitte enam kuivkäimla, aga juba vesiklosett). Vannituba asetses siis keldris, kõigile majaelanikele ühine. Inimeste pesemiseks kasutati lisaks ühisvannitubadele ka avalikke saunu. Pesemiseks kasutati õue peal (varasemal ajal) või keldris (hilisemal ajal) asuvat pesuköögi.

Detailseid, originaalseid märgade ja niiskete ruumide tarindilahendusi autoritel vanemast kirjandusest leida ei õnnestunud. Olemasolevaid ehituslahendusi uurides võib hinnata, et märjad ja niisked ruumid on ehitatud olemasolevate puit- või raudbetoonkonstruktsioonide peale, sageli ilma veetõkkekihita.

2.9.2 Märgade ja niiskete ruumide seisukord ja peamised probleemid

Suurimad probleemid märgade ja niiskete ruumidega on seotud sellega, et pesuruumid ei olnud algselt korteritesse sisse planeeritud, vt. Joonis 2.67. Seetõttu on korteriomanikud kaasaegsete elutingimuste loomiseks pidanud otsima erinevaid lahendusi.



Joonis 2.67 Valik korruseplaane vanematest puitkorterelamutest: valdavalt polnud vannitubasid korterisse planeeritud.

Keskmiselt 5-aasta vanused dušikabiinid lasid igalt poolt vett läbi ning silikoontihendid olid irdunud ning musta värvi. Vesi oli kohati valgunud ka põrandalaudade alla. Vastu seina ehitatud dušikabiinide puhul oli kahjustatud ka selle tagune sein.

Korterites, kus oli sisse planeeritud vannituba või panipaik, oli võimalik rajada vannituba sinna. Korterid, mis on moodustatud mitme väiksema korteri liitmise teel, on enesele saanud vannitoa teisest köögist või sanitaarruumidest. Sellise ümberehituse korral on vähemalt teoreetiliselt võimalik olnud rajada pesuruumid nendele esitatud tehniliste nõuete järgi.

Paraku ei ole sageli veetõke, põranda kalded, torude läbiviigud ja jätkud tehtud korralikult vettpidavaks, vt. Joonis 2.68. Märgade ruumide põranda- ja seinatarindid kannatavad pideva liigniiskuse käes ning tavaliselt päädib see mädaniku tekkega. Kunagised suured korterid jagati Nõukogude ajal väiksemateks ning vannitoad olid ühised mitmele perele, mistõttu oli hooldus sageli ebapiisav ning võisid esineda ulatuslikud veelekked. Hiljem on pahatihti tehtud vaid sanitaarremonte, uuendades viimistlusmaterjale, põhikonstruktsioonide seisukorra vastu huvi tundmata. Seetõttu esineb tõsiseid probleeme ka nendes majades, kus vannitoad olid algusest peale ette nähtud.



Joonis 2.68 Seinte nihete tõttu ei ole dušikabiini piirded enam veetihedad ja vesi satub tarinditesse (ülal). Dušinurk paikneb vahetult akna ääres. Akna ja välisseina liitekohas on palju potentsiaalseid veelekkekohti. Tagajärjeks on vee sattumine tarinditesse (all).

Korterites, kus pesuruume polnud sisse planeeritud, on tänapäeva normaalsete elutingimuste saavutamiseks paigaldatud dušikabiin tavaliselt kööki. Väga sage probleem on see, et nelja seinaga dušikabiini asemel on paigaldatud vaid kaks või kolm dušinurga

seina ilma tagaseinata ja kohati ka ilma dušialuseta. Sellisel juhul on väga-väga tõenäoline, et dušinurga liitekoht ei püsi veetihedana ja paari aasta pärast hakkavad liitekohad lekkima. Eriti suur oli probleem, kus korterielanikud olid dušikabiini paigaldanud ise, ilma korralikke ehitustehnoloogilisi võtteid kasutamata või katnud märja tsooni plastrullkattega, vt. Joonis 2.69. Selliselt esines kahjustusi väga sageli. Üllatav oli ka elanike stoiline suhtumine märgade ruumide niiskuskahjustustesse. Ei saadud aru, et korralike veetõkete puudumise tõttu kastetakse iga päev seinas kasvavat mädanikseent ja lagundatakse oma kodu kandekonstruktsioone. Seda juhtus isegi muinsuskaitse all olevates elamutes.

Märgade ruumide piirdetarindite liitekohad olid kaotanud ka veepidavuse seina nihete tõttu, kui tarindid ei ole ehitatud piisavalt jäigad. Kui vesi satub dušikabiini tarindite taha, on sealt selle väljakuivamine väga aeglane. Üldjuhul püsib niiskus piisavalt kaua luues soodsad tingimused hallitus- ja mädanikseente kasvuks.



Joonis 2.69 Plastkattega kaetud duširuumides esines sagedalt lekkekohti.

Krooniline puudus niiskete ja märgade ruumide juures oli ka ventilatsiooni puudumine. Lähtudes väljatõmbe õhuhulgast peab olema tagatud ventilatsiooni õhuvooluhulk WC-st 10 l/s, vannitoast 15 l/s, köögist 20 l/s. Õhuvahetuseks tuleb tagada ka värske õhu juurdevool nii korterisse (sissepuhe või värskeõhuklapid) kui ka pesuruumidesse: madal uksepiit või õhuavad ukses/seinas.

Kuna vee kasutamine eluruumides ja niiskuskoormus on aja jooksul suurenenud, kaasnevad sellega ka suurenenud nõudmised märgade ja niiskete ruumide tarinditele ja tehnosüsteemidele. Ka muinsuskaitse all olevates hoonetes (mälestised) tuleb märjad ja niisked ruumid lahendada tänapäeva nõuetele vastavatena.

2.10 Tuleohutus

Puit on põlev materjal. Puitkorterelamute tuleohutusele on pööratud tähelepanu juba vanematel aegadel. Tuleohutuseeskirjade täiendamisel 19. saj. lõpul nõuti Tallinnas, et teise korruse korteritel peab olema kasutada kaks otseväljapääsu. Hiljem asendus kaks puidust trepikoda ühe kivitrepikojaga.

Vaatamata sellele, et puit on põlev materjal, ei tähenda, et puithoones süttiks tulekahju kergemini kui muudest materjalidest hoonetes. Päästeameti 2008. aasta statistika näitab, et tuleõnnetustest ainult 30% juhtus puithoonetes. Kuna puithoones on põlevat materjali rohkem, võib tulekahju tagajärjed olla elu- ja varakahjusid arvestades kriitilisemad.

Tuleohutus kuulub ehitistele esitatavate oluliste nõuete hulka, mis peavad olema täidetud kogu ehitise kasutusea vältel. Olulised ehitistele esitatavad tuleohutusnõuded on järgmised:

- nõutud aja jooksul peab säilima ehitise kandevõime;
- ehitises on takistatud tule ja suitsu tekkimine ja levik;
- tule levik ehitisest naaberehitisele on takistatud;
- inimestel on võimalik ehitisest evakueeruda;
- inimesi on võimalik ehitisest evakueerida;
- on arvestatud päästemeeskondade ohutuse ja nende tegutsemisvõimalustega.

Selles uuringus käsitletud kahe- kuni neljakorruselised puitelamud kuuluvad tuleohutus-klassidesse TP 2 või TP 3, mille kandekonstruktsioonile seatakse tulepüsivuse nõudeks R 30 kuni R 60. Number väljendab aega minutites standardtulekahju korral. Keldri konstruktsioonidelt nõutakse suuremat vastupidavust. Tule ja suitsu levimise takistamiseks, evakuatsiooni tagamiseks, päästetööde kergendamiseks ning varakahjude piiramiseks peab hoone olema jaotatud tuletõkkesektsioonideks. Omaette tuletõkkesektsioonid moodustatakse hoone osadest, mis on üksteisest oluliselt erineva kasutusotstarbe või põlemiskoormusega. Korterelamutes on tavaline, et iga korter on eraldi tuletõkkesektsioon. Kõrgemaid kui neljakorruselisi hooneid Eestis puidust ehitada üldjuhul ei tohi.

Tule ja suitsu levimise takistamiseks, evakuatsiooni tagamiseks, päästetööde kergendamiseks ning varakahjude piiramiseks peab hoone olema jaotatud tuletõkkesektsioonideks. Omaette tuletõkkesektsioonid moodustatakse hoone osadest, mis on üksteisest oluliselt erineva kasutusotstarbe või põlemiskoormusega. Korterelamus on tavaline, et iga korter on eraldi tuletõkkesektsioon. Maapealsete korruste tuletõkkesektsioone seatakse tulepüsivuse nõudeks sõltuvalt tuleohutusklassist EI 30 kuni EI 60, keldrikorruse aga EI 30 kuni EI 120.

Seinte ja lagede pinnad peavad TP 2 klassi hoonetes olema klassist B-s_1,d_0 st mittesüttivad. Põrandapinnad võivad olla süttiva pinnaga. TP 3 klassi hoonete seina- ja laepinnad võivad olla süttivustundlikkusega D-s_2,d_2 ning põrandad süttivustundlikkusega D_{fl}-s_1. Mõlemad nimetatud nõuded lubavad puitpindade kasutamist. Puitkorterelamute ehitamisel kasutati puitkonstruktsioonide lupjamist, et vähendada nende süttivustundlikkust, Joonis 2.70 vasakul. Tänapäeval lupjamist ei tehta ja selle kaitsva mõjuga pööningukonstruktsioonidele arvestada ei saa, kuna kohati on see lubjakiht lagunenud.

Palkseinte tules käitumine kujutab endast aeglast ühemõõtmelist söestumist. 60-minutilise tulekahju järel on palgid söestunud ~40 mm. Võrreldes palgi enamlevinud paksusega (15…18 cm) on seda suhteliselt vähe. Sellega on seinte kandevõime 60-minutilise tulekahju juures tavaliselt tagatud ilma täiendavate kaitsevahenditeta. Lisaks seintele tuleb tähelepanu pöörata ka vahelagedele, mille tulepüsivust on algselt tagatud talade suurte ristlõigete ning tulekindla täidise (~5…10 cm savi, liiv, räbu, betoon, tellised) ja krohvi abil. Karkasshoonete puitelementide söestumine toimub veidi kiiremini tänu suuremale söestumisele ristlõike nurkades. Seetõttu on karkasshoonetes olulisem

teostada tulekaitset erinevate katetega. Tuli ja kuumus pääsevad karkassielemendil ligi mitmest küljest.

Tule levikut tuleb takistada ühelt hoonelt teisele. Seda tagatakse peamiselt hoonete-vahelise kuja ≥8 m või tulemüüriga, Joonis 2.70 paremal. Kõrvuti asuvate hoonete eraldamiseks tulekahjuolukorras on nende vahele ehitatud tulemüür. Tulemüüri ja hoone ühendused on üks riskikohti. Tulemüürile on õigem ehitada katus peale, et vesi ei suunduks tulemüüri ja seina vahele. Paljudel juhtudel ei ole tulemüür pealt veetihedalt kaetud. See võib viia külmumise-sulamise käigus tekkivate pragudeni, mis müüri nõrgestavad ning eraldusvõimet pärsivad. Keeruliseks juhtumiks on elamud, mis on ehitatud teineteisele kaasaegsete tuleohutusnormide seisukohalt liiga lähedale ilma igasuguse tulemüürita, eriti, kui hoonetvahelistes seintes on ka aknad, seda esineb just kõige vanemates linnaosades. Siin tuleb igal juhtumil eraldi otsida sobivaid meetmeid hoonete tuleohutuse parandamiseks.

Trepikodade puitkonstruktsioonide kandevõime tulekahjuolukorras on üldjuhul piisav. Süttivustundlikkus ei vasta enamasti täna kehtivatele nõuetele (RT I 2004, 75, 525), sest seina- ja laepinnalt nõutakse mittesüttivust. Treppide astmed ja põsed on üldjuhul piisava paksusega, et ilma süttivustundlikkust vähendavate kateteta rahuldada tulekahjuolukorras kandevõimekriteeriumit R30. Kõnesoleva raporti autorite soovitus on, et tänaste nõuetega konfliktne olukord nõuaks asjakohaste ametite seisukohta ja kokkulepet.

Tänaste nõuete kohased evakuatsiooniteede vajalikud pikkused on vanades puitkorterelamutes üldiselt tagatud.

Uuritud elamute külastamise tulemusena märkasid eksperdid, et suitsuandureid on hoonetes paigaldatud puudulikult. Suitsuandurite paigaldus on kohustuslik vähemalt ühte eluruumi, aga soovitatavalt kõikidesse tubadesse.

Üheski elamus ei olnud paigaldatud sprinklereid, kuid see on kindlasti abinõu, mis aitab tulekahju puhkemisel elusid päästa.

Lisaks tuleb erilist tähelepanu pöörata otsese põlemisprotsessiga seotud hooneosadele: korsten, ahi, pliit, kamin jne. Küttekolle ja suitsulõõr peavad moodustama koos tegutseva terviku. Korstna lahendus peab vastama küttekolde võimsusele. Hoone sees asuva suitsulõõri seina vaba välispinna temperatuur ei tohi lõõriga ühendatud küttekolde pideva maksimaalvõimsusega kütmise korral olla üle 80 ºC. Selleks paigaldatakse puitkonstruktsioonid korstnatest ja ahjudest piisavalt kaugele. Väga mitmes hoones olid katusekonstruktsioonid vahetult vastu korstnat, vt. Joonis 2.71.



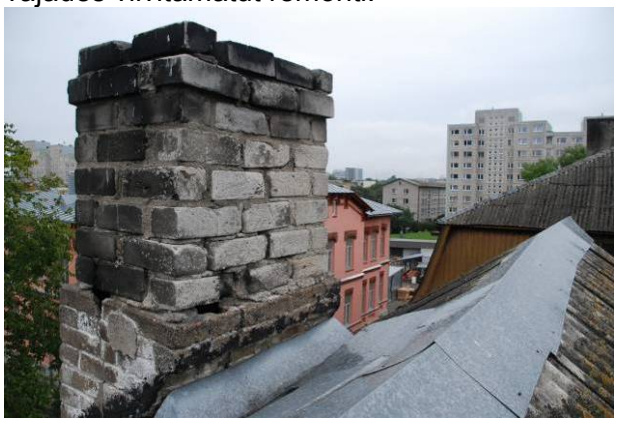
Joonis 2.70 Katusekandekonstruktsioonid on lubjatud, et vähendada nende süttivustundlikkust (vasakul). Tulemüür kokkuehitatud hoonete vahel (paremal).




Joonis 2.71 Puitkonstruktsioonid ei tohi olla vastu korstnat. Minimaalne distants on 10 cm (või rohkem sõltuvalt küttevõimsusest ja korstna lahendusest) isoleerituna tuletõkke mineraalvillaga (kivi- või klaasvill).

Küttekoldeid ja suitsulõõre tuleb põletamiseks vajalike tingimuste tagamiseks ja tahma süttimise vältimiseks puhastada. Korstnate lagunemine ning hoolduse puudumine võib tuleohtu tekitada.

Tuleohutusnõuete kohaselt on reegliks, et korsten ulatuks kas vähemalt 0,8 m katuse pinnast kõrgemale või siis ülespoole mõttelist joont, mis ühendab katuse kõrgeimast kohast 0,8 m kõrgemal asuva punkti ja räästa püsttasandis katuse kõrgeima koha kõrgusel asuva punkti. Järsukaldelise katusega hoonel, kui katuse kalle on üle 30º, võib korstna kõrguse määrata nii, et korstna pea ja katusetahu lühim kaugus on vähemalt 1,0 m. Kergsüttiva katusekatte korral tuleb korstnapea varustada sädemepüüduriga või teha korstna üleulatus katusest suurem. Paljudel hoonetel oli korstna üleulatus katuse pinnast liiga väike või/ja korstna ülemine ots (korstnapits) oli lagunenud (vt. Joonis 2.72) vajades viivitamatut remonti.




Joonis 2.72 Lagunenud korsten tuleb viivitamatult renoveerida.

Korterites teostatud hoonepiirete õhupidavuse mõõtmiste käigus ilmnes suitsu lekkeid korstnate ebatiheduste kaudu. Õhupidavuse mõõtmise ajaks suleti ja tihendati teibiga mõõdetavas korteris kõik küttekollete uksed, tahmaluugid ja siibrid vältimaks õhu sissevoolu alarõhu olukorras. Korteri omanikud ei olnud kütnud ahje või pliiti enne õhupidavuse mõõtmist, et välistada suitsu sattumist ruumidesse mõõdetava korteri küttekolletest. Mõõtmiste käigus esines olukordi, kui alarõhu olukorras sattus mõõdetava korteri ruumidesse suitsulõhna või suitsu. Sellised olukorrad näitasid, et esines lekkeid korstnate kaudu.

2.11 Puitkorterelamute kasutusiga ja renoveerimise vajadus

Kasutusiga on ajavahemik, mille kestel hoonet kasutatakse planeeritud otstarbel ettenähtud hooldusabinõusid, kasutades ilma olulise vältimatu remondita. Hoone kasutusiga hõlmab nii hoone või tema osade füüsilist hävinemist (kandepiirseisundi ületamist) kui ka hoone otstarbekuse kadumist või mõne tema osa hävinemist selliselt, et hoonet ei saa kasutada (kasutuspiirseisundi ületamist).

Hoone kasutusiga ei tohi olla väiksem hoone või tema osade tööeast. Ehitise kasutusea lõppemise põhjused võivad olla:

- majanduslikud põhjendused (kasutuskulud, korrashoiukulud, energiakulud);
- funktsionaalsed põhjendused (sihtotstarbe muutumine);
- ehitise eluohtlikuks või tervisele ohtlikuks muutumine (konstruktiivne olukord, sisekliima sobimatus);
- esteetilised põhjendused (esteetiline sobimatus, ehitise vastuvõetava välimuse kadumine);
- tehnoloogilised põhjendused (toimivus, kasutusmugavus).

Hoonete kasutusiga sõltub mitmest erinevast tegurist:

- ehitusmaterjalide kvaliteet (ehitusmaterjalide tootmine ja nende projekteerimine);
- ehitusprojekti kvaliteet (arhitektuurne lahendus, konstruktiivne kandevõime, ehitusfüüsikaline toimivus);
- ehitustööde kvaliteet (tööde teostamine ehitusplatsil, järelevalve);
- sisekliima ja -keskkond (sõltub palju kasutusotstarbest, ventilatsiooni- ja küttesüsteemidest);
- väliskliima ja -keskkond (makrotasand: ehitise asukoht; kesktasand: ehitise paiknemine krundil, tema lähiümbrus ja ilmakaared; mikrotasand: ehitise detailid);
- kasutustingimused (hoone sihtotstarbe, sihtotstarbekohane kasutamine, vandalismi võimalus);
- hooldustingimused (omandisuhted, omanike teadlikkus, varalised võimalused);

Hoone terviklikkuse seisukohalt vaadates peab see tegurite ring olema terve. Kui mõne teguri mõju on väiksem, peavad teised seda täiendama. Olemasoleval hoonel on ehitusmaterjalide, ehitusprojekti ja ehitustööde kvaliteet etteantud suurus ja ilma renoveerimata mõjutavad hoone kasutusiga eelkõige kliimatingimused ning kasutustingimused. Renoveerimistööde läbiviimisel on võimalik sise- ja väliskliimat, kasutus- ja hooldustingimusi kasutada lähteandmetena. Materjalide, ehitusprojekti ja ehitustööde kvaliteedi ja hoolduse vajaduse üle saab aga otsustada juba renoveerimistöid kavandades. Kui soovitakse hoida kokku projekteerimiskulude arvelt ja tellida väiksemamahuline ehitusprojekt, tuleb tegemata töö ära teha ehitajal. Teistpidi, kui on teada, et ehitaja pole professionaalne (iseehitamine, kuigi ka professionaalse ehitajaga on probleeme, aga vähem), tuleb rohkem asju ära lahendada ehitusprojekteerimise staadiumis. Paraku näiteks iseehitamise puhul on sageli olukord vastupidine. Ilma professionaalse ehitajata või järelevalveta ehitatakse minimaalse ehitusprojekti järgi. Kui minnakse iseehitamise teed, peab ehitusprojekt olema tunduvalt detailsem.

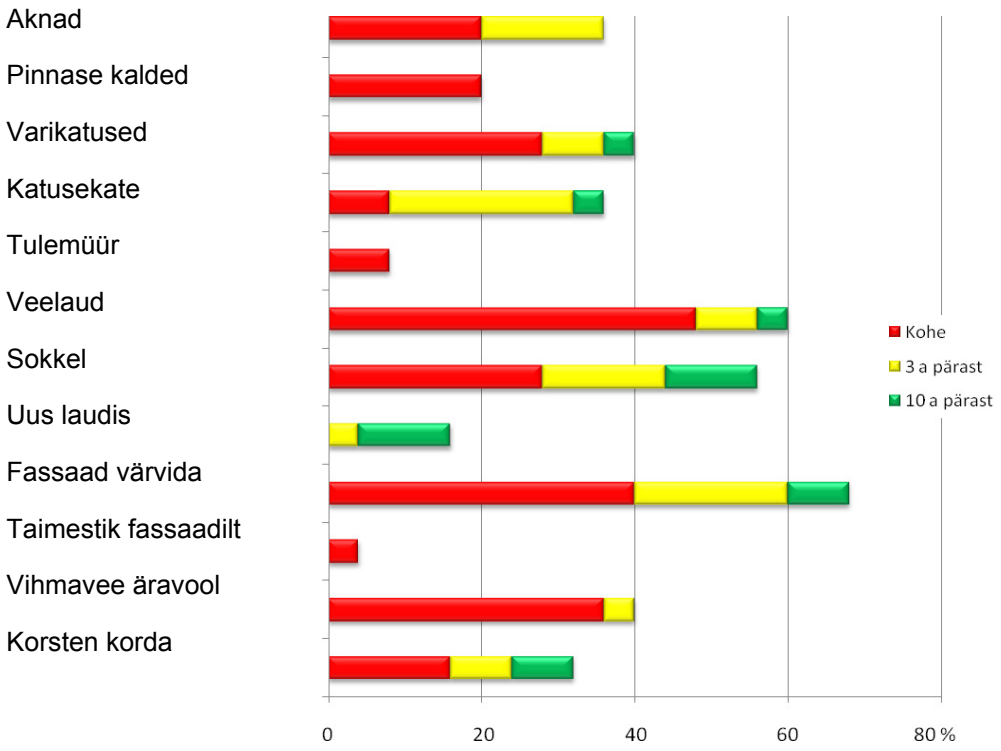
Peamised otsused renoveeritud hoone edasise kasutusea üle tehakse projekteerimise staadiumis. Ehitusprojekti kvaliteet määrab oluliselt hoonele tehtavad kulutused kogu tema kasutusea jooksul. Selles valguses tekib küsitavus projekteerija leidmise kohta vähempakkumise konkursi korras, kus tihti on peamiseks otsustajaks odavam hind. Näiteks tuleb renoveerimislaenu saamiseks eelarvele juurde lisada iga rekonstrueerimistöö või tööde kogumi kohta vähemalt 3 pakkumist. Juhul kui valiku aluseks ei ole pakkumise maksumus, tuleb korterelamul esitada laenu taotlemisel kirjalik põhjendus. Tihti jääbki otsuse aluseks odavaim hind ja see odavus tuleb kahjuks kvaliteedi arvelt. Kui hoida kokku projekteerimistööde pealt, siis on tulemuseks olukord, et projekteerijal ei ole ressurssi välja töötada ega võrrelda erinevaid renoveerimise strateegiaid. Vanade hoonete renoveerimise projekteerimisel on see aga ülioluline.

Täieliku kokkuhoiu tähe all ei tohi ära unustada aga hoone esteetilist poolt ja kasutusmugavust. Arhitektuurselt halva lahendusega hoonet ei taha keegi kasutada ega osta. Sellisel juhul jääb kasutusiga õige lühikeseks, kuigi tema tööiga võib kesta veel aastakümneid. Seetõttu ei tohi ka rikkuda puitasumite miljööd, kuna see võib mõjutada seal asuvate hoonete kasutusiga.

Arvestades asjaoluga, et mitmed uuringu all olnud hoonete kasutusiga on lähenemas sajale aastale, võib õigesti projekteeritud, ehitatud ja hooldatud puitkorterelamu renoveerimisjärgseks kasutuseaks pidada samuti ligi sada aastat.

Väljendamaks uuritud majade seisukorda, on koostatud diagramm vajalike tööde kohta maja korrastamisel, vt. Joonis 2.73. Uuring näitab, et vanade puitkorterelamute puhul on kiireimat tegutsemist vajavad kohad: katus, fassaadi laudis ja värvkate, sokkel (sh. alumised palgid) ja veelauad ning kaitseplekid. Puitkorterelamute väline vaatlus näitas, et veerand uuritud puitkorterelamutest vajavad lähema 10 aasta jooksul mahukaid taastamistöid. Need on need elamud, kus esineb üheaegselt vähemalt kolm suuremat renoveerimistööd: uus välisvooder, uus katusekate, sokli renoveerimine, uued aknad. Tuleb mõista, et kuna suur osa uuritud hoonetest asusid miljööväärtuslikel aladel, siis renoveerimine on vajalik ka miljöö säilitamiseks.

Fassaadi kestvuse tagamiseks tuleb välisvoodri värvkatet uuendada 40 % elamutest. Lisaks tuleb fassaadi värvkatte uuendamine 10 aasta jooksul ette võtta 30 % puitkorterelamutest. Suured probleemid on ka sokli veelauaga. Veelaud tuleks kiiresti korrastada 45 % uuritud elamutest. 10 aasta jooksul tuleks veelaud korrastada lisaks 15 % uuritud elamutest. 35 % elamutest tuleb kohe korrastada vihmavee äravoolusüsteem.



Joonis 2.73 Hoone komponentide renoveerimisvajadused.

3 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (näiteks välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine, välisseina ja akna liitekoht jne.) või põhjustatud ehituskonstruktiivsest lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigud jne.).

Külmasildade kahjulikkus seisneb ühelt poolt soojusvoolu suurenemises (isolatsiooni vähenemise tõttu) ja teisalt tarindi sisepinna temperatuuri alanemises. Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. Lisaks külmasillale võivad sisetemperatuuri lokaalset jahenemist põhjustada ka soojustuse puudumine, vead soojustuse paigaldamisel, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekked ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus.

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, seina määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni. Veeaur kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kui suhteline niiskus on 100 %. Toatemperatuuril on hallituse kasvuks sobiv suhteline niiskus 75…80 % juures;
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust, tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest;
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures hoone soojuskadudes külmasildade osakaal kasvab.

Kuna hoone välispiirete (välisseinad, põrandad, katused) soojuskaod arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvutatud pindalade järgi, tuleb külmasildadest tingitud lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse külmasildade joonsoojusjuhtivusega. Külmasilla soojusjuhtivus on soojuskadu vattides külmasilla kaudu, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne soojusjuhtivus keskmiseks välispiirde soojusjuhtivuseks, jagades välispiirde summaarse soojusjuhtivuse kasutatava arvutustarkvara reeglite kohaselt määratud välispiirde pindalaga.

3.1 Meetodid

3.1.1 Külmasilla kriitilisuse hindamine

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

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

kus:

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

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

Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad eelkõige:

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

Eesti jaoks on temperatuuriindeksi piirsuurused välja arvutatud lähtuvalt niiskuskoormusest 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 niiskuskoormus 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.

Niiskuskoormus	Temperatuuriindeksi f_{Rsi} ,- piirsuurus (mõõdetud või arvutatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuslisa talvel +6 g/m³ ja suvel +2,5 g/m³ (suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamud)	0,8	0,7
Niiskuslisa talvel +4 g/m³ ja suvel +1,5 g/m³ (väikese asustustihedusega ja hea ventilatsiooniga elamud)	0,65	0,55

3.1.2 Külmasilla hindamine termograafia infrapuna kaamera abil

Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o. -273,15 °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.

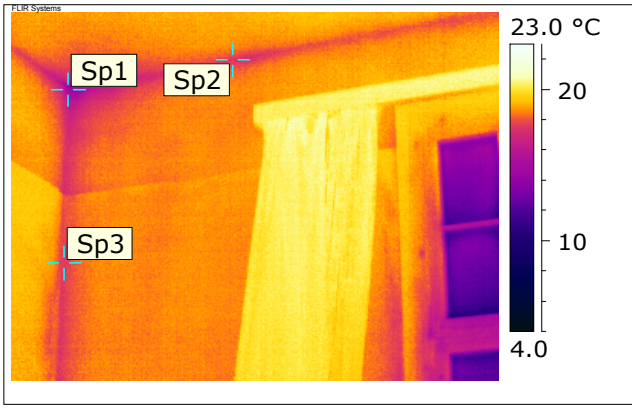
Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid ilma tarindeid avamata. Termograafia abil on võimalik eelkõige:

- hinnata külmasildade kriitilisust, vt. Joonis 3.1;
- 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 normaaltingimustes ja ala- või ülerõhu tingimuses;
- hinnata ehituskvaliteeti: külmasillad, õhulekkekohad ja puudulik soojustus on tingitud eelkõige halvast ehituskvaliteedist;
- vana hoone puhul tuvastada ka varjatud kahjustusi, näiteks puithoones ebatüüpilistes asukohtades ilmnevad külmasillad võivad viidata viimistluskihtide taha peidetud palkkonstruktsiooni tõsistele kahjustustele;
- 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.





Välistemperatuur	-9,5 °C	Sisepinnatemperatuur		Temperatuuriindeks	
Sisetemperatuur	+18,8 °C	Sp1	14,7 °C	$f_{Rsi\ Sp1}$	0,85
		Sp2	17,8 °C	$f_{Rsi\ Sp2}$	0,96
		Sp3	17,7 °C	$f_{Rsi\ Sp3}$	0,96

Joonis 3.1 Termograafia kasutamine pinnatemperatuuride mõõtmisel külmasildade kriitilisuse hindamisel.

Uurimistöös kasutati FLIR Systems E320 – termokaamerat (mõõtevahemik –20 °C…+500 °C, tundlikkus: 0,10 °C, mõõtmistäpsus: ±2 °C, +2% (kordusmõõtmisel: ±1 °C, +1%), sensor: 320 × 240 pikslit). Termograafilised mõõtmised tehti peamiselt korteri tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaaltingimustes). 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 K. Lisaks mõõtmisaegsele sise- ja välistemperatuurile on ka äärmiselt oluline, et mõõtmisele eelnevalt oleks selline temperatuuride vahe ühtlaselt püsinud.

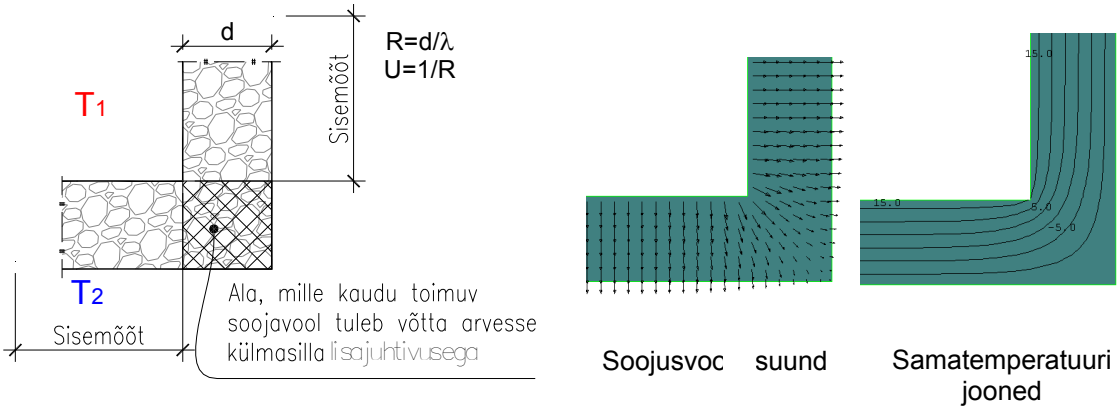
Paremini soojustatud piirete sisepinna temperatuur on kõrgem ja seetõttu on suurem ka temperatuuriindeks. Külmasilla juures on sisepinna temperatuur madalam, mistõttu on seal suhteline niiskus kõrgem.

3.1.3 Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega

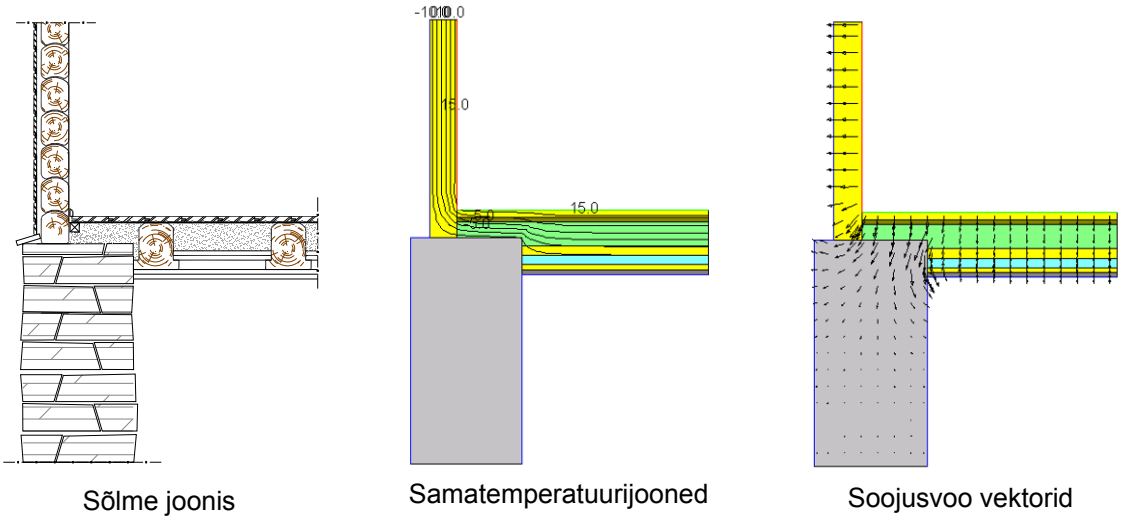
Külmasilla temperatuurivälja arvutuse abil saab:

- hinnata külmasilla kriitilisust;
- määrata külmasilla punkt- või joonsoojusjuhtivuse suurust.

Külmasilla kriitilisust saab hinnata arvutusliku temperatuuriindeksi abil. Külmasilla joonsoojusjuhtivus on oluline info hoone soojuskadude hindamisel. Kuna soojuskadusid hinnatakse piirdetarindite sisemõõtude järgi, ei saa soojuskadusid hinnata näiteks ilma välisnurkade külmasildu arvestamata (vt. Joonis 3.2, Joonis 3.3).



Joonis 3.2 Geomeetriline külmasild välisseina välisnurgas.



Joonis 3.3 Külmasild soklisõlmes.

Kõnesolevas uuringus on kasutatud temperatuurivälja programmi THERM 6.3. Arvutustes määrati kõikide pindade temperatuurid ja soojustakistused (vt. Tabel 3.2) ning materjalide soojuserijuhtivused (vt. Tabel 3.3). Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati soojusvool läbi tarindite liitekohtade, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Külmasilla soojusjuhtivus arvutustes ja külmasilla temperatuuriindeksi arvutustes on kasutatud erinevaid sisepinnatakistuste suurusi, sest energiaarvutus (külmasilla soojusjuhtivus) tehakse keskmiste suuruste järgi, niiskustehnilise toimivuse arvutus (külmasilla temperatuuriindeks) 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 soovitab külmasilla kriitilisuse arvutustes kasutada järgmisi sisepinna soojustakistusi:

- aknaklaas R_{si} = 0,13 m^2·K/W;
- ruumi ülemine osa R_{si} = 0,25 m^2·K/W;
- ruumi alumine osa R_{si} = 0,35 m^2·K/W;
- välissein kapi taga R_{si} = 0,5 m^2·K/W.

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

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

Tabel 3.2 Arvutustes kasutatud pinna soojustakistuste suurused

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

Tabel 3.3 Arvutustes kasutatud materjaliomadused.

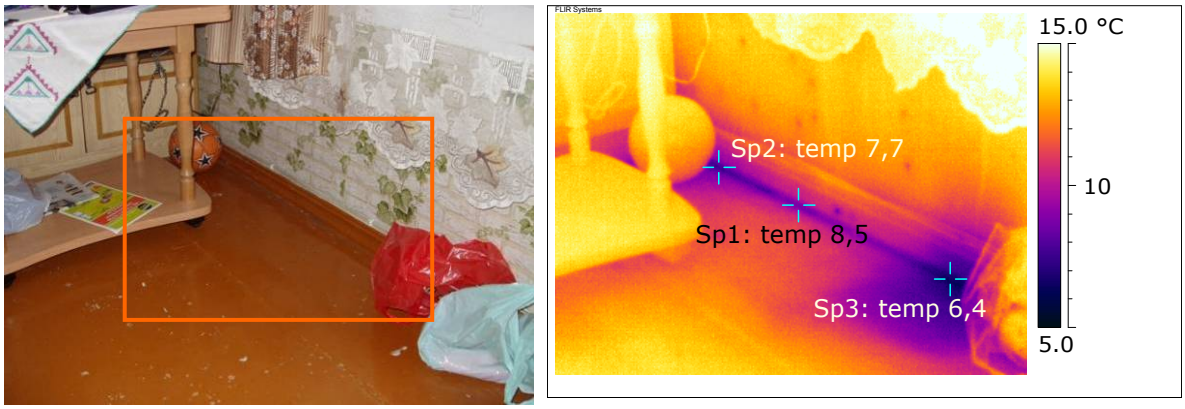
Materjal	Soojuserijuhtivus λ, W/(m·K)
Puit, sh. palk	0,12
Paekivi	2,0
Mineraalvill	0,04
Polüstereen	0,04
Kuiv liiv	0,25
Saepuru, lubja segu	0,10
Krohv	1,0

3.2 Tulemused

3.2.1 Termograafia mõõtmistulemused

Hoonepiirete termograafilised mõõtmised tehti 20-s uuritud puitkorterelamus. Termografeerimised viidi läbi peamiselt seestpoolt, kuna seestpoolt termografeerimine võimaldab paremini hinnata külmasildade kriitilisust. Väljastpoolt termografeerimine viidi läbi valitud elamutes, väljastpoolt termografeerimine võimaldab visualiseerida külmasildade ulatust ja peamisi paiknemiskohti.

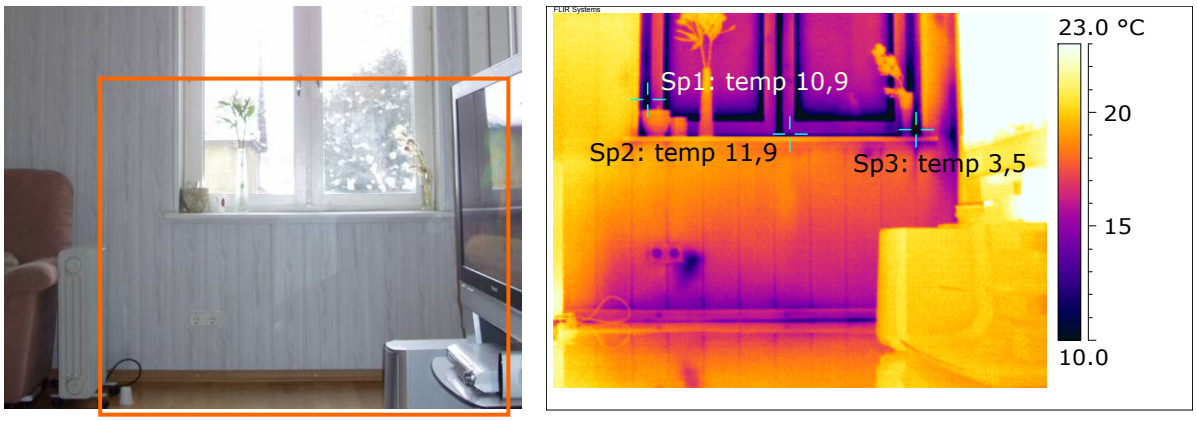
Palksein on soojuslikult homogeenne tarind, kus probleemseid konstruktiivseid külmasildu esines üsna vähe. Konstruktiivsed külmasillad paiknesid eelkõige palkseina ja kivitarindite liitekohas (Joonis 3.4). Geomeetrilised külmasillad paiknesid välisseina välisnurgas ning ukse/akna ja välisseina liitumiskohas (Joonis 3.5).



Välistemperatuur -5,7
Sisetemperatuur +17,2

$f_{Rsi\ Sp1}$ 0,62
$f_{Rsi\ Sp2}$ 0,58
$f_{Rsi\ Sp3}$ 0,53

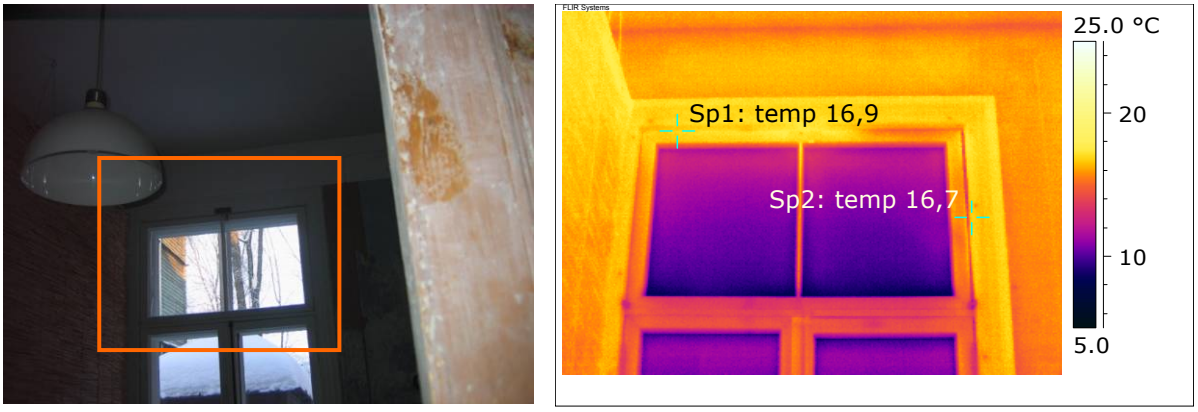
Joonis 3.4 Oluline külmasild põranda ja välisseina liitekohas (soklisõlm), paremal termopilt normaalrõhu juures, vasakul on näha samast kohast tehtud foto.



Välistemperatuur -5,7 °C
Sisetemperatuur +19 °C

$f_{Rsi\ Sp1}$ 0,67
$f_{Rsi\ Sp2}$ 0,71
$f_{Rsi\ Sp3}$ 0,37

Joonis 3.5 Oluline külmasild uue kitsas lengis akna ja välisseina liitekohas, paremal termopilt normaalrõhu juures, vasakul on näha samast kohast tehtud foto.



Välistemperatuur -5,7 °C
Sisetemperatuur +19 °C

$f_{Rsi\ Sp1}$ 0,93
$f_{Rsi\ Sp2}$ 0,92

Joonis 3.6 Vanad kahe raamiga puitaknad laias lengis, suurt külmasilda ei ole. Paremal termopilt normaalrõhu juures, vasakul on näha samast kohast tehtud foto.

3.2.2 Arvutustulemused

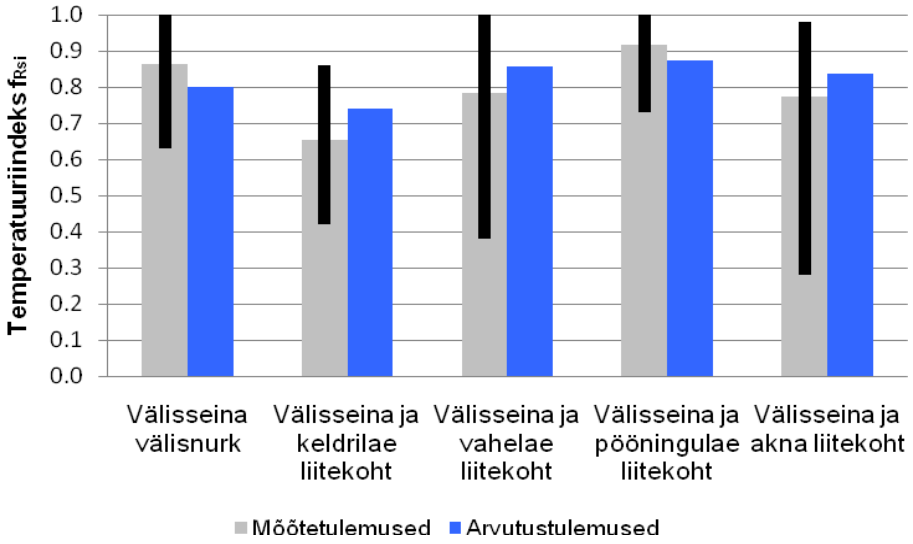
Arvutuslikult analüüsiti erinevate tarindite liitekohti, et selgitada välja arvutuslikud külmasilla joonsoojusjuhtivused ja temperatuuriindeksi suurused.

Arvutuslikult analüüsiti järgmisi tarindite liitekohti:

- välisseina välisnurk;
- välisseina ja keldrilae liitekoht;
- välisseina ja vahelae liitekoht;
- välisseina ja pööningulae liitekoht;
- välisseina ja akna liitekoht.

Mõõte- ja arvutustulemuste kokkulangevust kontrolliti temperatuuriindeksite võrdlemise abil (vt. Joonis 3.7). 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 varieerumise korral väärtuste vahemikku.

Hoone soojuskadude arvutamiseks on vaja teada, kui palju soojust väljub õue külmasildade kaudu. Seda hinnatakse külmasildade soojusjuhtivuste abil. Konkreetse sõlme lisasoojusjuhtivus sõltub materjali omadustest ja materjalide paiknemisest piirdetarindis.



Joonis 3.7 Temperatuuriindeksite mõõte- ja arvutustulemuste võrdlus.

Tabel 3.4 Külmasilla joonsoojusjuhtivuste suurused puitkorterelamutes ja võrdlus telliskorterelamutega, suurpaneelelamute, energiatõhususe miinimumnõuete määruse ning standardi suurustega.

Külmasilla asukoht	Lisa-soojustuse paksus, mm	Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K)				
		Puit-korter-elamud	Tellis-korter-elamud	Suurpaneel-korter-elamud	VV. määrus nr. 258 (uued elamud)	EVS-EN ISO14683
Välisseina välisnurk	Lisa-soojustamata	0,05	0,23–0,29	1,17		0,10
	50	0,05	0,17	0,34		-
	100	0,05	0,15	0,26	0,08	-
	>150					
Välisseina ja keldrilae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,18	0,00	1,03		0,05
	50	0,19	0,00	0,13		-
	100	0,06	0,00	0,08	-	-
	>150					
Välisseina ja vahelae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,01	0,01	0,77		0,05
	50	0	0,00	0,10		-
	100	0	0,00	0,05	-	-
	>150					
Välisseina ja pööningu-lae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,15	0,41...0,58	-		0,55
	50	0,13	0,41...0,49	-		-
	100	0,13	0,42...0,49	-	0,09	-
	>150					
Välisseina ja akna liitekoht	Lisa-soojustamata	0,01	0,35...0,49	0,07		0,60
	50	0,01	0,35...0,49	0,07		
	100	0,01	0,35...0,49	0,12		-
	>150	0,01	0,36...0,51	0,14	0,03	-

Tabel 3.5 Külmasilla temperatuuriindeksite suurused puitkorterelamutes ja võrdlus telliskorterelamute ja suurpaneelelamute tulemustega.

Külmasilla asukoht	Lisa-soojustuse paksus, mm	Külmasilla temperatuuriindeks f_{Rsi}		
		Puit-korterelamud	Tellis-korterelamud	Suurpaneel-korterelamud
Välisseina välisnurk	Lisa-soojustamata	0,80	0,72	0,7
	50	0,88	-	-
	100	0,91	0,88	0,9
	>150		0,91	0,9
Välisseina ja keldrilae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,76	0,83	0,65
	50	0,79	-	-
	100	0,83	0,95	0,9
	>150		0,96	0,9
Välisseina ja vahelae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,86	0,83	0,65
	50	0,94	-	-
	100	0,96	0,95	0,9
	>150		0,96	0,9
Välisseina ja pööningulae liitekoht	Lisa-soojustamata	0,87	0,72	-
	50	0,91	-	-
	100	0,91	0,83	-
	>150		0,83	-
Välisseina ja akna liitekoht	Lisa-soojustamata	0,84	0,57	0,70
	50		0,62	0,73
	100		0,65	0,75
	>150		0,66	0,75

Termograafiliste mõõtmiste ja arvutustulemuste põhjal ilmnes külmasildade tekkimise oht akende vahetamisel kitsama lengiga akende vastu. Olemasolevatel kahe raamiga laias lengis olevatel puitakendel on külmasild akna ja välisseina vahel väike. Kui aga vahetada aknad välja tüüpilise üheraamilise nn. „saksa akna“ tüüpi kitsa lengiga akna vastu, siis nimetatud sõlmes külmasild suureneb. Allolevates tabelites on välja toodud erinevate akende erinevate paigaldusviiside (vt. Joonis 3.8, Joonis 3.9) temperatuuriindeksite (Tabel 3.6) ja külmasildade joonsoojusjuhtivuste (Tabel 3.7) võrdlus. Samuti omab tähtsust, kas aken on paigaldatud laudise tasapinda või soojustuse tasapinda.

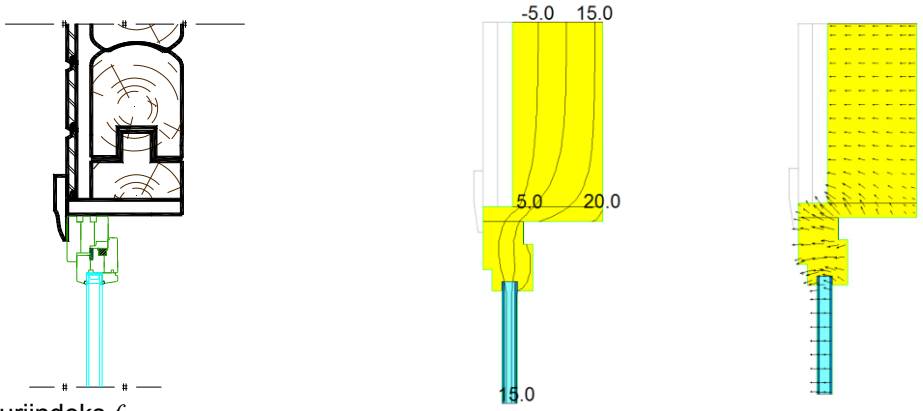
Tabel 3.6 Temperatuuriindeksite võrdlus akende erinevate paigalduslahenduste korral.

Lisasoojustuse paksus	Külmasilla temperatuuriindeks f_{Rsi}, -			
	Ol. ol aken	Leng 70 mm	Leng 90 mm	Leng 130 mm
Lisasoojustamata	0,84	0,65	0,74	0,82
Tuuletõke 30 mm	0,85	0,77	0,81	0,88
Lisasoojustus 50 mm + tuuletõke 20 mm, aken laudise tasapinnas	-	0,7	0,73	0,85
Lisasoojustus 50 mm + tuuletõke 20 mm, aken soojustuse tasapinnas	0,86	0,78	0,81	0,86
Lisasoojustus 100 mm + tuuletõke 25 mm, aken laudise tasapinnas	0,83	0,69	0,72	0,83
Lisasoojustus 100 mm + tuuletõke 25 mm, aken soojustuse tasapinnas	0,84	0,78	0,83	0,88

Tabel 3.7 Külmasilla joonsoojusjuhtivuste võrdlus akende erinevate paigalduslahenduste korral.

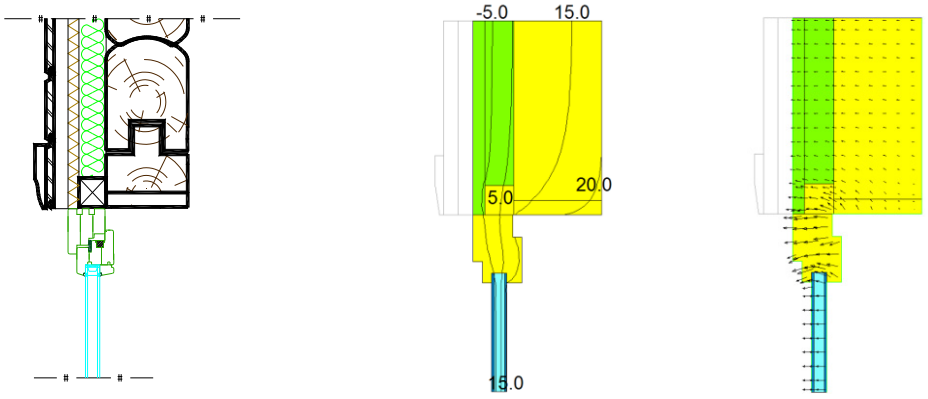
Lisasoojustuse paksus	Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K)			
	Ol. ol aken	Leng 70 mm	Leng 90 mm	Leng 130 mm
Lisasoojustamata	0,006	0,096	0,061	0,026
Tuuletõke 30 mm	0,003	0,032	0,021	0,011
Lisasoojustus 50 mm + tuuletõke 20 mm, aken laudise tasapinnas	-	0,098	0,093	0,038
Lisasoojustus 50 mm + tuuletõke 20 mm, aken soojustuse tasapinnas	0,015	0,033	0,025	0,017
Lisasoojustus 100 mm + tuuletõke 25 mm, aken laudise tasapinnas	0,02	0,098	0,102	0,045
Lisasoojustus 100 mm + tuuletõke 25 mm, aken soojustuse tasapinnas	0,011	0,041	0,03	0,021

Lisasoojustamata sein, aken välisvoodri tasapinnas



Temperatuuriindeks f_{Rsi}, - 0,65
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K) 0,10

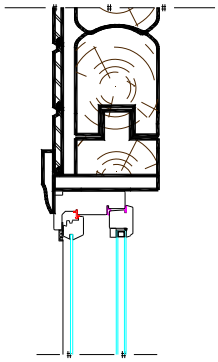
Lisasoojustatud sein, aken tuuletõkkeplaadi tasapinnas

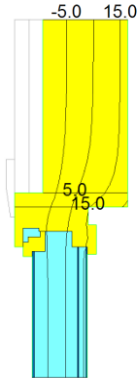


Temperatuuriindeks f_{Rsi}, - 0,78
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K) 0,03

Joonis 3.8 Lisasoojustamata (ülal) ja lisasoojustatud seina (all, 50 mm soojustus + 25 mm tuuletõkkeplaat) ja kitsa lengiga (70 mm) puitakna liitekoha vertikaallõige (vasakul), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Lisasoojustamata sein, aken välisvoodri tasapinnas



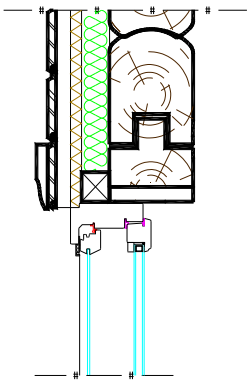


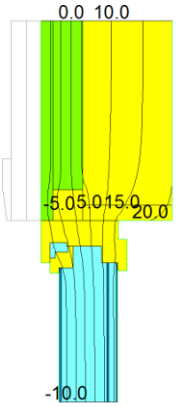


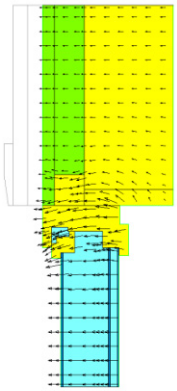
Temperatuuriindeks f_{Rsi}, -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K)

0,82
0,03

Lisasoojustatud sein, aken tuuletõkkeplaadi tasapinnas







Temperatuuriindeks f_{Rsi}, -
Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K)

0,86
0,02

Joonis 3.9 Lisasoojustamata (ülal) ja lisasoojustatud seina (all, 50 mm soojustus + 25 mm tuuletõkkeplaat) ja kitsa lengiga (130 mm) puitakna liitekoha vertikaallõige (vasakul), temperatuurijaotus (keskel) ja soojusvoolu suunad (paremal).

Samuti osutus kriitiliseks kohaks soklisõlm. Tabel 3.8-s on välja toodud soklisõlme temperatuuriindeksid ja külmasilla lisasoojusjuhtivused erinevate lisasoojustuste paksuse juures. Sokli lisasoojustamine vähendab oluliselt soojuskadu läbi selle ja alandab külmasilla riski.

Tabel 3.8 Soklisõlme temperatuuriindeks ja külmasilla joonsoojusjuhtivus erinevate lisasoojustuste paksuse juures.

Lisasoojustuse paksus ja asukoht	Temperatuuriindeks f_{Rsi}, -	Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ, W/(m·K)
Lisasoojustamata	0,76	0,18
Sokkel lisasoojustatud 50 mm paksuselt	0,83	0,06
Sokkel lisasoojustatud 100 mm paksuselt	0,87	0,01

3.2.3 Keldriseinte lisasoojustamise arvutuslik analüüs

Puitkorterelamute keldrisein on laotud soojustamata massiivse müüritisena, mille soojusjuhtivus on suur: keskmiselt vahemikus 1,7…2,6 W/(m^2·K). Kui keldriruume kasutatakse ja köetakse, tähendab see suur soojusjuhtivus hooneomanikule kopsakaid küttearveid ja madalast välispiirde pinnatemperatuurist tulenevat halvemat soojuslikku mugavust. Köetud keldri korral sulatab toasoojus ära hoone ümbert lume ka lumerohke talve korral, vt. Joonis 3.10.



Joonis 3.10 Lumerikkal talvel on soojustamata keldriseinad on sulatanud lume ümber hoone. Vihmaveetoru ei ole viidud maapinnani ja märgab soklit.

Keldriseinte lisasoojustamisel on mitmeid valikuid:

- soojustuse paksus: 10 cm…15 cm;
- soojustuse asukoht: vertikaalselt, horisontaalselt;
- soojustusmaterjal: pressitud vahtpolüstüreen, keramsiitkruus.

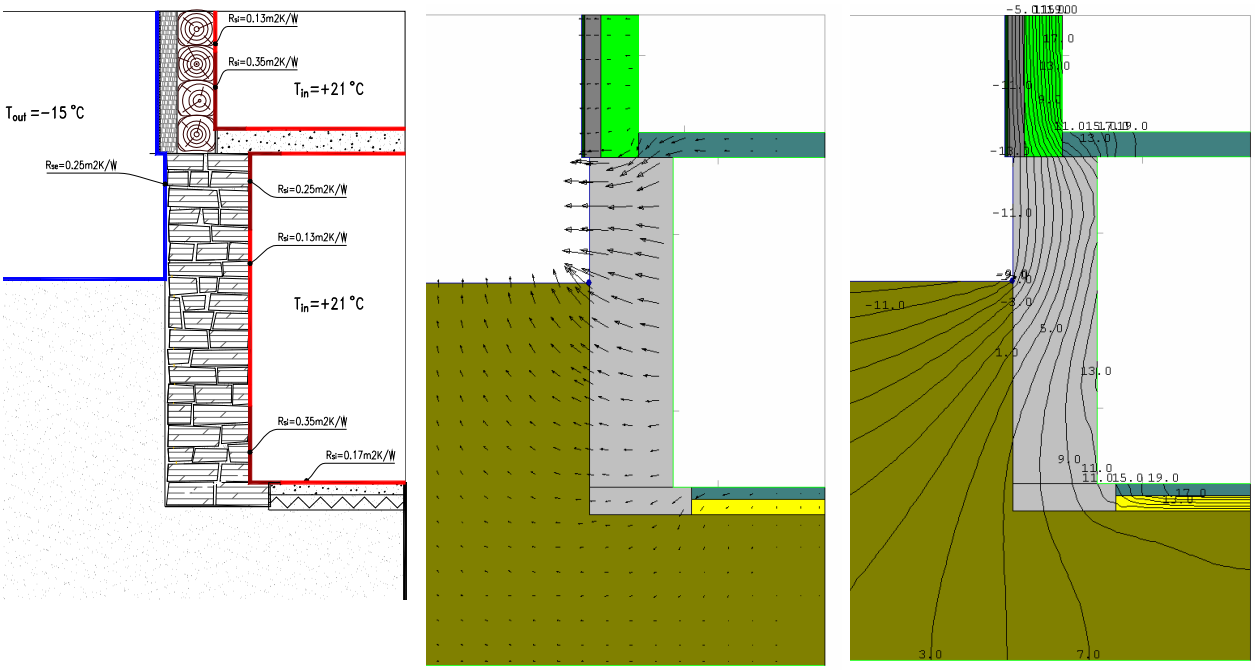
Järgnevalt on esitatud keldriseina soojusliku olukorra analüüs erinevates olukordades:

- soojustamata keldrisein;
- horisontaalselt (1,0 m ulatuses) ja vertikaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud sein;
- vertikaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud sein;
- horisontaalselt (1,0 m ulatuses) 300 mm keramsiitkruusaga ja vertikaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud sein;
- horisontaalselt 0,5 m ulatuses keramsiitkruusaga, 1,2 m ulatuses 100 mm paksuse XPS-iga soojustatud sein ja vertikaalselt paksuse 100 mm XPS-iga soojustatud sein.

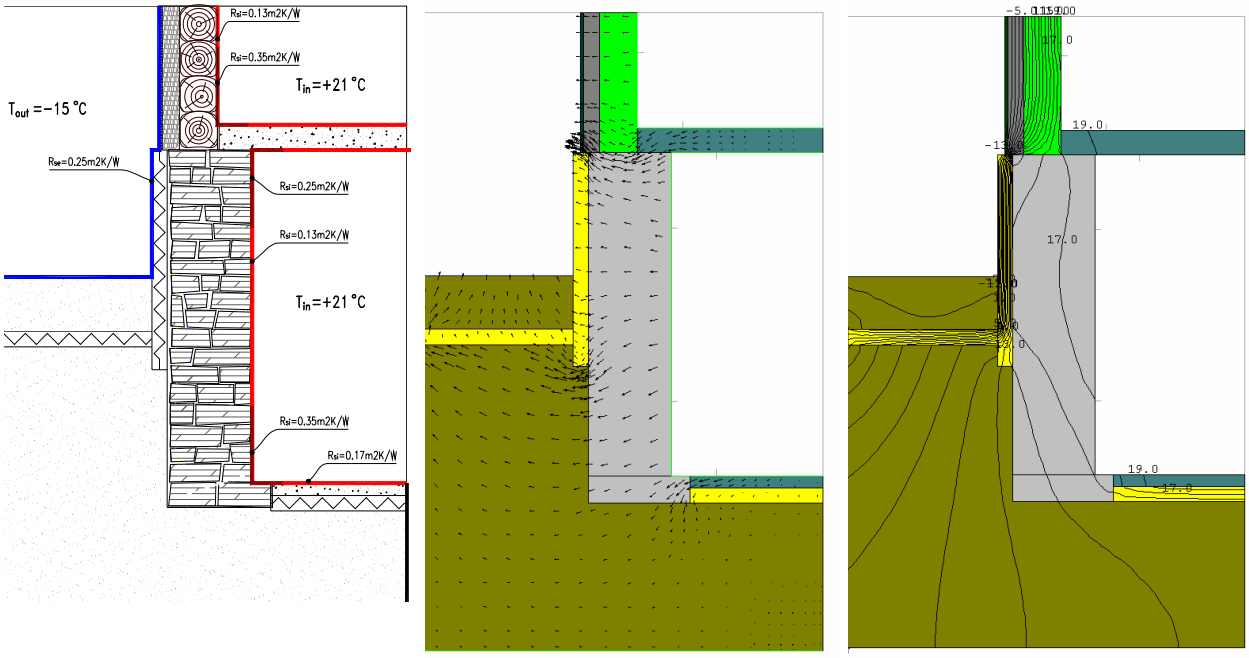
Sisepinna soojustakistuste valiku juures on lähtutud standardist EVS-EN ISO 10211-1 “Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid, 2000”.

Arvutuslik sisetemperatuur on +21 °C ja välistemperatuur -15 °C. Maa temperatuur 1,2 m sügavusel keldri põrandast ja 2,5 m sügavusel maapinnast on +5 °C.

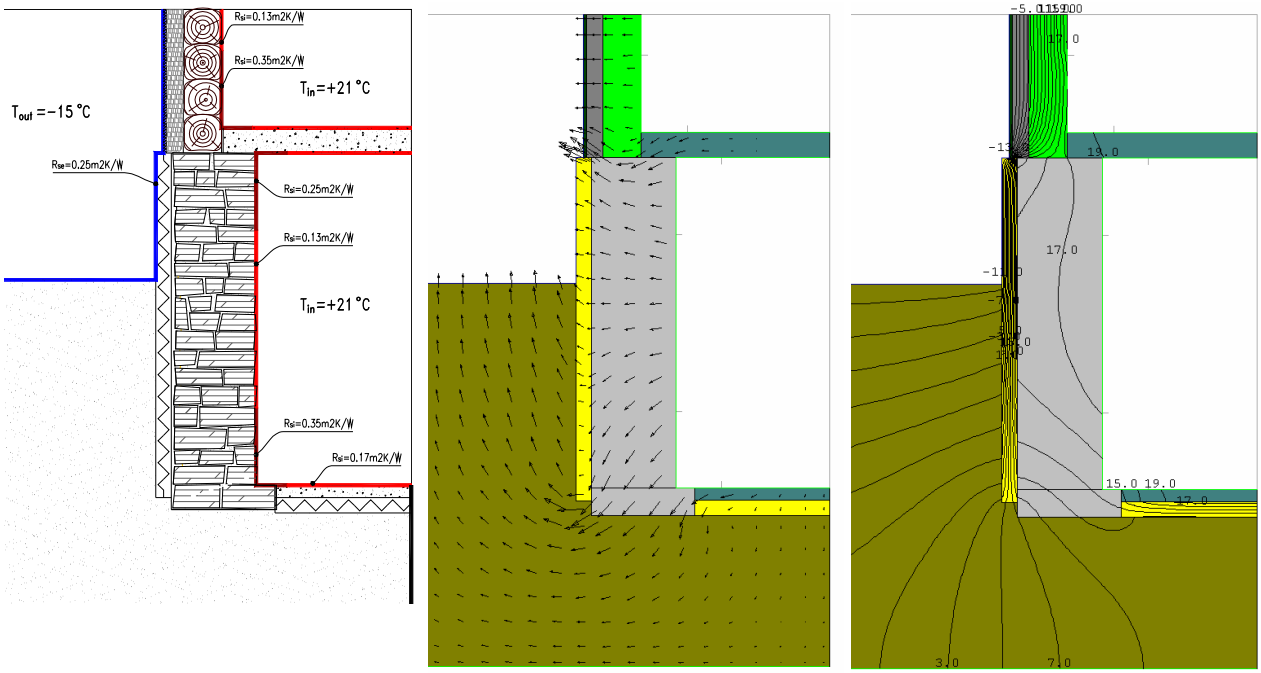
Joonistel olevad samatemperatuurijooned on joonistatud kahekraadise sammuga.



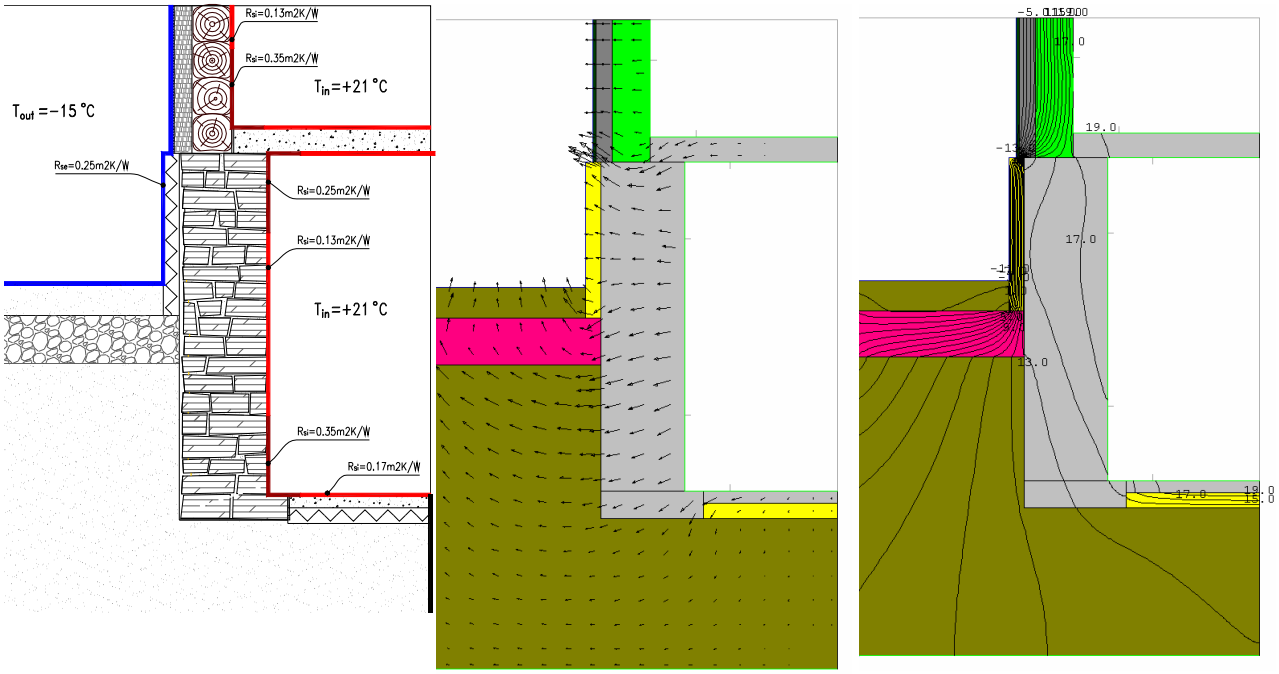
Joonis 3.11 Soojustamata keldrisein.



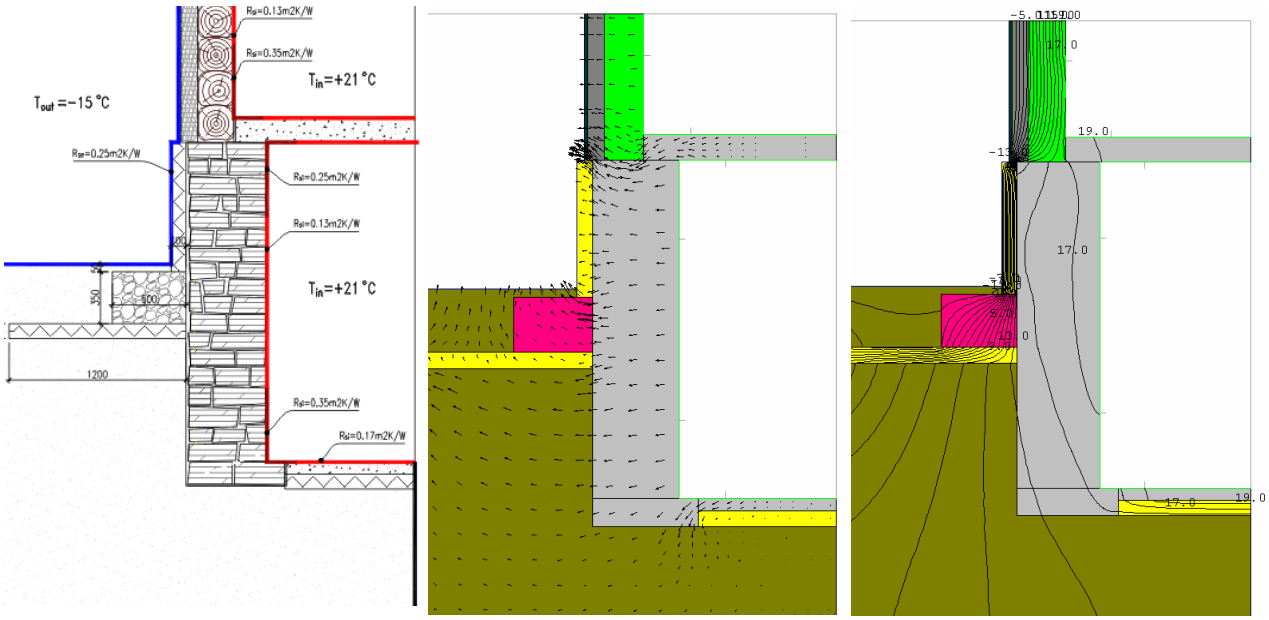
Joonis 3.12 Vertikaalselt ja horisontaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud keldrisein.



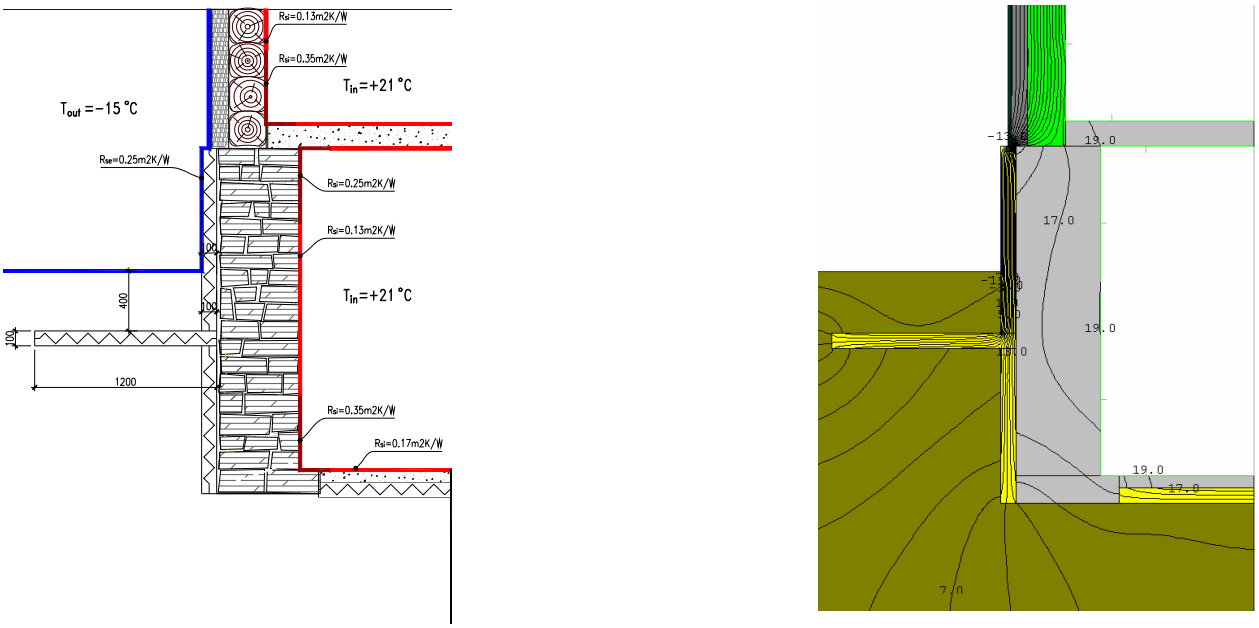
Joonis 3.13 Vertikaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud keldrisein.



Joonis 3.14 Horisontaalselt 300 mm keramsiitkruusaga ja vertikaalselt 100 mm XPS-iga soojustatud keldrisein.



Joonis 3.15 Horisontaalselt 0,5 m ulatuses keramsiitkruusaga, 1,2 m ulatuses 100 mm paksuse XPS-iga soojustatud keldrisein ja vertikaalselt paksuse 100 mm XPS-iga soojustatud keldrisein.



Joonis 3.16 Keldrisein ja sokkel on soojustatud vertikaalselt paksuse 100 mm XPS-iga kuni vundamendi tallani ja horisontaalselt 1,2 m ulatuses 100 mm paksuse XPS–iga.

Eestis ei ole ühegi õigusaktiga sätestatud nõudeid hoonete piirete soojusjuhtivusele. Tagada tuleb hoone kui terviku energiatõhusus, ruumides soojuslik mugavus ja hoonepiirete ehitusfüüsikaline toimivus. Kui keldrid on eluruumidena kasutusel ja köetavad, siis on otstarbekas keldriseinad soojustada. Soovitusliku ja tehniliselt õige soojustuse paksuse juures on soovitatav lähtuda mitte niivõrd keldriseina kaalutud keskmisest kogusoojusjuhtivusest, vaid sellest, et saaks minimeeritud külmasillad ja et seina sisepind oleks ühtlaselt soe, oleks välditud hallituse ja niiskuskahjustuste teke.

Lisasoojustamata keldrisein ei ole soojuslikult mugav ega niiskustehniliselt turvaline (eriti suure niiskuskoormuse korral). 10 cm paksune lisasoojustus tõstab välispiirde pinnatemperatuuri ja likvideerib kriitilised külmasillad, vt. Tabel 3.8. Lisasoojustada tuleb väljastpoolt ka keldriakende paled, min. 50 mm paksuselt.

Tabel 3.8 Keldriseina temperatuurivälja arvutuste kokkuvõte.

Sõlm	Keldriseina kaalutud keskmine kogusoojusjuhtivus W/m^{2}K	Madalaim pinnatemperatuur ja temperatuuriindeks f_{Rsi} sokli lõikes, °C / -	Madalaim pinnatemperatuur ja temperatuuriindeks f_{Rsi} seina ja põranda liites °C / -
Soojustamata sein, Joonis 3.11	1,76	+7,4 / 0,62	+10,8 / 0,72
Vert.+hor. XPS soojustus 100 mm, Joonis 3.12	0,53	+18,0 / 0,92	+15,1 / 0,84
Vert. XPS soojustus 100 mm, Joonis 3.13	0,52	+18,1 / 0,92	+13,5 / 0,79
Vert. XPS 100 mm +hor. 300 mm keramsiitkruus, Joonis 3.14	0,55	+17,8 / 0,91	+14,9 / 0,83
Vert. XPS +hor. 500 mm keramsiitkruus + hor. 1,2 m XPS soojustus 100 mm, Joonis 3.15	0,52	+17,8 / 0,91	+15,5 / 0,85
100 mm XPS sügavale ilma hor. soojustuseta ja taldmiku külmasillata), Joonis 3.16	0,35	+18,2 / 0,92	+15,5 / 0,85

Sokli lisasoojustamisest tuleb siiski tõenäoliselt loobuda mõnede ehituskunstiliselt silmapaistvate hoonete puhul, millel on väärtuslikud kõrged klomppaest või maakivist soklid, mis moodustavad olulise osa hoone arhitektuurist. Selliseid maju on puidust korterelamute hulgas tegelikult aga suhteliselt vähe, pealegi on uhke eksponeerimiseks mõeldud pind sageli ainult elamu tänavapoolsel küljel. Praegu püütakse hoone renoveerimisel sageli aga eksponeerida ka selliseid sokleid, mis ajalooliselt olid kavandatud krohvituna ega ole tegelikult kuigi kvaliteetselt laotud, sest pole algselt mõeldud krohvimata kujul eksponeerimiseks. Sokli lisasoojustamist võib sisekliima parandamise ja energiatõhususe tõstmise meetmena seega kaaluda siiski päris paljude hoonete puhul. Lisasoojustus peab ulatuma ka sokli pinnasega kaetud alaosale, mitte katma üksnes paapinnale jäävat nähtavat osa, kui kavandatakse sokli soojustamist, tuleb vahetult tänava ääres paiknevate hoonete puhul seetõttu arvestada ka trotuaari katendite lõhkumise ja hilisema taastamise vajadusega. Sokli soojustamist saab käsitleda hoone tervikliku renoveerimise osana. Kui soojustatakse ainult sokkel ja välisseina puitosa jäetakse soojustamata, võib mõnel puhul kujuneda olukord, kus sokkel eendub seinast liiga palju, mis ei ole soodus ei tehniliselt ega esteetiliselt, vt. Joonis 3.17.



Joonis 3.17 Tehniliselt ja esteetiliselt sobimatult laiaks ehitatud sokkel.

4 Hoonepiirete õhupidavus

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub planeerimatus ja kontrollimatus õhuvoolus hoone piirete kaudu (eelkõige läbi pragude ja ebatiheduste). Hoonepiirete õhupidavus mõjutab järgmiseid tegureid:

- hoonete energiatõhusus;
- niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, veeauru kondenseerumine;
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, ebasoovitatavate lõhnade liikumine korterite vahel;
- piirde pindade 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 hulgaga. Tavapärase hoone energiakulu võib olla oluliselt suurem kui väga väikese õhulekkega hoonel. Õhulekkearvu ühe ühiku muutus mõjutab elamu kütteenergiakulu 7% ja koguenergiakulu orienteeruvalt 4% (Jokisalo & Kurnitski 2002, Binamu 2002).

Piirdetarindis, milles on palju ebatihedusi, võib niiskuse konvektsioon kanda edasi niiskuse tunduvalt suuremaid 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 garaažist (Emmerich jt. 2003, Batterman jt. 2007).

Eestis tehtud uuringud (Kalamees 2007) on näidanud, et kui hoonepiirded lekkisid rohkem kui standardi (EPN 11.1 1995, 2003, EVS 837-1) piirarv (3 $m^3/(m^2 \cdot h)$), siis kurtsid elanikud külmade põrandate ja rohkem kõikuva sisetemperatuuri üle, pistikupesadest tuleva külma õhu üle.

Õhulekked hoonepiirete kaudu mõjutavad siseruumide õhuvahetust. Siiski ei saa hoonepiirete ebapiisavat õhupidavust käsitleda kui loomulikku ventilatsiooni. Läbi piirde ebatiheduste toimuv õhu liikumine ei ole kontrollitav, juhitav 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 piisaval arvu värskeõhuklappide (tagada tuleb nende piisav hulk ja ka õhu eelsoojendus). Õhuvahetus 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 ventilatsiooni

lahendust, väljapuhkeõhus olev soojus kasutatakse ära tubadesse sissepuhutava õhu soojendamiseks, ruumide kütteks või tarbevee soojendamiseks. Kui hoonepiirded 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, tõhus ja tasakaalustatud õhuvahetus (ventilatsioon). 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, värskeõhuklappidest 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 värskeõhuklapid, õhu sissepuhke- ja väljatõmbeventiilid kaetakse mõõtmise ajaks teibiga kinni.

Õhuvool hoonepiirde ebatiheduste kaudu 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 lõpuni läbimõeldud ja komplekssеid lahendusi. Piirde detailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt teostatud.

4.1 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine

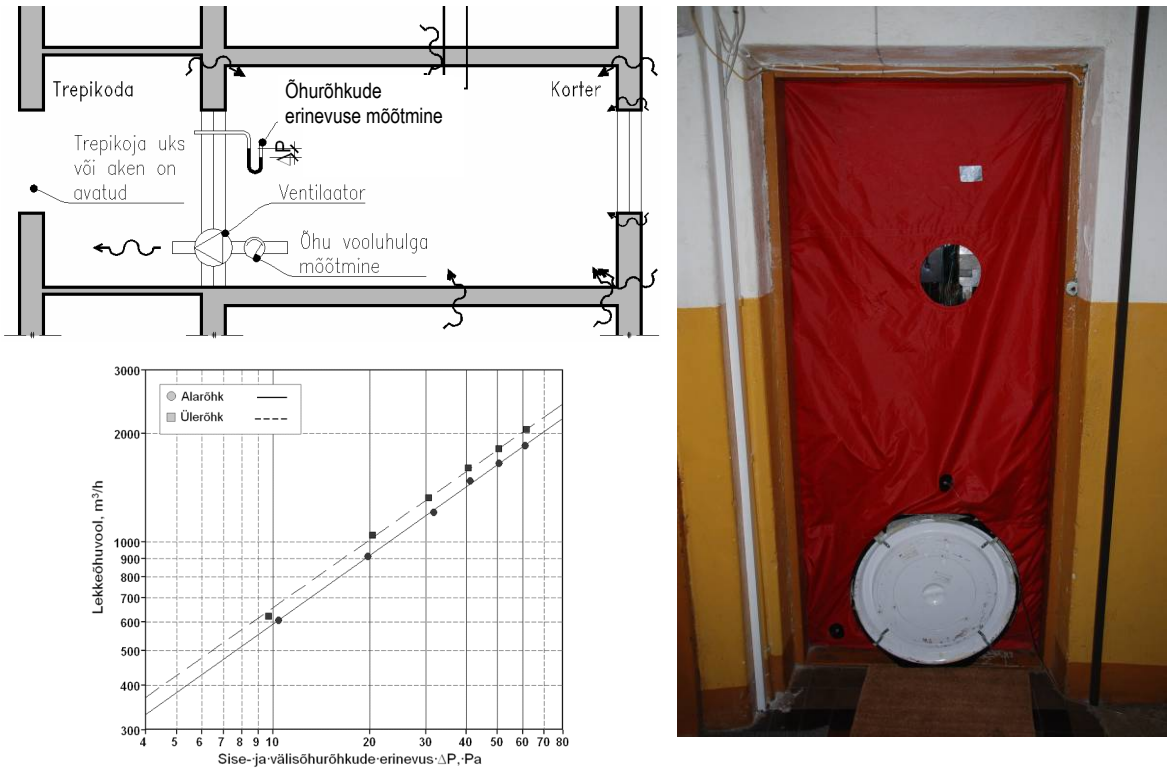
Hoonepiirete õhupidavus mõõdeti vastavalt standardile EVS EN 13829 “Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method”.

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

Mõõteseadme 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 piirde ja pragude kaudu. Lekkeõhu vooluhulka 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 välistemperatuur. Nende alusel korrigeeriti mõõtetulemust.

Korteri piirete õhupidavuse mõõtmiseks suleti kõik välispiirdes olevad suletavad avad ehk normaalasendis suletud uksed ja aknad, värskeõhuklapid ja ventilatsiooniavad teibiti kinni. Sisemised vaheuksed jäeti avatuks. Lisaks kontrolliti, et haisulukkudes oleks vesi.



Joonis 4.1 Korteri piirete õhupidavuse mõõtepõhimõte (vasakul ülal). Õhulekke graafik: lekkeõhuvoolu sõltuvus õhurõhkude erinevusest (vasakul all). Hoonepiirete õhupidavuse mõõteseade on paigaldatud korteri välisukse ette (paremal).

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv q_{50} (ühik $m^3/(h \cdot m^2)$), 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 h^{-1} ja see väljendab õhuvahetuskordsust, kui õhurõhkude erinevus kahel pool piiret on 50 Pa. Õhupidavuse mõõtemeetod on mõlemal juhul sama. Kui tulemus esitatakse õhulekkearvuna (ühik $m^3/(h \cdot m^2)$), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri välispiirete sisepindalaga (sh. vahelaed ja korteritevahelised siseseinad), ja kui õhupidavust väljendatakse õhuvahetuskordsusena n_{50} (ühik h^{-1}), 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 defineerinud Kanada rahvuslik uurimisasutus (Canadian National Research Council) 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 toruja 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 $m^3/(h \cdot m^2)$ ja muudel hoonetel 6 $m^3/(h \cdot m^2)$. Elamute õhupidavamate piirete nõue tulenes tõenäoliselt nende suuremast niiskuskoormusest.

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 $l/(s \cdot m^2)$ (2,9 $m^3/(h \cdot m^2)$) ja muudel hoonetel 1,6 $l/(s \cdot m^2)$ (5,8 $m^3/(h \cdot m^2)$). 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 $n_{50} < 1{,}5\ h^{-1}$ ja õhulekke pindala 10 Pa juures ei tohi ületada 0.7 cm^2/m^2. Saksamaal (DIN 4108-7:2001-08) on nõue, et loomuliku ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus n_{50} peab olema $<3\ h^{-1}$ ja mehaanilise ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus $n_{50} < 1{,}5\ h^{-1}$; passiivmajade (Passivhaus, Minenergie®) õhupidavuse nõue on $n_{50} < 0{,}6\ h^{-1}$. Norras (REN TEKNISK 1997) on hoonepiirete õhupidavusele esitatud järgmised nõuded: väikeelamutel ja ridaelamutel $n_{50} < 4\ h^{-1}$, muudel kuni kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 3\ h^{-1}$ ja muudel üle kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 1{,}5\ h^{-1}$. Šveitsis on loomuliku ventilatsiooniga ühepereelamute välispiirete õhupidavuse nõue $n_{50} < 2 \ldots 4{,}5\ h^{-1}$ ja mitmepereelamutel $n_{50} < 2{,}5 \ldots 3{,}5\ h^{-1}$; mehaanilise ventilatsiooniga või jahutusega hoonete õhupidavuse nõue on $n_{50} < 1\ h^{-1}$ (SIA 180). Soomes nõudeid hoonepiirete õhupidavusele sätestatud ei ole. Soome ehitusmääruses C3 2007) on toodud hoonepiirete õhupidavuse taotluslik tase $n_{50} < 1\ h^{-1}$ ja energiaarvutustes (D5 2007) kasutatakse õhupidavuse baassuurust $n_{50} = 4\ h^{-1}$. Inglismaal ja Wales'is on õhulekkearvu piirsuurus 10 $m^3/(h \cdot m^2)$ (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 suuruseid.

Tabel 4.1 Hoonepiirete iseloomulik õhulekkearv standardi prEN 15242 järgi.

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhulekkearv, $m^3/(h \cdot m^2)$		
		q_4, Pa	q_{10}, Pa	q_{50}, Pa
Väikemaja	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 iseloomulik õhulekkearv standardi ISO/FDIS 13789 järgi.

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50}, h^{-1}
Väikemaja	Väike	<4
	Keskmine	4…10
	Suur	>10
Korterelamud	Väike	<2
	Keskmine	2…5
	Suur	>5

Tabel 4.3 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused Soome määruse D5 järgi.

Õhupidavus	Detailide lahendus	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n_{50}, h^{-1}
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

Energiaauditite korral on hooneenergiabilansi koostamiseks vaja teada ka 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}, $m^3/(h \cdot m^2)$. Hoonepiirete õhupidavus on projekteerija või energiaaudiitori hinnata. Kui hoone õhupidavust ei ole mõõdetud või muul viisil tõendatud, tehakse vanemate korterelamute energiaarvutus õhulekkearvu baasväärtustega 6 $m^3/(h \cdot m^2)$.

Kui on mõõdetud piisavalt suur kogus tarinduselt samatüübilisi hooneid, võib hoonepiirete õhupidavust hinnata nende mõõtmistulemuste alusel. Nii on võimalik energiaarvutustes kasutatava õhulekkearvu tõendada ka samatüübiliste hoonete mõõtmisandmete analoogia baasil. Sellisel juhul tuleb deklareeritud õhulekkearvu $q_{50,\,dekl}$, juures arvestada ka mõõtmistulemuste hajuvust ja arvu ning selle võib arvutada valemiga 4.1:

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

kus

$\overline{q_{50}}$ on antud hoonetüübi keskmine õhulekkearv (saadakse mõõtmistest), $m^3/(h \cdot m^2)$;

k on kordaja, mis sõltub mõõdetud hoonete arvust [-],arvutatakse valemiga 4.2 ning põhineb normaaljaotuse järgse valiku 50 % fraktiili 95 % tõenäosusel;

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

$$k = \frac{1{,}645}{\sqrt{n}} \text{ , -} \qquad 4.2$$

kus

n on mõõdetud hoonete arv;

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

kus

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

4.3 Tulemused

Õhupidavust mõõdeti 35 korteris (29 puitkorterelamus). Neist 17 asus Tallinnas, 7 Viljandis, 8 Tartus, ning 3 Pärnus.

Õhupidavus on mõõdetud õhulekketestiga (EVS EN 13829) ja tulemused on esitatud kahel viisil (vt. Tabel 4.4):

- õhulekkearv, q_{50} $m^3/(h \cdot m^2)$, mis iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jaotatuna korteri piirdetarindite (sh. vahelaed ja siseseinad) 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} = 10 $m^3/(h \cdot m^2)$ (min. 3,8 $m^3/(h \cdot m^2)$; maks. 22 $m^3/(h \cdot m^2)$) ja õhuvahetuvus 50 Pa juures oli n_{50} = 13 h^{-1} (min. 4,8 h^{-1}; maks. 24 h^{-1})).

Tabel 4.4 Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

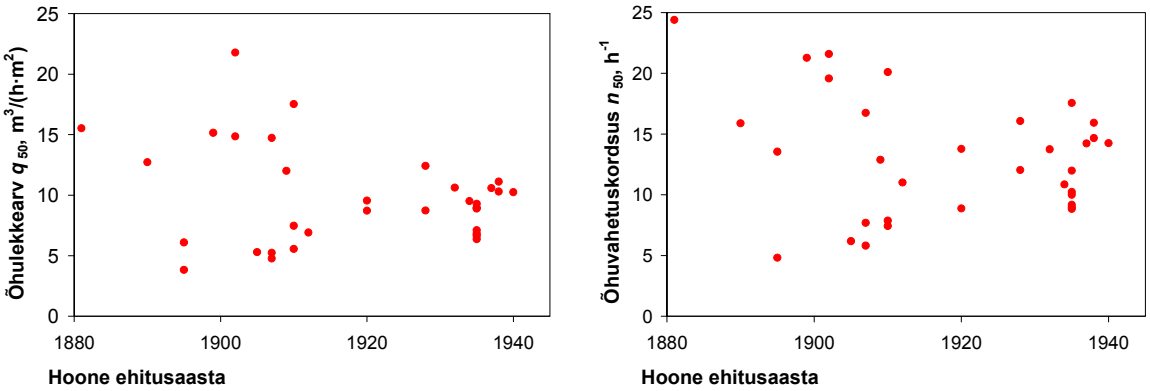
Korteri kood	Õhulekkearv, q_{50}, $m^3/(h \cdot m^2)$	Õhuvahetuvus @50Pa, n_{50}, h^{-1}
1311	13,7	10,6
1321	14,7	11,1
1331	14,2	10,6
1341	21,6	21,8
1351	20,1	17,5
1361	7,4	5,6
1371	8,7	7,2
1381	7,9	7,5
1391	14,3	10,3
1402	11,0	6,9
1512	12,0	8,9
1513	9,0	6,4
1514	9,2	6,8
1515	10,0	7,1
1516	10,2	9,0
1517	8,8	6,7
2312	17,6	9,3
2321	21,3	15,2
2331	19,6	14,9
2341	15,9	12,7
2351	12,0	8,7
2362	9,0	6,5
2362	16,1	12,4
3311	13,6	6,1
3322	13,8	9,6
3331	4,8	3,8
4311	24,4	15,5
4322	6,2	5,3
4331	16,7	14,7
4341	12,9	12,0
4351	8,9	8,7
4361	15,9	10,3
4372	7,7	5,3
4373	5,8	4,8
4381	10,9	9,5

Kuna mõõtmised tehti korterite kaupa, sisalduvad selles mõõtetulemuses ka korterivaheliste piirete (siseseinad, vahelaed) õhulekked. Kuna korteritevahelised seinad olid valdavalt samas tarinduses välisseintega, ei teki sellest erinevusest tulemuste tõlgendamisel olulist viga. Kuna korteritevahelised siseseinad ja vahelaed on ka

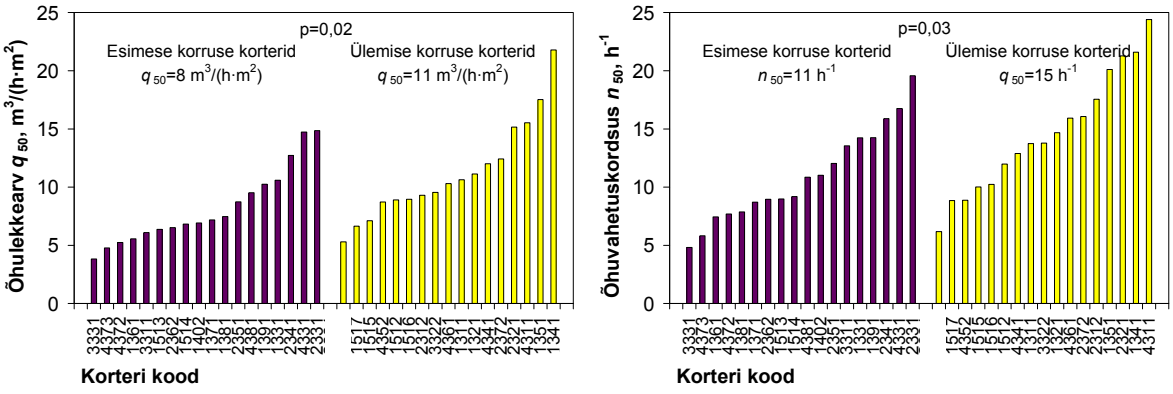
tuletõkkesektsiooni piiriks, peavad ka need tarindid olema õhupidavad (takistamaks suitsu levikut tulekahju tingimustes).

Hoone vanusel ei ole oluliselt mõju puitkorterelamute hoonepiirete õhupidavusele, Joonis 4.2. Kindlasti tuleb siinkohal silmas pidada, et joonisel olevad andmed ei kajasta puitkonstruktsiooni olemust (st. palkide asetust) ega ka teiste konstruktsioonis olevate materjalide erinevusi. Konstruktsioonilisi tegureid arvestades olid rõhtpalkseintega elamud püstpalk- ja püstplankseintega võrreldes keskmisest väiksema õhulekkega. Rõhtpalkide asetus võimaldab aja jooksul nende vajumist ja tihenemist raskusjõu mõjul teineteisele lähemale. Seeläbi on hoone seinad tihedamad ja ühtlasi ka õhupidavamad.

Võrreldes esimese korruse ja ülemiste korruste korterite õhulekkarve, vt. Joonis 4.3, on näha ülemiste korruste oluliselt suurem õhuleke. Erinevus võib olla põhjustatud pööningu vahelae suuremast õhulekkest võrreldes keldri vahelaega ning alumiste palgikordade vahede võimalikust suuremast tihendust (tulenevalt hoone vajumisest).



Joonis 4.2 Hoone vanuse mõju korteri õhulekkearvu q_{50} (vasakul) ja korteri õhuvahetuskordsuse n_{50} (paremal) suurusele.



Joonis 4.3 Hoone korruselisuse mõju korteri õhulekkearvu q_{50} (vasakul) ja korteri õhuvahetuskordsuse n_{50} (paremal) suurusele.

Varasemates suurpaneel-korterelamute ja telliskorterelamute ehitustehnilise seisukorra uuringutes mõõdeti hoonepiirete õhupidavust analoogselt praeguse uuringuga. Kui tellis- ja suurpaneel-korterelamute õhupidavuse mõõtmistulemustes osas suuri erinevusi ei ole, siis palkkorterelamute hoonepiirded on oluliselt suurema õhulekkega (vt. Tabel 4.5).

Korterite õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suurused ei ole võrdsed, kuna korteritel on välispiirde pindala keskmiselt 30% võrra suurem ja seetõttu on õhulekkearv q_{50} väiksem. Piirdetarindite pindala ja sisekubatuuri suhe sõltub kompaktsusest, mida mõjutab plaanilahenduse keerukus ja korruse kõrgus.

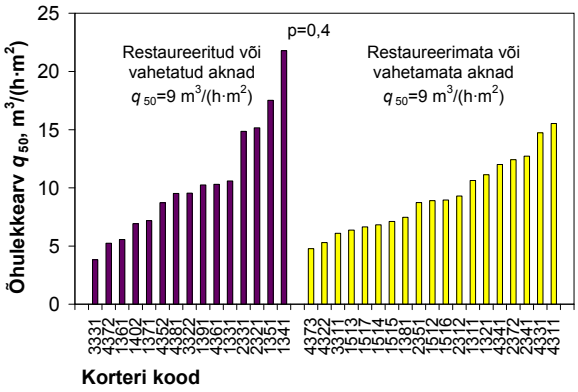
Tabel 4.5 Telliskorterelamute ja suurpaneelelamute õhupidavuse tulemuste võrdlus.

	Hoonepiirete õhupidavus			
	Energiaarvutusteks kasutatav õhupidavuse baasväärtus		Keskmine suurus	
	q_{50}, $m^3/(h \cdot m^2)$	n_{50}, h^{-1}	q_{50}, $m^3/(h \cdot m^2)$	n_{50}, h^{-1}
Puitkorterelamud	10,8	14,1	9,7	12,7
Telliskorterelamud	4,4	6,4	4,0	6,0
Suurpaneel-korterelamud	4,7	6,8	4,0	5,7

Peamised õhulekkekohad puitkorterelamute juures olid:

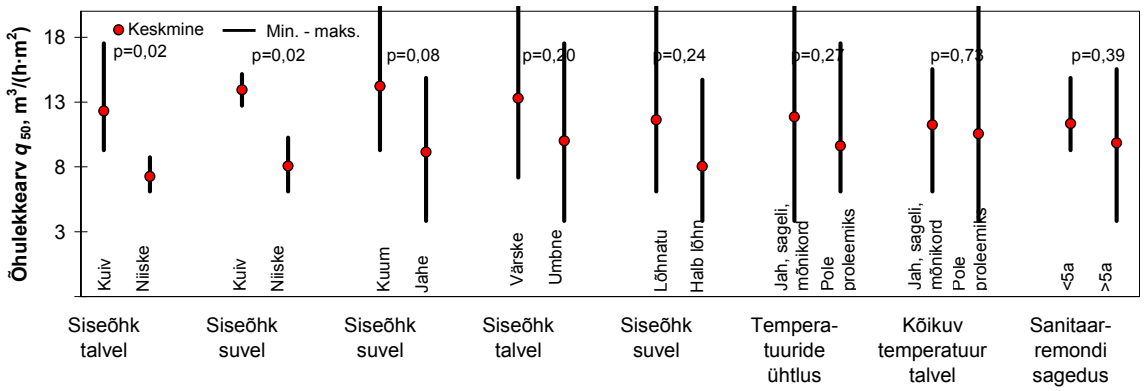
- välisseinad (krohvimata või muul viisil katmata palksein);
- pööningu vahelagi ja selle liitumine korstnaga või välisseinaga;
- siseseinad ja vahelaed ning tehnosüsteemide läbiviigud nendest;
- avatäited ja nende liitumised seintega.

Ligi pooltes elamutes (44 %) olid korteri aknad viimase 10 aasta jooksul restaureeritud või vahetatud. Jaotades korterite õhupidavuse tulemused akende vahetuse või restaureerimise järgi, ei ole näha olulist erinevust, vt. Joonis 4.4. See võib olla põhjustatud asjaolust, et suuremad õhulekked ei ole kontsentreerunud avatäidete juurde ja nende vahetamine ei avalda otsest mõju õhulekkearvu suurusele. Tellis- ja suurpaneelelamutel, kus õhulekkearv oli puitkorterelamutest ligi poole väiksem, oli akende vahetuse mõju suurem.



Joonis 4.4 Akende vahetuse mõju korteri õhupidavusele.

Enamikus korterites, kus viidi läbi hoonepiirete õhupidavuse mõõtmised, tehti ka elanike sisekliimaga rahulolu uuring. Peamised probleemid, mille üle inimesed kurtsid suure õhulekkega korterites, oli liiga kuiv õhk, kõikuv temperatuur talvel ja temperatuuride ebaühtlus eri ruumide vahel, vt. Joonis 4.5. Teiste probleemide vastuste vahel oli seose olulisus nõrk.



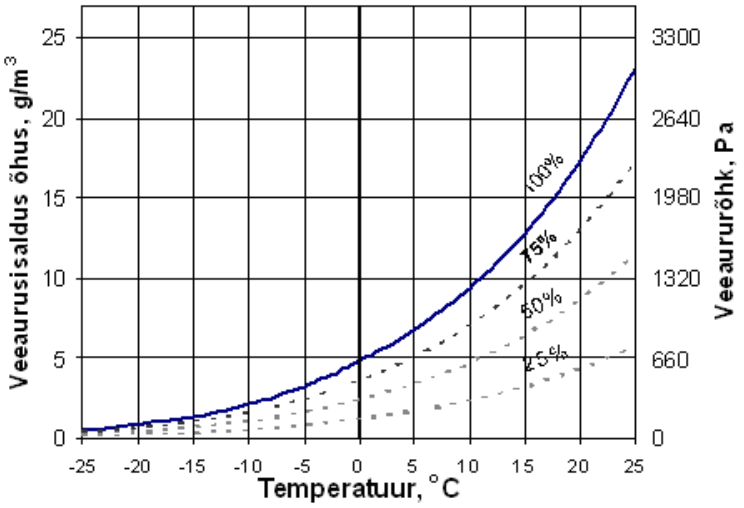
Joonis 4.5 Elanike poolt küsitud probleemide esinevuse jaotus vastavalt hoonepiirete õhupidavusele.

Hoonepiirete õhupidavus mängib hoonete energiatõhususe analüüsis olulist rolli, mõjutab otseselt hoone küttekulusid ja sisekliimat. Tuleb aga meeles pidada, et hoonepiirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku. Kui nendest üks ei toimi normaalselt, siis korralikust elamust on asi kaugel. Õhupidavate piiretega hoone kogu õhuvahetuse peab tagama toimiv ventilatsioon. Õhuvahetus võib olla tagatud loomulikul teel või mehaanilisel teel, tähtis on, et vajalik õhuvooluhulk oleks tagatud. Kui pole toimivat ventilatsioonisüsteemi, siis õhupidavate piiretega elamus kvaliteetset sisekliimat loota ei saa. Ka korralik kütte- ja ventilatsioonisüsteem ei taga energiatõhusust hoonel, mille piirded ei ole õhu- ja soojapidavad.

5 Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus

Kliimakoormused mõjutavad välisseinu nii väljastpoolt kui ka seestpoolt. Väljastpoolt põhjustab suurimat niiskuskoormust kaldvihm. Kaitseks kaldvihma eest on palkseinal õhkvahega varustatud välisvooder. Õhkvahe on vajalik ka läbi seina seestpoolt väljapoole difundeeruva veeauru seinast väljajuhtimiseks ning õhurõhkude erinevuse tasandamiseks üle vihmatõkke, mis väldib vee pressimise seinatarindisse. Õhkvahe alumine ja ülemine osa on avatud, et tagada niiskustehniliseks toimivuseks vajaliku välisõhu liikumise välisvoodri taga. Et vähendada tule levikut mööda fassaadi, võib olla vajalik jaotada õhkvahe vertikaalsuunas eraldi osadeks. Seestpoolt on peamiseks niiskuskoormuseks välisseinale siseõhu niiskuslisa (sise- ja välisõhu veeaurusisalduste erinevus) ja sise- ja välisõhu õhurõhkude erinevus, mis on potentsiaaliks veeauru difusioonile ja konvektsioonile.

Mida kõrgem on õhutemperatuur, seda rohkem võib õhk sisaldada veeauru. Igal temperatuuril on õhus olevatele veemolekulidele teatav kontsentratsiooniline piir: seega igal temperatuuril (küllastustemperatuuril, kastepunkti temperatuuril) ja rõhul (küllastusrõhul) saab õhk sisaldada maksimaalselt teatud koguse veeauru. Kui see küllastustase ületatakse, hakkab veeaur kondenseeruma. Kohati räägitakse asjatundmatult külmumispunktist või nullpunktist, mille juures tekib kondensaat. Sellel üleminekul plusstemperatuuridest miinustemperatuuridesse ei ole muud mõju, kui kondenseerunud veeaur jäätub. Veeaur saab kondenseeruda nii plusstemperatuuride juures kui ka miinustemperatuuride juures. Mõlemat olukorda tuleb puithoone juures vältida.



Joonis 5.1 Õhu veeaurusisalduse ja temperatuuri sõltuvus

Suhteline niiskus on õhus oleva veeauru koguse ja õhus samadel tingimustel maksimaalselt sisalduda võiva veeauru koguse suhe. Kuna madalamate temperatuuride juures on õhu maksimaalne veeaurusisaldus väiksem, on sama veeaurusisalduse korral õhu suhteline niiskus madalamatel temperatuuridel kõrgem.

Otsene niiskust tunnetav meel inimesel puudub. Enamik inimesi ei taju otseselt (analoogselt temperatuuriga) õhu suhtelist niiskust vahemikus ≈25 % või ≈55 %. Kõrget või madalat suhtelist niiskust tunnetatakse kaudselt ja ebamääraselt naha, limaskestade ja hingamisorganite kaudu. Kõrge suhteline niiskus tekitab sobiva elukeskkonna hallitus- ja mädanikseentele või näiteks tolmulestadele. Liiga kuiv õhk tekitab erinevaid limaskesta ja allergiareaktsioone, soodustab õhu tolmumist, suurendab staatilist elektrit. Kuigi niisket õhku peetakse väga kuivast õhust meeldivamaks ja ka tervislikumaks, tuleb siseõhu niisutamisesse suhtuda ettevaatlikult. Vanemas hoones, milles on alati külmasildu, kus pinnatemperatuur on madalam, on suhteline niiskus tarindi pinnal kõrgem. Õhu

niisutamine tõstab suhtelise niiskuse taset veelgi ja võib tekkida oht hallituse tekkeks või veeauru kondenseerumiseks.

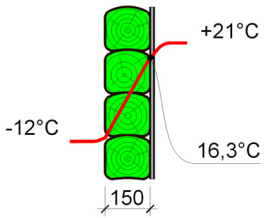
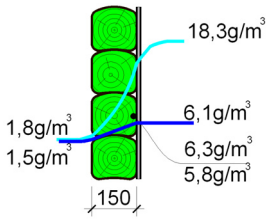
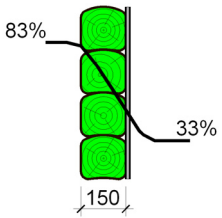
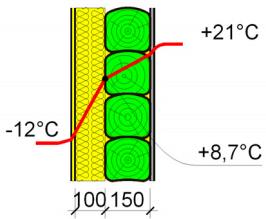
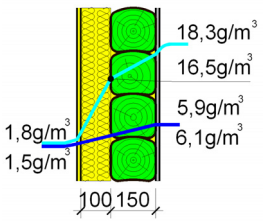
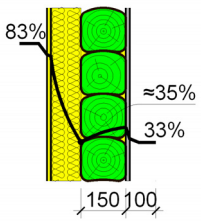
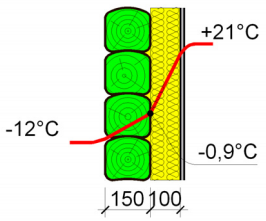
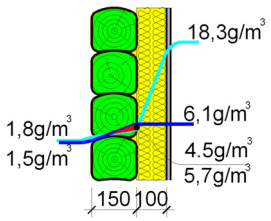
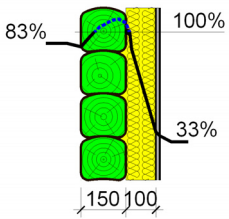
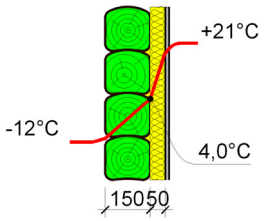
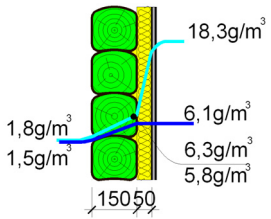
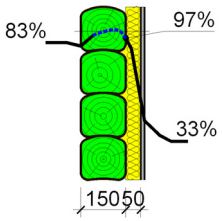
Hoonepiirdeid mõjutab nii suhteline niiskus kui ka absoluutne niiskus: õhu veeauru sisaldus. Õhu absoluutne niiskus määrab veeauru liikumise läbi hoonepiirde. Siseõhu suhteline niiskus sõltub niiskustootlusest ruumides (inimese elutegevus, toidu valmistamine, pesemine, taimede kastmine jne.), ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest ning välisõhust.

Seoses energiahindade kallinemisega ja sooviga säästa keskkonda pööratakse enam tähelepanu seinte lisasoojustamisele ning säästlikule kütmisele.

20. sajandil ja varem ehitatud puitkorterelamute palkseinte levinuim paksus on ~15 cm, mille soojusjuhtivus on küllalt suur: ≈ 0,7 W/(m^2·K). Puitseina (nii palkseina kui ka puitsõrestikseina) võib soojustada väljastpoolt oluliselt kahjustamata tema soojus- ja niiskusrežiimi. Võrreldes seestpoolt soojustamisega, on väljastpoolt lisasoojustamise eeliseks seinapinna katmine vahelagede ja -seinte kohalt, külmasillad isoleeritakse. Tähtis on, et oleks arvestatud materjalide soojus- ja niiskustehniliste omadustega ja ehitusfüüsikaliste toimivuse kriteeriumitega.

Tabel 5.1-s on toodud ülevaade nelja erineva seina soojus- ja niiskusrežiimist külmal talvekuul. Seinad on tihendatud nii, et õhujuhtivus soojus- ja niiskusrežiimi ei mõjuta. Seina vasakul pool on väliskliima ja paremal pool on sisekliima. Vasakpoolne jooniste tulp kujutab temperatuuride jaotust välisseinas. Keskmisel jooniste tulbal on toodud õhu veeaurusisaldus ja veeauru küllastussisalduse graafikud. Parempoolsetel joonistel on toodud suhtelise niiskuse jaotus seinas.

Tabel 5.1 Lisasoojustamise mõju palkseina soojus- ja niiskusrežiimile.

	Temperatuuri jaotus	Õhu veeaurusisalduse ja küllastussisalduse jaotus	Suhtelise niiskuse jaotus
15 cm paksune palksein; U≈0,7 W/(m^2·K)			
15 cm paksune palksein + 10 cm lisasoojustust väljaspool ehk õue pool. *U*≈0,25 W/(m^2·K)			
15 cm paksune palksein + 10 cm lisasoojustust seespool ehk toa pool. *U*≈0,25 W/(m^2·K)			
15 cm paksune palksein + 5cm lisasoojustust seespool ehk toa pool. *U*≈0,35 W/(m^2·K)			

Niiskustehniliselt turvalised lahendused on väljastpoolt lisasoojustatud sein (teine rida) ja lisasoojustamata sein (esimene rida). Mõlemal juhul on suhteline niiskus alla kriitilise taseme, et vältida hallituse või mädaniku teket või veeauru kondenseerumist. Soojusvool läbi lisasoojustatud seina on ligi kolm korda väiksem kui läbi lisasoojustamata seina.

Kümne sentimeetri paksuse lisasoojustuse korral on seespoolse ja väljaspoolse lisasoojustusega seinte soojusjuhtivus sarnane. Oluliselt erineb aga seespoolse ja väljaspoolse lisasoojustusega palkseina niiskusrežiim. Kümne sentimeetri paksuse seespoolse lisasoojustuse korral langeb palgi sisepinna temperatuur alla küllastustemperatuuri ja veeaur kondenseerub palgi sisepinnale. Kui seespoolse lisasoojustuse paksus on õhem, kuni viis sentimeetrit, on võimalik teatud juhtudel veeauru kondenseerumist vältida. Niiskustehniliselt turvalise lahenduse tagamiseks tuleb siseõhu niiskuskoormust alandada: hoones peab olema korralikult toimiv ventilatsioonilahendus ja niiskustootlus ei saa olla suur.

Kui seespoolne lisasoojustus oleks niiskustehniliselt turvaline lahendus, oleks see alternatiiviks muinsuskaitse all ja miljööväärtuslikus piirkonnas olevate puitkorterelamute lisasoojustamisel. Mitmed uuringud (Künzel 1998, Stopp, jt. 2001, Maděra 2003, Said et. al. 2003, Häupt jt. 2004, Juhart jt.2005, Toman jt 2009) on analüüsinud ja näidanud seespoolse lisasoojustamise võimalikkust. Siiski on need uuringud tehtud peamiselt Kesk-Euroopa pehmemas kliimas ja mitte palkseintel. Saarimaa (1985) ja Koski (1997) on analüüsinud seespoolse lisasoojustamise lahendusi Soomes, kuid ainult hetkeliste mõõtmiste abil. Et saada täielikku ülevaadet seespoolse lisasoojustusega välisseina soojus- ja niiskuslikust käitumisest, on vaja läbi viia pikaajalised (vähemalt aasta) mõõtmised arvutusliku niiskuskoormuse tingimustes. Et analüüsida erinevate kliimakoormuste ja materjaliomaduste mõju, on sobiv kasutada arvutuslikku analüüsi.

Kõnesolevas uuringus on tehtud pikaajalised mõõtmised seespoolse lisasoojustusega palkseina kohta kolme erineva soojustusmaterjali ja kuue erineva lahenduse korral. Uuring viidi läbi jälgimismõõtmisena, kus otsus seespoolse lisasoojustamise kohta oli juba varem langetatud.

5.1 Seestpoolt lisasoojustatud rõhtpalkseina soojus- ja niiskustehnilised võrdlusmõõtmised

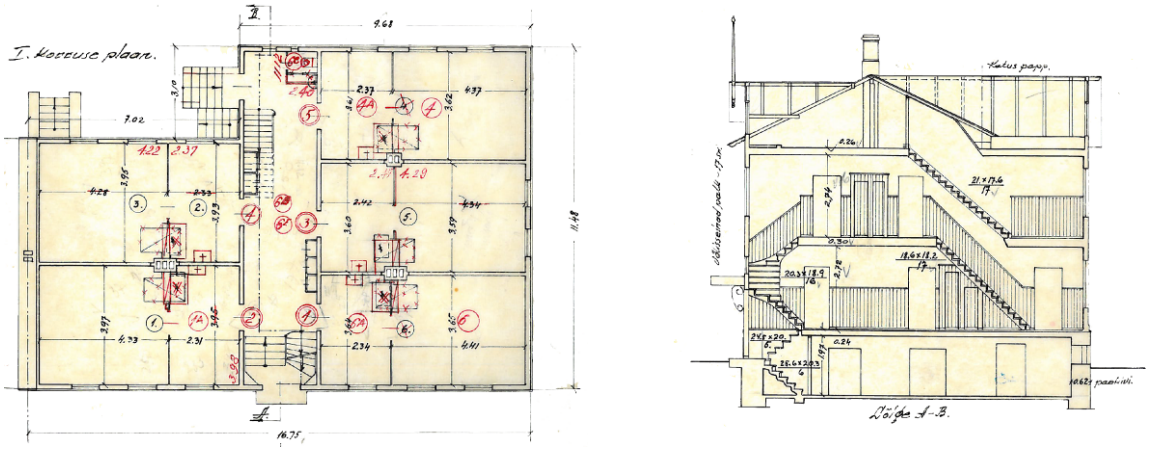
5.1.1 Meetodid

5.1.1.1 Uuritud elamu

Uuritud elamuks oli nn. Lenderi tüüpi kahekorruseline rõhtpalkseintega korterelamu, vt. Joonis 5.2. Esialgse projekti (1910 a.) kohaselt oli elamus 10 korterit (kööktoad suurusega 15…25 m^2).



Joonis 5.2 Hoone enne renoveerimist (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).



Joonis 5.3 Hoone inventariseerimisplaan aastast 1948.

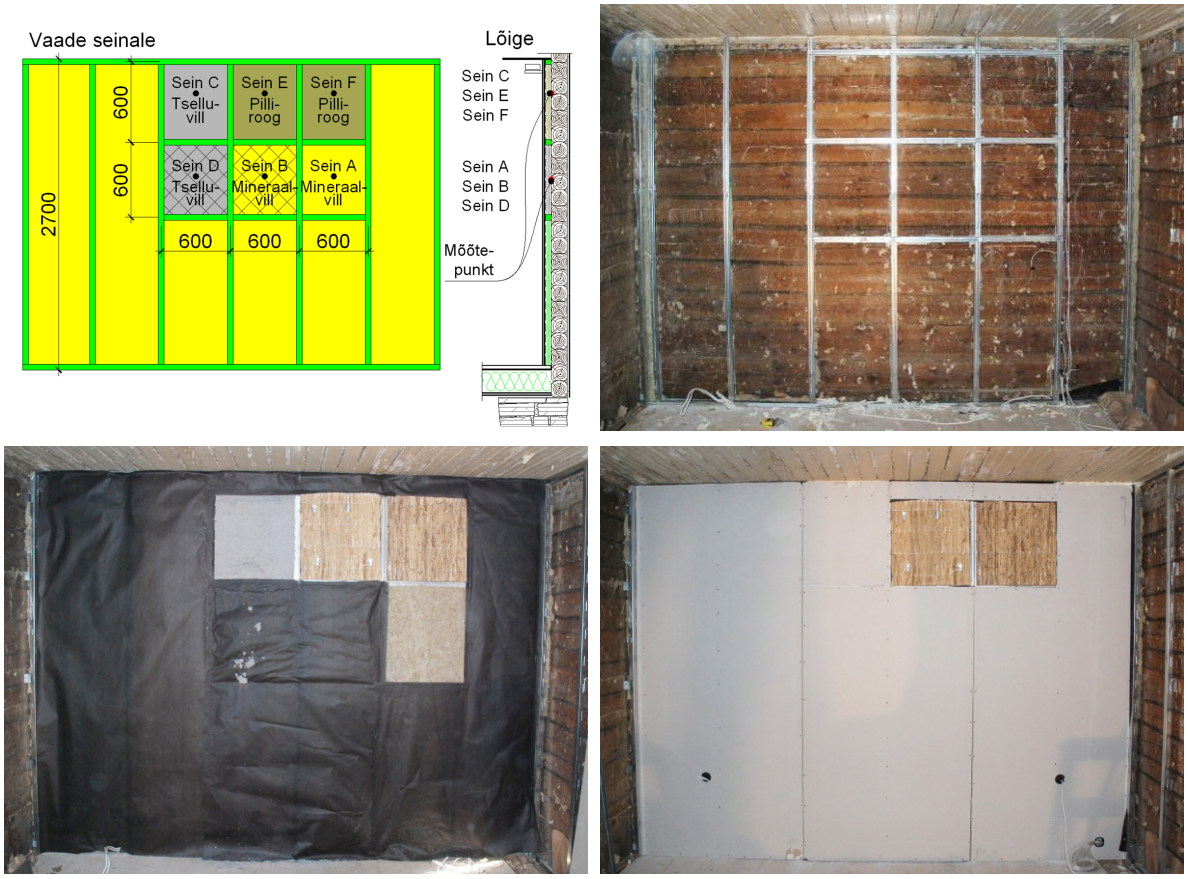
Hoone renoveerimiseelne olukord oli suhteliselt rahuldav, osaliselt halb (korduvalt ülevärvitud ja pikki aastakümneid hooldamata jäetud fassaad oli mitterahuldavas olukorras, korstnavundamendid vajasid tugevdamist, akende seisukord oli halb, ositi väga halb jne.) ning nõudis kiiret asjatundlikku sekkumist (Leis 2009). Hoone seisis enne renoveerimist paar aastat tühjana, kuid uute omanikega sai omale „uue hingamise“.

Hoone uuendati, mille tulemusel sai hoonest välimuselt eeskujulikust renoveeritud puitelamu. Renoveerimistööde käigus jäeti vana fassaadilaudis alles, mistõttu ei olnud lisasoojustuse paigaldamine palgist väljapoole võimalik. Hoone soojustati seestpoolt. Lisaks välitöödele (uus katus, alumise palgirea osaline vahetus, fassaadi värvimine, akende vahetus) uuendati ka siseruumide lahendusi: uued vahelaed, küttesüsteemid (ahi, pliit, elekterküte, gaasiküte), põrandad, siseseinad jne. Praktiliselt oli tegemist hoone kapitaalremondiga, kus esialgsest lahendusest säilisid vundament, välisseinad, väline laudvooder, korstnad ja osa katusekonstruktsioone. Hoone elanikud olid väga vastutulelikud ja nõustusid lahkelt, et varemplaneeritud seespoolse lisasoojustusega palkseinal tehakse soojus- ja niiskustehnilisi võrdlusmõõtmisi jälgimisuuringu vormis.

5.1.1.2 Mõõtmismeetodid

Mõõdeti elamu põhja-loodepoolset välisseina, mis oli varjatud otsese päikesekiirguse eest ja esindas sellega kriitilisemat olukorda. Seina sõrestikpostide vahele rajati ~60×60 cm suurused „katselapid“, vt. Joonis 5.4. Sõrestikposti ja palgi vahe tihendati polüuretaanvahuga, et vältida võimalikku soojuse ja niiskuse liikumist erinevate seinaosade vahel soojustuse tasapinnas. Planeeritud renoveerimislahendust muudeti niipalju, et mineraalvillast lisasoojustuse kõrval kasutati ka tselluvilla (puiste) ja pillirooplaati. Kokku rajati kolme erineva soojustusmaterjaliga kuus erinevat seinatüüpi, vt. Tabel 5.2. Mineraalvilla ja tselluvilla soojustusega seinad erinesid omavahel õhu- ja aurutõkke (bituumeniga immutatud jõupaber: Eltete Pitupap 125, Z_p 0,6·10^9 m^{2}sPa/kg) olemasolu poolest. Pillirooplaadiga soojustatud seinaosad erinesid omavahel selle poolest, et ühel seinal kasutati pillirooplaadi ja palgi vahel linavilti.

Sisekliima korteris mõõdeti lokaalse temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõdikuga (Hobo U12-013: mõõteala -20…+70 °C; 5…95% RH, mõõtetäpsus ±0,35 °C; ±2,5% RH). Seinasisese temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Ø 5mm läbimõõduga andureid Rotronic Hygroclip SC05 (mõõteala: –30 °C…+100 °C, 0…100 % RH mõõtetäpsus ±0.3 °C, ±1.5 % RH), vt. Joonis 5.5. Soojusvoo mõõtmiseks kasutati soojusvoolu plaate Hukseflux HFP01 (mõõtevahemik -2000…+2000 W/m^2, mõõtetäpsus +5 %/-15 %, suurus Ø 8cm). Õhurõhkude erinevus üle välisseina 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).



Joonis 5.4 Katseseina skeem ja ehituskäik.

Tabel 5.2 Uuritud seinalõiked.

Mineraalvill	Tselluvill	Pillirooplaat
Sein A Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Mineraalvill 50mm Kipsplaat 13mm A t1, A RH1 20 140 50 13 223	Sein C Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Tselluvill 50mm Kipsplaat 13mm C t1, C RH1 20 140 50 13 223	Sein E Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Linavilt ~10mm Pillirooplaat 50mm Krohv ~10mm E t1, E RH1 20 140 50 10 223
Sein B Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Mineraalvill 50mm Õhu- ja aurutõkkepaber Kipsplaat 13mm B t1, B RH1 20 140 50 13 223	Sein D Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Tselluvill 50mm Õhu- ja aurutõkkepaber Kipsplaat 13mm D t1, D RH1 20 140 50 13 223	Sein F Voodrilaud 20mm Tuuletõkke paber Palksein 140mm Pillirooplaat 50mm Krohv ~10mm F t1, F RH1 20 140 50 10 223



Joonis 5.5 Suhtelise niiskuse ja temperatuuri anduri paiknemine palkseina sisepinnal.

5.1.1.3 Soojus- ja niiskuslike tingimuste kriitilisuse hindamine

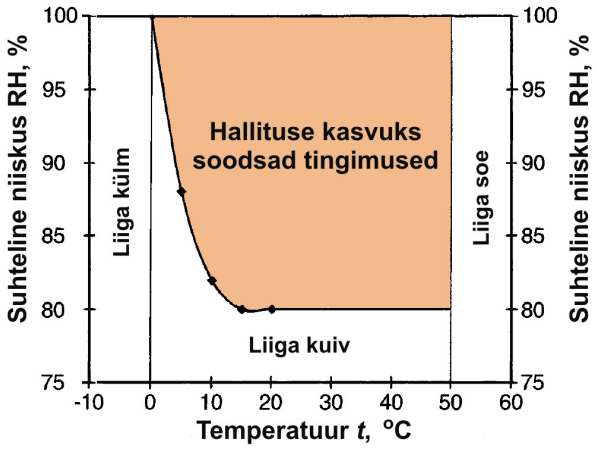
Kaks peamist kriteeriumit, mille alusel tuleb kontrollida piirde soojus- ja niiskusliku toimivust:

- mikrobioloogilise kasv (hallitus, mädanik);
- veeauru kondenseerumine.

Nende kahe tingimuse teket tuleb vältida.

Veeauru kondenseerumine toimub suhtelise niiskuse 100 % juures (veeauru osarõhk on võrdne küllastusrõhuga). Hallituse teket mõjutavad mitmed tegurid, kusjuures niiskus ja temperatuur on tavaliselt kõige määravamad. 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 (vt. Tabel 7.1). Hukka & Viitanen 1999) poolt esitatud matemaatilise mudeli abil on võimalik hinnata hallituse kasvu riski puidu pinnal, kusjuures hallituse kasv on võimalik, kui suhteline niiskus on kõrgem, kui (vt. valem 5.1, Joonis 5.6):

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0.00267 \cdot t^3 + 0.160 \cdot t^2 - 3.13 \cdot t + 100 & ,kui\ t \le 20°C \\ 80\% & ,kui\ t > 20°C \end{cases} \qquad 5.1$$



Joonis 5.6 Hallituse kasvuks soodsad tingimused (Hukka & Viitanen 1999).

5.1.2 Tulemused

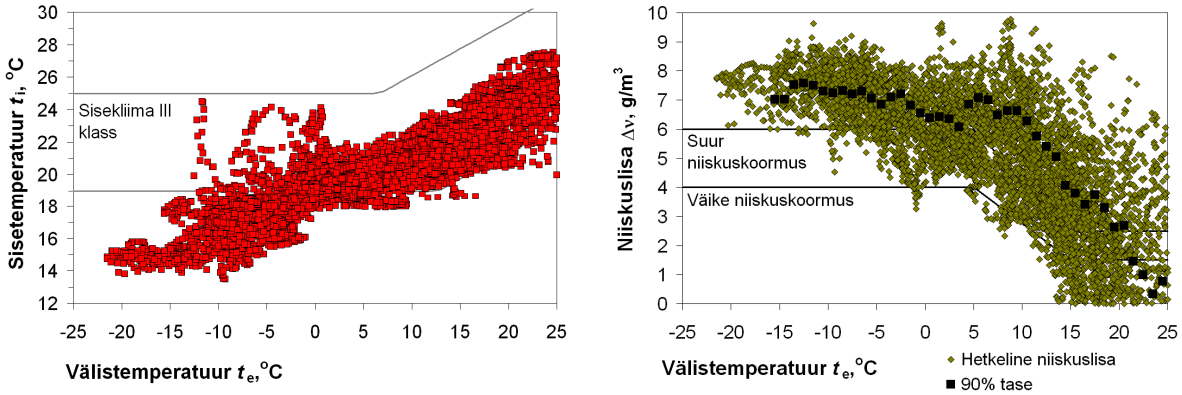
Mõõtmised tehti kahe talve kestel, ajavahemikul 12.12.2009…02.03.2011. Väliskliima, mis mõõdeti hoone välisfassaadil, varieerus -21 °C ja +33 °C vahel.

5.1.2.1 Sisekliimatingimused

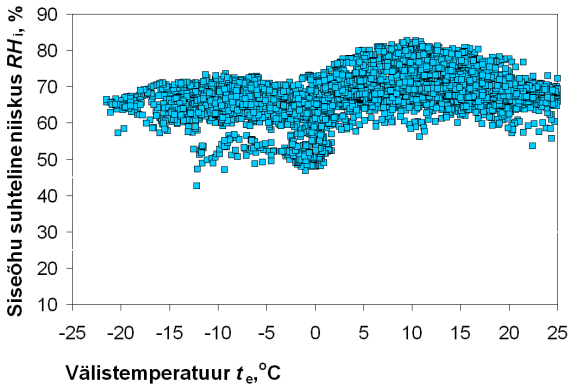
Korteri kütmine oli lahendatud keldrikorruse põrandkütte ja ahikütte ning avatud ruumiplaneeringu abil. Kuna ruumis, kus mõõtmised toimusid, otsest kütteseadet ei olnud, oli temperatuur talvel mõnevõrra madalam (vt. Joonis 5.7 vasakul) kui teistes uuritud puitkorterelamutes: keskmine sisetemperatuur talvekuudel oli +17,4 °C (min. +13,5 °C, maks. +24,5 °C). Kuna tegemist oli magamistoaga, võis madal ruumitemperatuur olla põhjustatud ka elanike soojusliku mugavuse harjumustest.

Siseruumide niiskuskoormus uuritud korterelamutes oli suur: külmal perioodil (t_e <+5 °C) oli niiskuslisa arvutussuurus (90 % tasemel) 7,3 g/m^3 ja keskmine niiskuslisa 6,4 g/m^3 (vt. Joonis 5.7 paremal). Niiskuslisa oli talvel ühtlaselt suur, niiskuslisa standardhälve külmal perioodil oli 0,6 g/m^3. Suur niiskuskoormus võib olla põhjustatud puudulikust õhuvahetusest (loomulik ventilatsioon), suuremast elamistihedusest (23 m^2 / inimene) ja ehitusniiskuse väljakuivamisest (eluruumidesse avatud kelder).

Madal temperatuur ja suur niiskuskoormus põhjustasid kõrge suhtelise niiskuse: keskmine suhteline niiskus külmal perioodil (t_e <+5 °C) oli 60 %.



Joonis 5.7 Sisetemperatuuri (vasakul) ja niiskuslisa (paremal) sõltuvus välistemperatuurist.

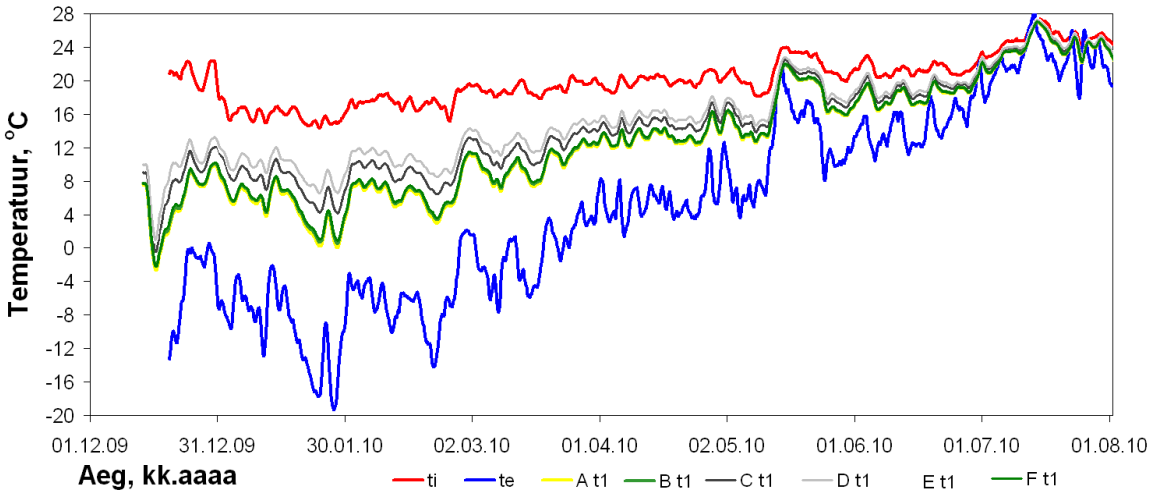


Joonis 5.8 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist.

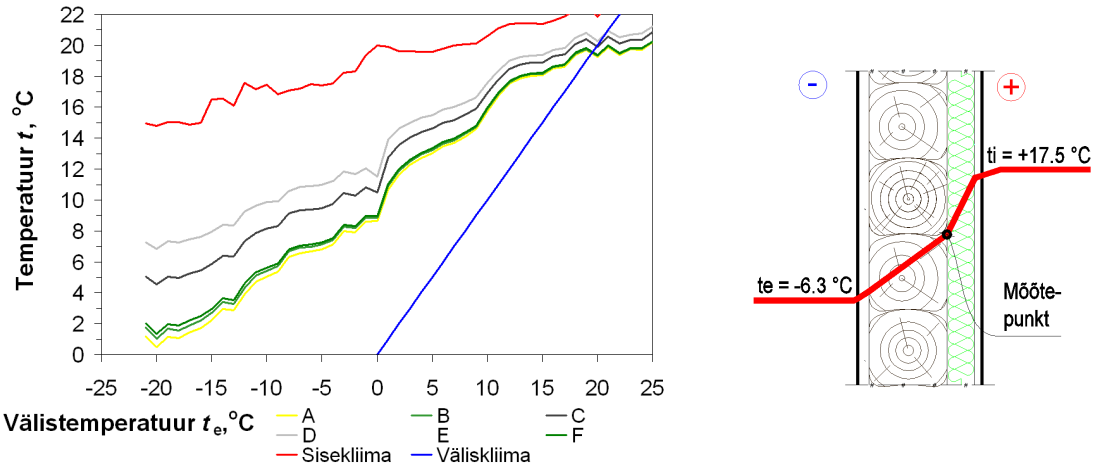
5.1.2.2 Seina soojus- ja niiskusrežiim esimesel aastal

Esimese aasta talvekuude keskmine temperatuur oli -7,4 °C (min. -21,5 °C, maks. +4,2 °C) ja suhteline niiskus RH 89% (min. 62%, maks. 100%). Seina seest mõõdeti temperatuur ja suhteline niiskus palkseina ja sisemise lisasoojustuse vahelt: temperatuur, Joonis 5.9, suhteline niiskus Joonis 5.11, veeauru osarõhk, Joonis 5.13.

Seina sees oli madalaim temperatuur mineraalvillaga soojustatud seintel, vt. Joonis 5.9, Joonis 5.10. See vastab ka materjalide soojuserijuhtivuse erinevustele, kus mineraalvilla soojuserijuhtivus (λ_{mv}≈0.040 W/(K·m)) oli väiksem, kui tselluvilla (λ_{tsv}≈0.045 W/(K·m)) või (λ_{pr}≈0.054 W/(K·m)) pillirooplaadi oma. Materjali väiksem soojuserijuhtivus vähendab soojusvoogu tarindi kaudu.

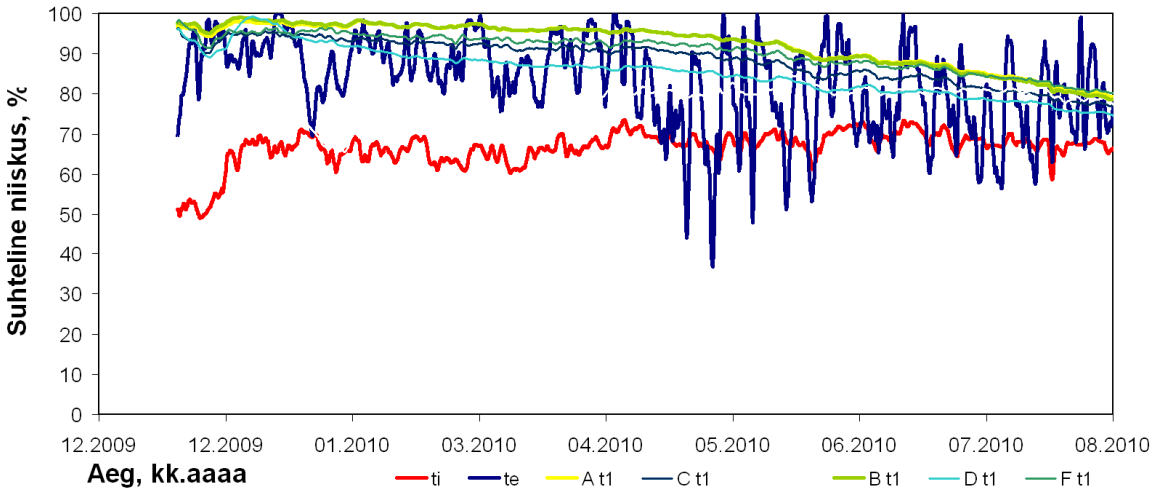


Joonis 5.9 Temperatuur õues, siseruumis ja seina sees 1. aastal.

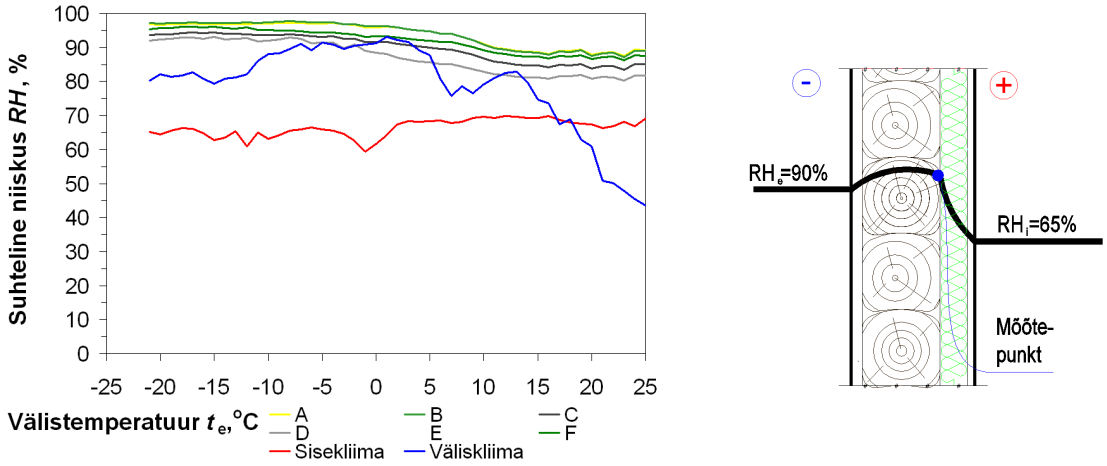


Joonis 5.10 Sisetemperatuuri ja seinasisese temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 1. aastal (vasakul). Keskmine temperatuurilang seinas veebruaris (paremal).

Suhteline niiskus oli kõikide seinatüüpide puhul kõrgel kogu talve-kevade perioodi, vt. Joonis 5.11Joonis 5.12 (vasakul). Suhteline niiskus püsis anduri ülemise mõõtepiiri lähedal, viidates seina pinnal veeauru kondenseerumisele palgi sisepinnale. Suhteline niiskus oli kõrgeim mineraalvillaga seintel, mis tulenes eelkõige tema suuremast soojustakistusest (madalaim temperatuur). Kaheksa kuu pikkuse mõõteperioodi jooksul on märgata väikest suhtelise niiskuse langu. Siiski, arvestades seina soojus- ja niiskustehnilise toimivuse nõudeid, on suhtelise niiskuse tase püsivalt liiga kõrge.

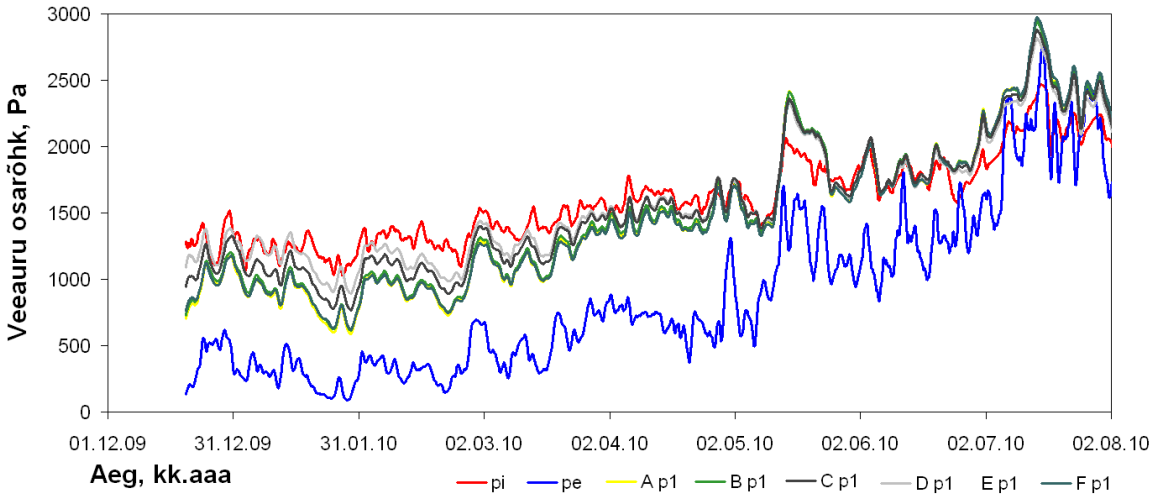


Joonis 5.11 Suhteline niiskus õues, siseruumis ja seina sees 1. aastal.

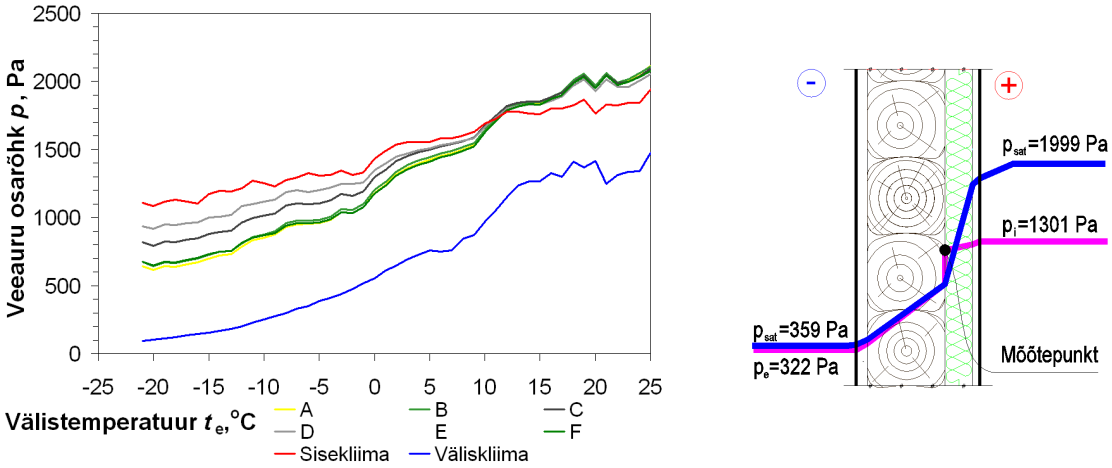


Joonis 5.12 Siseõhu ja välisõhu suhtelise niiskuse ja seinasisese suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist 1. aastal (vasakul). Keskmine suhtelise niiskuse jaotus seinas veebruarikuu jooksul.

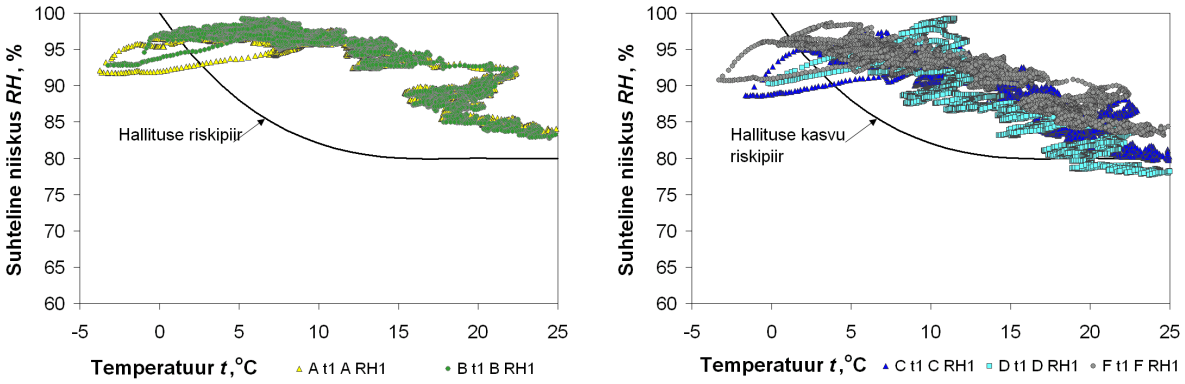
Suhteline niiskus on parameeter, mille alusel saab hinnata tarindi soojus- ja niiskuslikku toimivust. Et võrrelda erinevate soojustusmaterjalide niiskuslikke omadusi, tuleb vaadata veeaurusisalduse või veeauru osarõhu suurusi, vt. Joonis 5.13, Joonis 5.14. Erinevatel soojustusmaterjalidel oli siiski väga väike või olematu mõju seina niiskusrežiimile, kuna peamine veeauru osarõhu langus toimus palgi kihis. Veeauru osarõhk oli tselluvilla puhul kõrgem kui mineraalvillast soojustusmaterjalidega seintel. Hallituse tekke riski piir ületati võrdselt mõlema soojustusmaterjali puhul: vt. Joonis 5.15.



Joonis 5.13 Veeauru osarõhk õues, siseruumis ja seina sees 1. aastal.

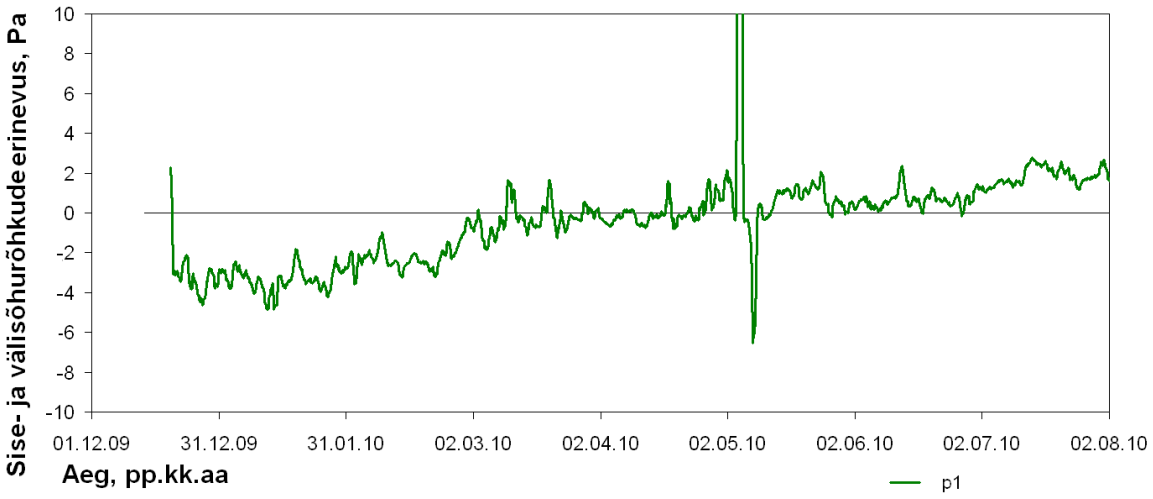


Joonis 5.14 Sise- ja välisõhu suhtelise niiskuse ja seinasisese suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist 1. aastal (vasakul). 1. aasta talvekuude keskmine suhtelise niiskuse lang seinas.



Joonis 5.15 Hallituse riskipiiri ületus mineraalvillast soojustusmaterjali (vasak) ja puidupõhise (tselluvill, pilliroog) soojustusmaterjali puhul (paremal).

Kuna õhurõhkude erinevus (Joonis 5.16) üle välisseina oli väike (vahemikus ±2…3 Pa), mõjutas veeauru konvektsioon seina niiskusrežiimi vähe ja peamiseks niiskuse liikumise viisiks oli difusioon.



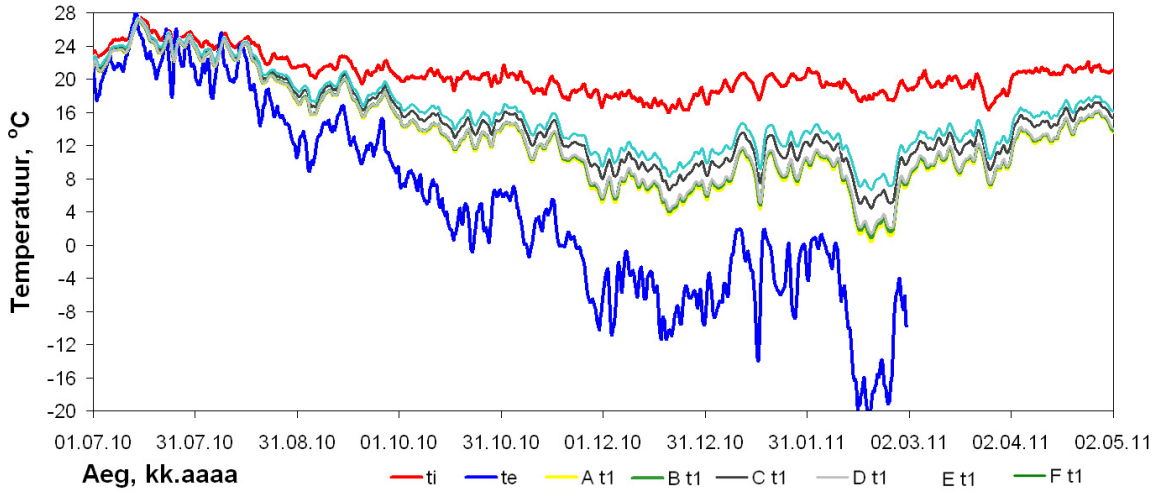
Joonis 5.16 Sise- ja välisõhu rõhkude erinevus 1. aastal.

5.1.2.3 Seina niiskusrežiim teisel aastal

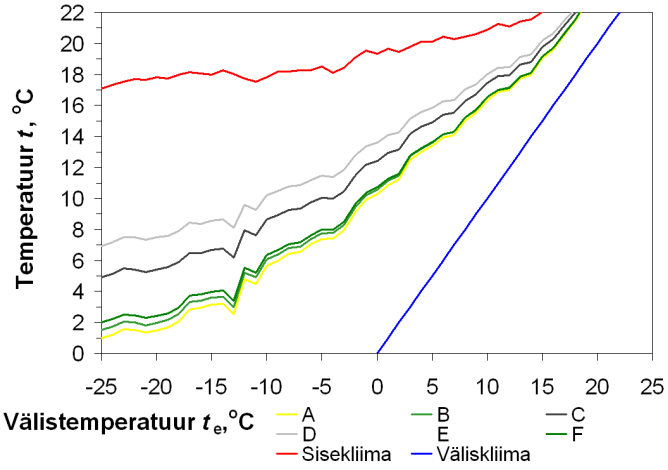
Teise aasta talvekuude keskmine temperatuur oli -6,4 °C (min. -25,4 °C, maks. +2,8 °C) ja suhteline niiskus RH 90 % (min. 50 %, maks. 100 %). Seina seest mõõdeti temperatuur. (Joonis 5.17, Joonis 5.18) ja suhteline niiskus (Joonis 5.19, Joonis 5.20) palkseina ja sisemise lisasoojustuse vahelt.

Temperatuuride osas (Joonis 5.17, Joonis 5.18) võrreldes esimese aastaga olulist erinevust täheldada ei ole. Suhteline niiskus (Joonis 5.19, Joonis 5.20) palkseina ja sisemise lisasoojustuse vahel oli aasta jooksul mõnevõrra langenud, kuid püsis jätkuvalt kõrgel. Niiske seina väljakuivamine on väga aeglane protsess.

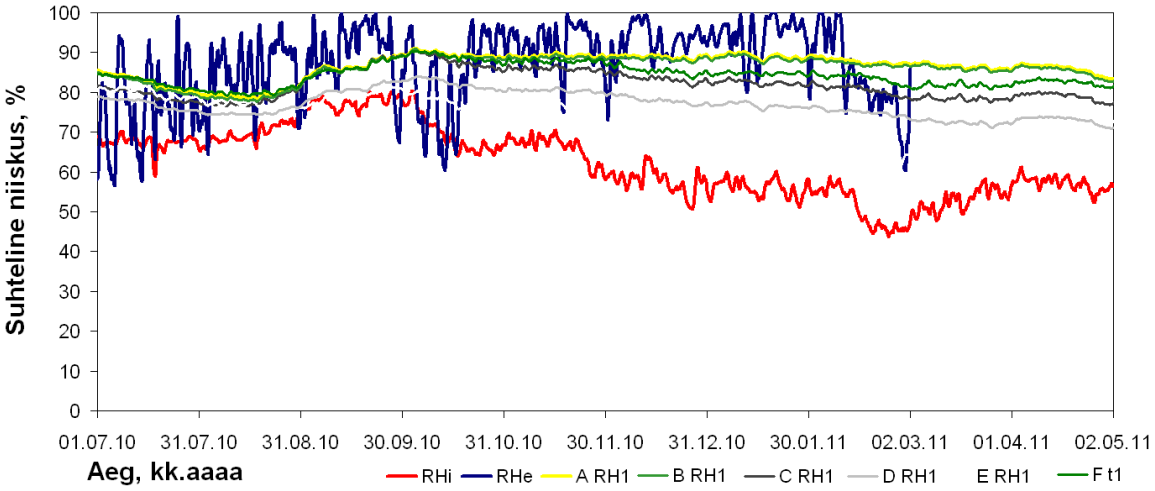
Tingituna osaliselt niiskuskoormuse vähenemisest ja osaliselt ehitusniiskuse väljakuivamisest oli veeauru osarõhk seina materjalides teisel aastal väiksem, vt. Joonis 5.21, Joonis 5.22.



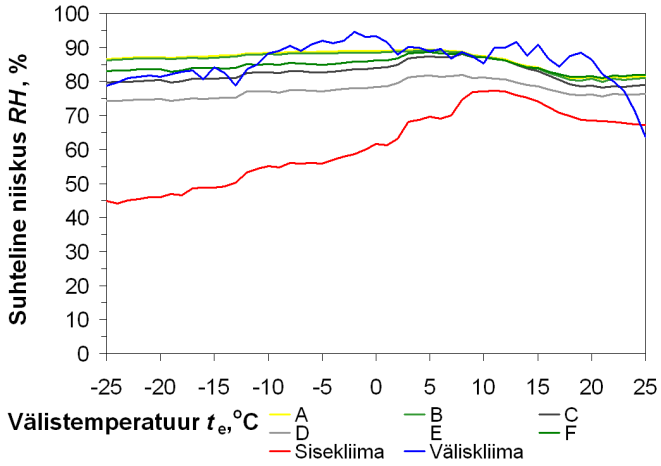
Joonis 5.17 Temperatuur õues, siseruumis ja seina sees 2. aastal.



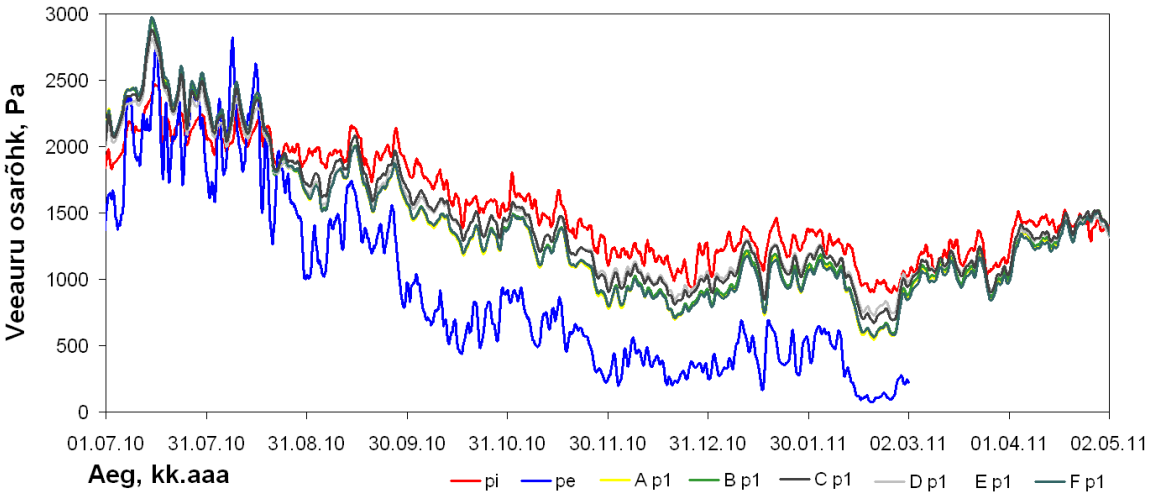
Joonis 5.18 Sisetemperatuuri ja seinasisese temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2. aastal.



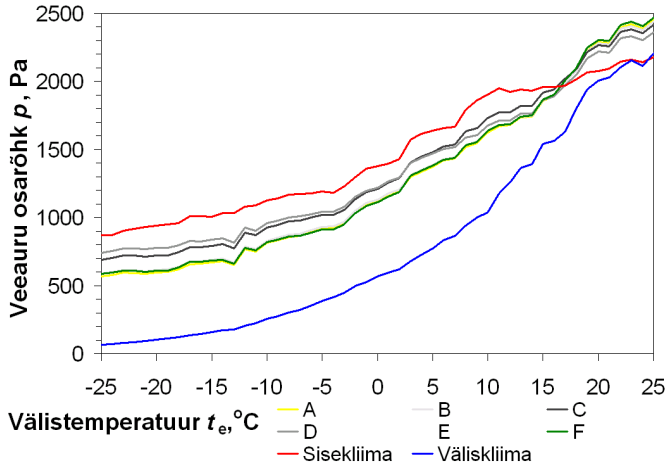
Joonis 5.19 Suhteline niiskus õues, siseruumis ja seina sees 2. aastal.



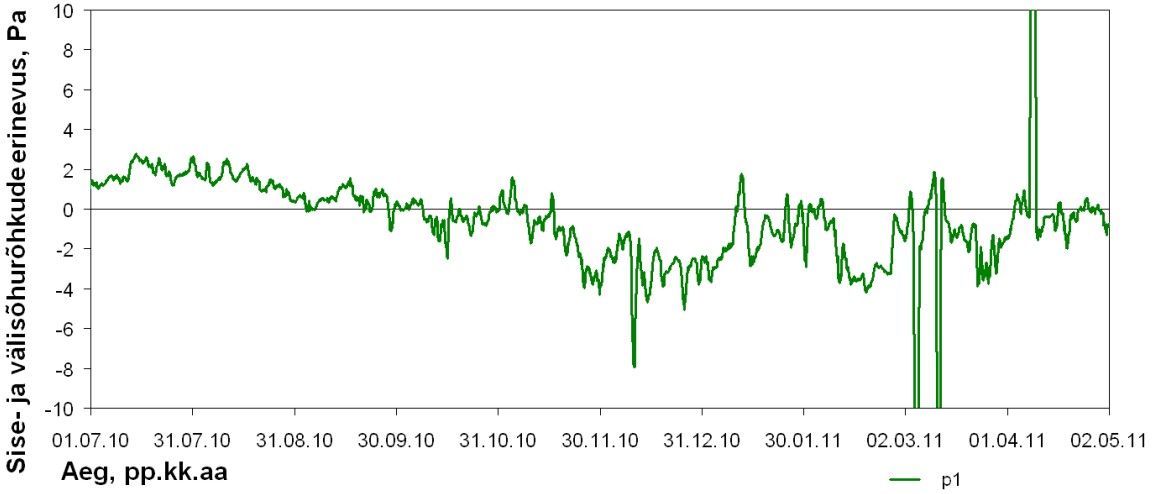
Joonis 5.20 Siseõhu ja välisõhu suhtelise niiskuse ja seina sisese suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist 2. aastal.



Joonis 5.21 Veeauru osarõhk õues, siseruumis ja seina sees 2. aastal.

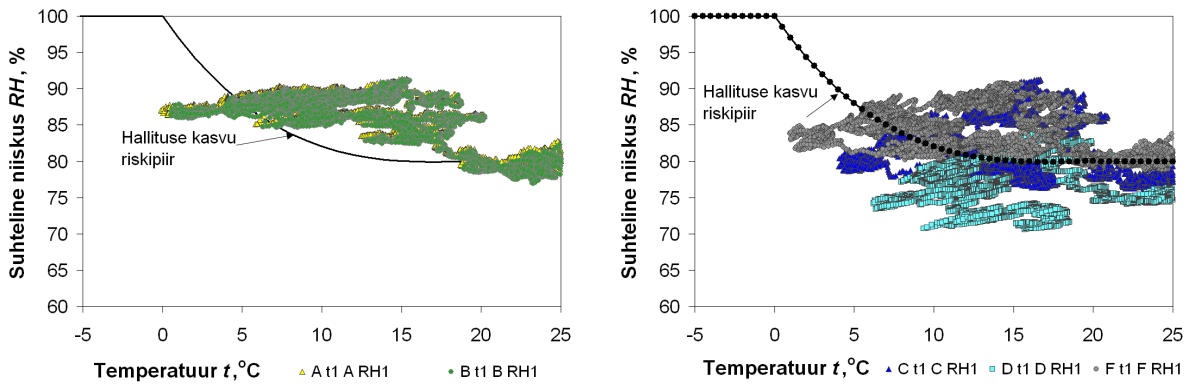


Joonis 5.22 Sise- ja välisõhu veeauru osarõhu ja seinasisese veeauru osarõhu sõltuvus välistemperatuurist 2. aastal.



Joonis 5.23 Sise- ja välisõhu rõhkude erinevus 2. aastal.

Kuigi niiskustase seinas oli aasta jooksul mõnevõrra langenud, ületas see jätkuvalt hallituse kasvuks soodsad tingimusi, vt. Joonis 5.24.

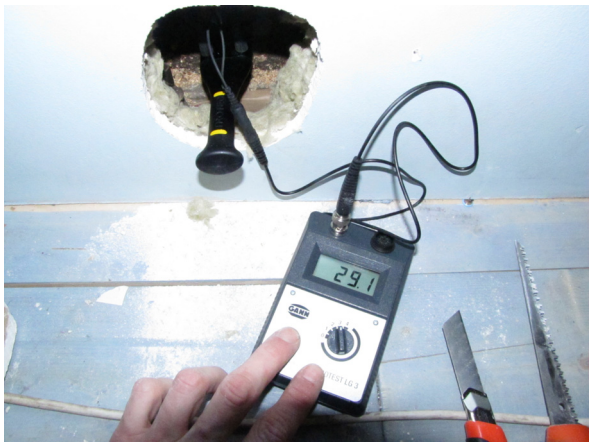


Joonis 5.24 Hallituse riskipiiri ületus mineraalvillast soojustusmaterjali (vasak) ja puidupõhise (tselluvill, pilliroog) soojustusmaterjali puhul (paremal) 2-l. aastal.

Hallituse kasv seina sees tuvastati ka visuaalselt (Joonis 5.25) ning õhu- ja materjaliproovide abil. 1,5 aastat pärast seespoolse lisasoojustuse paigaldamist oli palgi niiskus väga suur: ~30 %, vt. Joonis 5.26.



Joonis 5.25 Nähtav hallituse kasv seina sees pärast seina avamist.



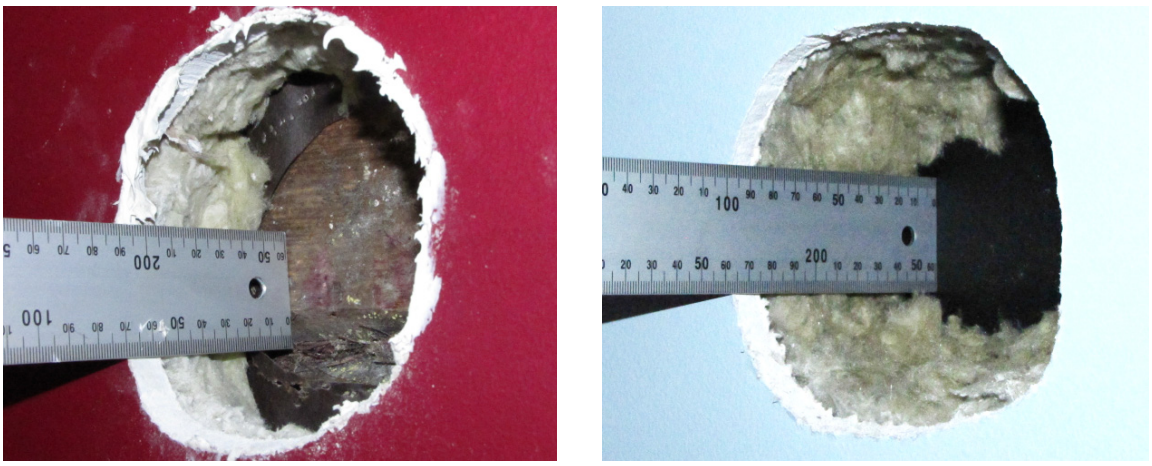
Joonis 5.26 1,5 aastat pärast seespoolse lisasoojustuse paigaldamist oli palgi niiskus väga suur: ~30 %.

5.1.3 Tulemuste hindamine

Kõnesolevas uuringus jälgiti seestpoolt lisasoojustatud seina soojus- ja niiskusrežiimi 1,5 aasta jooksul. Uuriti kolme soojustusmaterjaliga ehitatud kuut erinevat seinatüüpi. Erinevused eri soojustusmaterjalide vahel olid väikesed. Kõikide uuritud seinatüüpide korral ei olnud lahendus soojus- ja niiskustehniliselt toimiv. Seina akumuleerus niiskus, tekkisid hallituse kasvuks soodsad tingimused.

Seestpoolt seina lisasoojustamine on alati riskantne tegevus. Uuritud seina puhul risk realiseerus ühe või mitme alljärgneva põhjuse üksik- või koosmõjul:

- Sein soojustati seestpoolt. Seest poolt seina lisasoojustamine on alati riskantne tegevus, mida tuleb võimalusel alati vältida;
- Seina olemasolevat välisvoodrit ei muudetud. Hoone välisvooder oli paigaldatud otse palgile ilma vajaliku tuulutusvaheta. Välisvooder oli kaetud veeaurutiheda värvikihiga. Seetõttu oli palgist niiskuse väljakuivamine raskendatud;
- Hoones puudus toimiv ventilatsioonisüsteem. Loomulik ventilatsioon ei taga piisavat õhuvahetust. Akende kaudu ruumide tuulutamine linnas on probleemne, eriti esimesel korrusel ja aktiivsema liiklusega tänavate ääres, aga ka müra ja tänavasaaste ruumi tulemise tõttu;
- Hoones oli suur niiskuskoormus. Suur niiskuskoormus oli põhjustatud:
  - keskmisest suuremast elamistihedusest (23 m^2/inimene),
  - eluruumidesse avatud keldrist (keldriseintel puudus hüdroisolatsioon ja toimus püsiv niiskuse difusioonivoog pinnasest siseruumidesse),
  - ehitusniiskuse väljakuivamisest: hoone oli enne renoveerimist seisnud paar aastat kasutuseta, tühjana; keldrisse valatud betoonpõranda niiskuse väljakuivamine;
- 50 mm paksune soojustus paigaldati 42 mm paksuste roovide vahele. Seinte ebatasasuse tõttu oli soojustuse paksus seinas kohati oluliselt paksem: kuni 10 cm, vt. Joonis 5.27.
- Õhu- ja aurutõkkeks kasutatud bituumenpaber oli paigaldatud kohati soojustuse ja palgi vahele (vt. Joonis 5.27 vasakul), mis on kõige valem koht sellele materjalile.



Joonis 5.27 Seina kõverusest tulenevalt varieerus soojustuse paksus seinas 50…90 mm vahel.

Ei saa väita, et seespoolne lisasoojustamine on palkseintel absoluutselt lubamatu, kuid käesoleva uuringu tulemuste põhjal on ilmnenud, et see on seotud oluliselt suuremate riskidega, kui seni teadvustatud. Nende riskide realiseerumise tagajärjeks on see, et kogu tehtud töö tuleb lammutada, seinad desinfitseerida ja otsida uuesti lisasoojustamise võimalust väljastpoolt, mis võib tuua kaasa olulisi lisakulutusi. Kuid selleks ajaks võib juba välisviimistlus olla tehtud. Halvimal juhul võivad olla niiskuskahjustused arenenud nii kaugele, et elanikel on tekkinud vähem- või rohkem püsivad tervisekahjustused ja palkidel väiksemad või suuremad mädanikkahjustused.

Hoones elavate inimeste ohutus ja tervis on esmatähtis. Hoone sisemise või välimise visuaalse ilme tagamine ei tohi olla inimese ohutuse või tervisega samal kaalukausil. Seetõttu ei saa välisseinte soojustamist seestpoolt kindlasti soovitada kõikidele palkkonstruktsioonis elamutele sobiva universaalse lahendusena. Kuna küsimus erinevate soojustusmaterjalide ja –meetodite efektiivsusest ja sobivusest on, eelkõige kaitsealuste hoonete puhul, jätkuvalt olulisena päevakorras ja selle kohta on Eestis kättesadav vähe tõenduspõhist teaduslikku informatsiooni, vajaks teema ilmselt edaspidi põhjalikumat uurimist.

6 Piirdetarindite helipidavus

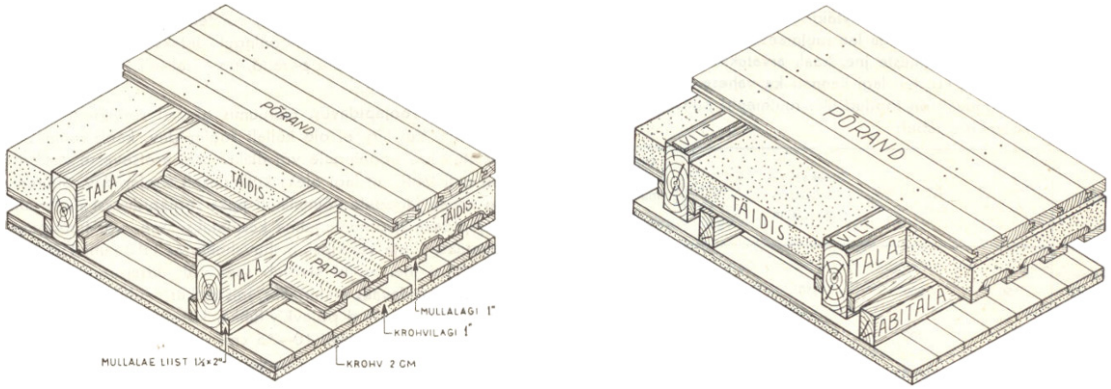
Ehitusseaduse kohaselt tuleb ehitises vältida müra ülemäärast levikut. Müra leviku tõkestamine on üks kuuest ehitisele esitatavast olulisest nõudest. Müra võib olla tasemel, mis ei ohusta inimese elu ega tervist ning võimaldab rahuldavates tingimustes elada või töötada. Müra tungib korterisse nii väliskeskkonnast,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

Uuringu eesmärgiks oli selgitada vanemate puitkorterelamute sisepiirete helipidavuse vastavust kehtivatele nõuetele ja soovitustele.

6.1 Sisepiirete helipidavuse tagamise lahendused

Sisepiirete helipidavust hinnati kahe konstruktiivse lahendusega puidust korterelamus. Nende konstruktiivse süsteemi moodustasid kandvad rõhtpalk- ja püstplankseinad, millele toetuvad puitvahelaed. Kuna helipidavuse hindamisel puudus võimalus konstruktsioonide avamiseks, on andmed nende konstruktiivsete lahenduste kohta oletuslikud. Sellest tulenevalt puudus võimalus konstruktiivsete lahenduste iseärasuste mõju hindamiseks katsetatud tarindite helipidavusele.

Käsiraamatutes oli esitatud lahendusi (Joonis 6.1) helipidavama vahelae kohta, kuid uuringus olnud hoonete hulgas neid ei esinenud.



Joonis 6.1 Tavalise (vasakul) ja helipidavama (paremal) vahelae lahendus.

Õhuhelipidavuse saavutamiseks kasutati vahelaes täidist (sae- või turbapuru, linaluid, liiva, räbu, telliseid jne.) ning lagi krohviti altpoolt. Löögimürapidavuse tagamiseks kasutati pehmet põrandakatet ja taladele löödud pehmest materjalist (toorpapiriba, celotex, insuliin, pehmem masoniit jne.) vaheriba. Helikindlama vahelae ehitamiseks soovitati eraldada krohvilagi abitalade abil ja teha laekrohv roogplaadist või TEP-plaadist alusele.

Siseseinad varieerusid kahekihilistest laudadest siseseinast vooderdatud palkseinani. Helikindlust tõsteti krohvialuse isoleerplaadiga (TEP, roog, ~5cm), eraldatud kandepostide kasutamisega ja sõrestikuvahelise raske täidise (põlevkivituhk, liiv, jne.) kasutamisega.

6.2 Meetodid

6.2.1 Sisepiirdetarindite helipidavuse kvaliteedi otsustamise alused

Uuritud puidust korterelamud on püstitatud 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi esimesel poolel, ajal kui puudusid konkreetsed nõuded piirete helipidavusele ja nende hindamise võimalused.

Elukeskkonna kaitseks müra eest on 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 “Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest” soovitustele. Miinimumnõuded, millele korterite eluruumide vahelised piirded peavad vastama, on:

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

Varasemal ajal püstitatud hoonete helipidavuse hindamiseks sobib rohkem 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 mürast 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, halvemate 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 kallis ja aktsepteeritakse madalat akustilist kvaliteeti, võib vanade ja renoveeritavate hoonete akustilise kvaliteedi hindamisel lähtuda D klassi nõuetest. INSTA 122:1998 soovitused piirete helipidavusele vt. Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Hoonete akustiline klassifikatsioon (INSTA 122:1998).

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

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

6.2.2 Sisepiirdetarindite helipidavuse hindamismeetodid

Helipidavuse hindamiseks oli vaja:

- hinnata puitkorterelamute helipidavust ekspluatatsioonitingimustes mõõdistamise teel;
- selgitada nende helipidavuse vastavust EVS 842 ja INSTA 122 soovitustele;
- Eestis kasutatav helipidavuse arvutusjuhis EVS-EN 12354 ei võimalda usaldusväärselt hinnata uuritud puittarindite helipidavust. Puittarindite helipidavuse arvutuslik hindamine saab võimalikuks pärast ulatuslikumat uuringut, mis oleks suunatud helipidavuse arvutamisele juhul, kui tarindit ei käsitleta nn. õhukese plaadina, vaid koosneb lamellidest (palgid, prussid) ja nendevaheliste vuukide tihend on suhteliselt suure sisehõõrdega. Kuidas sellisel juhul muutuvad kiirgustegur, totaalne kadutegur, struktuuriheli ülekanne külgnevatel trajektooridel, jne., see nõuab spetsiaalset tööd doktoritöö tasemel, mida kõnesoleval ajal Eestis pole võimalik läbi viia.

EVS 842 on kehtestanud ka standardid, mille 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).

Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt töö käigus kasutatud mõõtmismeetodeid, keskendades tähelepanu tulemuste usaldusväärsusele:

- EVS – EN ISO 140-4. Standard annab juhise õhuheliisolatsiooni välimõõtmisteks sõltuvalt sagedusest. Katseandmete töötlus õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w leidmiseks vastab ISO 712-1 nõuetele. Katsete täpsust erinevates olukordades hinnati EVS-EN ISO 140-14:2004 järgi, mis difuusse helivälja tingimustes annab läbiviidud katsete standardhälbeks 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 ± 2dB, 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 mõõtemääramatus ± 2 dB. Ettenähtud mõõtemääramatus tagatakse katsete arvu suurendamisega.

Tuleb ära märkida raskusi ekspluatatsioonitingimustes mõõtmiste läbiviimisel, mis on seotud helipidavust suurendava möbleeringuga, teineteisega seotud korterite elanikega, kes mitte alati ei võimalda oma kortereid kasutada (tööl, haiged, väikesed lapsed jne.) ning piirete ja korterite ümberehitusega, mis takistab seeriaviisiliste mõõtmiste korraldamist. Seeriaviisilised katsed on vajalikud, kuna katsetulemused on suure hajuvusega, mistõttu mingi üksiku ekspluatatsioonilise faktori mõju üksiku mõõtmise tulemuse põhjal pole võimalik selgitada.

Tehtud töö detailsete andmetega (hindamismeetodid, katsete protokollid, arvutuste käik ja tulemused) on võimalik tutvuda TTÜ Ehitiste projekteerimise instituudis.

6.2.3 Helipidavuse mõõtmistulemused ekspluatatsioonitingimustes

Elamute helipidavuse selgitamiseks ekspluatatsioonitingimustes mõõdeti korteritevaheliste seinte ja vahelagede helipidavust. Mõõtmised viidi läbi EVS–EN ISO 140–4 ja EVS–EN ISO 140-7 nõuete järgi.

Mõõtmiste tulemused on esitatud Tabel 6.2 ja

Tabel 6.3. Mõõtmistulemused osutavad puudujääkidele puitkorterelamute helipidavuse osas sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määruse nr. 42: Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid ja Eesti standardi EVS 842 “Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest” soovituste valguses:

- õhumüra isolatsiooniindeks $R'_w \geq 55$ dB;
- löögimürataseme indeks $L'_{n,w} \leq 53$ dB.

Üheski korteris ei olnud need sihtarvud täidetud.

66% juhtudel siseseinte õhuhelipidvuse osas, 88 % juhtudel vahelagede õhuhelipidvuse osas ja 50 % juhtudel vahelagede löögihelipidvuse osas olid täidetud heliklassi D taotlustase, mille puhul eeldatakse, et 30 % kuni 45 % elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks. 25 % kuni 50 % hindab akustilisi tingimusi halbadeks.

Tabel 6.2 Korteritevaheliste seinte õhuhelipidavus.

Hoone kood	Korterid	R'_w, dB	Siseseina tarindus
1380	1 / 4	50	10x15 cm topeltplanksein, viimistlus: krohv + laudvooder
1390	10 / 11	44	20 cm rõhtpalksein, viimistlus: ehituspapp + tapeet
4310	4 / 5	54	25 cm rõhtpalksein, viimistlus: mõlemapoolne kipsplaat, õhkvahe täidetud mineraalvillaga

Tabel 6.3 Korteritevaheliste seinte helipidavus.

Hoone kood	Korterid	R'_w, dB	$L'_{n,w}$, dB	Lae tarindus
1310	4 / 8	49	71	Lagi : saepuruplaat
1320	6 / 9	55	60	Lagi krohvitud
1380	3 / 4	55	58	Lagi krohvitud
1390	10 / 14	54	58	Lagi : vineer + plastik
4310	1 / 3	50	56	Lagi krohvitud
4320	1 / 3	54	65	Elutoad, lagi krohvitud
4320	1 / 3	54	65	Lagi krohvitud
4340	2 / 3	55	56	Topeltpalktalad, lagi krohvitud

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 ja sellega kaasnevad probleemid mõjutavad oluliselt neis ruumides viibivate inimeste enesetunnet, tervist ja töövõimet. Eluruumidele esitatavate nõuete (RT I 1999, 9, 38) kohaselt peab elukeskkond olema inimesele ohutu ja tervislik ning võimaldama inimesele selles ööpäevaringse viibimise. Sisekliima määravad järgmised tegurid: õhutemperatuur, kiirguspindade temperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumise kiirus, õhu puhtus, müratase, valgustatus, millele avaldavad mõju ka inimeste liikumise aktiivsus, riietus, sugu, vanus jm. Erinevate sisekliimategurite olulisuse võrdlus näitas, et soojuslikku mugavust peetakse olulisemaks, kui akustilist kvaliteeti, rahulolu õhu kvaliteediga ja ruumide visuaalse kvaliteediga (Frontczak & Wargocki 2011).

Sisetemperatuur on peamine soojusliku mugavuse indikaator. Kerge kehalise aktiivsuse korral (>1,2 met) on neutraalne (PMV (predicted mean vote) = 0) temperatuur talvel (riietatus ~1.0 clo) +22,0 °C ja suvel (riietatus ~0,5 clo) +25,5 °C (ISO EN 7730). Sisetemperatuur talvel üle +22 °C on seostatud haige hoone sündroomiga (SBS: sick building syndrome) (Jaakkola jt. 1989). Õhutemperatuuril 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 ja ruumi piirdepindade temperatuur mõjutavad otseselt hoonete soojusenergia kulu ruumide kütteks. Soome ühepereelamutes läbiviidud uuring (Vinha jt. 2005) kinnitas tuntud rusikareegli kehtivust: keskmise sisetemperatuuri muutus 1 ºC võrra mõjutab energiakulu ~5 %. Kui hoonepiirded on madala pinnatemperatuuriga (soojustamata piirded, millel on suur soojusläbivus), siis soovib inimene sama soojusliku mugavuse saavutamiseks (sama operatiivne temperatuur) kõrgemat sisetemperatuuri (ISO EN 7730). Seda omakorda suurendab soojusenergiakulu. Vastavalt eluruumidele esitatavatele nõuetele (VV määrus nr. 38) peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla +18 °C.

Õhu suhteline niiskus ja õhu veeaurusisaldus mõjutavad sisekliimat ja piirete niiskusrežiimi. Õhu veeaurusisaldus on kõrge siis, kui õhuvahetus ruumides (ventilatsioon) ei toimi korralikult või ruumides on suur niiskustootlus. Suur niiskuskoormus võib põhjustada niiskusprobleeme piirdetarinditele või halvendada sisekliimat (IOM 2004, Fang jt. 1998, Bornehag jt. 2001 ja 2004). Rootsis 2000. aastal uuriti 8918 peres 14077 lapse (vanus 1–6 aastat) tervist ja kodude niiskuskahjustusi (Bornehag jt. 2002). Uurimistulemuste kohaselt võib enamiku niiskuskahjustuste indikaatoritest (kondensaat aknal, halb lõhn, nähtav hallitus, niisked põrandad) seostada lastel esinenud allergiailmingutega. Niiskuskahjustuste esinemine (*dampness*) oli sagedasem vanade hoonete ja loomuliku ventilatsiooniga hoonete juures (Hägerhed jt. 2002). Niiskus ja hallituskahjustusega elamute elanikel võib esineda tervisehäireid, mille põhjuseks on ülitundlikkus mikroorganismidele ja nende ainevahetuse jääkidele või hallituse eoste suhtes. 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. Viimaste uuringute kohaselt (Wyon jt. 2002) on siiski madala suhtelise niiskusega seotud probleemid väiksemad kui varasemalt osutatud ja tundlikkus tõuseb esile vaid väga madala suhtelise niiskuse juures (≤ 5 %). Siseõhu suhtelist niiskust saab talvel tõsta temperatuuri alandamise ja õhu niisutamisega. Õhu niisutamisega tuleb olla väga ettevaatlik, kuna see suurendab umbse õhu ning halva lõhna tajumise riski (Reinikainen & Jaakkola 2003) ja niiskuskoormust hoone piirdetarinditele.

Vastavalt eluruumidele esitatavatele nõuetele (RT I 1999, 9, 38) peab õhuniiskus eluruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist

ning 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 eluruumidele esitatavate nõuete määruse (RT I 1999, 9) 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. Talvel siseõhu suhtelise niiskuse 40–60 % korral võib piisavalt soojustamata hoonepiirete korral oodata juba tõsiseid 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 (vt. Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Mikroorganismide kasvu seisukohalt kriitiline suhteline niiskus (+22 °C juures) erinevate puhaste materjalide suhtes (Johansson jt. 2005, 2011).

Materjal (puhas)	RH, %	Kasvuks vajalik aeg, nädalates
Männi maltspuit	<75	29…32 (niiskemas keskkonnas kiiremini)
Vineer	<75	25…26 (niiskemas keskkonnas kiiremini)
Puitlaastplaat	81…85	6…7
Õhuke puitkiudplaat („soome papp“)	86…90	11…12
Tuuletõkke kipsplaat	91…93	0,5
Vannitoa kipsplaat	91…93	2…3
Bituumenpaber	94…95	3…4
Vahtpolüstüreen	>95	>12
Klaasvill	>95	>12
Tsementkiudplaat	>95	>12
Betoon	≈90...95	

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

Kõrge niiskustase võib olla ohtlik, sest näiteks vanema mööblidetaili puitlaastplaatides kasutatud formaldehüüdliim 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 endise sisekliima standardi (EVS 839:2003) kohaselt oli ruumiõhu suhtelise niiskuse normväärtus talvel 25…45% ja suvel 30…70%. EVS–EN 15251 standard 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 õhu vahetusest ning välisõhust. Kuigi talvel on välisõhu suhteline niiskus kõrge, on 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 niiskuskoormus. Siseruumide niiskuskoormust näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeauru osarõhkude erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks $\Delta\nu$, g/m^3 (EVS–EN 13788):

$\Delta\nu = \nu_i - \nu_e$, g/m^3 (7.1)

kus:

ν_i siseõhu veeaurusisaldus, g/m^3;

ν_e välisõhu veeaurusisaldus, g/m^3;

Kui hoones on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhu niisutus, tihe asustatus jne.) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskuskoormus e. niiskuslisa suur.

Niiskuslisa on potentsiaaliks läbi välispiirde toimuvale veeauru difusioonile. Niiskuskoormusi 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 soovituse piiridesse: temperatuur +19 °C ja suhteline niiskus 25 % ning temperatuur +25 °C ja suhteline niiskus 45%. Nendes olukordades on niiskuskoormuse erinevus kolmekordne, vastavalt 3,0 g/m^3 ja 9,3 g/m^3. Või vaatleme +22 °C temperatuuri ja 30 % suhtelise niiskusega ruumi, kui välistemperatuur on -15 °C või 0 °C. Nendes olukordades on niiskuskoormuse erinevus kahekordne, vastavalt 4,8 g/m^3 ja 2,3 g/m^3. On selgelt näha, et suhteline niiskus ei näita ruumide niiskuskoormust, kuna see sõltub sisetemperatuurist ja välisõhu niiskusest.

7.1 Meetodid

7.1.1 Mõõtmised

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

Tabel 7.2 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteseadmete andmed.



Anduri paiknemine kapil, varjus otsese päikesekiirguse eest

Uuringus kasutatud andur Hobo U-12 011



Temperatuur

Mõõteala:
-20 °C…+70 °C
Mõõtetäpsus:
±0,35 °C ±0 °C…50 °C

Suhteline niiskus

Mõõteala:
5 %...95 %
Mõõtetäpsus:
±2,5 % 10 %...90 %

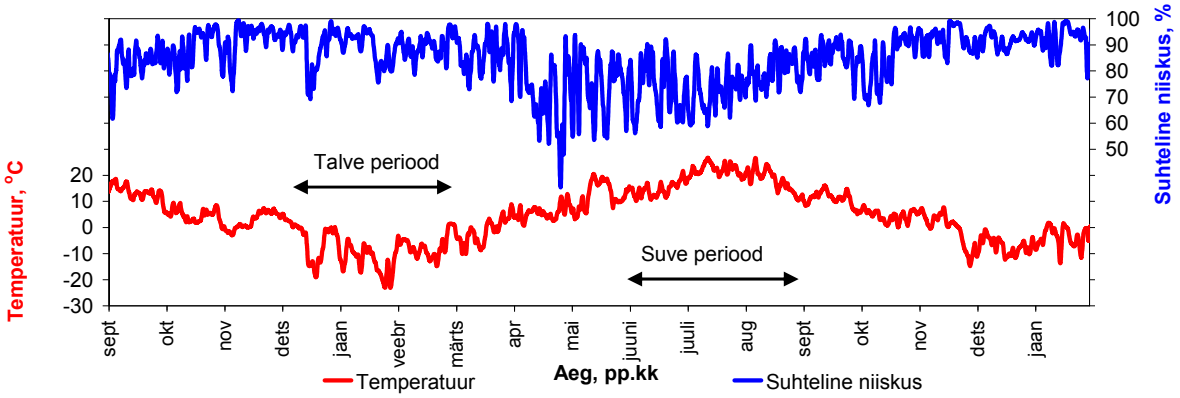
Temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõdeti peamiselt magamistoast (peamiselt kaheinimese magamistoast) 0,6…1,6 m kõrguselt. Andurid paigaldati siseseinale või mööbliesemele, eemale välisseinast ja otsesest soojuse allikast (radiaator, televiisor, valgustus jne). Sisekliima mõõtetulemused salvestati ühetunnise intervalliga perioodil 25.08.2009…01.03.2011.

7.1.2 Väliskliima

Väliskliima andmetena on kasutatud Eesti Meteoroloogia- ja Hüdroloogia Instituudi poolt mõõdetud andmeid Tallinnast, Tartust, Pärnust ja Viljandist. Keskmine välistemperatuur ja suhteline niiskus mõõteperioodi jooksul vt. Joonis 7.1. Mõõteperioodi kõige madalam temperatuur oli -30 ºC ja kõige kõrgem +34 ºC. Mõõteperioodi kuude keskmised temperatuurid vt. Tabel 7.3.

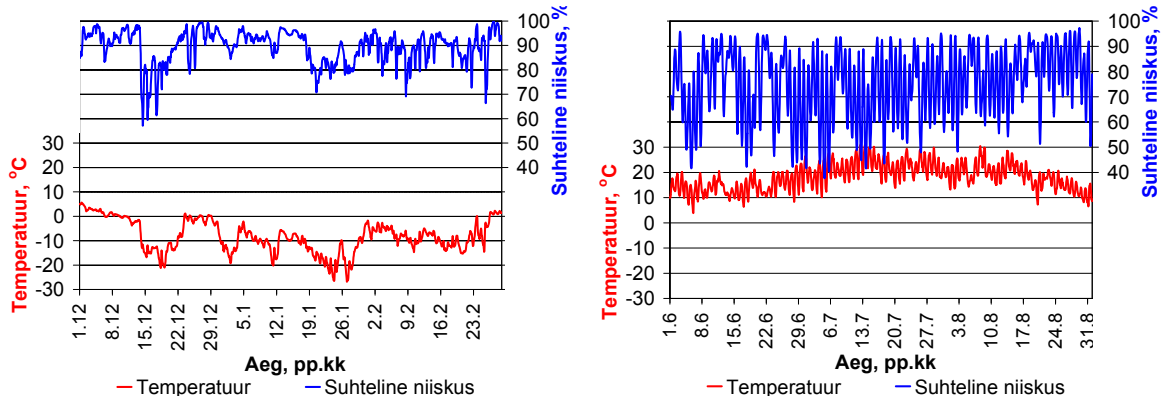
Tabel 7.3 Kuu keskmised temperatuurid (*t*, ºC) ja suhtelised niiskused (*RH*, %) perioodil september (IX) 2009 kuni november (XI) 2010.

	IX		X		XI		XII		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		IX	
	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	t	RH
Tallinn	13.6	81	5.0	85	2.8	91	-3.9	87	-11.0	89	-7.6	90	-1.7	87	4.9	76	11.0	76	13.8	74	21.5	73	17.6	80	11.6	85	4.5	83	0.4	92
Tartu	13.1	84	4.3	90	2.6	94	-4.8	91	-13.7	89	-7.5	89	-1.3	85	6.4	68	12.8	72	15.0	72	22.6	69	18.4	79	11.3	84	4.5	83	0.5	92
Pärnu	13.5	83	4.9	88	3.1	93	-3.8	90	-12.3	89	-7.3	89	-2.1	89	5.5	75	12.3	76	14.5	76	21.7	75	18.4	80	11.5	87	5.1	84	0.4	92
Viljandi	13.0	85	4.1	91	2.5	94	-4.8	92	-13.3	89	-7.9	89	-1.6	86	6.0	72	12.3	75	14.7	73	22.3	71	18.4	80	11.2	87	4.1	86	0.2	94



Joonis 7.1 Ööpäeva keskmine välistemperatuur ja suhteline niiskus perioodil 1.09.2009…1.02.2011.

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



Joonis 7.2 Välistemperatuur ja suhteline niiskus talvekuudel (vasakul) ja suvekuudel (paremal).

2009–2010 talve oli natuke külmem (eriti jaanuarikuu), kui paljuaastane keskmine. 2010. aasta suvekuud (eriti juulikuu) olid mõnevõrra soojemad, kui paljuaastate keskmine temperatuur, vt. Tabel 7.4. Eesti keskmine juulikuu õhutemperatuur oli +21,8 °C, viimase poolsajandi jooksul pole nii sooja juulikuud varem esinenud.

Tabel 7.4 Paljuaastase keskmise välistemperatuuri võrdlus suve- ja talvekuude temperatuuridega.

	Detsember 2009	Jaanuar 2010	Veebruar 2010	Juuni 2010	Juuli 2010	August 2010
Mõõteperiood	-0,2…-5,6°C	-6,9…-14,4°C	-9,2…-5,5°C	12,6…15,6°C	20,6…23,4°C	17,5…19,6°C
Paljuaastane keskmine	-4,6..+0,3°C	-2,4…-7,6°C	-3,3…-7,4°C	13,3…15,6°C	15,9…17,2°C	14,6…16,6°C

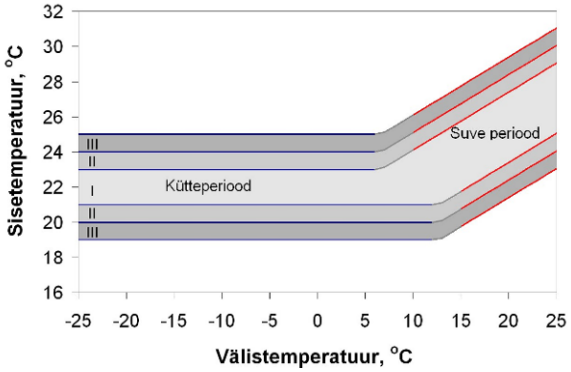
7.1.3 Siseõhu temperatuuri hindamiskriteeriumid

Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest või standarditest. Eluruumidele esitatavate nõuete (RT I 1999, 9) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast köetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla 18 ºC. Sisekliima projekteerimiskriteeriumi (CR 1752, 1998) kohaselt peab õhutemperatuur ruumis olema lähedane füsioloogiliselt optimaalsele ja looma inimesele hubase soojatunde ning tagama tervise ja teovõime.

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).

Sisekliima soojusliku mugavuse klass	Selgitus	Prognoositud soojusliku rahulolematuse protsent PPD, %	Soojusliku mugavus-tunde indeks PMV, -
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. 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



Joonis 7.3 Sisetemperatuuri kriteeriumid kolmes erinevas sisekliima klassis.

Kombineerides sisekliima projekteerimiskriteeriumi (CR 1752, 1998) ja hoonete energiatõhususe projekteerimise lähteparameetrite standardi (EVS-EN 15251, asendab endist sisekliima standardit EVS 839) piirsuurusi, võib hoonete, kus ei ole mehaanilist jahutust, on võimalik avada aknaid ja valida riietatust, erinevate sisekliimaklasside temperatuuride piirsuurused esitada Joonis 7.3 kujul.

7.1.4 Siseruumide niiskuskoormuse hindamiskriteeriumid

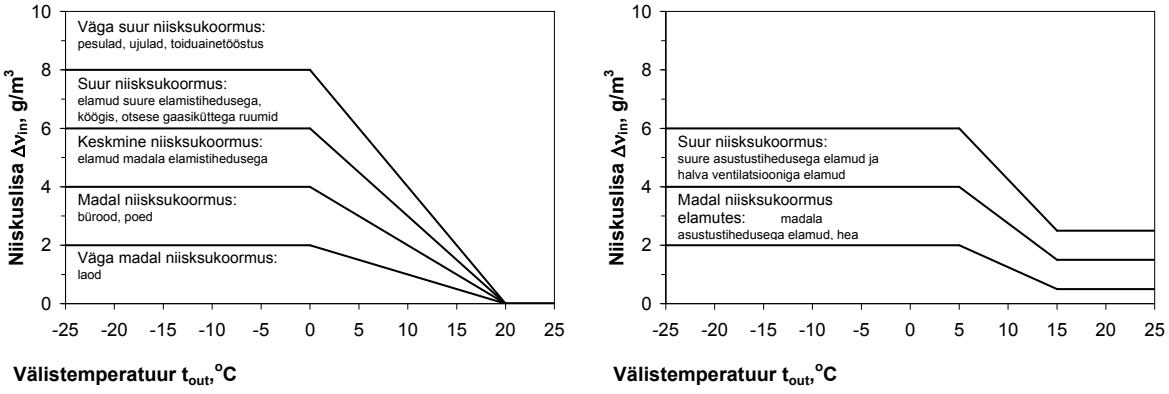
Hoonepiirete pika kasutusea üheks eeltingimuseks on nende probleemidata niiskustehniline toimivus. Sise- ja väliskliima tingimused on ühed olulisemad tegurid, mis mõjutavad hoonepiirete ja tarindite niiskustehnilist käitumist. Sisekliima ja niiskuskoormuse hindamise erinevuseks on, et kui sisekliima puhul kasutatakse peamiselt keskmisi suurusi, siis niiskuskoormusi hinnatakse teatud tõenäosusega esinevatena. Ehitusfüüsikaliste arvutuste tegemise jaoks on rahvusvaheliselt kokku lepitud 90 % tõenäosuse tase (Sanders 1996). See tähendab, et valitud koormuse normatiivsest suurusest on 90 % väiksema koormusega ja 10 % suurema koormusega.

Niiskuslisa analüüsis on igast korterist arvutatud igale välisõhu temperatuurile vastav nädala keskmise niiskuslisa maksimumsuurus. Seejärel on kõikide korterite maksimumsuurusest arvutatud 90% fraktiil. Nädal on valitud ajaperioodiks, kuna see iseloomustab hästi elamu kasutusprofiili (5 tööpäeva, 2 puhkepäeva). Ajaperioodi pikkus on oluline, kuna perioodi keskmise arvutamisel lõigatakse maksimaalsuurused maha. Kui ajaperiood on lühem (näiteks 1 päev või tund), siis maksimaalne niiskuslisa on suurem, ja kui ajaperiood on pikem (näiteks 1 kuu), siis maksimaalne niiskuslisa on väiksem. Niiskuse muutus tarindites ei ole sama kiire, kui temperatuuri muutus. Seetõttu on tunni ja päeva maksimaalsuuruste kasutamine põhjendamatu. Samas on kuu periood liiga pikk, kuna niiskuskahjustused võivad tekkida juba lühema perioodi jooksul.

Niiskuslisa on kasutatud eluruumide niiskuskoormuste hindamisel ka standardis EVS−EN ISO 13788 (vt. Joonis 7.4 vasakul) ja varasemates uuringutes: Kalamees 2006, Vinha jt. 2005 (vt. Joonis 7.4 paremal). Varem Eestis ja Soomes elamutes läbiviidud uuringud näitasid, et EVS−EN ISO 13788 standardi niiskuskoormuste jaotus ja graafikud ei sobi meie elamuid iseloomustama. Suurimate erinevustena võib välja tuua (vt. Joonis 7.4 vasaku ja parema joonise võrdlus):

- niiskuslisa ei ole 0 g/m^3 suveperioodil;
- niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist on erinev.

Niiskuskoormus 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 niiskuskoormuste hindamiseks kasutada järgmisi suurusi, Tabel 7.6



Joonis 7.4 Niiskuslisa tasemed EVS-EN ISO 13788 (vasakul) ja varem Eestis läbiviidud uuringute kohaselt (paremal).

Tabel 7.6 Niiskuskoormuste suurused.

	Suur niiskuskoormus (suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud)		Keskmine niiskuskoormus (suure asustustihedusega elamud, madala asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud)		Väike niiskuskoormus (madala asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon)	
	Talv t_e <+5 °C	Suvi t_e >+15..20 °C	Talv t_e <+5 °C	Suvi t_e >+15..20 °C	Talv t_e <+5 °C	Suvi t_e >+15..20 °C
Keskmine suurus, niiskuskoormuse hindamisel sisekliima mõõtmiste alusel	3 g/m^3	1,0 g/m^3	2,5 g/m^3	0,7 g/m^3	2 g/m^3	0,5 g/m^3
Projektsuurus niiskustehniliste arvutuste juures	6 g/m^3	2,5…2,0 g/m^3	5 g/m^3	2,0..1.5 g/m^3	4 g/m^3	1,5…1,0 g/m^3

Need niiskuslisa suurused esindavad elamuid, kus siseõhku ei niisutata ja nende niiskuskoormuse alusel saab teha eramu ja korterelamu välispiirete ehitusfüüsikalisi kontrollarvutusi. Kõnesolev uuring võimaldab täpsemalt analüüsida elamute niiskuskoormuste käitumist suure asustustiheduse ja väikese ventilatsiooni tingimustes.

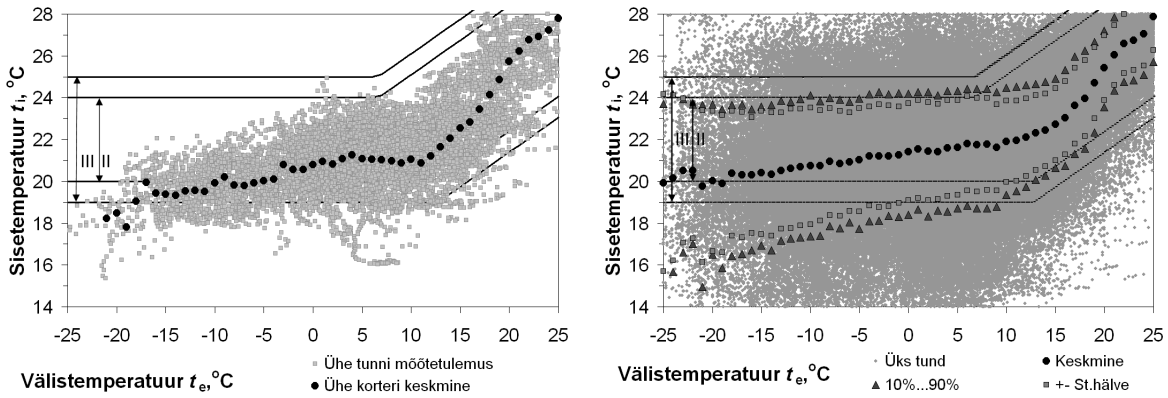
7.2 Tulemused

Korterite soojus- ja niiskuslik olukord mõõdeti 29 elamu 41 korteris ühetunnise intervalliga vähemalt üheaastase perioodi jooksul.

Kasutatavatest küttesüsteemidest oli enim levinud puukütte kasutamine ning paljudes korterites kasutati elekterkütet lisaküttena kas elektriradiaatorite või põrandkütte näol. Siseõhu mehaanilist jahutust polnud kasutusel üheski uuritud korteris. Peamiselt oli korterites ventilatsioon lahendatud telliskorstnates olevate väljaviigušahtide ja hoonepiirete õhulekete kaudu. Kohati olid köögid varustatud ka kubudega.

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.

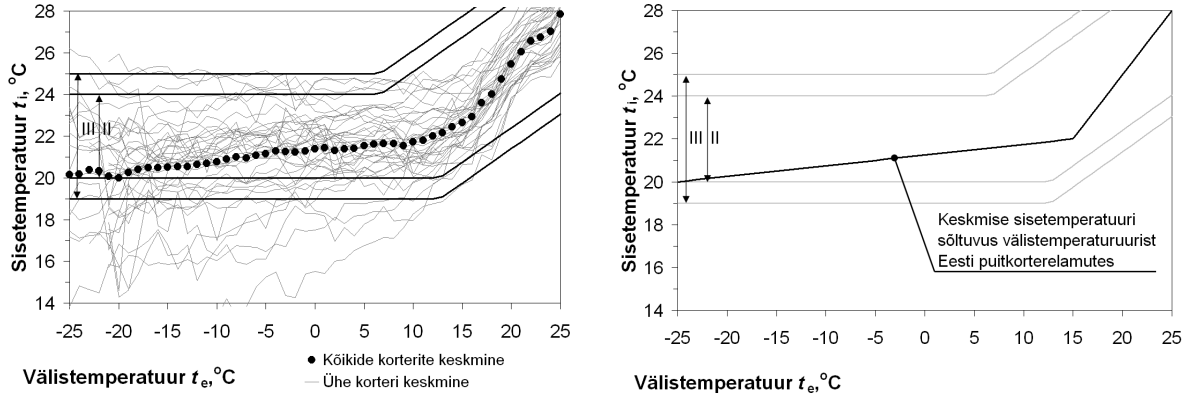


Joonis 7.5 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist puitkorterelamutes (paremal).

Kõikide korterite keskmise sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist vt. Joonis 7.6 vasakul. Sisetemperatuur on kütteperioodil välistemperatuurist sõltuvuses, see viitab peamiselt kütteseadmete puudulikule võimsusele, piirdetarindite suurele soojusjuhtivusele, aga ka elanike soovile külmal perioodil küttekulutusi sisetemperatuuri langetamisega alandada. 15 % korteritest oli keskmine sisetemperatuur kütteperioodil alla III sisekliima klassi piirsuurust (+19 °C) ja 8 % korteritest oli keskmine sisetemperatuur kütteperioodil alla eluruumidele esitatava sisetemperatuuri nõuet (+18 °C).

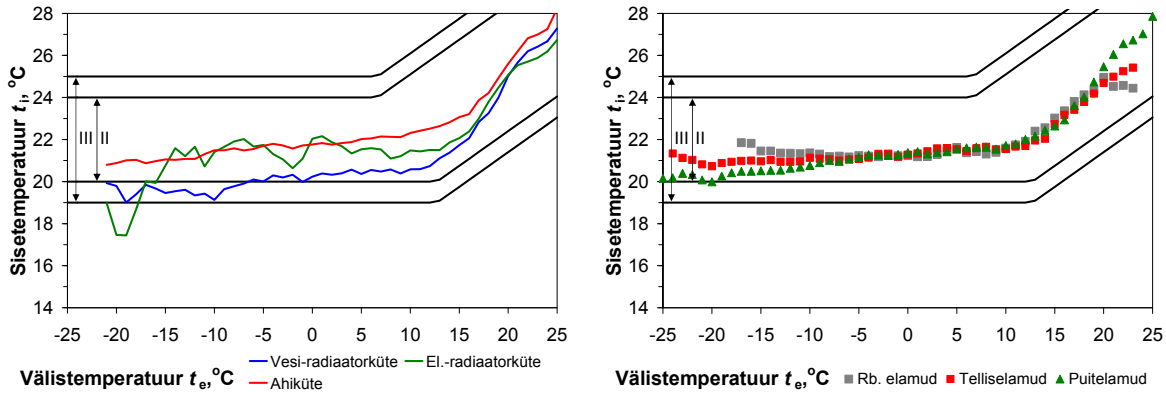
Sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vaheline sõltuvus võimaldab hästi määrata ka piiri, mille juures võib lugeda üldise kütteperioodi lõppenuks. Kütteperioodi ning sooja perioodi piiriks võib pidada ööpäeva keskmist sisetemperatuuri +15 °C. Ööpäeva keskmisel sisetemperatuuril ≥ +15 °C hakkab väliskliima oluliselt sisetemperatuuri mõjutama, samuti on siis sisetemperatuur 22 °C ja kütmine ei ole enam vajalik.

Keskmine sisetemperatuur kütteperioodil oli +21 °C, varieerudes +20 °C ja +22 °C vahel ning tõuseb kuni +28 °C, välistemperatuuril +25 °C, vt. Joonis 7.6 paremal. Seda graafikut võib kasutada piirdetarindite ehitusfüüsikalisel arvutusel sisekliima määramisel olukorras, kus sisekliimat ei määra ruumi mudel. Samuti saab seda kasutada keskmise sisetemperatuuri hindamisel.



Joonis 7.6 Keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist kõikides puitkorterelamutes (vasakul) ja mõõtetulemuste alusel sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelise sõltuvuse mudel (paremal).

Põhiküttena olid korterites peamised lahendused ahiküte (65 %), vesiradiaatorküte (23 %, gaasi katel, elamu katel, kaugküte) ja otsene elekterküte 8 %. Keskmisest madalam oli sisetemperatuur vesiradiaatorküttega korterites (vt. Joonis 7.7, vasakul).



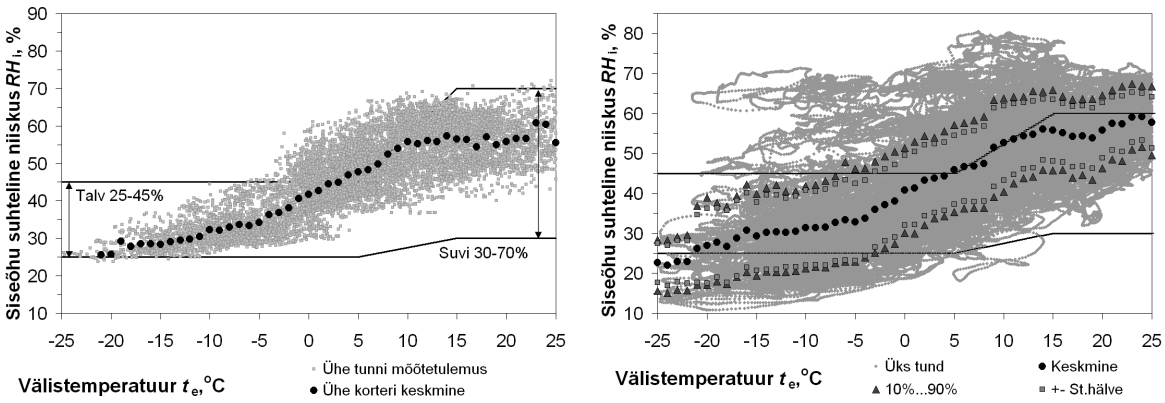
Joonis 7.7 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist erineva küttelahendusega puitkorterelamutes (vasakul) ja eri konstruktsioonitüübiga korterelamutes (paremal).

Keskmine sisetemperatuur eri tüüpi korterelamute vahel ei erine palju (vt. Joonis 7.7, paremal). Kütteperioodil oli puitkorterelamutes temperatuur kõige madalam, kuid see tuleb esile just külmemal perioodil (<-10 °C) ja erinevused olid alla 0,5 °C kraadi. Suvel

iseloomustab puitkorterelamuid võrreldes soojuslikult massiivsemate suurpaneel- ja telliskorterelamutega, kõrgem temperatuur, eriti ööpäeva keskmisel temperatuuril >+20 °C.

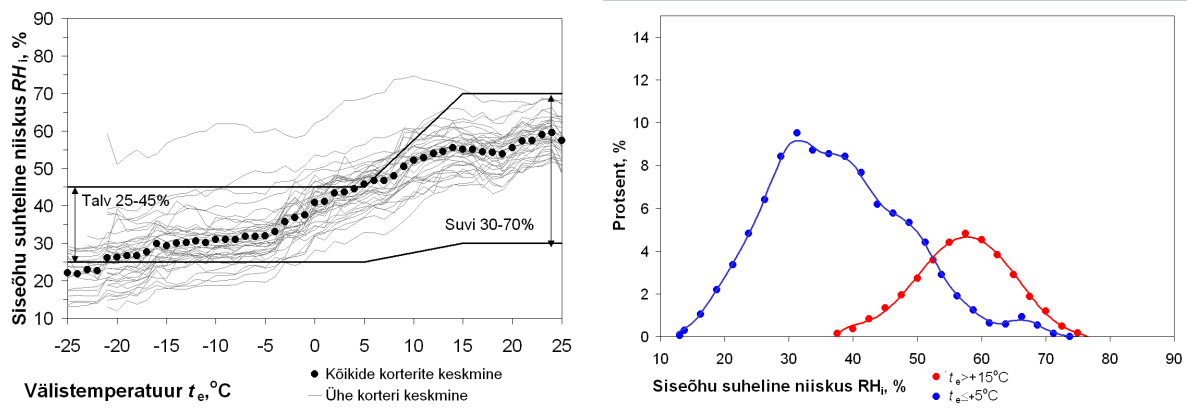
7.2.2 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist

Et anda ülevaadet korterite siseõhu suhtelisest niiskusest, jaotati iga korteri siseõhu suhtelise niiskuse mõõtetulemused välistemperatuuri järgi. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmise siseõhu suhteline niiskus, mis loeti esindama selle korteri keskmist suhtelist niiskust (vt. Joonis 7.8 vasakul). Kõikide mõõdetud korterite keskmise siseõhu suhtelise niiskuse ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 7.8 paremal. Samas on esitatud ka sisetemperatuuri keskmine tase ning sellest standardhälbe võrra erinev suurus ja ±10 % tase.



Joonis 7.8 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja kõikides korterites (paremal).

Kõikide korterite keskmise suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist on esitatud Joonis 7.9 vasakul. Iga helehall joon tähistab ühe korteri siseõhu suhtelise niiskuse keskväärtuse sõltuvust välisõhu temperatuurist. Kõikide korterite siseõhu suhtelise niiskuse jaotus välistemperatuuride ≤ +5 °C ja ≥ +15 °C korral on toodud Joonis 7.9 paremal.

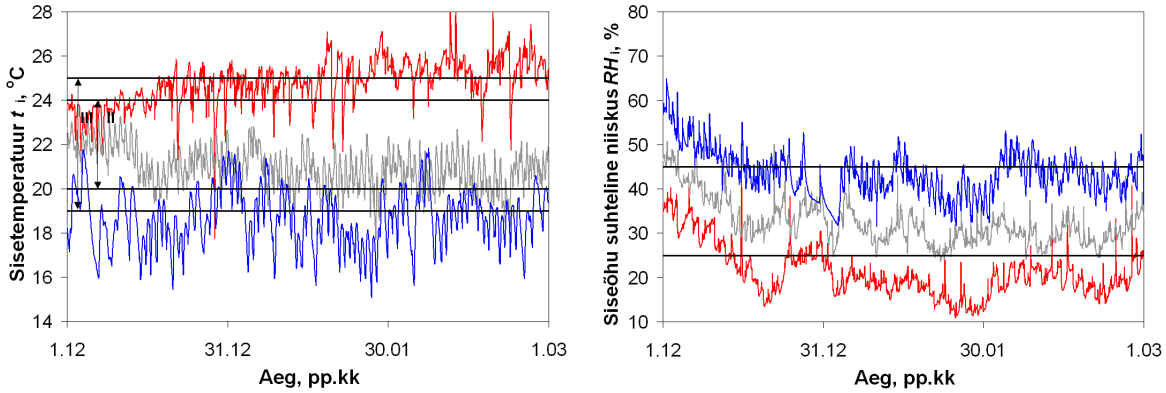


Joonis 7.9 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja kõikides korterites (paremal).

Kuigi keskmine suhteline niiskus puitkorterelamutes jääb sisekliima soovituslike piiride sisse (talvel 25…45 % ja suvel 30…70 %), on näha mõõtetulemuste suurt hajuvust mis viitab niiskustootluse, ventilatsiooni ja ruumitemperatuuri suurele varieeruvusele.

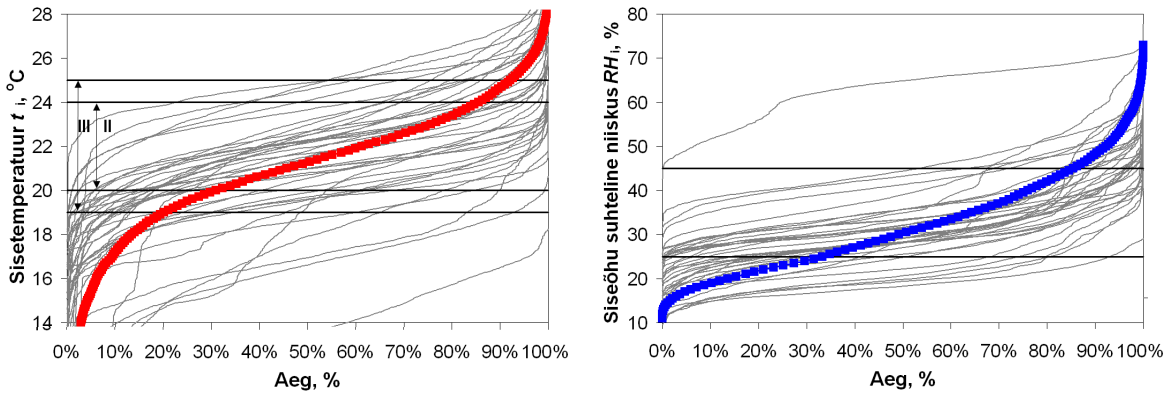
7.2.3 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel

2009.–2010. aasta talvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites vahemikus +5 ºC ja +31 ºC ja siseõhu suhteline niiskus oli vahemikus 9 % ja 78 %. Keskmine sisetemperatuur oli +21 ºC (st. hälve 3,1 °C) ja erinevate korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +13,3 ºC ja +24,8 ºC. Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 33 % (st. hälve 8 %) (korterite talveperioodi keskmise suhteline niiskus oli vahemikus 21 % ja 63 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 7.13.

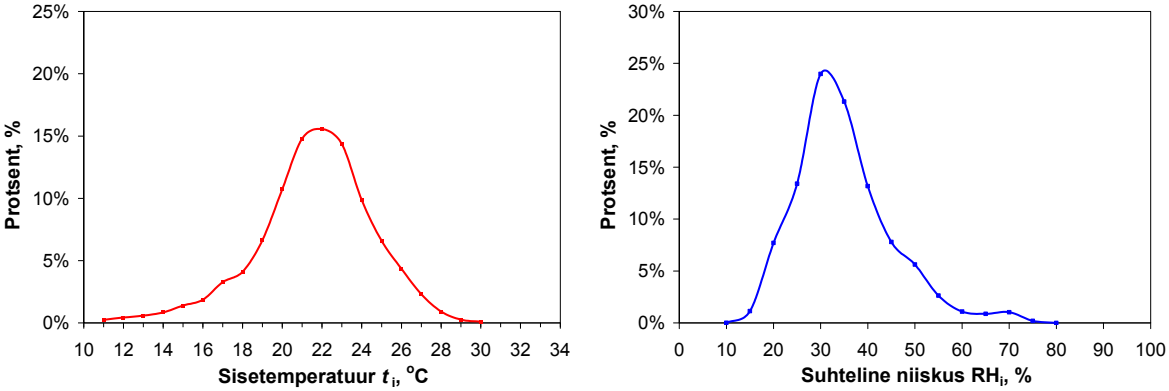


Joonis 7.10 Kolme puitkorterelamu korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) talvel.

Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus talveperioodil vt. Joonis 7.11 ja Joonis 7.12. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



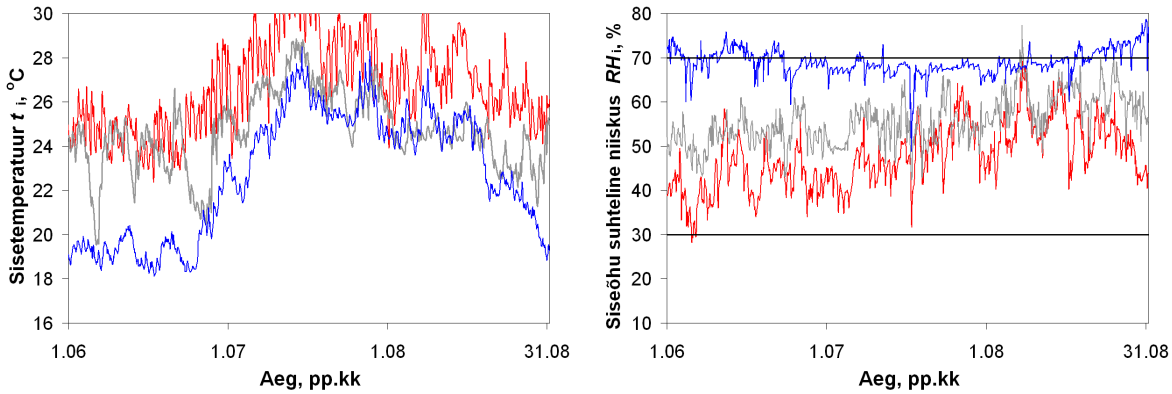
Joonis 7.11 Kõikide korterite sisetemperatuuri (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus talvel.



Joonis 7.12 Kõikide korterite sisetemperatuuri (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) protsentuaalne jaotus talvel.

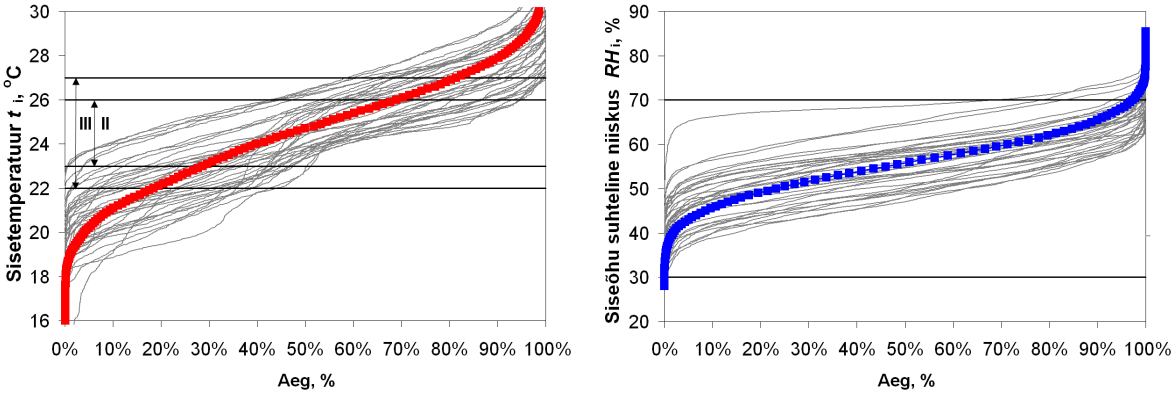
7.2.4 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel

2010. aasta suvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites vahemikus +15 °C ja +34 °C ja siseõhu suhteline niiskus oli vahemikus 28 % ja 56 %. Keskmine sisetemperatuur suvel oli +24,6 °C (st. hälve 2,6 °C) (korterite suveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus 22,7 °C ja +26,8 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 56 % (st. hälve 8 %) (korterite suveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 48 % ja 69 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 7.13.

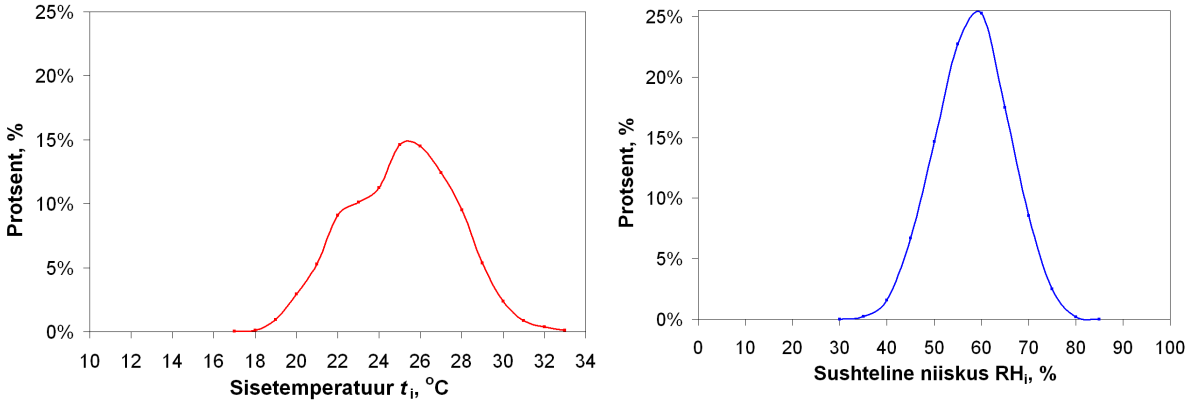


Joonis 7.13 Kolme puitelamu korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) suvel.

Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus vt. Joonis 7.14 ja Joonis 7.15. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



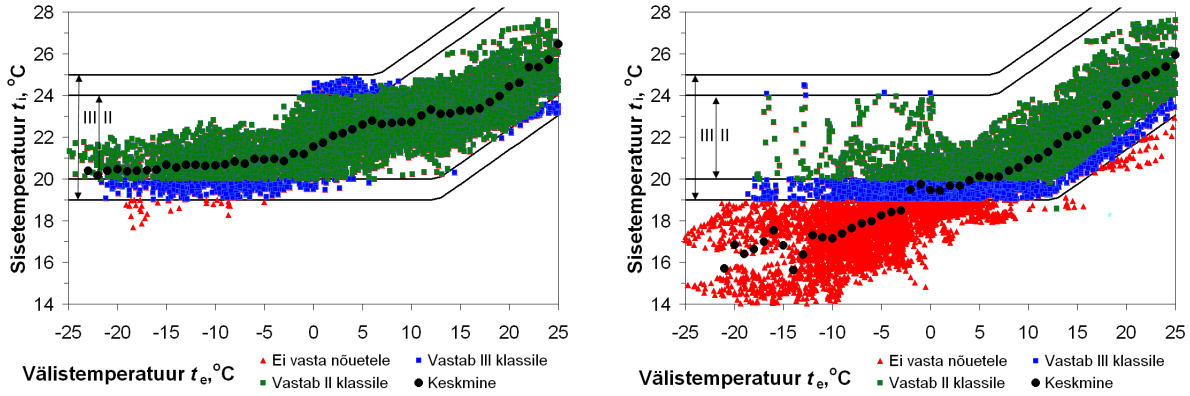
Joonis 7.14 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus suvel.



Joonis 7.15 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) protsentuaalne jaotus suvel.

7.3 Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele

Korterite soojuslikku olukorda on hinnatud vastavalt EVS-EN-15251 standardi keskmise (II) ja madalaima (III) sisekliima klassi piirsuurustega, vt. Joonis 7.3. Erinevates korterites oli vastavus standardi soovitustele erinev, vt. Joonis 7.16.



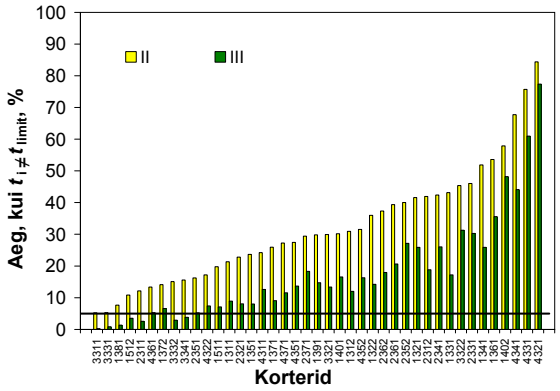
Joonis 7.16 Hea standardile vastavusega korteri (vasakul) ja halvema standardile vastavusega korteri (paremal) sisetemperatuuride võrdlus.

Standardi EVS-EN 15251 kohaselt on sisekliima vastavust standardi temperatuuri juhtarvudele võimalik hinnata mitut moodi:

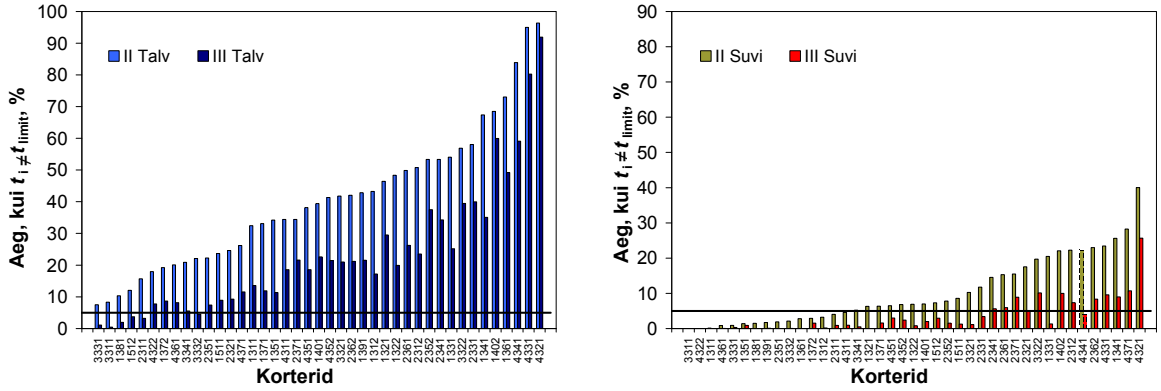
- I või A klass: protsent ajast, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve. EVS–EN 15251 soovitab temperatuuri ületavate tundide protsentuaalseks piiriks pidada 3 % või 5 %.;
- II või B klass: kaalutud tundide arv, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve;
- III või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

Kõnesolevas töös on korterite soojuslikku olukorda hinnatud kahe esimese meetodi alusel. Temperatuuride juhtarve ületava aja piirsuuruseks on kasutatud 5%.

83 % korterites (5 % piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele, vt. Joonis 7.17 (81 % korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 25 % korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil, vt. Joonis 7.18). Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati kõikides korterites (kõikides korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 63 % korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil).



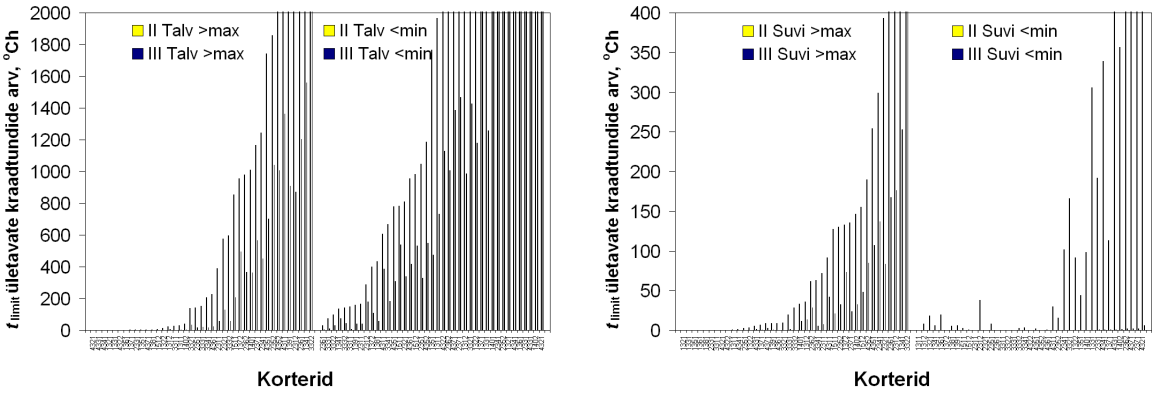
Joonis 7.17 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kogu aasta lõikes.



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

Sisetemperatuuride piirsuurustele mittevastavate kraadtundide arvu (vt. Joonis 7.19) analüüsides on näha, et puitkorterelamutes on probleem talviste liiga madalate temperatuuridega. Seal on piirtemperatuuridele mittevastavus kõige suurem. Erinevalt tellis- ja suurpaneelelamutest esines puitkorterelamutes rohkem suviseid kõrgeid sisetemperatuure. Viimane probleem tuli välja ka sisetemperatuuri ja välistemperatuuri sõltuvusest, vt. t. Joonis 7.7, paremal.

Kuna puitkorterelamud on enamasti korteriti individuaalne küttesüsteem, siis sõltub siseruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kõikumine mõnevõrra rohkem konkreetsete elanike argikäitumisest, kui kaugküttel korterelamute puhul.

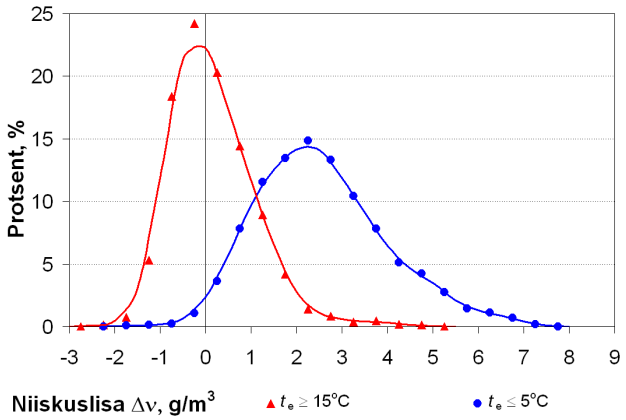


Joonis 7.19 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kütteperioodil (vasakul) ja suveperioodil (paremal).

7.4 Niiskuskoormused korterites

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste (või veeauru osarõhkude) erinevust, vt. , valem: 7.1.

Niiskuslisa võrdlus külmal perioodil ($t_e \leq +5°C$) ja soojal perioodil ($t_e > +15°C$) vt. Joonis 7.20. Niiskuslisa tulemuste võrdlus erinevate alajaotuste vahel vt. Tabel 7.7.



Joonis 7.20 Niiskuslisa jaotus külmal perioodil ($t_e \leq +5°C$) ja soojal perioodil ($t_e \geq +15°C$) perioodil.

Tabel 7.7 Niiskuslisa keskmise suuruse ja 90 % taseme võrdlus erinevate alajaotuste vahel.

	Nädala keskmine niiskuslisa Δv_{in}, g/m^3			
	Välistemperatuur $t_e \leq +5°C$		Välistemperatuur $t_e > +15°C$	
	90% tase	keskmine	90% tase	keskmine
Kõik korterid (39 tk.)	+6,1	+3,2	+2,3	+0,7
Niiskustootluse mõju				
Majutustihedus <25 m^2/in (14 krt.)	+5,6	+3,2	+2,3	+0,7
Majutustihedus >25 m^2/in (12 krt.)	+5,9	+2,9	+2,0	+0,7
Pesu ei kuivatata siseruumides (9 krt.)	+4,6	+2,5	+2,5	+0,8
Pesukuivatus siseruumides (17 krt.)	+6,0	+1,7	+1,7	+0,6
Õhuvahetuse mõju				
Akende vahetus ilma ventilatsiooni renoveerimata (18 tk.)	+6,2 *	+3,6 *	+2,4	+0,9
Vanade akendega korterid (18 tk.)	+5,4 *	+2,9 *	+2,2	+0,7
Õhulekkearv <9 m^3/(h·m^2) (10 krt.)	+5,2	+3,2	+2,5	+0,9
Õhulekkearv >9 m^3/(h·m^2) (14 krt.)	+5,2	+3,0	+1,8	+0,5
Niiskuskoormuse mõju				
Sisepindadele on tekkinud hallitust (7 krt.)	+6,2	+3,1	+2,5 *	+1,0 *
Sisepindadele ei ole tekkinud hallitust (18 krt.)	+5,5	+2,8	+1,4 *	+0,5 *

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

Tabelist on näha, et õhuvahetust ja niiskustootlust mõjutavad komponendid avaldavad otseselt mõju ka niiskuskoormusele.. Kahe komponendi kombineerumisel suureneb mõju veelgi. Vaatamata väikesele valimile olid olulised ja suunda andvad mõjud:

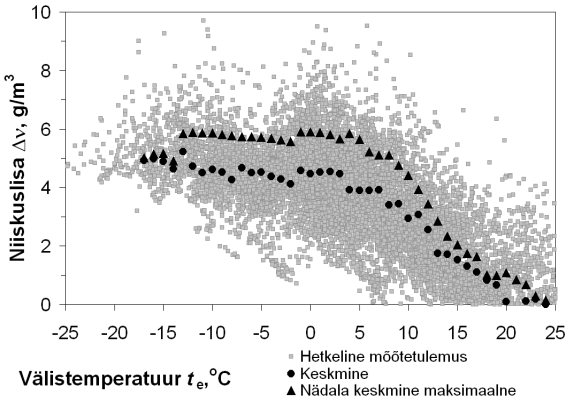
- suurem majutustihedus suurendab niiskuskoormust;
- pesukuivatus suurendab talvel niiskuskoormuse maksimumsuurusi;
- akende vahetamisel ilma ventilatsiooni renoveerimata suureneb niiskuskoormus (erinevus on külmal perioodil statistiliselt oluline);
- toataimede arv korteris suurendab niiskuskoormust (taimede kastmine);
- suurema niiskuskoormusega korterites esineb sisepindadel hallitust (erinevus on soojal perioodil statistiliselt oluline).

Paljudes elamutes kuivatati pesu siseruumides, Joonis 7.21. Kui toimiva ventilatsiooniga vannitubades võib pidada seda normaalseks, siis pesukuivatust siseruumides puuduliku ventilatsiooni tingimustes tuleb pidada lubamatuks, kuna see suurendab oluliselt niiskuskoormust. Puitkorterelamutes on tavaliselt olemas oma aed, kus saab edukalt pesu kuivatada. Talvel peab pesukuivatuseks vannitoas või duširuumis olema see varustatud toimiva mehaanilise ventilatsiooniga. Mõeldav on ka pesukuivati kasutamine. Pesukuivatust pööningul võib pidada niiskustehniliselt riskantseks. Kui pesu kuivatakse pööningul, peab pööning olema hästi tuulduv. Mõnedel elamutel, eriti seal, kus katusekatte vahetus on toimunud ilma pädeva ehitusprojektita, on kaotatud kõik varem olemas olnud pööninguaknad ja tuulutusluugid, mistõttu traditsiooniline loomulik õhuvahetus ei saa enam toimida.



Joonis 7.21 Pesukuivatust siseruumides puuduliku ventilatsiooni tingimustes tuleb pidada lubamatuks.

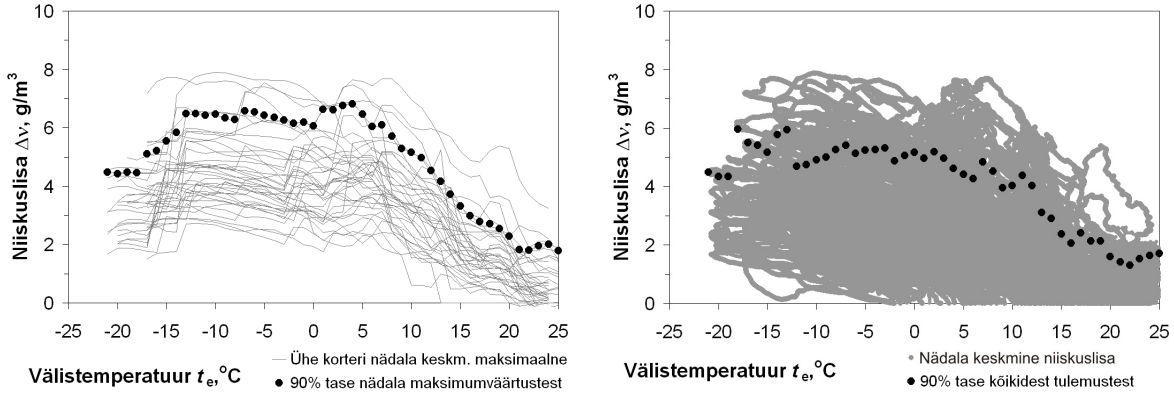
Niiskuskoormuse ja välistemperatuuri vahelise sõltuvuse uurimiseks jaotati iga korteri niiskuslisa mõõtetulemused vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati niiskuslisa keskmine ja maksimaalne suurus, mis loeti esindama selle korteri niiskuskoormusi (vt. Joonis 7.22).



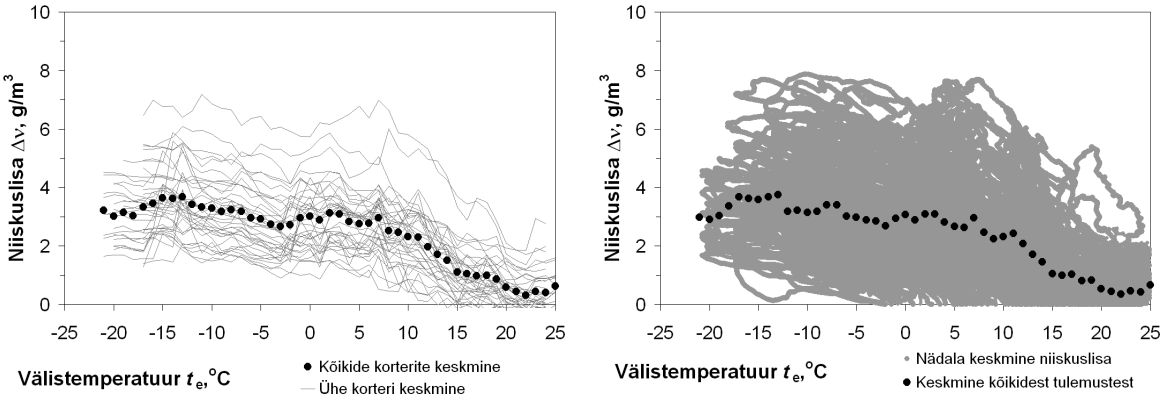
Joonis 7.22 Niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris.

Kõikide korterite keskmine niiskuslisa ja arvutussuurus on leitud kahe analüüsi tulemusena:

- iga korteri keskmisest ja nädala keskmise maksimaalsuurusest on leitud keskmine (Joonis 7.24 vasakul) ja arvutussuurus (90 % kriitilisuse tasemel) (Joonis 7.23 vasakul);
- kõikide korterite hetkelistest mõõtetulemustest on leitud keskmine (Joonis 7.24 paremal) ja arvutussuurus (90 % kriitilisuse tasemel) (Joonis 7.23 paremal).



Joonis 7.23 Uuritud puitkorterelamute. niiskuslisa arvutussuurus.



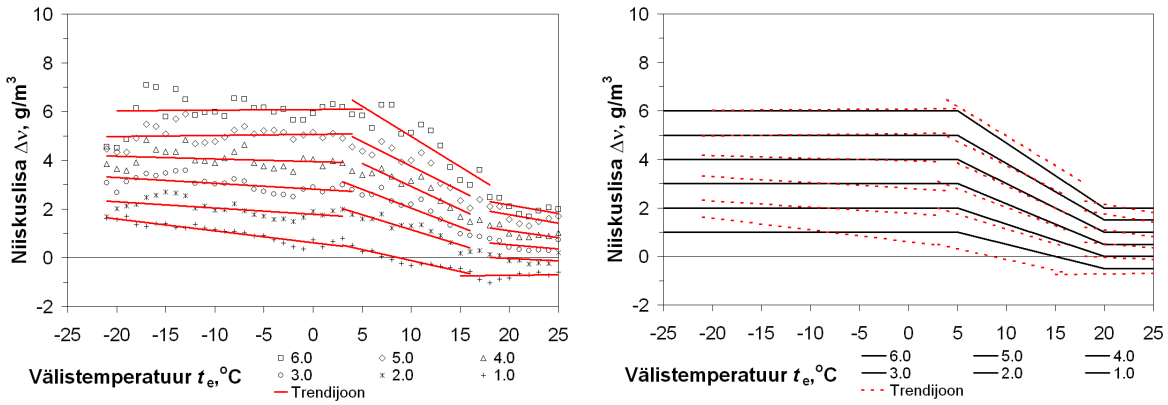
Joonis 7.24 Uuritud puitkorterelamute keskmine niiskuslisa.

Niiskuslisa arvutussuurus niiskustehnilisteks arvutusteks esindab niiskuslisa 90% kriitilisuse tasemel (Joonis 7.23). Sisekliimatingimuste hindamiseks ja eriti siis, kui ei tehta pikaajalisi mõõtmisi, tuleb kasutada niiskuslisa keskmisi suurusi (Joonis 7.24).

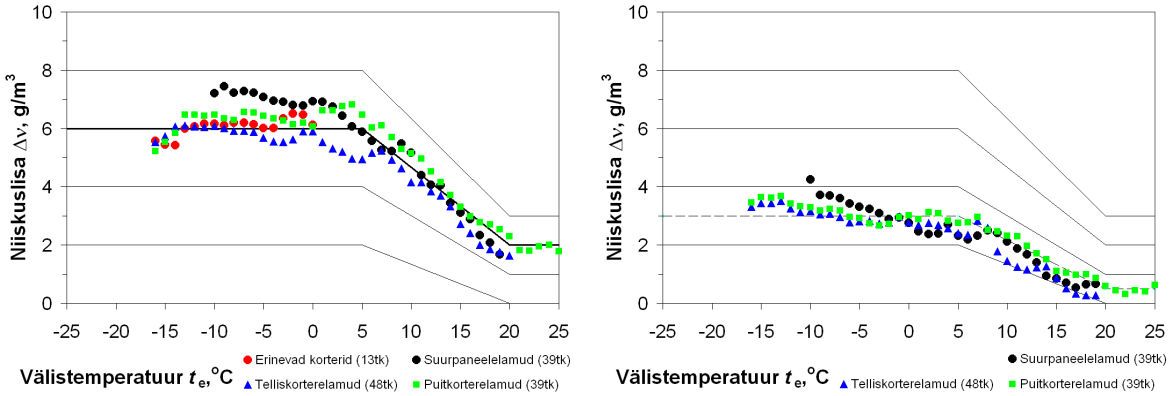
Tihti on vaja teha niiskustehnilisi arvutusi erinevate niiskuskoormuste korral. Et selgitada niiskuslisa käitumist erinevate niiskuskoormuste juures, arvutati niiskuslisa muutus aasta jooksul erinevate välistemperatuuride juures ja leiti trendijoon külmale perioodile ja soojale perioodile nii, et külma perioodi keskmine niiskuslisa oleks vastavalt 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 ja 6,0 g/m^3, Joonis 7.25. Trendijooni stiliseerides saab tulemuseks, et kui niiskuslisa muutub külmal perioodil 1 g/m^3, siis muutub see soojal perioodil 0,5 g/m^3.

Puitkorterelamutest on niiskuslisa arvutussuurus (90 % tasemel) külmal perioodil ($t_e \leq +5$ °C) +6 g/m^3. See on võrdne teiste vanemates korterelamutes (suurpaneelelamud ja telliselamud) tehtud mõõtetulemustega. Soojal perioodil oli niiskuslisa +2 g/m^3. Varasemate uuringutega võrreldes erinevad kõnesoleva uuringu tulemused sooja perioodi osas: niiskuslisa on mõnevõrra madalam ja sooja perioodi piiriks niiskuslisa määramisel võiks pidada ööpäeva keskmist välistemperatuuri +20 °C. Seetõttu on niiskuslisa arvutussuurust välistemperatuuri soojemas osas korrigeeritud.

Üldistades niiskuskoormusi vanemates korterelamutes, võib väita, et erinevused eri hoonetüüpide vahel ei ole suured. Korterelamute renoveerimisel võib niiskuslisa arvutussuuruseks (koormus 90 % tasemel) võtta külmal perioodil ($t_e \leq +5$ °C) +6 g/m^3 ja soojal perioodil ($t_e \geq +5$ °C) +2 g/m^3 (Joonis 7.26, vasakul). Vahepeal langeb niiskuslisa lineaarselt. Energiaauditite tegemisel sisekliimatingimuste hindamiseks ja eriti, kui ei tehta pikaajalisi mõõtmisi, tuleb kasutada niiskuslisa keskmisi suurusi, kus niiskuslisa on külmal perioodil arvutussuurusest poole väiksem: külmal perioodil ($t_e \leq +5$ °C) +3 g/m^3 ja soojal perioodil ($t_e \geq +5$ °C) +0,5 g/m^3 (Joonis 7.26, paremal). Suure niiskuskoormuse peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus (suur asustustihedus, pesu kuivatamine siseruumides jne).



Joonis 7.25 Niiskuslisa suurused erinevate niiskuskoormuste korral.



Joonis 7.26 Niiskuslisa arvutusssuuruse (90 % kriitilisuse tasemel) (vasakul) ja keskmise suuruse (paremal) võrdlus varasemate uuringutega Eestis.

8 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet

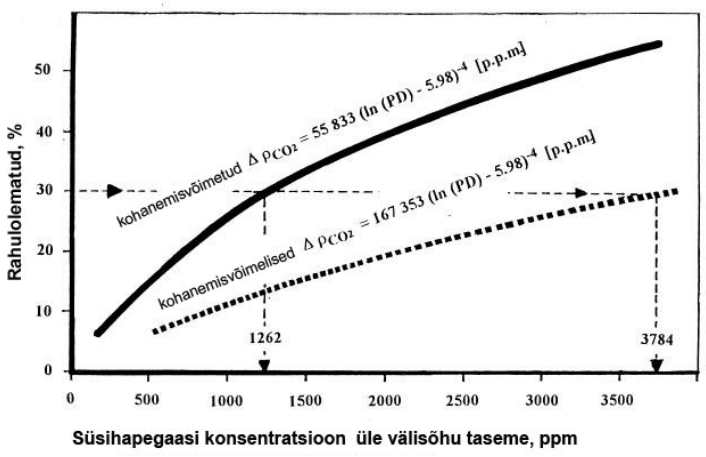
Kuna inimesed veedavad kuni 90% (Lech jt 1996) elust siseruumides, tuleb sisekliima tagamisele pöörata kõrgendatud tähelepanu. Arvutused on näidanud, et halva sisekliima poolt põhjustatud kulutused on suuremad kui kütte- ja ventilatsioonisüsteemide käigushoidmiseks kuluva energia maksumus (Seppänen 1999). 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 puitkorterelamutes kasutatakse ventilatsiooni. Ventilatsioon on seadmete ja meetmete kogum selleks, et õhuvahetuse 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 CO_2, 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 radoonisisaldust ja gammakiirgust. Ruumides, kus saasteallikaks on inimesed, iseloomustab just CO_2 sisaldus õhu kvaliteeti, kuna teiste inimtegevusega seotud kahjulike ainete toodang on süsihappegaasiga proportsionaalne. Siseõhu üldtunnistatud CO_2 piirnorm on 1000 ppm. Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardi (EVS-EN 15251) kohaselt 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 peetud maksimaalseks aktsepteeritavaks rahulolematute protsendiks 30 % (Jokl 1998).

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

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, nagu puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. Ootus parimale sisekliimale.
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 CO_2 kontsentratsiooni järgi üle välisõhu taseme (Jokl 1998).

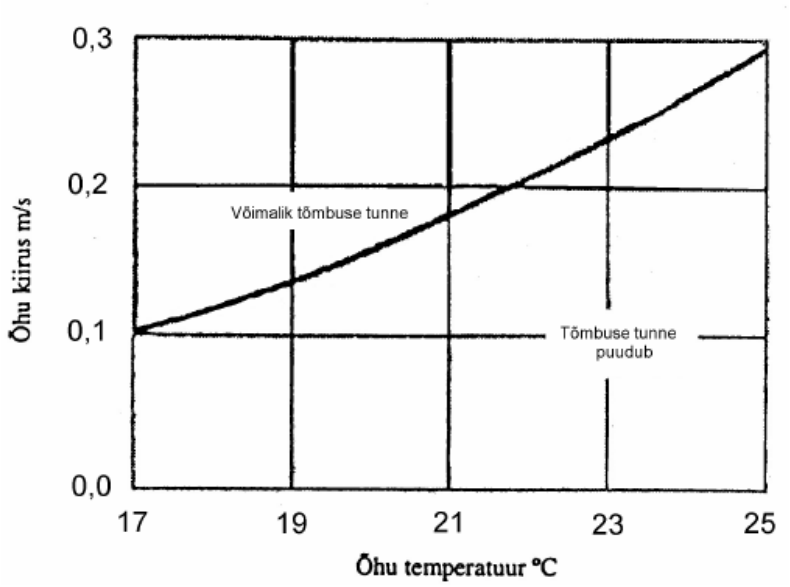
Korterites, kus on tavapärasest suuremad niiskuseraldused (suur elanike tihedus, pesu kuivatamine, toidu valmistamine, toataimed, pesemine) ja minimaalsed CO_2 eraldused, ei pruugi CO_2 taseme piirnormidesse jäämine tähendada veel niiskuse eemaldamiseks piisava ventilatsiooni olemasolu. Samas põhjustab 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 (madalaim) 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. Õhu liikumisekiirusest põhjustatud elanike rahulolematuse taset hindab ka ISO EN 7730:1994 standard (vt. valem 8.1).

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

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.

Õhuvahetus on elamute sisekliima seisukohast ülimalt oluline, kuid õhuvooluhulkade valikul tuleb leida kesktee 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 õhuleke 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

CO_2 kontsentratsiooni mõõtmiseks kasutati HOBO andmeid salvestavaid logereid (Onset Computer Corporation) ja TelAire 7001 CO_2 andureid. Mõõteseadmete täpsus ja mõõtepiirkonnad vt Tabel 8.2. Süsihappegaasi sisaldus ruumiõhus salvestati iga 10 minuti järel. 10-minutiline salvestusintervall määrab CO_2 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. 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.

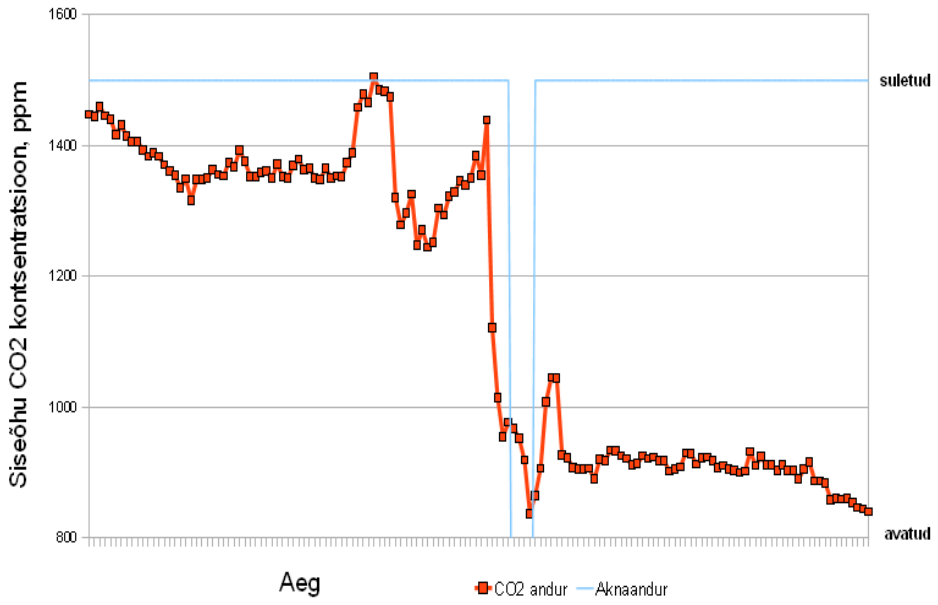
Mõõtmised toimusid ajavahemikul 25.08.2009 kuni 24.03.2011. Ühe korteri mõõteperioodi pikkuseks oli 1–4 nädalat. Suvel toimusid siseõhu CO_2 mõõtmised 20 korteris ja talvel 29 korteris. Suurem osa mõõtmistest tehti talveperioodil, kuna vastavalt hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardile (EVS-EN 15251) tuleb CO_2 kontsentratsiooni mõõtmised eelistatavalt teha talvel. Selle peamiseks põhjuseks on tuuletõmbuse ohust põhjustatud aknatuulutuse ning värske õhu klappide piiratud talvine kasutamine. Ühes elamus mõõdeti süsihappegaasi kontsentratsiooni 1–3 korteris.

Tabel 8.2 CO_2 taseme ja väljatõmbe õhuvooluhulga mõõtmisel kasutatud seadmed

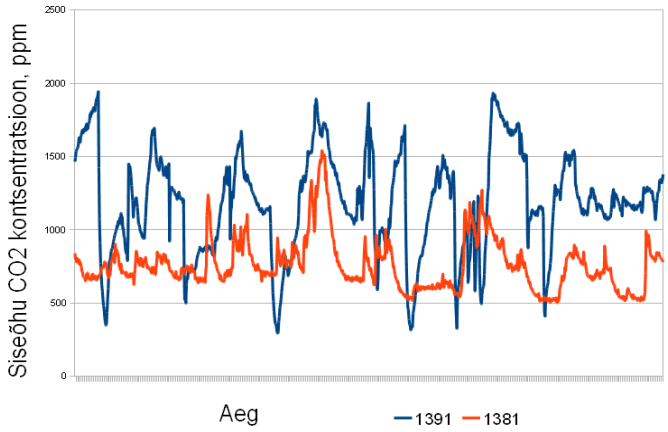
	HOBO U12-006	TelAire 7001
		
Mõõte-piirkond	0–2,5 V DC (0–4000 ppm)	CO_2 tase 0 – 10000 ppm
Mõõte-täpsus	±2 mV või ±2,5% skaala väärtusest	±5% lugemist või 50 ppm (0–5000 ppm)

Süsihappegaasi mõõtmised toimusid magamistubades, kus viibis öösel 1–5 inimest, sealjuures 83% juhtudest magas toas 1–2 inimest. CO_2 kontsentratsiooni mõõtmised tuleb teha siseõhu täieliku segunemise tingimustes, seega paigaldati seadmed võimalikult toa keskele 1−1,5 m kõrgusele põranda pinnast.

Siseõhu kvaliteet võib puitmajades päeva jooksul väga palju varieeruda, (vt. Joonis 8.8.3). Siseõhu CO_2 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 8.8.3 Näide CO_2 kontsentratsiooni muutustest ühe ööpäeva jooksul. Tuulutusperioodi ilmestab CO_2 taseme järsk langus. Lisaks on joonisel välja toodud aknaanduri näit akna avatuse kohta.



Joonis 8.8.4 Näide CO_2 kontsentratsiooni muutuste erinevustest korterites 1381 ja 1391 nädalapikkuse perioodi vältel.

8.1.2 Siseõhu CO_2 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 liikumiskiirus eluruumis, eluruumi maht ühe inimese kohta, keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisalduse piirkontsentratsioon siseõhus olema tagatud vastavalt Eestis kasutatavatele normidele. Eestis hetkel kehtivatest riiklikest ja rahvusvahelistest standarditest ning tehnilistest aruannetest käsitlevad siseõhu CO_2 sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752). EVS-EN 15251 poolt määratud CO_2 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 CO_2 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

Korterelamute sisekliima analüüsimisel ei ole Tabel 8.3 väärtuste kasutamine otstarbekas, kuna enamasti on tegu loomuliku ventilatsiooniga ning ei toimu nõudluspõhist reguleerimist. Samuti tekib EVS-EN 15251 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 CO_2 sisalduse piirnormid. Need normid vastavad ühtlasi ka sisekliima projekteerimiskriteeriumis toodud väärtustele (vt Tabel 8.4). Siit lähtuvalt kasutatakse kõnesolevas uuringus siseõhu CO_2 sisalduse hindamiseks projekteerimiskriteeriumis CR 1752 toodud piirnorme, sealjuures on välisõhu CO_2 sisalduseks võetud 350 ppm. Uutes ja olemasolevates eluhoonetes on oluline soojusliku mugavuse klassi B (II) ja C (III) tasemete jälgimine, A (I) klassi piirnormid on mõeldud eelkõige kõrge sisekliima kvaliteedi tagamiseks, mida ei ole loomulikku ventilatsiooni kasutavates hoonetes võimalik saavutada. Rahulolematute määrale vastavaid CO_2 kontsentratsioone on võimalik kasutada ka soojusliku mugavuse klasside piirnormide 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 CO_2 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) lubab lühiajalisi kõrvalekaldeid sisekliima parameetrite täitmisel. Soojusliku mugavuse klassidega määratud piirsuurusi on lubatud ületada 3 % või 5 % hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas. Sealjuures tuleb tähele panna, et isegi kui pikemajalise perioodi jooksul parameetreid üle lubatud kõrvalekalde kasutusajast ei ületata, tuleb neid täita ka päeva ning nädala jooksul.

8.1.3 Ainevahetusliku CO_2 meetod

Energiatõhususe lähteparameetrite määramise standardi (EVS-EN 15251) kohaselt saab hoonetes, kus peamiseks saasteallikaks on inimesed, ventilatsiooni õhuvooluhulgad (inimese või ühe m^2 kohta) tuletada, kasutades CO_2 kontsentratsiooni mõõtmisi. Sellest lähtuvalt on uuringus õhuvahetust korterites hinnatud mõõdetud CO_2 kontsentratsioonide muutumise järgi magamistubades. Ruumi õhuvahetuse määramiseks on kasutatud ainevahetusliku CO_2 meetodi arvutusvalemit (vt. valem 8.2):

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

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 CO_2 taset sise- ja välisõhus, saab valemi 8.2 lahendamisel avaldada õhuvooluhulga ruumis. Välisõhu CO_2 eraldus on võetud 350 ppm. Inimeste CO_2 toodangu saab leida, summeerides ruumis olevate inimeste CO_2 eraldused. Korrektse õhuvahetuse avaldamiseks on vaja piisava täpsusega teada kõigi ruumis viibijate CO_2 eraldusi.

Meetodi puuduseks on asjaolu, et magamistoa ukse lahtiolekul arvestatakse ka korteris toimuva siseõhu ringluse ja vastava CO_2 kontsentratsioonide hajumisega. Samuti mõjutab CO_2 sisaldust toaõhus aknapiirkondades toimuv infiltratsioon ja eksfiltratsioon ning tuulerõhust tingitud korterisisene õhu liikumine. Nende mõjutegurite tulemusena võib ainevahetusliku CO_2 meetod näidata tegelikust suuremaid õhuvooluhulkasid.

8.1.3.1 Inimese CO_2 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_{CO2}	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 O_2 ja väljahingatava CO_2 suhe on kõnesolevas 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 Handbook 1993). Sellisel juhul saadakse CO_2 tulemused ligemale 3 % täpsusega, mis on antud kontekstis täiesti piisav. Kasutades valemi 8.1 ja Tabel 8.5 puhkeaja ainevahetuslikke soojuseraldusi, võib leida CO_2 eraldused erineva kehakaalu ja pikkusega inimestele. Näiteks 1,73 m pikkuse ja 70 kg kaaluva mehe CO_2 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 (*1 met = 58 W/m^2).

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

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 CO_2 eraldused muutuvad väga suurtes piirides, saab süsihappegaasi eralduse kõige täpsemini määrata ööperioodil (Guo & Lewis2007). Kõnesolevas uuringus vaadeldakse süsihappegaasi kontsentratsioonide muutusi magamisperioodi vältel. Ühest küljest on selle põhjuseks eelnevates uuringutes soovitatud metoodika, teisalt aga inimeste kohalolekuprofiilide ja ruumiõhu CO_2 eralduste öine konstantsus.

Tabel 8.6 Ainevahetusliku CO_2 eraldused erinevates uuringutes (*ööperioodil).

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	Korterelamud	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	Eramud	15* meestööline; 13,5* naine	13,5* keskkooli naisõpilane; 15,3* meesõpilane

Kuna inimese soojuseraldused muutuvad vastavalt ainevahetusliku aktiivsuse määrale, on otstarbekas kasutada uuringus käsitletava perioodi keskmisi CO_2 eraldusi. Mainitud juhul on ööperioodi keskmiseks CO_2 eralduseks võetud täiskasvanute puhul 13 l/h ja kuni 14–aastastel lastel 6,5 l/h. Võrreldes neid suurusi varasemates uuringutes kasutatud CO_2 eraldustega, vajab mainimist, et täiskasvanute puhul langevad kasutatud arvud eelnevate uuringutega kokku. Suurem on erinevus laste puhul, kelle CO_2 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 CO_2 eraldused on analüütiliselt arvutatud tulemustega ligilähedased. Täpsemate andmete saamiseks on vaja sisse- ja väljahingatava õhu keemilist koostist analüüsida, kuid taoline lähenemine sobib laboritingimuste jaoks ega ole reaalses olukorras teostatav.

8.1.3.2 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:

$$n = \frac{3{,}6 \cdot L_{inf}}{V} \tag{8.4}$$

kus

n õhuvahetuse kordsus h^{-1};
L õhuvooluhulk ruumis, l/s;
V ruumi maht, m^3.

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) annab eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulgad sisekliima klassi järgi (vt. Tabel 8.7). Ventilatsiooni projekteerimisnorm EVS 845-1 soovitab magamistoa õhuvooluhulgaks võtta 0,7 /($s \cdot m^2$) või 6 l/s inimese kohta. Rootsis korterelamutes 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).

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

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

8.1.5 Köögi ja sanitaarruumide õhuvahetuse hindamiskriteeriumid

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

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

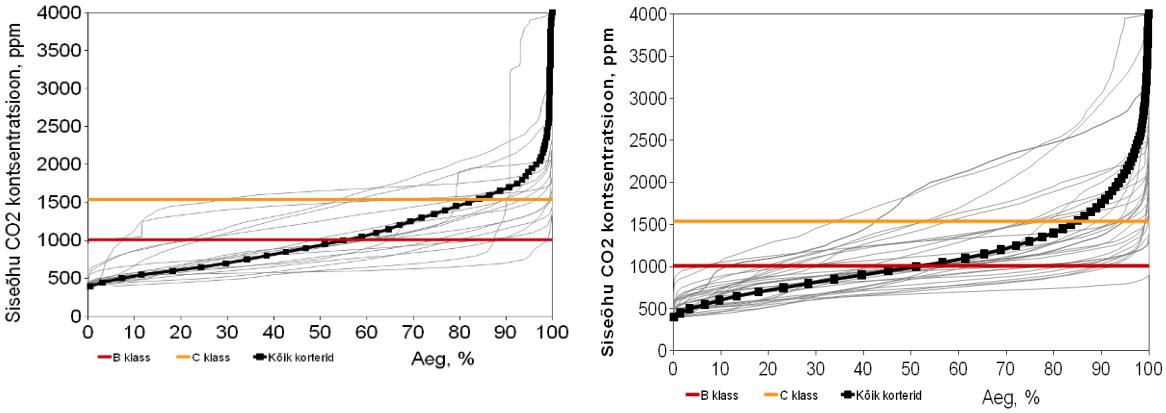
Sisekliima klass	Väljatõmbeõhu vooluhulk, l/s					
	Köök		Vannituba		Tualettruum	
	EVS-EN 15251	EVS 845-1	EVS-EN 15251	EVS 845-1	EVS-EN 15251	EVS 845-1
I	28	8*	20	10*	14	7*
II	20	20	15	15	10	10
III	14		10		7	

*– väljaspool kasutusaega

8.2 Tulemused

8.2.1 Siseõhu CO_2 sisalduse mõõtmised korterites

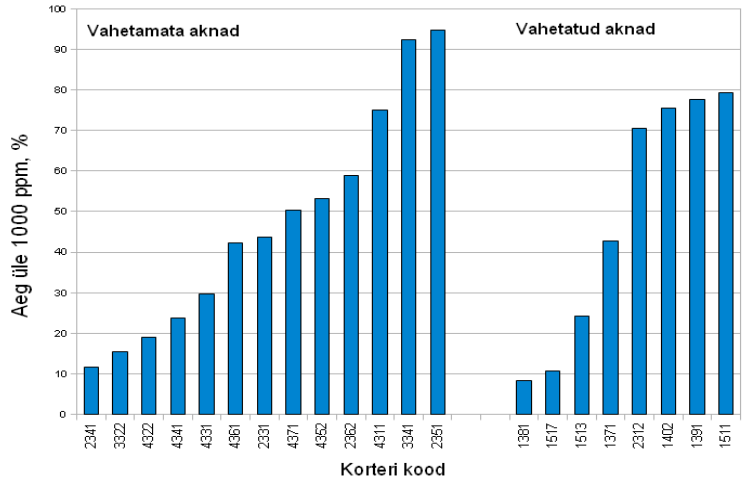
Suveperioodil korterite magamistubades mõõdetud CO_2 kontsentratsioonid jäid vahemikku 324–3965 ppm ja mõõtmistulemuste standardhälve oli 380 ppm. Korterites suveperioodil mõõdetud keskmised CO_2 kontsentratsioonid jäid vahemikku 614–1565 ppm ja nende keskmine oli 1062 ppm. Sisekliima projekteerimiskriteeriumi (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 56 % ja III normile 84 % mõõteperioodi ajast (vt Joonis 8.5 vasakul). Pidades silmas ka seda, et energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) lubab soojusliku mugavuse klassidesse liigitusel piirsuuruste 5% ületamist, vastab suveperioodil nii II ja III tasemele vastavalt 1 (5,9 %) ja 2 (11,8 %) korterit 17 uuritud korterist.



Joonis 8.5 Suveperioodi CO_2 mõõtetulemuste kumulatiivne jaotus (vasakul). Talveperioodi CO_2 mõõtetulemuste kumulatiivne jaotus (paremal).

Talveperioodi mõõtetulemused jäid vahemikku 324–3999 ppm ja standardhälve oli 345 ppm. Korterites suveperioodil mõõdetud keskmised CO_2 kontsentratsioonid jäid vahemikku 537-1799 ppm ja nende keskmine oli 1070 ppm. Kahes korteris ületas CO_2 tase lühiajaliselt logeri mõõtepiirkonna ülempiiri. Uuritud korterites vastas siseõhu CO_2 sisaldus II normile 43% ja III normile 74% mõõteperioodi ajast (vt Joonis 8.5 paremal). Arvestades sellega, et energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS–EN 15251) lubab soojusliku mugavuse klassidesse liigitusel piirsuuruste 5 % ületamist, vastab talve II ja III klassile vastavalt 1 (3,6 %) ja 3 (10,7 %) korterit 28 uuritud korterist.

Olulist vahet CO_2 kontsentratsioonide tasemete vahel suvel ning talvel ei esinenud.



Joonis 8.6 Vahetamata ja vahetatud akendega magamistubade CO_2 kontsentratsioonid üle 1000 ppm.

Et hinnata akende vahetuse mõju ruumiõhu kvaliteedile, on eraldi vaadeldud vahetatud ja vahetamata akendega korterite siseõhu CO_2 sisaldust (vt Tabel 8.7). Vahetamata akende puhul vastas CO_2 kontsentratsioon soojusliku mugavuse II klassi piirnormile 29% ja vahetatud akendega korterites 28% mõõteperioodi ajast. III klassi piirnormile vastas CO_2 kontsentratsioon vastavalt vahetamata akendega korterites 66% ja uute akendega korterites 44%. 5% lubatud piirnormi ületusega vastab vahetamata akendega korteritest soojusliku mugavuse II ja III klassi tasemele vastavalt 1 (7,1%) ja 2 (14,3%) vaadeldud 14 korteriterist. Vahetatud akendega korteritest ei vastanud ühtegi II klassi tasemele ja III klassi tasemele vastas 1 korter (12,5%) vaadeldud 8 korterist. Olgugi et uuritud erinevate akende tüüpidega korterite sisekliima kvaliteedis oli erinevusi, on mõõtetulemuste hajuvus suur. Seega ei saa mõõtetulemuste põhjal väita, et akende vahetamisel on puitkortermajades oluline mõju sisekliima kvaliteedile.

8.2.2 Magamistubade õhuvahetus

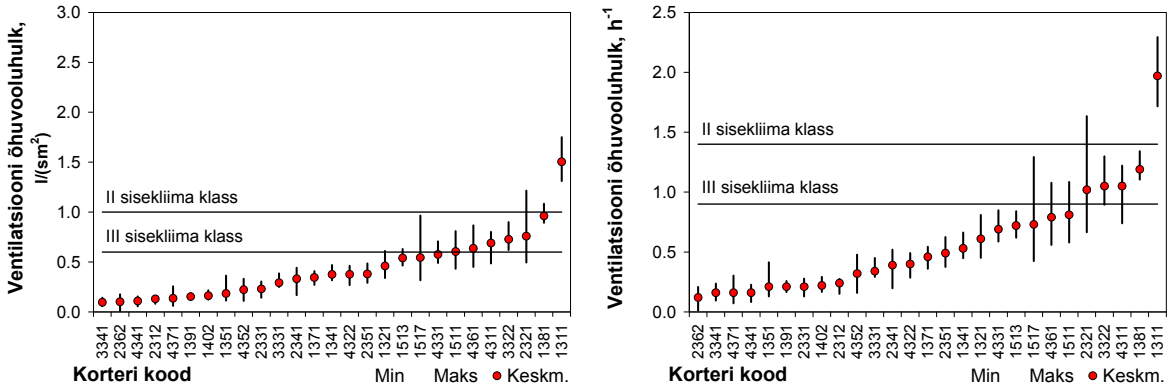
Kasutades valemit 8.2, on leitud iga korteri vaadeldava magamistoa jaoks õhuvooluhulk ööperioodil. Kuna loomuliku ventilatsiooni tingimustes võib õhuvooluhulk eelkõige seoses tuule ja välistemperatuuri mõjudega muutuda, leitakse see valitud perioodi keskmise väärtusena. Lisaks arvutatakse valemi 8.4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

Olgu mainitud, et tõepäraste tulemuste saamiseks tuleb võimalikult täpselt teada elanike kohalolekuprofiile ja CO_2 eraldust. Vaadeldavatesse perioodidesse on valitud vaid mõõteperioodi iseloomustavate päevade CO_2 kontsentratsioonide muudud. Kõrvalekalded ja erisused on elimineeritud.

Arvutuste kohaselt jäi talveperioodil korterite keskmine õhuvahetuskordsus vahemikku 0,12-1,97 h^{-1} ja keskmine oli 0,56 h^{-1}, vt. Tabel 8.9, Joonis 8.7. Keskmise õhuvahetuskordsusele järgi vastas EVS-EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 41 % ja 44 % uuritud korteritest. Arvutuste kohaselt jäi talve korterite keskmine õhuvooluhulk inimese kohta vahemikku 1,0-10,3 l/(s·in) ja keskmine oli 3,7 l/(s·n). Keskmise õhuvahetuse järgi inimese kohta vastas EVS-EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 4 % ja 37 % uuritud korteritest. Ventilatsiooni projekteerimise normi EVS 845-1 järgi vastab õhuvooluhulga piirväärtusele inimese kohta 7 % magamistubadest.

Tabel 8.9 CO_2 mõõtetulemuste põhjal arvutatud talvine magamistubade õhuvahetus.

Kood	Ventilatsiooni õhuvooluhulk											
	l/(s·m^2)				l/s				h^{-1}			
	keskm.	min.	maks.	stdh.	keskm.	min.	maks.	stdh.	keskm.	min.	maks.	stdh.
1321	0,5	0,3	0,6	0,2	6	4	8	3	0,6	0,5	0,8	0,3
1351	0,2	0,1	0,4	0,1	2	1	4	1	0,2	0,1	0,4	0,1
1311	1,5	1,3	1,8	0,1	20	17	23	2	2,0	1,7	2,3	0,2
1371	0,3	0,3	0,4	0,0	5	4	6	1	0,5	0,4	0,5	0,1
1402	0,2	0,1	0,2	0,0	4	3	5	1	0,2	0,2	0,3	0,0
1341	0,4	0,3	0,5	0,0	5	4	6	0	0,5	0,4	0,7	0,1
1391	0,2	0,1	0,2	0,0	4	3	5	1	0,2	0,2	0,3	0,0
1381	1,0	0,9	1,1	0,1	21	19	23	2	1,2	1,1	1,3	0,1
1513	0,5	0,5	0,6	0,1	7	6	8	1	0,7	0,6	0,8	0,1
1511	0,6	0,4	0,8	0,1	10	7	13	2	0,8	0,6	1,1	0,1
1517	0,5	0,3	1,0	0,3	7	4	12	3	0,7	0,4	1,3	0,3
3322	0,7	0,6	0,9	0,1	8	7	10	1	1,1	0,9	1,3	0,1
3331	0,3	0,3	0,4	0,0	5	4	6	1	0,3	0,3	0,4	0,1
3341	0,1	0,1	0,1	0,0	1	1	2	0	0,2	0,1	0,2	0,0
4352	0,2	0,1	0,3	0,1	5	3	8	2	0,3	0,2	0,5	0,1
4371	0,1	0,1	0,3	0,1	3	1	5	1	0,2	0,1	0,3	0,1
4322	0,4	0,3	0,5	0,1	6	4	7	1	0,4	0,3	0,5	0,1
4311	0,7	0,5	0,8	0,1	12	8	13	2	1,1	0,7	1,2	0,2
4341	0,1	0,1	0,2	0,0	4	2	5	1	0,2	0,1	0,2	0,0
4361	0,6	0,5	0,9	0,1	8	6	11	1	0,8	0,6	1,1	0,1
4331	0,6	0,5	0,7	0,1	10	8	12	1	0,7	0,6	0,8	0,1
2331	0,2	0,1	0,3	0,1	4	2	5	2	0,2	0,1	0,3	0,1
2351	0,4	0,3	0,5	0,1	6	4	7	1	0,5	0,4	0,6	0,1
2312	0,1	0,1	0,1	0,0	3	2	3	1	0,2	0,2	0,3	0,1
2321	0,8	0,5	1,2	0,2	6	4	10	1	1,0	0,7	1,6	0,2
2362	0,1	0,0	0,2	0,0	1	0	3	1	0,1	0,0	0,2	0,1
2341	0,3	0,2	0,4	0,1	6	3	9	2	0,4	0,2	0,5	0,1
Keskm.	0,4	0,3	0,6	0,1	7	5	9	1	0,6	0,4	0,7	0,1

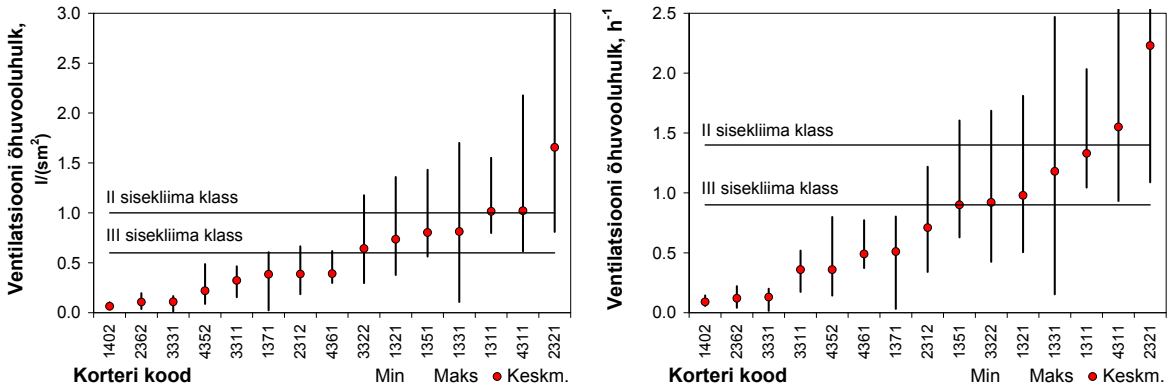


Joonis 8.7 Talveperioodi õhuvahetus magamistubades.

Arvutuste kohaselt jäi suvel korterite keskmine õhuvahetuskordsus vahemikku 0,09-2,23 h^{-1} ja keskmine oli 0,79 h^{-1} (vt. Tabel 8.10, Joonis 8.9). Keskmise õhuvahetuskordsuse järgi vastas EVS-EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 53 % ja 60 % uuritud korteritest. Arvutuste kohaselt jäi suvel korterite keskmine õhuvooluhulk inimese kohta vahemikku 1,5-8,4 l/(s·in) ja keskmine oli 3,9 l/(s·in). Keskmise õhuvahetuse järgi inimese kohta vastas EVS-EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 13 % ja 47 % uuritud korteritest. Ventilatsiooni standardi EVS 845-1 järgi vastab õhuvooluhulgale inimese kohta 20 % magamistubadest.

Tabel 8.10 CO_2 mõõtetulemuste põhjal arvutatud suvine magamistubade õhuvahetus.

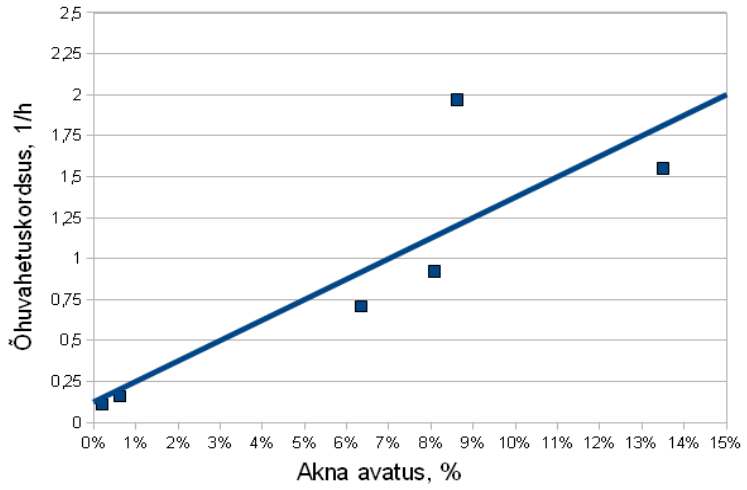
Kood	Ventilatsiooni õhuvooluhulk											
	l/(s·m²)				l/s				h^{-1}			
	keskm.	min.	maks.	stdh.	keskm.	min.	maks.	stdh.	keskm.	min.	maks.	stdh.
1321	0,7	0,4	1,4	0,3	9,2	4,7	17,0	3,1	1,0	0,5	1,8	0,3
1351	0,8	0,6	1,4	0,2	9,0	6,3	16,0	2,4	0,9	0,6	1,6	0,2
1311	1,0	0,8	1,6	0,2	13,5	10,6	20,7	2,4	1,3	1,0	2,0	0,2
1371	0,4	0,0	0,6	0,2	6,1	0,4	9,6	2,6	0,5	0,0	0,8	0,2
1402	0,1	0,0	0,1	0,0	1,6	1,0	2,6	0,9	0,1	0,1	0,1	0,0
1331	0,8	0,1	1,7	0,5	12,2	1,6	25,5	7,6	1,2	0,2	2,5	0,7
3322	0,6	0,3	1,2	0,2	7,1	3,3	13,1	2,8	0,9	0,4	1,7	0,4
3331	0,1	0,0	0,2	0,0	1,8	0,2	2,7	0,8	0,1	0,0	0,2	0,1
3311	0,3	0,2	0,5	0,1	4,8	2,3	6,9	1,3	0,4	0,2	0,5	0,1
4352	0,2	0,1	0,5	0,1	5,2	2,1	11,5	2,7	0,4	0,1	0,8	0,2
4311	1,0	0,6	2,2	0,4	17,1	10,3	36,3	7,3	1,6	0,9	3,3	0,7
4361	0,4	0,3	0,6	0,1	5,1	3,8	8,0	1,1	0,5	0,4	0,8	0,1
2312	0,4	0,2	0,7	0,1	9,0	4,3	15,4	3,4	0,7	0,3	1,2	0,3
2321	1,7	0,8	3,5	0,8	13,9	6,8	29,6	7,1	2,2	1,1	4,7	1,1
2362	0,1	0,0	0,2	0,0	1,5	0,5	2,8	0,7	0,1	0,0	0,2	0,1
Keskm.	0,6	0,3	1,1	0,2	7,8	3,9	14,5	3,1	0,8	0,4	1,5	0,3



Joonis 8.8 Suveperioodi õhuvahetus magamistubades.

Analüüsiti ka õhuvahetust vahetatud ja vahetamata akendega magamistubades (vt Joonis 8.10). Vahetamata akendega magamistubades jäi õhuvahetuskordsus vahemikku 0,12–1,05 h^{-1} ja keskmine oli 0,45 h^{-1}. Õhuvooluhulk inimese kohta vahetamata akendega magamistubades jäi vahemikku 1,4–8,1 l/(s·in) ja keskmine oli 3,7 l/s. Vahetatud akendega magamistubades jäi õhuvahetuskordsus vahemikku 0,12–1,19 h^{-1} ja keskmine oli 0,57 h^{-1}. Õhuvooluhulk inimese kohta vahetatud akendega magamistubades jäi vahemikku 1,2–6,8 l/(s·in) ja keskmine oli 3,5 l/s. Olulist erinevust vahetamata ja vahetatud akendega magamistubade õhuvahetuste vahel ei täheldatud.

Lisaks sai uuritud ka keskmise õhuvahetuse sõltuvust akende avamisest. Magamistubade õhuvahetuskordsuse sõltuvus akende avatuse osakaalust on toodud joonisel 8.11, kust on näha, et põhiliselt sõltubki magamistubade õhuvahetus akende avamisest. Uute akendega on avamisvõimalused paremad, kuna tihti on vanad aknad talveks kinni kleebitud ja avamisevõimalus puudub. Samas on talvel akende avamise teel väga raske tagada üheaegselt piisavat õhuvahetust ja rahuldavat ruumitemperatuuri.



Joonis 8.9 Magamistubade õhuvahetuskordsus sõltuvalt akende avamisest.

9 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline kahjustus

Hooned käituvad komplekssete süsteemidena, mis sisaldavad ökosüsteemide nišše ning erineva mikrokliimaga piikondi. Neid tuleb üheaegselt käsitleda bioloogiliste kahjutegurite allikatena.

Terviseprobleemid, mis tekivad õhus sisalduvate hallitusseentega kokkupuutumisest, võivad olla järgmised: astma, nohu, ekseemid, harvem allergiline alveoliit ja aspergilloos (Singh 1993). Neid nähte võivad tekitada siseõhus olevad *Cladosporium* või isegi hariliku majavammi (*Serpula lacrymans*) eosed. Sellised hallitusseened nagu *Alternaria, Aspergillus, Cladosporium,* ja *Penicillium* on üldiselt tuntud kui hingamisteede allergiat põhjustavad (Singh 2000). Suurbritannias ja USA-s on tehtud ulatuslikke uuringuid märgunud ehitusmaterjalide peal kasvavate hallitusseente ohtlikkusest inimese tervisele (Singh jt, 2010).

Bioloogilised ohutegurid mõjuvad nendele soodsates tingimustes, mis tunduvalt erinevad hoonele ning selle elanikele sobivatest tingimustest. Seetõttu tuleb kõnesoleva peatüki tulemusi vaadelda kooskõlas teiste puitkorterelamutele tehtud uuringutega, mis käsitlevad nii sisekliima parameetreid kui ka ehitustehnilisi mõõtmisi. Oluliseks tuleb pidada ka korterite elanike küsitlust, mis väljendab mõningal määral nende suhtumist ja hinnanguid oma elukeskkonda ning elustiili.

Hallitusseente esinemine erinevatel pindadel ning sealtkaudu siseõhus sõltub otseselt hoone ehitus- ning viimistlusmaterjalide omadustest ning sisekliima parameetritest. Selles uuringus pöörati peatähelepanu sisekliima ja kahjustuste vahelise seose kindlakstegemisele ning lisaks uuriti ka mõningate materjalide hallitusele vastuvõtlikkust.

Siseõhk sisaldab olulise koguse mitmesuguseid väga kergeid osakesi, millest kõik ei toimi bioloogilise ohutegurina. Allergeene sisaldavad bioloogilist päritolu osakesed (naha ja karvade osakesed, taimeosad, õietolm, seeneosad ja eosed jm.), mis on nii väiksed, et ei setti pindadele, moodustavad püsiva hõljumi, mis sisse hingates võib tekitada allergilist reaktsiooni. Lisaks võib kahjustus tekkida ka kokkupuutel hallitanud pindadega. Mida kuivemaks saab hallitanud pind, seda rohkem lendub sellelt eoseid ning muutub õhusaasteks. Probleemi keerukus seisneb asjaolus, et inimeste tundlikkus ärritajatele on väga individuaalne ning pole võimalik täpselt kindlaks määrata, kui suur kogus näiteks seeneeoseid tekitab haiguslikku seisundit.

Hallitusseene eoseid on siseruumi õhus peaaegu alati, kuid alati ei hakka need kasvama. Hallitusseente kasvuks ja elutegevuseks on vajalikud:

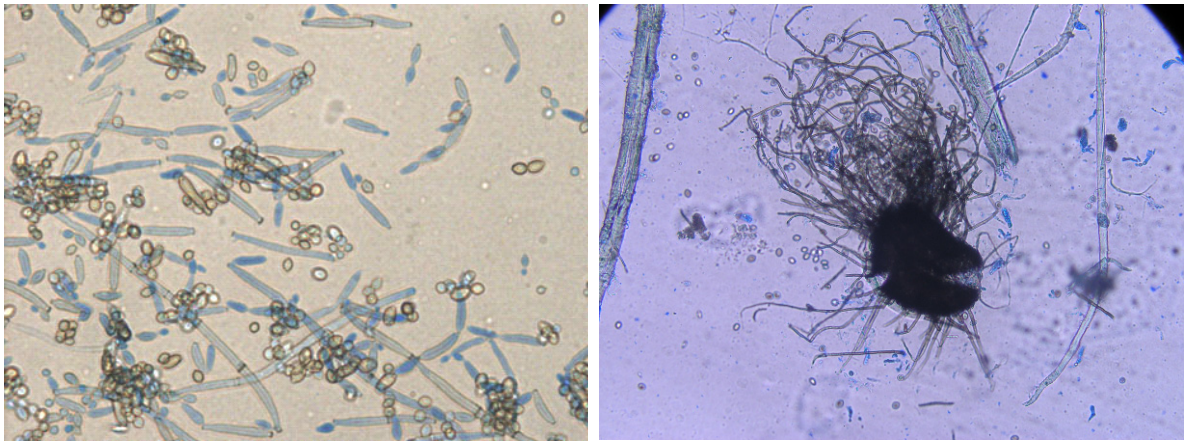
- orgaaniline toitainet sisaldav kasvupinnas (või materjalil olev tolm);
- sobiv niiskus: >70…80 %;
- sobiv temperatuur: 0…30 °C;
- kasvu mõjutab veel õhu liikumine, pinna happelisus jm. tegurid.

Niiskuskahjustustele viitavad indikaator–mikroseened, mida ei esine normaalsetes hoonetes: *Aspergillus versicolor, Aspergillus fumigatus, Trichoderma, Stachybotrys atra, Phialophora, Fusarium, Ulocladium, Exophila, Rhodotorula, Chaetomium, Eurotium, Wallemia*.

9.1 Elukeskkonna levinumate hallitusseente kirjeldused

Cladosporium (Joonis 9.1 vasakul) esineb väga erinevate materjalide peal – tekstiil, puit, aknapaled, kivimaterjalid. Kasv algab juba 0º C juures. Maksimaalne kasv 25 °C juures. Kasv peatub üle 35 °C . Optimaalne niiskusetarve: õhu suhteline niiskust 80 %. Allergeen: I–tüüpi allergia - heinapalavik, nohu, astma; III–tüüpi allergia – ülitundlikkus (nn. ülitundlikkus hallitanud hoone seinte suhtes). Mõjub ärritavalt silmadele ja hingamisteedele.

Chaetomium (Joonis 9.1 paremal) on levinud tselluloossetel alusmaterjalidel, sagedasti kipsplaadi kattekartongil. Allergeen: I–tüüpi allergia - heinapalavik, astma.



Joonis 9.1 *Cladosporium* (vasakul) ja *Chaetomium* (paremal).

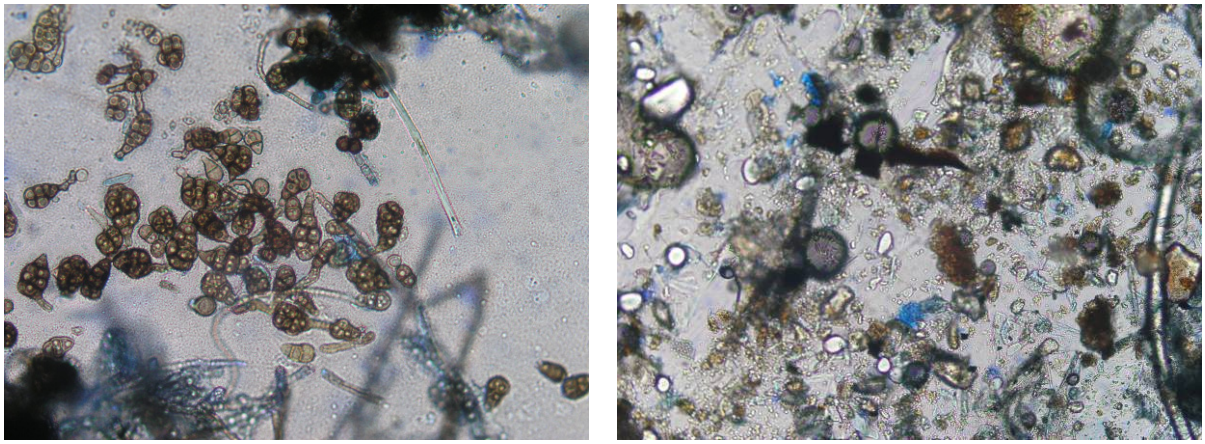
Phoma (Joonis 9.2) esineb sageli seinte vahel, laepaneelidel, linoleumi tagaküljel, tsemendil, värvil, paberil, puidul, villatoodetel, toiduainetel. Õhusaaste tekitajana omab väiksemat tähtsust, kuna eosed ei levi hästi õhuvooluga. Kuivanud hallitanud materjalide mehaanilisel hõõrumisel lendub kergesti. Allergeen: I–tüüpi allergia - heinapalavik, astma. III–tüüpi allergiline pneumoniit, kiirikseente sissehingamisest.



Joonis 9.2 *Phoma.*

Ulocladium (Joonis 9.3 vasakul). Sisetingimustes laialt levinud hallitusseen. Soodne kasvupind: kipsplaadi pind, paber, värv, tapeet, naturaalsed kiud; vajab arenguks palju vett. Allergeen: I–tüüpi allergia heinapalavik, astma. Suurendab *Alternaria* hallitusseentele tundlike inimeste reaktsiooni.

Lisaks sellele esineb piirde pindadel õhumustust – liiva, tahma, nahaosakesi, õietolmu terasid, karvu, putukate tiivajäänuseid, looduslikke ja sünteetilisi tekstiilikiude, taimeosi, mis pole seenkahjustus (Joonis 9.3 paremal).



Joonis 9.3 *Ulocladium* (vasakul) ja tavaline õhusaaste (paremal).

9.2 Meetodid

Selles projektis uuriti valitud vanemates puitkorterelamutes, mis võiksid olla renoveerimise ja restaureerimise objektideks, siseõhus ning erinevate materjalide pinnal olevaid hallitusseeni. Tehti veel mikroskoopia uuringuid hoone piiretest väljapuuritud kernidele, et hinnata nende võimalikku eluiga. Lisaks määrati mõningate soojustusmaterjalide biosaastatuse astet renoveeritud puitkorterelamutes.

Puitkorterelamute õhu ja materjalide analüüsi tehti kogu projekti vältel. Õhuanalüüsid tehti kevadtalvisel perioodil, et välistada välisõhust saabuvate hallitusseente lisahulka. Kokku analüüsiti 200 proovi järgmiselt:

- puiduproovid (kernid) 56 tk;
- materjaliproovid 22 tk;
- õhuproovid 71 tk;
- kleeplindiproovid 51 tk.

9.2.1 Mikrobioloogiline kasv ruumide sisepinnal

Hallitusseente perekondlikku kuuluvust määrati kleeplindiproovidest, mis võeti materjalide pinnalt, kus visuaalselt oli tuvastatav materjali pinna värvuse muutumine. Proovi võtmise kohtadeks valiti enamasti köök, magamistuba või vannituba. Elutoas reeglina analüüsi ei tehtud, ainult juhul, kui tegemist oli silmnähtava kahjustusega, vt Joonis 9.4.



Joonis 9.4 Silmanähtav mikrobioloogiline kasv tapeedil, millest osa moodustas ka õhusaaste sh. tahm.

9.2.2 Hoone konstruktsioonide kandevõime ja tehnilise seisukorra väljaselgitamiseks tehtavad analüüsid

Puitkorterelamud on kandevõime seisukohalt ehitatud üldiselt korrektselt ja kvaliteetselt. Puidu tugevus ei ole ajaliselt oluliselt muutuv omadus juhul, kui puit ei ole kahjustatud mädanikseentega. Seetõttu hinnati projektis kandekonstruktsioonide kandevõimet ja tehnilist seisukorda puidu mädanikseente olemasolu abil. Proove võeti südamikupuuriga peamisel alumise korruse palkidest, põrandataladest ja katusesarikatest, vt. Joonis 2.3.

Kernide analüüsi tulemusi kasutati kandekonstruktsioonide püsivuse ja eluea hindamisel ning need võeti välisfassaadide uurimise ajal seintest, pöörates erilist tähelepanu soklipealsetele ning avasid ümbritsevatele palkidele.

9.2.3 Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüs

Hallitusseeneosade sissehingamisel või kontaktist nahaga võib inimesel tekkida allergia. Sagedasimaks allergeenikandjaiks on hallitusseente eosed, mis lenduvad kergesti õhu vähimalgi liikumisel. Hallitusseened võivad sekundaarse metabolismi käigus toota õhku lenduvaid keemilisi ühendeid, antibiootikume ja mükotoksiine, mis võivad ärritada silmade ja hingamisteede limaskesti.

Õhuproove tehti kõikides uurimisalustes korterites. 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. Hallitusseente liike ei identifitseeritud. Proovide võtmise aeg langes vahemikku jaanuar – märts 2011.

Kleeplindiproovid võeti nendest tubadest, kus tehti ka õhuanalüüsi silmnähtavalt tumedaks värvunud kohtadest, seintelt, aknalaudadelt, aknaraamidelt, dušikabiinide küljest ja vannitubadest.

Talveperioodil tehtud õhuuuringute puhul ei ole tarvis arvesse võtta väliskeskkonnas olevate seeneeoste arvu.

Õhus leiduvate hallitusseente koguhulka hinnatakse erinevates maades erinevalt. Suurbritannias (Singh jt. 2010) liigitatakse nn. ohuklassid järgmiselt, vt. Tabel 9.1. Soomes on määratud soovituslikud piirnormid järgmiselt (Husman jt. 2002), vt.

Tabel 9.2.

Tabel 9.1 Soovitatavad hallitusseente piirnormid UK-s.

Kategooria	Seente hulk PMÜ/m^3
Väga madal	≤ 50
Madal	≤ 200
Keskmine	≤ 1 000
Kõrge	≤ 10 000
Väga kõrge	≥ 10 000

Tabel 9.2 Soome soovituslikud normid.

Kategooria	Seente hulk PMÜ/m^3
Tavapärane	< 150
Kõrgenenud	150-500
Kõrge	> 500

Soome soovituslikes normides ei määrata eraldi talvist ja suvist kogust. Eestis puuduvad hallitusseente puhul normid sisekeskkonnas. Seetõttu kasutame soovituslikult Soome norme kui kõige sarnasema kliimaga maal väljatöötatud piire.

9.3 Tulemused

9.3.1 Mikrobioloogiline kasv ruumide sisepinnal

Kõige sagedamini esinevad hallitusseened (Tabel 9.3) kuuluvad ka kõige suuremat potentsiaalset terviseriski tekitavate seente hulka (Singh 2000). See tähendab, et terviseriski tekitamiseks ei pea nende seente kogus õhus väga suur olema. Rohkem määrab inimese vastuvõtlikkus või korteri siseõhu niiskus. Lokaalsest niiskuseallikast (näiteks kööki ehitatud vett lekkivast dušikabiinist) võib üldiselt kuiva toaõhku sattuda piisav hulk eoseid. Sellist olukorda täheldati paljudes puitkorterelamute korterites. Võrreldes telliskorterelamute ning suurpaneelelamutega, esines puitkorterelamutes vähem erinevat liiki hallitusseeni, samas oli leiuta proovide arv väga kõrge. See on arvatavasti seotud tolmuse ja tahmase välisõhu sissepääsuga läbi vanemat tüüpi akende ning ahiküttega. Peamiseks põhjuseks, miks puitkorterelamutes on pindadel hallituse kasv väiksem, võib pidada seda, et kriitilisi külmasildu oli puitkorterelamutes võrreldes suurpaneel- või telliskorterelamutega oluliselt vähem. Paljudes proovides oli üksikuid seenefragmente ning eoseid, mida ei saanud seostada ühegi konkreetse seeneperekonnaga. Nende esinemine kleeplindiproovidel on märgiks, et mingis piirkonnas, mis võib olla varjatud, esineb hallitusseeni rohkem. Proovidest ei avastatud *Penicilliumi* hallitusseent, mis viitas sellele, et uuritud korterites ei olnud püsivalt läbijooksust märgi puitpindasid.

Tabel 9.3 Erinevate hallitusseente esinemise sagedus kleeplindiproovidel.

Leid	Kahjustuste sagedus, %		
	Puit-korterelamud	Tellis-korterelamud	Suurpaneel-korterelamud
Acremonium			2
Alternaria			4
Aspergillus		13	4
Aureobasidium			2
Botrymyces			2
Chaetomoium	2		
Cladorrhinum	2		
Cladosporium	13	46	10
Echinobotryum sp.	2		
Epicoccum	2		
Exophiala	3		2
Fusarium		4	
Geomyces		4	
Paecilomyces		4	
Phialophoria		4	
Phoma	10	4	4
Ulocladium	3		2
Ulocladium			4
Vetikad		4	
Bakterid			8
ID-ta eosed	10	4	22
ID-ta mütseel	3	4	6
Leiuta (tahm, praht, üksikud seeneniidi osad)	50	8	28
Kokku	100	100	100

9.3.2 Hoone konstruktsioonide kandevõime ja tehnilise seisukorra väljaselgitamiseks tehtavad analüüsid

63 % hoonetes esines puidumädaniku kahjustust.

Välisseina alumise kihtide palkidest, katusesarikatest ja põrandataladest võetud proovidest osutusid mädanikseene kahjustustega olevateks 27 %. Enim esines pruunmädanikku (20 %), aga esines ka pehmemädanikku (5 %) ja valgemädanikku (2 %).

Puidumädanikseene kahjustus esines nii välisseinapalgi sisemisel kui ka välimisel poolel peaaegu võrdselt.

Kahes (7 %) uuritud hoones esines ulatuslikum kahjustus, vt. Joonis 9.5. Puidu pinnalt võetud proovide uurimine näitas, et tegemist on majavammiga (*Serpula lacrymans*). Nende hoonete kandekonstruktsioonid on muutunud avariiohtlikuks. Puurproovide uurimine näitas, et majavamm kahjustas valdavalt sisemisi tarindeid ja konstruktsioone.



Joonis 9.5 Ulatuslik majavammi kahjustus keldri põrandal (vasakul) ja keldri vahelaes (paremal).

9.3.2.1 Näiteid biokahjustustest

Järgnevalt on toodud mõningaid näiteid peamistest biokahjustustest.



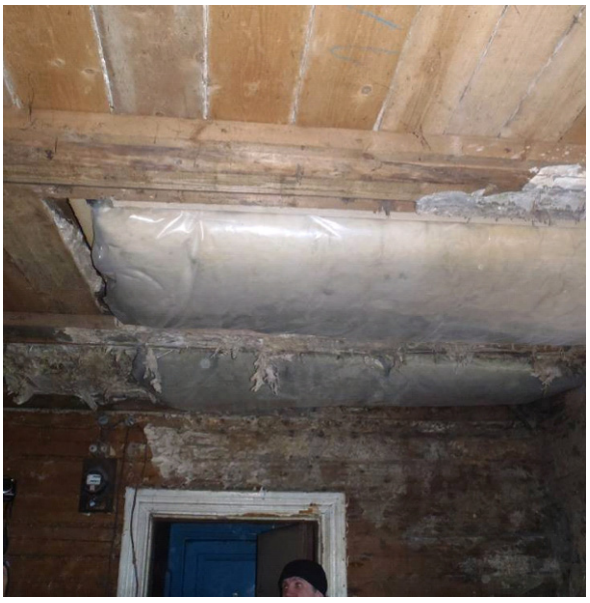
Joonis 9.6 Hallitusseened kasvavad eranditult silikooniriba peal (vasakul). Hallitusseened on levinud silikoonilt puidust aknapõse ja aknalaua peale (paremal).





Joonis 9.7 Lokaalne hallituse kasv küllastustemperatuurist madalama temperatuuriga tsoonis kolmanda korruse korteris (vasakul). Hallituse kasvu soodustab ebapiisav õhu liikumine välisseina ja kirjutuslaua vahelise tsoonis. Kivitrepikoja laenurgas olevat hallituskahjustust on aasta tagasi tõrjutud ja aktiivset kasvu hiljem ei olnud (paremal).





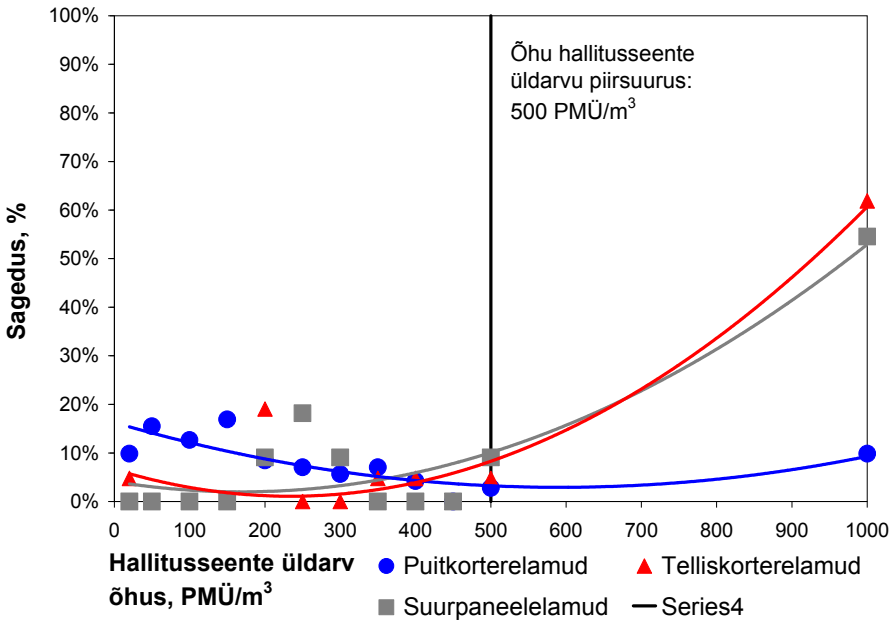
Joonis 9.8 Allajahtunud plekile kondenseerunud õhuniiskus koguneb tilkadeks ning pööningul “sajab” vihma, mis märgab vahelage ja tekitab seal seenkahjustust (vasakul). Asjatundmatult remonditud duširuumi põrand teisel korrusel on põhjustanud ulatusliku veejooksu vahelae sisse ning tekitanud soodsad tingimused majavammi arenguks. Majavamm ei oleks selles kohas kasvama hakanud, kui keldris poleks juba eelnevalt olnud ulatuslikku majavammi kahjustust koos eoste laialikandumisega (paremal).



Joonis 9.9 Selle keldri saneerimine läheb majaomanikule väga kalliks maksma. Majavamm on tunginud suures ulatuses paekivivundamendi vuukide sisse ning selle eemaldamine on ränk ja ebaefektiivne töö, kui sellega ei kaasne vundamendi lahtikaevamist väljastpoolt (vasakul). Tähelepanuväärne on majaomanike hoolimatus akende vahetamisel. Energiat jätkub vaid uue akna paigaldamiseks, kui aknaümbrus jäetakse viimistlemata. Polüuretaanvaht laguneb päikese käes mõne aastaga ning akende lengide ja majaseina vahele tekib tühimik, mis on vee ja külma sissepääsu allikateks (paremal).

9.3.3 Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüs

Joonis 9.10-l on esitatud võrdlevalt puitkorterelamutes, telliskorterelamutes ning suurpaneelelamutes hallitusseente üldarvu 1m^3 õhus PMÜ: pesa moodustav ühik).



Joonis 9.10 Õhus olevate hallituseoste üldarv eri tüüpi korterelamutes.

Joonis 9.10-lt on näha, et üldine seente esinemissagedus erinevat tüüpi korterelamute õhus jaotub erinevalt. Puitkorterelamutes esines rohkem kui pooltel mõõtmistel hallitusseeni alla 150 PMÜ/m^3, mis on väga hea tulemus. See tulemus seondub hästi ka leiuta proovide suure arvuga puitkorterelamutes. Korteriõhus lendlevate seente hulk ei ole küll otseselt seotud pindadel olevate seente hulgaga (määrab pindade niiskussisaldus), kuid mingi korrelatsioon siiski avaldub. Kiviseintega korterelamute õhus olevate

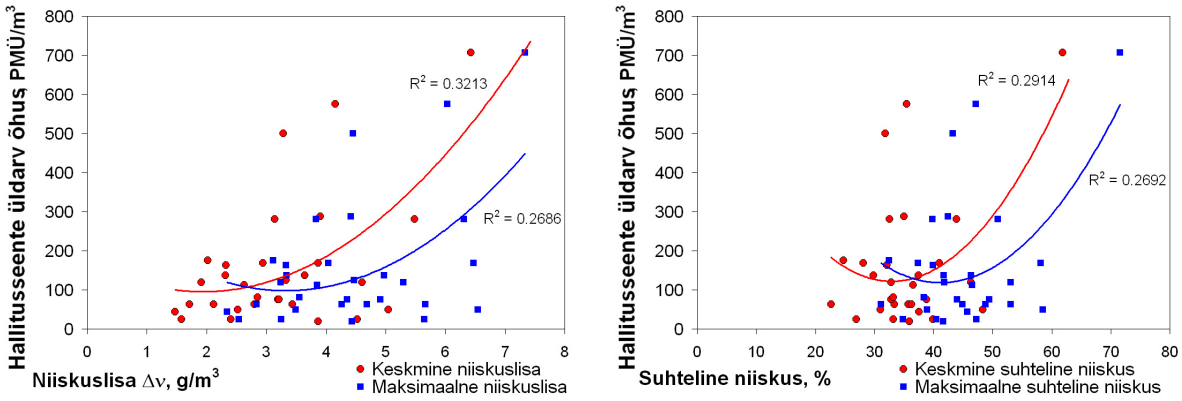
hallitusseente sagedus kõigub väga erinevates piirides ning sõltub veel hoone korruselisusest, mida puitkorterelamute juures ei täheldatud. Peamiseks põhjuseks, miks puitkorterelamutes on õhu hallituseoste sisaldus väiksem, võib pidada asjaolu, et kriitilisi külmasildu oli puitkorterelamutes võrreldes suurpaneel- või telliskorterelamutega oluliselt vähem.

Seeneeoste koguhulga võrdlus korteriõhu keskmisest temperatuurist olulist korrelatsiooni ei andnud. Temperatuurist olulisemalt mõjutab hallituste kasvu suhteline niiskus (niiskuslisa (vt. Joonis 9.11 vasakul), (vt. Joonis 9.11 paremal), niiskustootlus, õhu veeaurusisaldus, temperatuur), õhuvahetus (ventilatsioon, hoonepiirete õhupidavus). Keskmine niiskuslisa üle 6 g/m^3 ja siseõhu suhteline niiskus üle 60 % põhjustab seeneeoste koguhulga kasvu õhus üle soovitusliku 500 PMÜ/m^3.

Mitmetes seadusaktides ja standardites loeb välja soovitusi või aktsepteerimist Eesti tingimuste jaoks liig kõrgele õhu suhtelisele niiskusele:

- „Tervisekaitsenõuded koolidele“: Ruumide suhteline õhuniiskus peab olema 30–70 %;
- „Tööruumide mikrokliima tervisekaitsenormid ja –eeskirjad“: Suhteline niiskus peab olema (aasta ringi) 40-60 % (lubatud ka 70 %);
- „Tervisekaitsenõuded erihoolekandeteenustele ja eraldusruumile“: Ruumide optimaalne õhuniiskus on vahemikus 40 % kuni 60 %. Lubatud on siseõhu suhtelise niiskuse vähenemine kuni 30 %-ni ja lühiajaline tõus kuni 70 %-ni;
- „Eluruumidele esitatavate nõuete kinnitamine“: Eluruumi siseõhu optimaalne niiskus on 40-60 protsenti.

Need piirsuurused viitavad selgelt liiga kõrgele suhtelisele niiskusele. Suhteline niiskus piirdetarindi pinnal on sügisest kuni kevadeni kõrgem tulenevalt madalast temperatuurist. Kui siseõhu suhteline niiskus talvel püsib pidevalt 50–70 % juures, on tõenäoline märkimisväärse hallituskahjustuse tekkimine.



Joonis 9.11 Siseõhu hallitusseente sisalduse sõltuvus niiskuslisast (vasakul) ja suhtelisest niiskusest (paremal) (andmetest on eemaldatud suurima hallitusseene eoste üldarvuga korter.

Lisaks keskkonnatingimustele mõjutavad hallituse kasvu ka üksikutele seentele sobivad piirkonnad ning neid ei ole puitkorterelamutes palju:

- aknad ja aknapaled;
- külmade ruumidega piirnevate pesuruumide seinad;
- halvasti paigaldatud dušikabiinide ümbrus.

Hallituskahjustusi polnud põrandatel ega ka trepikodades, välja arvatud kivitrepikodadega elamud. Samuti olid reeglina hallitusest vabamad köögid. Kõige sagedamini esines hallitusseeni magamistubades. See asjaolu viitab loomuliku ventilatsiooni puudulikule toimivusele. Väljatõmbekorstnad asuvad köökides ja märgades ruumides. Seetõttu esinebki seal hallituskahjustusi vähem. Kuna loomulik väljatõmme ei taga piisavat õhuvahetust magamistubades, esines seal hallituskahjustusi rohkem.

Kahel juhul avastati ka puitu lagundava seene – hariliku majavammi (*Serpula lacrymans*) eoseid, mida oli kahjustatud piirkonnas lausa paksu kihina, vt. Joonis 9.12.



Joonis 9.12 Majavammi pruuni värvi eoste kiht katab silmnähtava kihiga kõiki kahjustuse piirkonnas olevad esemeid.

10 Tehnosüsteemide olukord

Selles osas esitatud uuritud korterelamute tehnosüsteemide olukorra hindamise. Hinda aluseks on kohapealsed vaatlused, fotod ja täidetud tehnosüsteemide olukorra ankeet.

10.1 Ventilatsioon

Puitkorterelamute ventilatsioon oli algse ehitusprojekti kohaselt planeeritud väljatõmbena kas otse korstnasse või läbi küttekolde korstnasse. Elamiseks üüritavad ruumid pidid olema kuivad, tarviliselt akna kaudu valgustatud, korraliku küttesisseseadega ja õhupuhastusega, vähemalt akna kaudu. Elamiseks üüritavate ruumide õhuruumi pidi olema vähemalt 25 kantmeetrit ja iga elaniku kohta pidi olema vähemalt 15 kantmeetrit õhuruumi (RT 89/90−1925).

Uuritud korteritest kolmandikul (36%) oli loomulik ventilatsioon ning 26% korteritest on lisaks loomulikule ventilatsioonile kasutusel ka mehaaniline köögikubu. Veerandil vastanutest (23%) on mehaaniline väljatõmme ilma värskeõhuklappideta.

Loomuliku ventilatsiooni korral toimub välisõhu juurdepääs kontrollimatult läbi hoonepiirete ebatiheduste või akende avamise kaudu (akendesse olid planeeritud väiksemad tuulutusaknad). Loomulik ventilatsioon toimib tänu sise- ja välisõhurõhkude erinevusele. Õhurõhkude erinevus on omakorda tingitud sooja väljatõmbeõhu ja külma välisõhu temperatuuride (masside) vahest. Samuti on loomuliku ventilatsiooni mõjuteguriteks tuul, kanali ristlõige, hoone ümbrus ja aastaaeg. Kuna välisõhu temperatuur ja tuule tugevus ning suund on muutlikud suurused, ei suuda loomulik ventilatsioon tagada hoones stabiilset õhuvahetust aastaringselt.

Peamised põhjused ventilatsiooni probleemsele toimivusele on värske õhu puudulik (väike ja eelsoojendamata õhuvooluhulk) juurdevool ja ebapiisav väljatõmme (väikesed ja/või ummistunud õhuvoolukanalid).

Tehnilised põhjused ventilatsiooni mittetoimimisele (tänapäeva elustiilile ja nõuete kohaselt) on:

- värske välisõhu puudulik sissevool (värskeõhuavade puudumine, juhitamatu õhuvool);
- ventilatsioonikanalite (telliskorstnad) ebapiisav arv ja väike hermeetilisus;
- ventilatsioonikanalite väike ristlõige ja kanali sisepindade suur karedus (suur õhuvoolutakistus);
- ülemistel korrustel lühike korsten (väike õhurõhkude erinevus).

Värske välisõhu juurdevool toimub puitkorterelamutes põhiliselt hoonepiirete ja akende ebatiheduste kaudu. Hoonepiirete tihendustöid tehakse, et vähendada nende kontrollimatut läbipuhutavust. See tähendab ka sissevooluõhuhulga olulist vähenemist. Tihendustööd tuleb läbi viia koos ventilatsiooni renoveerimisega, mida tihti tehtud ei olnud. Seega võivad alaventileerituse põhjused peituda ka elanike enda poolt tehtud esialgse hoone toimivuse muutmises. Lisaks võiks mainida veel köögikubude või väljatõmbekanali ühendamist valedesse ventilatsioonilõõridesse, mille tulemusena võib lõpuks ühele kanalile olla ühendatud mitmeid kortereid.

Tihti võivad puuduliku õhuvahetuse põhjuseks olla ka sanitaarruumidesse paigaldatud väljatõmbeventilaatorid, mis suurendavad takistust restiga võrreldes. See vähendab õhuvahetust loomuliku ventilatsiooni tingimustes, kui ventilaator ei tööta. 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 teha ventilatsioonilõõride ja muude ventilatsiooni osade süstemaatilist puhastamist. Selletõttu väheneb õhuvahetus, ventilatsioonisüsteemides hakkab levima hallitus või mikroobid.

Eelloetletud põhjustest tulenevalt ei suuda loomulik ventilatsioon tagada püsivat õhuvahetust aastaringselt. Seda väidet toetavad ka ventilatsiooni (vt. peatükk 8 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet lk. 152) ja sisekliima (vt. peatükk 7 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites lk. 135) mõõtmistulemused. Siseõhu kvaliteet (süsihappegaasi alusel hinnates) ei ole korras ja niiskuskoormus on suur. Puitkorterelamute ehitamise ajal ei olnud niiskustootlus korterites nii suur, kui tänapäeval (algselt polnud korterites vett, ega pesuruumegi). Samuti oli arusaam vajalikust õhuvahetusest teine. Ventilatsioonisüsteemide praegune olukord vajab olulist parandamist.

10.2 Küttesüsteem ja soojusvarustus

Puitkorterelamud olid projekteeritud ja ehitatud ahi- ja/või pliidiküttele: kööktubades oli soemüüriga pliit, suuremates korterites lisandus pliidile ka ahi. Tarbevee soojendamine oli lahendatud pliidi või vannitoaahju abil, hiljem ka elektriboileri abil.

Vanade korterelamute projekteerimisel tuli ära tähendada, kas elamu ehitatakse ainult suviseks või alaliseks kasutamiseks. Suvise elamise puhul ei tohtinud elamu korteris olla ahje ega muid küttekoldeid peale pliidi ning pliidiga ühes köetava soemüüri ning ehituskonstruktsioonid loeti küllaldaseks, kui need vastavad ehitusstaatika tugevusnõuete eeskirjadele. Alalise elamu puhul pidid peale kandeosade nõuetekohase tugevuse hoonete välisseinad ja laed oma paksuse, konstruktsiooni ning ehitamiseks tarvitatava materjali valikuga kindlustama veeauru kondensaadi mittetekkimise elamus (RT 43-1937 art 386). Seetõttu pidid hoonepiirded olema piisavalt soojustatud ja ruumis ventileeritud ning köetud. Väljaüüritud elutubade temperatuur pidi olema vähemalt +15 °C (RT 89/90−1925).

Kasutatavatest küttesüsteemidest oli uuritud kütte- ja soojusvarustussüsteemidest enim levinud puuküttе kasutamine (69%) ning paljudes korterites kasutatakse elektrikütet lisaküttena kas elektriradiaatorite või põrandkütte näol. Otsene elektriküte ilma lisakütteta oli kasutusel vaid ühes korteris, 10% korteritest kasutatakse elektrikütet, kus ahjuküte oli kasutusel lisaküttena. Uuringus osalenud korteritest ühes oli kasutusel õhksoojuspump. Gaasiküte on 14% korteritest ning vaid ühes uuringuobjektiks olnud korteris on kaugküte. Gaasikütte puhul on kasutusel kahe-toru soojuse jaotussüsteem, kaugküttega korteri puhul oli tegemist ühe-toru süsteemiga.

Tehnilise poole pealt esines probleeme:

- soojuse jaotus süsteemide soojuskadudega;
- soojusallikate küttevõimsuse reguleerimise võimalusega;
- ahjude efektiivsusega.

Küttetorustike ja sooja tarbevee torude jaoks vastavalt EN 12828 isolatsiooniklassile 4 ja soojustuse soojuserijuhtivusel $\lambda \leq 0{,}04$ W/(m K) on vajalik 11…58 mm paksune soojustus toru läbimõõtudel 10…100 mm (mida suurema läbimõõduga toru seda paksem soojusisolatsiooni koorik). Tavaliselt puuduvad radiaator-küttekehadel termostaatventiilid, mis ei võimalda reguleerida küttekeha soojusväljastust. Ahjude soojusväljastust on võimalik reguleerida kaudselt küttepuude ahjupanekuga. See eeldab, et elanikud tunnevad oma ahju käitumist ja oskavad ahjupandavat puudekogust väliskliima järgi reguleerida.

Esialgseid ahje on nende originaallahenduses säilinud tänaseks vähe: suuremal või vähemal määral on ahje remonditud. Ahjud kuuluvad puitkorterelamu arhetüübi juurde, mistõttu ei ole neid õige välja lammutada. Siiski on igal ahjul oma tööiga, mille lõppedes ei ole ahi enam töökorras või on lausa tuleohtlik. Ahjude lagunemine on seotud peamiselt kividevahelise vuugi hävinemise (vt. Joonis 10.1) või kivide enda (Joonis 10.2) lagunemisega.

Uuritud korterelamutes esines probleeme ka uute ahjudega. Halvast ehituskvaliteedist või valest kütmisest olid ahjumüüris praod, mis olid täidetud montaaživahuga, vt. Joonis 10.3. Selline ahju parandamine ei ole korrektne ja tuleohutu (vähemalt pikas perspektiivis).

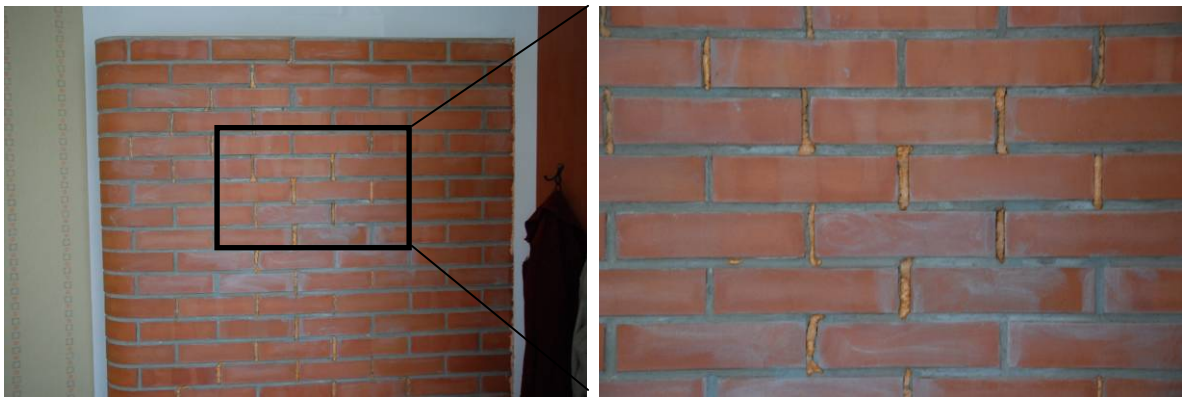
Vanemate puitkorterelamute energiakulu kütmiseks on suur. Külmade talveilmadega tuleb ahje pidevalt kütta. Kui ahjude efektiivsus on väike või kütus pole kõrge küttevääртusega, suureneb veelgi ahjude koormus. See võib tuua kaasa ahjude ülekütmise, mis halvimal olukorral võib lõppeda tulekahjuga. Tavainimesel raske hinnata ja määrata seda piiri, millal ahju tööiga on lõppemas. Siin tuleb appi võtta pottsepp või tuletõrje-päästespetsialist. Ajaloolisi väärtuslike ahjupottidega ehitatud ahje on võimalik edukalt restaureerida. Tähtis on, et ahi ei oleks tuleohtlik ja efektiivselt täidaks oma ülesannet: kütaks ruume.



Joonis 10.1 Ahjupoti (vasakul) ja ahjukivi (paremal) otsapind reedab, et kividevaheline vuuk ei ole terviklik: ajapikku on müürimört ära lagunenud.



Joonis 10.2 Palkseina all oleva ahju tellis on praoga (vasakul), mistõttu on tahmunud ka palk (paremal). Tegemist on äärmiselt tuleohtlikku olukorraga, aga eemalt toa tasapinnalt jääb see märkamata.



Joonis 10.3 Ahjumüüri tühjade püstvuukide ja pragude lubamatu täitmine montaažvahuga.

Suhteliselt puudulik oli ka korstnate ja tulekollete puhastamine. Kui pidevalt kasutatavaid küttekoldeid peab puhastama kaks korda aastas ja hooajaliselt kasutatavaid kord aastas, enne kütteperioodi algust, siis harva oli elanikel ette näidata korstnapühkija akti korstna ja küttekollete korrasoleku kohta.

10.3 Elektri- ja sidepaigaldis

Puitkorterelamute ehitamise algajal oli elektripaigaldis üldiselt haruldus ja see oli pigem üksikute jõukamate inimeste „eralõbuks“ või olid elektriga varustatud suuremate tehaste juures olevate töölisasumite elamud. Enamik eeslinnade elamud said elektrivarustuse alles 1920. aastate jooksul. Enne seda valgustas elutuba ja köök-koridri pimedal ajal petrooleumlamp (Mäsak 1981).

Vanemate korterite elektrifitseerimiseks on enamasti kasutaud kahesoonelist kaablit, millest üks oli faasi- ning teine neutraalsoon ning kogu elektrisüsteemi maandus toimis 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 normaaltalitlusel. Elektriohutuse mõttes tähendab see, et esmaseks kaitseviisiks puutepinge eest on elektriseadme pingealdiste osade ühendamine eraldi kaitsejuhi abil toiteallika maandusega lähimas jaotuskilbis, mis aga eeldab maanduri olemasolu korrusekilbis ning kolme soonelist kaablit, millest üks on kaitsejuht (tihti seda ei ole).

Praeguseks hetkeks on elektrikaabeldus enamasti üks või kaks korda ümber ehitatud. Tihti on need ümberehitused tehtud ilma projektita ja mitte erialaspetsialisti poolt. Eriõigusi omamata võib, tohib lüliteid, pistikupesi, lambipesi ja kaitsmeid vahetada, parandada ja asendada (kuid mitte uusi paigaldada) juhtmelüliteid, lambipesi, pikendusjuhtmeid ja juhtmepistikuid. Väga sageli ületasid uuritud puitkorterelamutes elanike endi poolt tehtud elektritööd neid piire. Sageli oli elektrifirma teinud tööd kuni korteri jaotuskilbini (tervikuna kogu hoones), aga korterikilbist edasi oli kaabeldus kas vana või oli selle paigaldanud mittespetsialist.

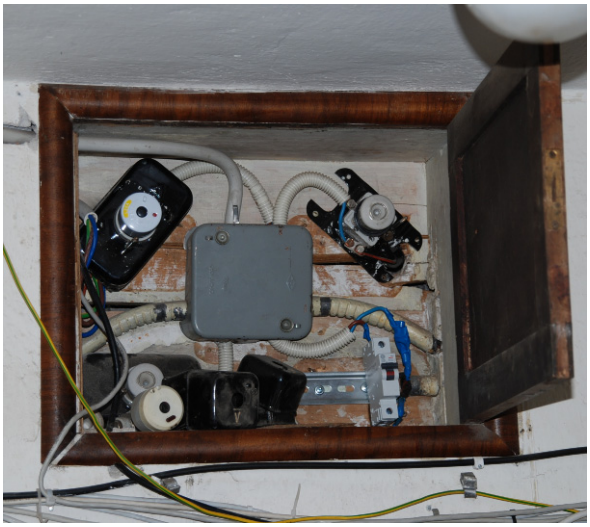
Tänapäeval on elektrikasutus eluruumides oluliselt intensiivsem. Võrreldes puitkorterelamute valmimisjärgse olukorraga, on tänapäeval palju rohkem elektriseadmeid (elektripliit ja -ahi, külmkapp, pesumasin, põrandküte, mahtveesoojendi jne.). Paljud elektrilised majapidamisseadmed on ka väga võimsad. Vanad elektrisüsteemid ei ole ehitatud sellise elektrikoormusega arvestades. Seetõttu võib elektrisüsteem sattuda ülekoormuse alla ja hakata kuumenema, mille tagajärjel kahjustub nende isolatsioon ja võib tekkida tulekahju.

Peamised elektri- ja sidepaigaldusega probleemid olid (vt. Joonis 10.4…Joonis 10.6):

- kaabeldus paikneb suvaliselt seinal ega pole korralikult kinnitatud;
- kaabliühendused olid tehtud ilma harutoosideta kaitstult;
- elektrikilbid ei vasta tänapäeva nõuetele.



Joonis 10.4 Seintel suvaliselt paiknev elektri- ja sidekaabeldus.

Joonis 10.5 Elektrikilbid peavad vastama elektriohutusnõuetele.




Joonis 10.6 Uus krohvialune kaabeldus on paigaldatud „risti-rästi“ üle seina ja hiljem on ohtlik seinale millegi kinnitamiseks auku puurida.

Elektripaigaldise juures tuleb ühe olulise probleemina välja tuua tänavale pandud elektrikilbid, mis on linnamiljööd oluliselt kahjustavateks elementideks. On äärmiselt kahetsusväärne, et sellist miljöörikkumist on lubatud.




Joonis 10.7 Linnamiljööd oluliselt rikkuvad elektri liitumiskilbid tänaval.

Sidekaabelduse osas on peamiseks puitkorterelamute kasutusiga mõjutavaks probleemiks katuselt või posti otsast elamusse tulevad õhukaablid. Väga sageli on need kaldega hoone poole, mis võimaldab vee valgumist seinale, vt. Joonis 2.30 ülal paremal.

10.4 Veevarustus ja kanalisatsioon

Vanemates puitkorterelamutes ei olnud algselt sees vesivarustust. 19. sajandi keskel, kui puitasumites veevärk veel praktiliselt puudus, sai elanike põhiosa vee hoovidesse ehitatud pumbakaevudest. Et vesi tuli tuua väljast seisis koridoris kummalgi pool ahju madal pink puhta vee ja pesukausi tarvis. Pingi kõrval põrandal oli solgiämber (Mäsak 1981). Puitasumite ühendamisel veevärgiga asetses veevõtukoht tihti tänaval, õue peal pesuköögis või paremal juhul oli kraan ühiskoridoris. Seega tuli vett endiselt sageli õuest ämbriga tuua. Ulatuslikumalt hakati kortereid varustama veega pärast 1920-ndaid. Esialgu oli vaid voolav külm vesi.

Enamiku töölisrajoonide üürimaju ühendas kanalisatsioonivõrguga õuel tagaukse läheduses asuva solgirestiga lampkast. Varem pidid elanikud oma musta vee õue, elamust võimalikult kaugele kaevatud solgiauku kandma.

Tänapäevane elustandard eeldab vee ja kanalisatsiooni olemasolu igas korteris. Vanemad veetorud olid tsingitud või tsinkimata terastorudest. Tsingitud terastorudest sooja tarbevee süsteemi tööiga on 20 aasta piires, mistõttu on niisuguse süsteemi renoveerimine väga aktuaalne probleem. Tsinkimata terastorude kasutamine halvendab vee kvaliteeti, seega niisugused torustikud tuleks kohe vahetada. Ka vanemad tsingitud terastorud halvendavad vee kvaliteeti. Tsinkimata terastorude kasutamine elamute veevarustuse süsteemides ei vasta standardis EVS 835 toodud soovitustele. Kuna tarbevee soojendamine toimus peamiselt korteri tasandil, siis puudus eraldi sooja tarbevee ringlustorustik.

Kanalisatsioonisüsteem korteri tasandil oli enamasti uuendatud tänapäevaste plast-kanalisatsioonitorude vastu. Hoone üldkanalisatsioonitorustik oli valdavalt vana malmtorustik ja väga halvas olukorras. Ühendused vana üldkanalisatsioonitorustikuga oli tehtud, kasutades juhuslikke vahendeid. Seetõttu ei olnud liitekohad hermeetilised ja esines väiksemaid tilkumisi ning suuremaid keldri üleujutusi (vt. Joonis 10.8). Kanalisatsioonitorudega seotud muud probleemid on seotud ummistustega, mille põhjused võivad olla vanade torude karedus, valed kalded, torude läbivajumised jne.

Mitmed lihtsad vahendid aitavad vähendada veekulu:

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



Joonis 10.8 Kanalisatsioonitorude juhuslik ühendamine (üleval ja vasakul), võib viia üleujutuseni keldris (all paremal).



Joonis 10.9 Vale kaldega ja ühendustega vee- ja kanalisatsioonitorustik keldris.

11 Puitkorterelamute energiatarbimise analüüs

11.1 Mõõdetud energiatarbimise analüüs

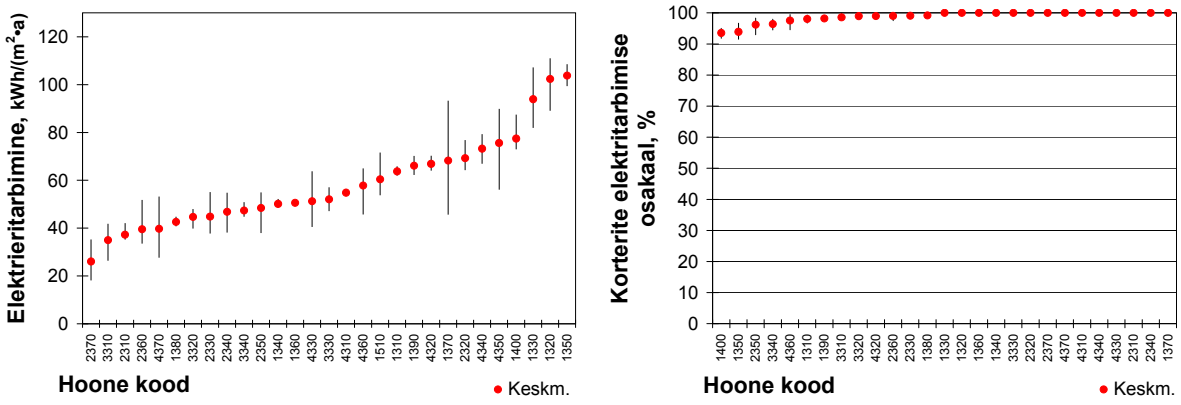
Analüüsi aluseks on uuritavate korterelamute mõõdetud energiatarbimise andmed, mis on saadud Eesti Energia AS-ilt elektri tarbimise kohta ning korteriühistutelt ja gaasi tarnijalt gaasi tarbimise kohta. Analüüsitud energiaeritarbimine on selle hoone köetava pinna kohta. Eeldatud on, et puitkortermajades on köetavaks pinnaks korterite eluruumide pind (elamispind koos abiruumide pinnaga). Kui hoone köetavat pinda pole olnud võimalik määrata, on energia erikulu mainitud hoone netopinna kohta. Vastavalt andmete olemasolule on iga elamu kohta esitatud järgmised tarbimisandmed:

- elektritarbimine;
- veetarbimine;
- gaasitarbimine;
- vee soojendamise energiatarbimine.

11.1.1 Elektritarbimise analüüs

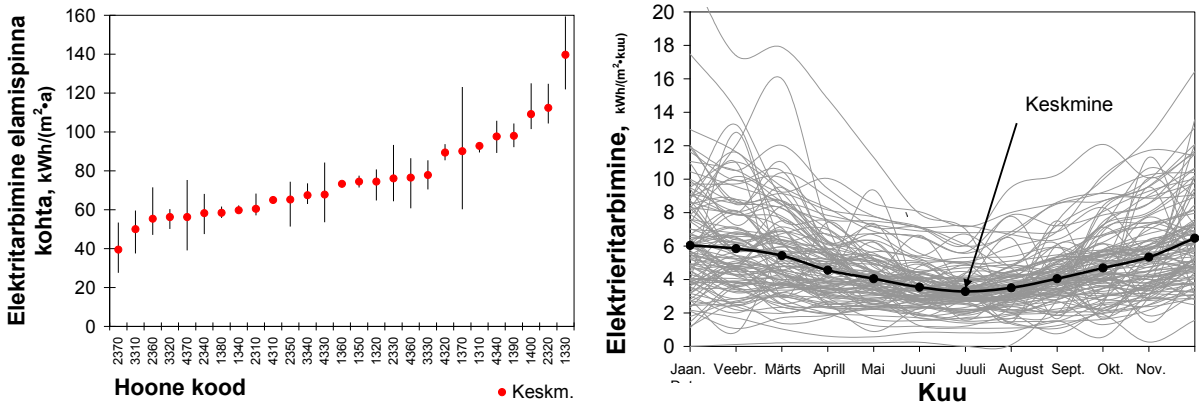
Analüüsitud elamutes kasutati elektrit peamiselt valgustuseks ja elektriseadmete kasutamiseks. Enamikus elamutes kasutati elektrit ka vee soojendamiseks ja üksikutes elamutes ka ruumide kütteks.

Kolme-nelja aasta (2007–2010) keskmine elektrieritarbimine (valgustus ja elektriseadmete kasutamine) analüüsitud elamutes oli keskmiselt 58 kWh/(m^2·a) (26…103 kWh/(m^2·a)), vt. Joonis 11.1 vasakul.



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

Sõltuvalt elektri mõõtmissüsteemist oli võimalik eristada elektritarbimist korterites ja üldkasutatavates ruumides. Korterite elektritarbimise osakaal moodustas elamu summaarsest elektritarbimisest 93–99 %. vt. Joonis 11.1 paremal. Korterite aastane elektrieritarbimine elamispinna ruutmeetri kohta vt. Joonis 11.2 vasakul.

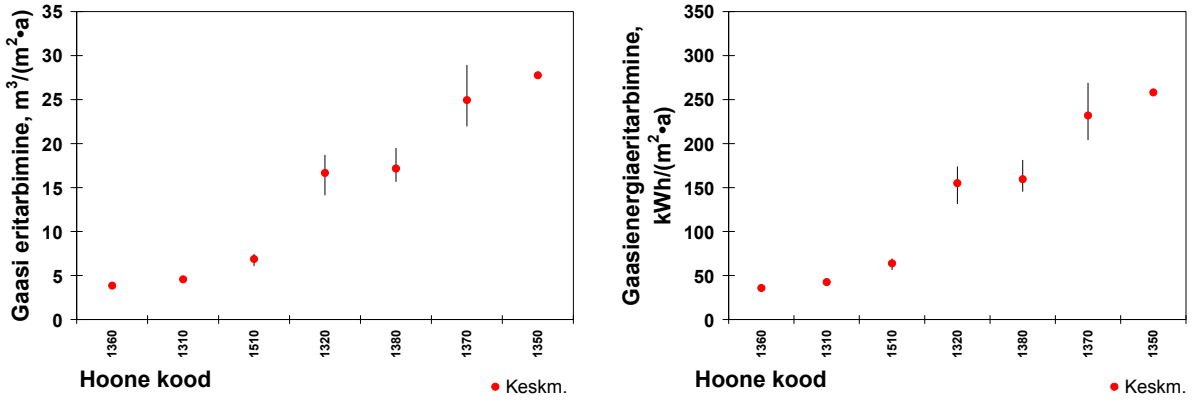


Joonis 11.2 Korterite aastane elektri eritarbimine elamispinna kohta (vasakul). Elektri eritarbimine uuritud elamutes kuude kaupa (paremal).

Kuude kaupa kõikus elektritarbimine elamutes +27…-44 % (vt. Joonis 11.2 paremal). Suvine elektritarbimine oli talvisest väiksem peamiselt valgustuse väiksemast kasutusest ja suvel kasutamata elektri lisakütte arvelt.

11.1.2 Gaasitarbimise analüüs

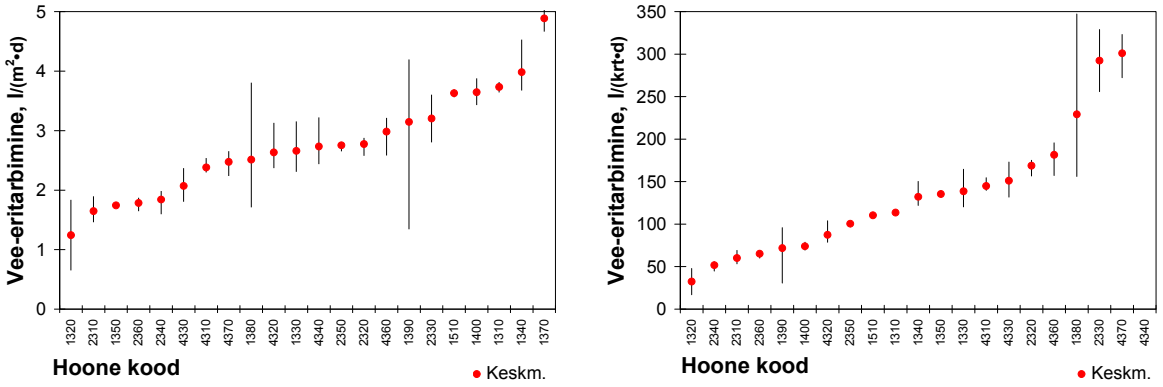
Gaasi tarnijalt oli võimalik saada gaasi tarbimise andmed analüüsitud elamutest seitsme elamu kohta. Elamutes kasutati maagaasi nii ruumide kütteks (korteritepõhised gaasikatlad), vee soojendamiseks kui ka gaasipliitides. Kõikides hoonetes oli lisaks gaasile ka lisakütte võimalus ahjudega või kaminaga. Lisakütet kasutati kõikides gaasiga varustatud elamutes külmal ajal talveperioodil. Keskmine gaasieritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta oli 14,6 $m^3/(m^2 \cdot a)$ (st. hälve 9,7 $m^3/(m^2 \cdot a)$, vt. Joonis 11.3 vasakul). Arvestades maagaasi küteväärtust 9,3 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

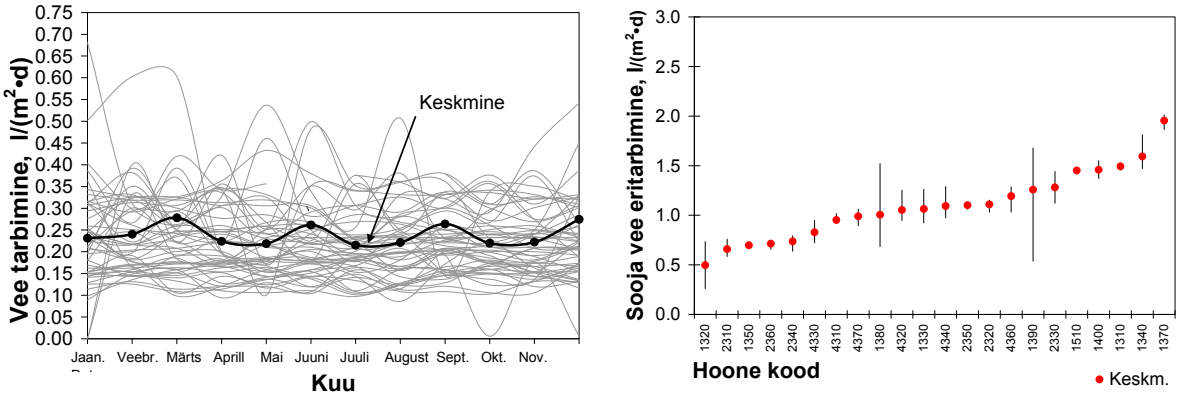
Veekulu andmed olid saadaval 22 elamu kohta. Aasta keskmine vee eritarbimine analüüsitud elamutes oli 2,75 $l/(m^2 \cdot d)$ (st. hälve 0,87 $l/(m^2 \cdot d)$) ja 149 $l/(krt \cdot d)$ (st. hälve 109 $l/(krt \cdot d)$), vt. Joonis 11.4.



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 ei olnud võimalik analüüsida, kuna elamute kohta oli võimalik saada ainult külma vee kulu andmed. Eeldatud on, et keskmine sooja vee osakaal kogu veekulust oli 40 %. Tulemuste analüüsil kasutati seda osakaalu sooja vee tarbimise arvutamisel. Sõltuvalt tarbija iseloomust võib sooja vee osakaal kõikuda vahemikus 38…45 % (TLV-52 2008). Aasta keskmine sooja vee eritarbimine analüüsitud elamutes vt. Joonis 11.5 paremal.



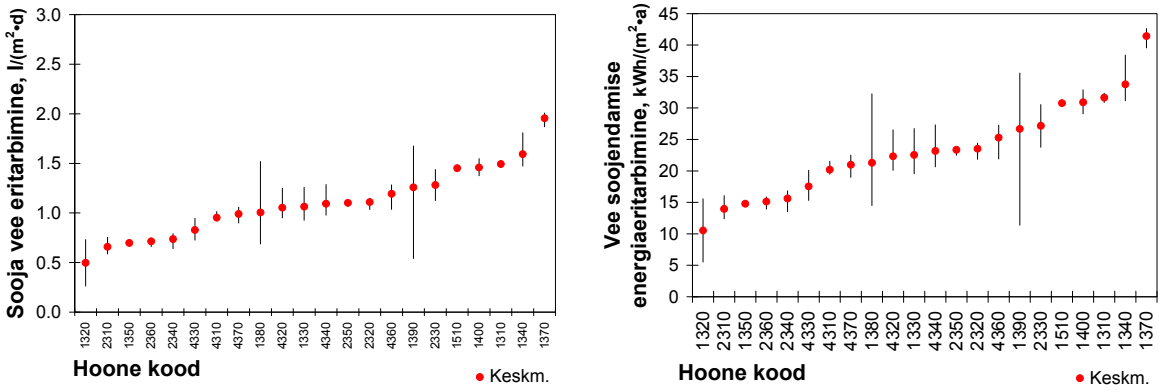
Joonis 11.5 Vee eritarbimine uuritud elamutes kuude kaupa (vasakul). Aasta keskmine sooja vee eritarbimine (paremal).

Aasta keskmine sooja vee eritarbimine ruutmeetri kohta analüüsitud elamutes oli 1,1 l/(m^2·d) (st. hälve 0,35 l/(m^2·d)), vt. Joonis 11.6 vasakul. Tallinna Tehnikaülikoolis 2005–2008. a. 75 korterelamus läbiviidud uuringu alusel oli sooja vee tarbimine 1,5 l/(m^2·d). Võrreldes varasemate uuringutega ((~2 l/(m^2·d): Toode & Kõiv 2005, Kõiv & Toode 2006), Tabel 11.1 on veetarbimine vähenemas.

Tabel 11.1 Sooja vee eritarbimise (ruutmeetri kohta) muutus Eesti korterelamutes aastatel 1999–2009.

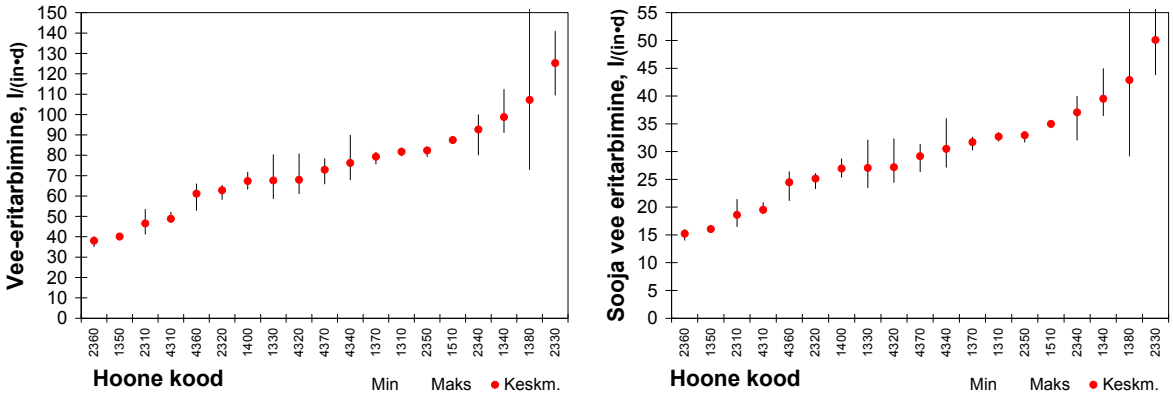
	Sooja vee eritarbimine, l/(m^2·d)							
	Kõiv & Toode 2006 (Mustamäe korterelamud)							Praegune uuring
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2009	2011
Keskmine	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	2,0	1,3	1,1
Vahemik	1,6...3,6	2,1...3,3	1,8...3,1	1,7...2,8	1,6...2,6	1,7...2,7	0,8...1,9	0,5…1,96

Aasta keskmine vee soojendamiseks kuluv energia erikulu analüüsitud elamutes oli 23,3 kWh/(m^2·a) (st. hälve 7,4 kWh/(m^2·a)), vt. Joonis 11.6 paremal. Ka vee soojendamise energiakulu on võrreldes varasemate uuringutega (1999 aastal 53 kWh/(m^2·a), Kõiv & Toode 2001) vähenemas.



Joonis 11.6 Aasta keskmine sooja vee eritarbimine (vasakul) ja vee soojendamise energiaerikasutus (paremal) uuritud elamutes.

Aasta keskmine vee eritarbimine inimese kohta analüüsitud elamutes oli 74 l/(in·d) (st. hälve 22,7 l/(in·d)), vt. Joonis 11.7 vasakul. Aasta keskmine sooja vee eritarbimine inimese kohta analüüsitud elamutes oli 30 l/(in·d) (st. hälve 9 l/(in·d)), vt. Joonis 11.7 paremal. Võrreldes varasemate uuringutega (45 l/(in·d): Toode & Kõiv 2005), Tabel 11.2 on veetarbimine vähenemas. Andmed inimeste arvu kohta saadi korterelamus olnud kontaktisikult, kes hindasid inimeste arvu täpsuseks 10 %.



Joonis 11.7 Vee eritarbimine inimese kohta uuritud elamutes inimese kohta: vasakul: kogu veetarbimine, paremal: sooja vee tarbimine.

Tabel 11.2 Sooja vee eritarbimise (inimese kohta) muutus Eesti korterelamutes aastatel 1999-2011.

	Sooja vee eritarbimine, l/(in·d)							
	Kõiv & Toode 2006 (Mustamäe korterelamud)							Praegune uuring
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2009	2011
Keskmine	60	56	49	46	45	44	35	29,6
Vahemik	34…77	44…71	38…66	37…59	35…56	36…58	17...58	15…50

11.2 Arvutuslik analüüs

11.2.1 Meetodid

11.2.1.1 Energiaarvutused

Vältimaks hoonete kasutuse mõju energiatõhususe hindamisele, on energiaarvutused tehtud hoonete standardkasutusel ja ühtse arvutusmetoodika alusel. Kõnesolevas uuringus on puidust korterelamute energiatõhususe analüüsil kasutatud VV. määruse nr. 258 (RT I 2007, 72, 445) „Energiatõhususe miinimumnõuded“ arvutuse aluseid. Nimetatud määruses on esitatud hoonete standardkasutus koos hoone ja tehnosüsteemide kasutus- ja käiduaegade ning vabasoojuse lähteandmed.

Energiatõhususe analüüsimisel on tüüpelamud modelleeritud dünaamilise simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.0 abil. Nimetatud arvutusprogramm vastab määruses toodud valideeritud tarkvarale esitatud nõuetele.

Energiaarvutused on tehtud kahes etapis. Esimeses etapis valideeritakse mudelid mõõdetud sisekliima ja energiatarbimise andmete järgi. Valideerimise aluseks on arvutusmudelite koostamisel kasutatud näidishoonete omanikelt saadud energiatarbimiste andmeid. Pärast valideerimist on olemasolevate hoonete arvutusmudelid viidud vastavusse VV. määruses nr. 258 (RT I 2007, 72, 445) esitatud standardkasutusele vastavate kasutusprofiilidega, sisekliima näitajatega, sooja tarbevee tarbimistega ja vabasoojustega.

Energiaarvutused on sooritatud, kasutades väliskliimana Eesti energiaarvutuste baasaastat ja sisetemperatuuride seadearvud on vastavalt määruse lisas 2 esitatud elamute ruumitemperatuuridele (kütmisel 21 °C ja 27 °C jahutamisel).

Energiaarvutustes kasutatud ventilatsiooni õhuvooluhulkade arvutuste aluseks on sisekliima standardis EN 15251 lisas B.2 „Soovituslikud ventilatsiooni arvutuslikud õhuvooluhulgad eluhoonetes“ tabelis B.5 toodud soovituslikud õhuvahetuse määrad. Loomuliku ventilatsiooniga arvutusmudelites on ventilatsiooni õhuvooluhulkade juures lähtutud sisekliima III klassist ja mehaanilise ventilatsioonisüsteemiga arvutusmudelites sisekliima II klassist. Korterite summaarne õhuvooluhulk on arvutatud lähtudes järgmistest suurustest:

- 0,35 l/(s·m^2) suletud netopinna järgi (sisekliima klass III);
- 0,6 l/(s·m^2) elamispinna (magamistoad, elutuba) järgi (sisekliima klass III);
- 0,42 l/(s·m^2) suletud netopinna järgi (sisekliima klass II);
- 1,0 l/(s·m^2) elamispinna (magamistoad, elutuba, kabinet) järgi (sisekliima klass II).

Hoone õhuvahetuse arvutamisel on elu- ja magamistubade pindalade järgi arvutatud õhuvooluhulka võrreldud hoone üldõhuvahetuse õhuvooluhulgaga ning arvutustes kasutatakse suuremat.

Arvutustes kasutatud vabasoojustena on kasutatud (seadmed, valgustus, inimesed) määruse lisas 5 toodud väärtusi. Hoone kasutuse profiili määramisel on kasutatud määruse lisas 6 esitatud detailset kohaloleku ja ruumide kasutusprofiile. Eraldi kasutusprofiilid on esitatud valgustusele, seadmetele ja inimestele.

Hoone valgustusele kuluva elektrienergia kulu arvestamisel on arvutatud summaarne elektrienergia kulu võttes aluseks kõikide ruumide pindala (hoone üldpind). Hoone üldpind sisaldab nii kütmata (sh. trepikoda ja kelder) kui ka köetavaid ruume. Hoone energiatõhususarvu arvutamisel on hoone energia kulu jagatud hoone köetava pindalaga. Sellest tulenevalt on hoone arvutuslik energia erikasutus valgustuse osas suurem määruses esitatud suurusest.

Sooja tarbevee erikulu on vastavalt määruse lisas 8 esitatud elamute sooja tarbevee erikulule 45 liitrit inimese kohta ööpäevas. Inimeste arvestuslik hulk on saadud tubade arvust korteris: magamistubade arv pluss üks (kolmetoalises korteris elab arvestuslikult kolm inimest).

Hoonete õhupidavuse lähteandmetena on kasutatud uuringus osalenud hoonetes tehtud õhupidavuse mõõtmiste tulemuste alusel arvutatud õhupidavuse baasväärtust. Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka, mis on arvutatud puitkortermajades mõõdetud hoonepiirete õhulekkearvu baasväärtuse ja hoonepiirete pindala abil.

Energiaarvutustes on arvestatud järgmiste soojusallikatega, mille korral ruumide küte ja tarbevee soojendamine on lahendatud järgmiselt:

- kaugküte: hoone on ühendatud kaugküttevõrku kompleksse soojussõlmega, milles toimub kütte sooja vee ja sooja tarbevee valmistamine, ruumide küte on radiaatoritega, mehaanilise sissepuhke ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga, värskeõhuklappidega ventilatsiooni korral toimub õhu soojendamine ruumi küttega;
- ahiküte: hoone eluruume köetakse ahjudega, sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse elektriküttekehaga mahtveesoojendeid, mehaanilise sissepuhke ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga, värskeõhuklappidega ventilatsiooni korral toimub õhu soojendamine ruumi küttega;
- gaasiküte: hoonel on ühendus gaasitrassiga, kütte sooja vee ja sooja tarbevee valmistamine toimub gaasikatlaga, ruumide küte on radiaatoritega, mehaanilise sissepuhke ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga, värskeõhuklappidega ventilatsiooni korral toimub õhu soojendamine ruumi küttega;
- õhk-vesi soojuspump: kütte sooja vee ja sooja tarbevee valmistamine toimub õhk–vesi soojuspumbaga, ruumide küte on radiaatoritega, mehaanilise sissepuhke ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga, värskeõhuklappidega ventilatsiooni korral toimub õhu soojendamine ruumi küttega. Maasoojuspump-lahendust ei ole väikeste kruntide tõttu arvestatud. Suuremate kruntide korral on maasoojuspump kindlasti arvestatav alternatiiv;
- elekterküte: sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse elektriküttekehaga mahtveesoojendeid, ruumide küte elektriradiaatoritega, mehaanilise sissepuhke ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga, värskeõhuklappidega ventilatsiooni korral toimub õhu soojendamine ruumi küttega.

Pärast hoonete standardkasutusele viimist on tehtud energiaarvutused erinevate renoveerimismeetmete mõju hindamiseks ja võrdlemiseks elamu energiatõhususele. Iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte energiatõhususe komponenti (näiteks ainult välispiirete lisasoojustus või ainult ventilatsiooni soojustagastus).

Üksiku komponendi muutmisel arvutatud energiatõhususarvu on võrreldud arvutuste algolukorras arvutatud energiatõhususarvuga. Energiatõhususarvu muutust võrreldes esialgsega on väljendatud üksiku meetme kasutamisel saadava võimaliku energiasäästu protsendiga. Esimese etapi tulemustes on välja toodud üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja kütteenergia erikasutusele.

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

11.2.1.2 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 praeguses 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.

Energiatõhususe renoveerimismeetmete järjekorda seadmisel on lähtutud tingimusest, et renoveerimismeede muudaks hoone välisilmet võimalikult minimaalselt, et esimeste meetmetena teha sellised tööd, mis otseselt välja ei paista. Tööde võimalik järjekord oleks sellisel juhul järgmine:

- tehnosüsteemide (ventilatsioon, küte, soojusallikas) rekonstrueerimine;
- katuslae või pööningu põranda lisasoojustamine;
- keldrilae lisasoojustamine;
- akende renoveerimine või vahetamine;
- välisseinte lisasoojustamine.

Üksiku komponendi muutmisel arvutatud energiatõhususarvu on võrreldud arvutuste algolukorras arvutatud energiatõhususarvuga. Energiatõhususarvu muutust võrreldes esialgsega on väljendatud üksiku meetme kasutamisel saadava võimaliku energiasäästu protsendiga.

Tarnitud ja kaalutud energiaerikasutuse arvutamistel juures on arvestatud järgmiste teguritega:

- energiakandjate kaalumistegurid:
  - ahiküte 0,75 (taastuvtoormel põhinev küte),
  - kaugküte 0,9,
  - maagaas 1,0,
  - elekter 1,5;
- soojusallikate kasutegurid vastavalt ruumide küte ja tarbevee soojendamine:
  - ahjud 0,6 ja 0,6,
  - kaugküte 1,0 ja 1,0,
  - gaas, kondensaatkatel 0,95 ja 0,92;
- soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur ning soojuspumba soojustegur:
  - radiaatorid 0,97,
  - õhk-vesi soojuspump, tarbevee soojendamine 2,3,
  - õhk-vesi soojuspump, kütteks 1,8.

Renoveerimismeetmete seletus koos kirjeldusega ja võimaliku mõjuga vt. Tabel 11.3.

Tabel 11.3 Renoveerimismeetmete seletus.

Meetme nimetus	Sisu	Mõju, tegevus
Katuslagi +200 mm Katuslagi +400 mm	• viimase korruse ja pööningu vahelise vahelaele 200 mm või 400 mm paksuse soojustusmaterjali lisamine koos õhupidavuse parandamisega;	• katuslae soojusjuhtivuse vähenemine; õhupidavuse suurenemine;
Kelder +100 mm	• keldri ja esimese korruse vahelise vahelae soojustamine, keldri lakke 100 mm paksuse soojustusmaterjali lisamine;	• vahelae soojusjuhtivuse vähenemine;
Aknad U=1.8 W/(m^2·K)	• olemasolevate akende remont; kirka klaasi asendamine selektiivklaasiga; • õhupidavuse parandamine tihendamise abil;	• akna soojusläbivuse vähenemine; õhupidavuse suurenemine;
Aknad U=1.1 W/(m^2·K)	• olemasolevate akende vahetus väiksema soojusläbivusega akendega; õhupidavuse parandamine tihendamise abil;	• akna soojusläbivuse vähenemine; õhupidavuse suurenemine;
Soojustagastiga ventilatsioonisüsteem 60%	• korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,6);	• korterites reguleeritava ja eelsoojendatud sissepuhkeõhuga õhuvahetuse tagamine sisekliima klassi II järgi;

Meetme nimetus	Sisu	Mõju, tegevus
Soojustagastiga ventilatsioonisüsteem +80%	• korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine (soojustagasti temperatuuri suhtarv ≥0,8);	• korterites reguleeritava ja eelsoojendatud sissepuhkeõhuga õhuvahetuse tagamine sisekliima klassi II järgi;
Välissein +20 mm	• välisseina 20 mm paksuse tuuletõkkeplaadi lisamine koos õhupidavuse parandamisega.	• välisseina soojusjuhtivuse vähenemine; õhupidavuse suurenemine;
Välissein +70 mm Välissein +120 mm	• välisseina 20 mm + 50 mm või 20 mm + 100 mm paksuse soojustusmaterjali lisamine koos õhupidavuse parandamisega.	• välisseina soojusjuhtivuse vähenemine; õhupidavuse suurenemine;
Ahiküttelt kaugküttele	• olemasolevale ahiküttele lisatakse põhikütteks kaugküte; hoone ühendatakse kaugküttevõrku komplasse soojussõlme kaudu; soojussõlmes toimub sooja tarbevee ja küttevee valmistamine; sooja tarbevee ja radiaatoritega keskkütte süsteemide väljaehitamine	• madala efektiivsusega soojusallika ja küttesüsteemi asendamine efektiivsemaga; küttesüsteem paremini reguleeritav; korteri põhine sooja tarbevee valmistamise muutmine hoone põhiseks;
Kaugküttelt gaasiküttele	• kaugkütte asendamine maagaasil põhineva küttega; soojussõlme sobitamine gaasikatla lahendusele; • korteritesse gaasikatelde paigaldamine	• võimalik kütte ja sooja tarbevee valmistamine viia hoone põhiselt süsteemilt korteripõhistele süsteemidele
Kaugküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	• soojussõlme sobitamine õhk-vesi soojuspumba lahendusele; olemasoleva radiaatoritega keskküttesüsteemi rekonstrueeri-mine vastavalt uuele soojusallikale	• olemasoleva soojusallika asendamine efektiivsemaga •

Energiaarvutustes on arvestatud järgmiste soojusallikatega, mille korral ruumide küte ja tarbevee soojendamine on lahendatud järgmiselt:

- kaugküte: hoone on ühendatud kaugküttevõrku kompleksse soojussõlmega, milles toimub kütte sooja vee ja sooja tarbevee valmistamine, ruumide küte on radiaatoritega, sissepuhke-väljatõmbe seadme ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga;
- ahiküte: hoone eluruume köetakse ahjudega, sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse elektriküttekehaga mahtveesoojendeid, sissepuhke-väljatõmbe seadme ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga;
- gaasiküte: hoonel on ühendus gaasitrassiga, kütte soojavee ja sooja tarbevee valmistamine toimub gaasikatlaga, ruumide küte on radiaatoritega, sissepuhke-väljatõmbe seadme ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga;
- soojuspump: kütte soojavee ja sooja tarbevee valmistamine toimub õhk-vesi soojuspumbaga, ruumide küte on radiaatoritega, sissepuhke-väljatõmbe seadme ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga;
- elekterküte: sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse elektriküttekehaga mahtveesoojendeid, ruumide küte elektriradiaatoritega, sissepuhke-väljatõmbe seadme ventilatsiooniõhu soojendamine elektriküttekehaga.

Erinevate renoveerimismeetmete võrdlus on tehtud algolukorraga. Üksikute meetmete mõju võrdluse arvutamisel on valitud algolukord, kui hoone soojusvarustus toimib kaugkütte võrguga ühendatud soojussõlme baasil. Energiasäästu saavutamise juures on arvestatud, 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. Üksikkomponentide 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.

11.2.1.3 Analüüsitud elamutüübid

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

Tabel 11.4 Hoonete tüübid, millele tehti energiaarvutused.

3-korruseline keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu

- Võrdlushoone põhinäitajad:
  - ehitisealune pind, 269 m^2;
  - suletud netopind: 852 m^2;
  - köetav pind: 672 m^2;
  - välisseina pind:667 m^2;
  - akende-uste pind: 122 m^2;
  - korterite arv: 12;
  - elanike arv: 26;
  - välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,68 m^{-1}.



2-korruseline keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu

- Võrdlushoone põhinäitajad:
  - ehitisealune pind, 183 m^2;
  - suletud netopind: 433 m^2;
  - köetav pind: 283 m^2;
  - välisseina pind: 469 m^2;
  - akende-uste pind: 49 m^2;
  - korterite arv: 8;
  - elanike arv: 10;
  - välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,79m^{-1}.



2-korruseline keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu

- Võrdlushoone põhinäitajad:
  - ehitisealune pind: 506 m^2;
  - suletud netopind: 890,5 m^2;
  - köetav pind: 822,7 m^2;
  - välisseina pind: 467,1 m^2;
  - akende-uste pind: 153 m^2;
  - korterite arv: 16;
  - elanike arv: ;
  - välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,65 m^{-1}.



2-korruseline keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu

- Võrdlushoone põhinäitajad:
  - ehitisealune pind: 170 m^2;
  - suletud netopind: 416 m^2;
  - köetav pind: 295 m^2;
  - välisseina pind: 370,3 m^2;
  - akende-uste pind: 67,6 m^2;
  - korterite arv: 10;
  - elanike arv: 20;
  - välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,76 m^{-1} (koos keldriga 0,67 m^{-1}).
  - tulemüür kahe ruumi vahel välispiirde pind/köetav kubatuur: 0,7 m^{-1} (koos keldriga 0,60 m^{-1}).

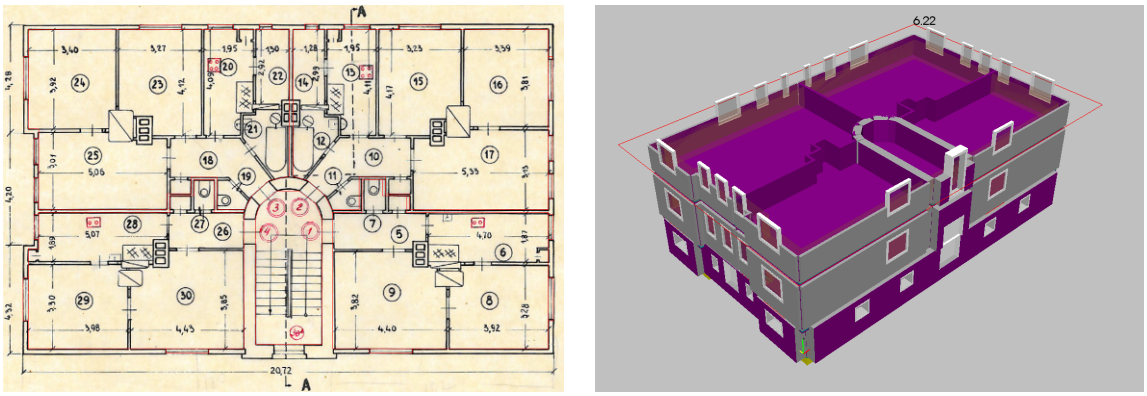


11.2.2 Energiaarvutuste tulemused

Energiaarvutuse tulemused on esitatud kaalutud energiaerikasutusena, st. vastavalt energiakandja tüübile on energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju arvesse võetud vastavate kaalumisteguritega (RT I 2007, 72, 445).

11.2.2.1 Kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu

Hoone arvutati 18-tsoonilise hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda, kelder ja pööning moodustasid omaette arvutustsooni, vt. Joonis 11.8



Joonis 11.8 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu energiaarvutusmudeli korruseplaan tsoonide jaotusega ja välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.5.

Tabel 11.5 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral.

		Arvutusvariant 0: (algolukord VVm.258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, W/(m^2·K)	Välissein	0,65
	Sokkel	1,45
	Pööningu vahelagi	0,42
	Keldri põrand	0,52
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 35%))	2,9 / 1,4
	Päikesefaktor g,	0,76
	Välisuks	2,0
Õhulekkearv q_{50}, m^3/(h·m^2)		10,3
Infiltratsiooni õhuhulk, l/(s·m^2)		0,1425
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/(s·m^2)		0,4 (III klass)
Sooja vee kasutus l/(m^2·d))		2,01

Algolukorra arvutusvariandis on arvestatud järgmiste konstruktsiooni tüüpidega:

- välissein (seestpoolt väljapoole) – viimistlus, ehituspapp, palk 150 mm, tuulutusvahe, laudis;
- pööningu vahelagi (altpoolt üles) – laelaudis, soojustus (saepuru), õhkvahe, laudis, põrandatäide (liiv), vahelae paksus 330 mm;
- aken – kahekordse raamiga puidust aken;
- välisuks – puidust uks;
- sokkel (keldri välissein) – paekivist müür paksusega 640 mm;
- keldripõrand – betoonpõrand pinnasel;
- katusekate – plekk (viimase korruse lae peal olev pööning on eraldi arvutustsoon).

Elamu olemasolevas olukorras ja standardkasutusel energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.6.

Tabel 11.6 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu arvutuslik energia tarbimine mõõtmisaegses olukorras ning määrusejärgsete standardkasutuse ja vabasoojustega.

		Energia erikasutus, kWh/(m^2·a)						
Arvutus-variant	ETA	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe vesi
0, MWh		176,9	122,7	kaetakse küttega	4,7	14,1	6,6	28,6
0,kWh/m^2	279	282	196	kaetakse küttega	8	22,5	11	46

Et selgitada välja üksikute renoveerimismeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.7.

Tabel 11.7 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

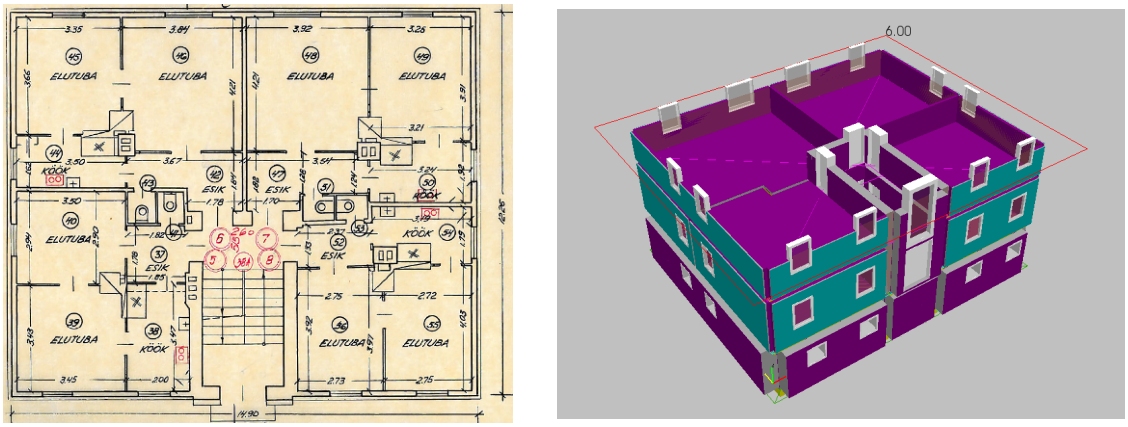
Renoveerimismeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Algolukord (kaugküte)	279		242	
• Pööningu vahelae lisasoojustamine (+200 mm)	268	4	230	5
• Pööningu vahelae lisa-soojustamine (+400 mm) infiltratsioon -5 %	264	5	225	7
• Keldrilae lisa-soojustamine (+100 mm)	275	1	240	1
• Akende remont: aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	267	4	229	5
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	261	6	222	8
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2 U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10 %	257	8	218	10
• Ventilatsioonisüsteem (soojustagastus 80 %)	260	7	202	17
• Välisseinte lisasoojustamine (+20mm), infiltratsioon -15 %	265	5	226	6
• Välisseinte lisasoojustamine (50+20 mm), infiltratsioon -15 %	252	10	212	12
• Välisseinte lisasoojustamine (100+20 mm), infiltratsioon -15 %	247	12	206	15
• Välisseinte lisasoojustamine (100+50+20 mm), infiltratsioon -15 %	243	13	202	16
• Algolukord (ahiküte)	410		418	
• Ahiküttelt kaugküttele	279	33		

Renoveerimismeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Ahiküttelt elekterküttele	425	-4	242	
• Ahiküttelt gaasiküttele	330	20	269	
• Kaugküttelt gaasiküttele	330	-19		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	252	39	128	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	252	10		

Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika paigaldamine.

11.2.2.2 Kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu

Hoone arvutati 11-tsoonilise hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda, kelder ja pööning moodustasid omaette arvutustsooni, vt. Joonis 11.9.



Joonis 11.9 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu energiaarvutusmudeli korruseplaan tsoonide jaotusega ja välisvaade.

2-korruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.8.

Tabel 11.8 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral.

		Arvutusvariant 0: (algolukord VVm.258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, W/(m^2·K)	Välissein	0,57
	Sokkel	1,31
	Pööningu vahelagi	0,59
	Keldri põrand	0,53
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 35%))	2,9 / 1,4
	Päikesefaktor g,	0,76
	Välisuks	2,0
Õhulekkearv q_{50}, m^3/(h·m^2)		10,3
Infiltratsiooni õhuhulk, l/(s·m^2)		0,1425
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/(s·m^2)		0,4 (III klass)
Sooja vee kasutus l/(m^2·d))		1,60

Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu algolukorra arvutusvariandis on arvestatud järgmiste konstruktsioonitüüpidega:

- välissein (seestpoolt välja poole) – viimistlus, ehituspapp, palk 150 mm, TEP-plaat 60 mm, krohv;
- pööningu vahelagi (altpoolt üles) – laelaudis, soojustus (saepuru), õhkvahe, laudis, põrandatäide (liiv), vahelae paksus 290 mm;
- aken – kahekordse raamiga puidust aken;
- välisuks – puidust uks;
- sokkel (keldri välissein) – paekivist müür paksusega 740 mm;
- keldripõrand – betoonpõrand pinnasel;
- katusekate – plekk (viimase korruse lae peal olev pööning on eraldi arvutustsoon).

2-korruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu olemasolevas olukorras ja standardkasutusel energiakasutuse profiil vt. Tabel 11.9

Tabel 11.9 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu arvutuslik energia tarbimine mõõtmisaegses olukorras ning määruse järgsete standardkasutuse ja vabasoojustega.

				Energia erikasutus, kWh/(m^2·a)				
Arvutus-variant	ETA	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgustus	Soe vesi
0, MWh		79,6	58,3	kaetakse küttega	2,1	6,4	3,3	9,6
0,kWh/m^2	279	282	206	kaetakse küttega	8	22,5	12	34

Et selgitada välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.10.

Tabel 11.10 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Tallinna maja“ tüüpi elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

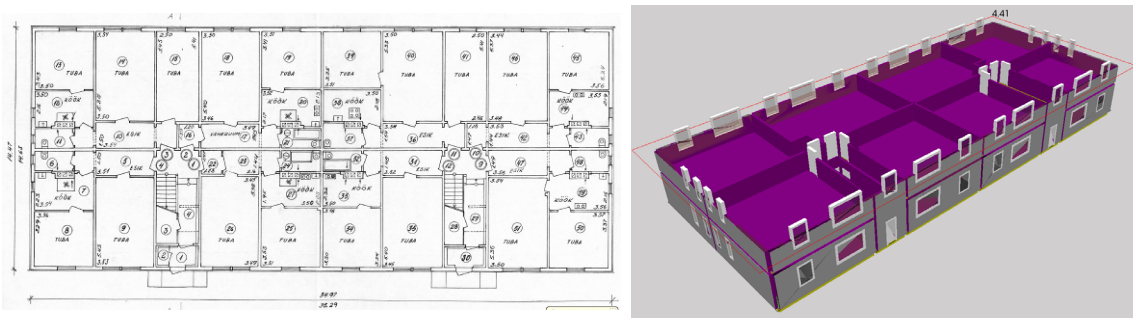
Renoveerimismeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Algolukord (kaugküte)	279		240	
• Katuslagi +200 mm	256	8	215	10
• Katuslagi +400 mm infiltratsioon -5 %	250	11	208	13
• Kelder +100 mm	269	4	229	4
• Akende remont: aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	268	4	228	5
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	263	6	222	7
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2·K), U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10 %	260	7	219	9

Renoveerimismeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Ventilatsiooni süsteem 80 %	246	12	197	18
• Välisseinte lisasoojustamine (+20 mm) infiltratsioon -15 %	272	3	232	3
• Välisseinte lisasoojustamine (+150+20 mm +laudis) infiltratsioon -15 %	244	13	202	16
• Välisseinte lisasoojustamine (+100+20 mm+laudis) infiltratsioon -15 %	248	11	206	14
• Välisseinte lisasoojustamine (+50+20 mm+laudis) infiltratsioon -15 %	255	9	214	11
• Välisseinte lisasoojustamine (+150 mm+krohv) infiltratsioon -15 %	243	13	200	17
• Välisseinte lisasoojustamine (+100 mm+krohv) infiltratsioon -15 %	247	12	205	14
• Välisseinte lisasoojustamine (+50 mm +krohv) infiltratsioon -15 %	258	8	217	10
• Algolukord (ahiküte)	493		426	
• Ahiküttelt kaugküttele	279	44		
• Ahiküttelt elekterküttele	414	16	234	
• Ahiküttelt gaasiküttele	329	34	267	
• Kaugküttelt gaasiküttele	329	-19		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	257	49	129	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	257	8		

Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika (õhk-vesi soojuspump, kaugküte või gaasiküte) paigaldamine.

11.2.2.3 Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu

Hoone arvutati 11-tsoonilise hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda, kelder ja pööning moodustasid omaette arvutustsooni, vt. Joonis 11.10



Joonis 11.10 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu energiaarvutusmudeli korruseplaan tsoonide jaotusega ja välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.11.

Tabel 11.11 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral.

		Arvutusvariant 0: (algolukord VVm.258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, W/(m^2·K)	Välissein	0,51
	Sokkel	-
	Pööningu vahelagi	0,66
	Keldri põrand	0,46
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 35%))	2,9 / 1,4
	Päikesefaktor g,	0,76
	Välisuks	2,0
Õhulekkearv q_{50}, m^3/(h·m^2)		10,26
Infiltratsiooni õhuhulk, l/(s·m^2)		0,1425
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/(s·m^2)		0,4 (III klass)
Sooja vee kasutus l/(m^2·d))		1,86

Algolukorra arvutusvariandis on arvestatud järgmiste konstruktsiooni tüüpidega:

- välissein (seestpoolt välja poole) – viimistlus, ehituspapp, palk 200 mm, laudis;
- pööningu vahelagi (altpoolt üles) – laelaudis, soojustus (saepuru), põrandatäide (liiv), lae paksus 220 mm;
- aken – kahekordse raamiga puidust aken;
- välisuks – puidust uks;
- sokkel (keldri välissein) – paekivist müür paksusega 740 mm;
- põrand – puitlaagidega põrand pinnasel;
- katusekate – plekk (viimase korruse lae peal olev pööning on eraldi arvutustsoon).

Elamu olemasoleva ja energiakasutuse profiil standardkasutusel vt. Tabel 11.12.

Tabel 11.12 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu arvutuslik energia tarbimine mõõtmisaegses olukorras ning määruse järgsete standardkasutuse ja vabasoojustega.

			Energia erikasutus, kWh/(m^2·a)					
Arvutus-variant	ETA	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgus-tus	Soe tarbevesi
0, MWh		188	121,9	kaetakse küttega	6,1	18,6	6,3	35,3
0,kWh/m^2	228	229	148	kaetakse küttega	7	22,5	8	43

Et selgitada välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.13.

Tabel 11.13. Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga „Tööliselamu“ tüüpi elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

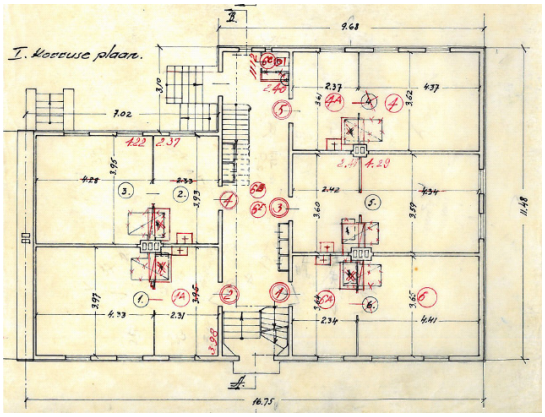
Renoveerimismeede	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Algolukord (kaugküte)	228		191	
• Katuslagi +200 mm infiltratsioon -5 %	207	10	167	12
• Katuslagi +400 mm infiltratsioon -5 %	205	11	165	14
• Põrand +100 mm	223	2	185	3
• Akende remont aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	217	5	178	7
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	213	7	174	9
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2·K), U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10 %	210	8	171	11
• Ventilatsiooni süsteem 80 %	192	17	144	25
• Välisseinte lisasoojustamine (+20 mm) infiltratsioon -15 %	210	4	180	6
• Välisseinte lisasoojustamine (+150+20 mm) infiltratsioon -15 %	205	11	165	13
• Välisseinte lisasoojustamine (+100+20 mm) infiltratsioon -15 %	208	10	168	12
• Välisseinte lisasoojustamine (+50+20 mm) infiltratsioon -15 %	211	8	172	10
• Algolukord (ahiküte)	333		257	
• Ahiküttelt kaugküttele	228	32		
• Ahiküttelt elekterküttele	339	-2	188	
• Ahiküttelt gaasiküttele	236	30	199	
• Kaugküttelt gaasiküttele	236	-3		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	204	40	99	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspump küttele	204	11		

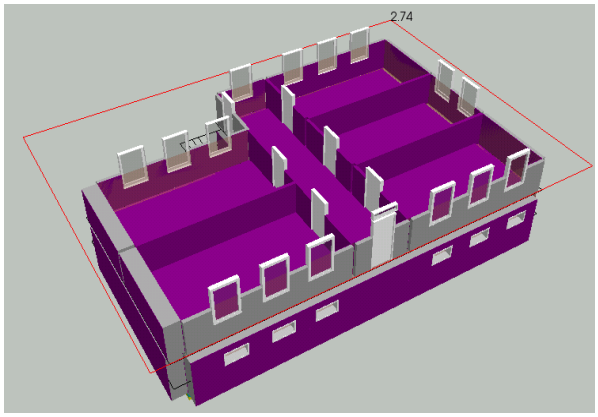
Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika (õhk-vesi soojuspump,

kaugküte või gaasiküte) paigaldamine. Ahiküttelt elekterküttele ja kaugküttelt gaasiküttele üleminek vähendavad elamu energiatõhusust.

11.2.2.4 Kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu

Hoone arvutati 14-tsoonilise hoone mudelina nii, et iga korter, trepikoda, kelder ja pööning moodustasid omaette arvutustsooni, vt. Joonis 11.11.





Joonis 11.11 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu energiaarvutusmudeli korruseplaan tsoonide jaotusega ja välisvaade.

Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 11.4.

Tabel 11.14 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu piirdetarindite ja ventilatsiooni põhiomadused erinevate arvutusvariantide korral.

		Arvutusvariant 0: (algolukord VVm.258 standardkasutusel)
Soojusjuhtivus, W/(m^2·K)	Välissein	0,65
	Sokkel	1,46
	Pööningu vahelagi	0,50
	Keldri põrand	0,50
	Aken: klaas / raam (raami osakaal 35%))	2,9 / 1,4
	Päikesefaktor g,	0,76
	Välisuks	2,0
Õhulekkearv q_{50}, m^3/(h·m^2)		10,26
Infiltratsiooni õhuhulk, l/(s·m^2)		0,1425
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/(s·m^2)		0,4 (III klass)
Sooja vee kasutus l/(m^2·d))		3,06

Algolukorra arvutusvariandis on arvestatud järgmiste konstruktsiooni tüüpidega:

- välissein (seestpoolt välja poole) – viimistlus, palk 150 mm, tõrvapapp, laudis;
- pööningu vahelagi (altpoolt üles) – laelaudis, soojustus (saepuru), põrandatäidis (liiv);
- aken – kahekordse raamiga puidust aken;
- välisuks – puidust uks;
- sokkel (keldri välissein); tulemüür – paekivist müür paksusega 640 mm;
- keldripõrand – betoonplaat pinnasel;
- katusekate – plekk (viimase korruse lae peal eraldi arvutustsoon; kütmata ja ventileerimata).

Hoone mudel on arvutatud kolmes eri variandis. Esimesel juhul on arvestatud, et hoone 1. ja 2. korruse kõik välisseinad on puitkonstruktsioonist. Teisel juhul on hoone üks otsasein paekivist tulemüür, mis on hoone välisseinaks ja on avatud väliskeskkonda. Kolmandal

juhul on hoone üks otsasein paekivist tulemüür, mis jääb kahe hoone vahele ja ei ole terves ulatuses avatud väliskeskkonda.

2-korruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu olemasolevas olukorras ja standardkasutusel energiakasutuse profiilid vt. Tabel 11.15.

Tabel 11.15 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi elamu arvutuslik energia tarbimine mõõtmisaegses olukorras ning määruse järgsete standardkasutuse ja vabasoojustega.

Arvutus-variant	Energia erikasutus, kWh/(m^2·a)							
	ETA	Kokku	Ruumide küte	Ventilatsiooniõhu soojendamine	Ventilaatorid, pumbad	Elektri-seadmed	Valgus-tus	Soe tarbevesi
0 (puit), MWh		88,8	58,1	kaetakse küttega	1,8	6,6	3,1	19
0 (puit) ,kWh/m^2	295	302	197	kaetakse küttega	6	22,5	11	65
0 (tulemüür), MWh		92,5	61,8	kaetakse küttega	1,8	6,6	3,1	19
0 (tulemüür), kWh/m^2	306	314	210	kaetakse küttega	6	22,5	11	65
0 (T_const), MWh		84,6	53,9	kaetakse küttega	1,8	6,6	3,1	19
0 (T_const), kWh/m^2	282	287	183	kaetakse küttega	6	22,5	11	65

Selgitamaks välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju üleni puit-välisseintega hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.16.

Tabel 11.16. Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi üleni puit-välisseintega elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

Renoveerimismeede (kõik välisseinad on puitseinad)	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Algolukord (kaugküte)	295		262	
• Ventilatsiooni süsteem (soojustagastus 80 %)	265	10	225	14
• Välisseinte lisasoojustamine (+20 mm) infiltratsioon - 15 %	285	4	250	4
• Välisseinte lisasoojustamine (+70 mm) infiltratsioon -15%	269	9	233	11
• Välisseinte lisasoojustamine (+120 mm) infiltratsioon - 15 %	262	11	225	14
• Välisseinte lisasoojustamine (+170 mm) infiltratsioon - 15 %	257	13	219	16
• Pööningu vahelae lisasoojustamine (+200 mm)	280	5	246	6
• Keldrilae lisasoojustamine (+100 mm)	288	2	255	3

Renoveerimismeede (kõik välisseinad on puitseinad)	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Akende remont: aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	285	3	251	4
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	278	6	244	7
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2·K), U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10 %	275	7	239	9
• Algolukord (ahiküte + vesi elekterküte)	506		440	
• Ahiküttelt kaugküttele	295	42		
• Ahiküttelt elekterküttele	444	12	256	
• Ahiküttelt gaasiküttele	349	31	290	
• Kaugküttelt gaasiküttele	349	-18		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	266	47	138	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	266	10		

Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika (õhk-vesi soojuspump, kaugküte või gaasiküte) paigaldamine. Kaugküttelt gaasiküttele üleminek vähendab elamu energiatõhusust.

Et selgitada välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju paekivist tulemüüriga välisseinaga hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.17.

Tabel 11.17. Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi paekivist tulemüüriga välisseinaga elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

Renoveerimismeede (tulemüür välisseinaks)	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Ventilatsiooni süsteem (soojustagastus 80 %)	277	10	238	13
• Välisseinte lisasoojustamine (+20 mm) infiltratsioon -15 %	298	3	265	3
• Välisseinte lisasoojustamine (+70 mm) infiltratsioon -15 %	285	7	251	9

Renoveerimismeede (tulemüür välisseinaks)	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Välisseinte lisa-soojustamine (+120 mm) infiltratsioon -15 %	279	9	245	11
• Välisseinte lisa-soojustamine (+170 mm) infiltratsioon -15 %	275	11	240	13
• Pööningu vahelae lisa-soojustamine (+200 mm)	292	5	259	6
• Keldrilae lisasoojustamine (+100 mm)	300	2	268	3
• Akende remont: aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	296	3	264	4
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	290	6	257	7
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2·K), U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10%	286	7	252	8
• Algolukord (kaugküte)	306		275	
• Algolukord (ahiküte + vesi elekterküte)	524		464	
• Ahiküttelt kaugküttele	306	43		
• Ahiküttelt elekterküttele	462	12	268	
• Ahiküttelt gaasiküttele	362	32	304	
• Kaugküttelt gaasiküttele	362	-19		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	276	49	145	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	276	10		

Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika (õhk-vesi soojuspump, kaugküte või gaasiküte) paigaldamine. Kaugküttelt gaasiküttele üleminek vähendavad elamu energiatõhusust.

Et selgitada välja üksikute renoveerimisemeetmete mõju paekivist tulemüüriga hoonetevahelise seinaga hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutusele, on olemasoleva hoone arvutusmudelis (sisekliima klass III) iga uue arvutusvariandi korral muudetud ainult ühte komponenti (ventilatsiooni renoveerimisel on sisekliima klass II). Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele vt. Tabel 11.18.

Tabel 11.18. 2-korruselise keldriga ühe trepikojaga „Lenderi maja“ tüüpi paekivist tulemüüriga siseseinaga elamu üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja soojusenergia erikasutusele.

Renoveerimismeede (tulemüür hoonetevaheliseks seinaks)	Renoveerimisjärgne energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga (kaugküte)		Ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutuse ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga	
	kWh/(m^2·a)	%	kWh/(m^2·a)	%
• Ventilatsiooni süsteem (soojustagastus 80 %)	252	11	211	15
• Välisseinte lisasoojustamine (+20 mm) infiltratsioon -15 %	274	3	239	4
• Välisseinte lisasoojustamine (+70 mm) infiltratsioon -15 %	261	8	225	9
• Välisseinte lisasoojustamine (+120 mm) infiltratsioon -15 %	255	10	218	12
• Välisseinte lisasoojustamine (+170 mm) infiltratsioon -15 %	251	12	213	14
• Pööningu vahelae lisasoojustamine (+200 mm)	267	5	232	7
• Keldrilae lisasoojustamine (+100 mm)	276	2	241	3
• Akende remont aken U_g=1,8 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K)	272	4	237	5
• Akende vahetus: aken U_g=1,4 W/(m^2·K), U_f=1,4 W/(m^2·K) infiltratsioon -5 %	265	6	229	7
• Akende vahetus: aken U_g=1,1 W/(m^2·K), U_f=1,2 W/(m^2·K) infiltratsioon -10 %	262	8	225	9
• Algolukord (kaugküte)	282		248	
• Algolukord (ahiküte + vesi elekterküte)	485		413	
• Ahiküttelt kaugküttele	282	43		
• Ahiküttelt elekterküttele	423	13	242	
• Ahiküttelt gaasiküttele	333	32	274	
• Kaugküttelt gaasiküttele	333	-19		
• Ahiküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	254	49	130	
• Kaugküttelt õhk-vesi soojuspumbaga küttele	254	11		

Üksikutest energiasäästumeetmest on suurim mõju välisseinte lisasoojustamisel ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel ning efektiivse soojusallika (õhk-vesi soojuspump, kaugküte või gaasiküte) paigaldamine. Kaugküttelt gaasiküttele üleminek vähendavad elamu energiatõhusust.

12 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud: ankeetküsitluse kokkuvõte

Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud selgitati uuringus osalenud korterite elanikega läbiviidud küsitluse abil. Kõnesolevas uuringus vaadeldud korterite elanikega läbi viidud küsitlus põhineb samasugusel ankeedil, nagu oli kasutusel ka suurpaneel- ja telliselamute uuringus. Erinevalt eelnimetatutest jäeti seekord välja Ida-Virumaa piirkond ning selle asemel valiti uuringu objektideks kortereid Viljandist, kuna sealses elamufondis on rohkem puitkorterelamuid.

Korteriomanike hinnangute ja strateegiliste hoiakute küsimused puudutasid korteri tehnilist seisundit, ruumide kasutust, rahulolu sisekliima ning soojusliku mugavusega. Lisaks olid küsimused suunatud kütte- ja ventilatsiooniprobleemide ning niiskusrežiimi välja-selgitamiseks, kuid vaadeldud oli ka müra- ja terviseprobleeme ning korteri remondivajadust. Osa küsimusi eeldas ja võimaldas täpset vastust millegi olemasolu või ilmnemise 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.

Korteriomanike hinnangute ja strateegiliste hoiakute küsitlusele saadi vastused 26 korterist (vt. Tabel 12.1), mis on 84 % küsitletud korteritest.

Tabel 12.1 Korterite jaotus, kus küsitlus läbi viidi.

Asukoht	Arv, tk	Protsentuaalne jaotus
Tallinn	9	82 %
Tartu	6	66 %
Pärnu	4	100 %
Viljandi	7	100 %
Kokku	26	84 %

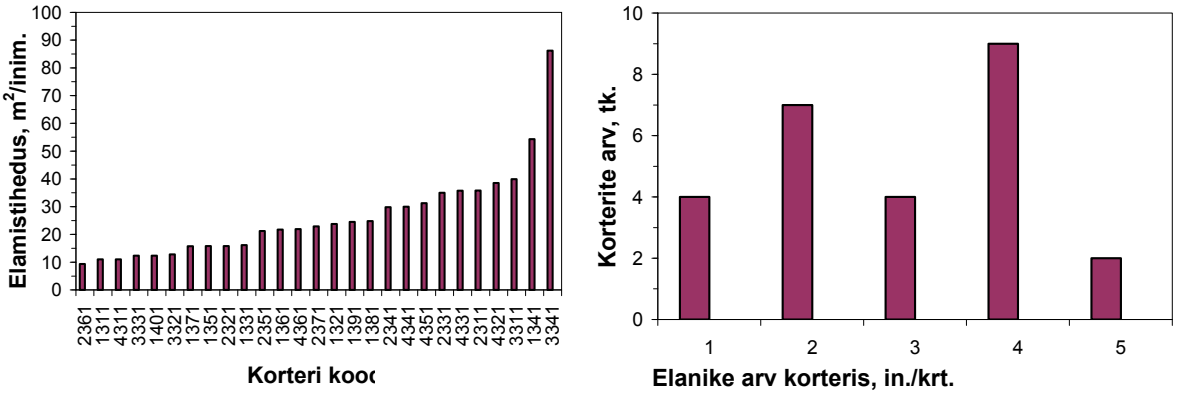
12.1 Elamistingimused

Uuritud puitkorterelamutes olid elanikeks peamiselt korterite omanikud. Vaid kolmes korteris olid ankeetküsitlusele vastajateks üürnikud. Enamjaolt (72 %) on tegemist kahekorruseliste elamutega kuna ülejäänud elamud olid kolmekorruselised. Ühekorruselisi elamuid uuringus ei olnud. Küsitletud elanikest elasid 48 % esimesel korrusel ning 52 % teisel korrusel. Uuritud korterite kasutusintensiivsus on nii suvel kui ka talvel enamjaolt sama ning päevasel ajal on korterites tavaliselt elanikke vähem kui hommikul ja öösel.

Elamispinda oli uuritud korterites keskmiselt (siin ja hiljem on kasutatud aritmeetilist keskmist) 26 m^2/inim., vt. Joonis 12.1 vasakul, mis on samas suurusjärgus Eesti keskmise majutustihedusega 28 m^2/inim. Enim oli kortereid, kus keskmine elamispind oli üle 35 m^2/inim.kohta ning sarnaselt telliselamute uuringule oli ka puitelamute puhul kõige vähem esindatud korterid kus elamispinda on vahemikus 30–35 m^2/inim., mõlemas üks (telliselamute uuringus oli enim kortereid, kus elamispinda oli 20–25 m^2/inim.). Põhiliselt oli üle 35 m^2 elamispinnaga korterite juures tegemist ühe või kahe elanikuga, kuid oli ka üks korter, kus elas viieliikmeline pere. Piirkondade kaupa oli suurim elamispind elaniku kohta Pärnus, 38 m^2/inim., ning seal asus ka elaniku kohta kõige suurema elamispinnaga korter, kus elab üks inimene ning elamispinda oli 86 m^2. Suurima majutustihendusega piirkond oli Tallinn: 22 m^2. Kõige väiksema elamispinnaga korter asus Viljandis, kus neljaliikmelisel perel on 9,4m^2 pinda elaniku kohta.

Keskmine elanike arv korteris on 2,9, mis on sarnane telliselamutega, kus keskmine elanike arv korteris oli 2,8. Elanike arvu järgi korterite jaotust vt. Joonis 12.1 paremal. Keskmine elanike arv korteris on suurim Tallinnas ning väikseim Pärnus.

Kõikide uuritud piirkondade elamispinna suurused ja keskmised elanike arvud on välja toodud tabelis Tabel 12.2.



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

Tabel 12.2 Piirkonniti jagunev elamispind inimese kohta ja keskmine elanike arv.

Piirkond	Majutustihedus, m^2/inim.	Keskmine elanike arv korteris
Tallinn	22,0	3,1
Viljandi	24,3	2,9
Pärnu	37,8	2,5
Tartu	28,1	3,0

12.2 Akende iseloomustus

Pidades korteriomaniku üheks strateegilise käitumise hindamiseks (nii otseselt kui ka kaudselt) akende vahetamist, on analüüsitud ka korterite akende olukorda, vahetamist või renoveerimist. Aken on siseruumis olevale korterielanikule väliskeskkonnaga kontakteerumise vahendiks ja tihti ka esmaseks tarindiosaks, mille remontimise või vahetamisega alustatakse elamu renoveerimist.

Kõik aknad olid viimase kümne aasta jooksul vahetatud või oluliselt renoveeritud 54 % küsitletud korteritest. See on väiksem osakaal, kui esines suurpaneelelamutes või telliskorterelamutes. Enamikus (77 %) korterites on aknaraami materjalina eelistatud puitu erinevalt suurpaneel- ja telliselamute uuringu tulemustest, kus eelistus oli plastakendel.

Aknatüüpidest on puitelamutel enim kasutusel kahe raamiga aknad, milles mõlemas on üks klaas (58%) ning ühes raamis asetsev klaaspaketiga aken (36%). Paaril juhul oli tegemist ka lahendustega, kus on kaks raami, millest ühes on pakett ehk siis kokku kolm klaasi, ning ühe raamiga, milles on kaks klaasi, mõlemat juhtumit esines ühel korral. Korteritest kahes on ruume, kus ei saa avada akent, ülejäänutes on kõigis tubades vähemalt üks avatav aken. Akende avamise võimalus on oluline ruumide hetkelise ja intensiivse tuulutamise seisukohalt, kuna renoveerimata ventilatsiooni korral on vanemates korterelamutes õhuvahetus reeglina puudulik. Siiski ei saa akende avamist pidada piisavaks ruumide ventileerimise lahenduseks. Akna avamine on raskendatud talvel, kuna halvendab oluliselt soojuslikku mugavust ruumides ja ei võimalda soojuse taaskasutust. Tänavapoolsete akende lahtihoidmine suurendab turvalisuse riski ja tänavatolm pääseb kergelt korterisse.

12.3 Niiskuskahjustused

Niiskuskahjustusi on viimase kümne aasta jooksul esinenud 85 % uuringus osalenud korterites ja enamikul neist on tegemist olnud üldjuhul mitme erineva probleemiga. Võrreldes tellis- kui ka suurpaneelelamute niiskuskahjustuste esinemisega (~2/3 korteritest) oli puitkorterelamute korterites niiskuskahjustusi oluliselt rohkem. See on murettekitav asjaolu, kuna puit on niiskuskahjustuste suhtes oluliselt tundlikum kui betoon- või kivimaterjalid.

Pea pooltel (42 %) küsitletutest on esinenud katuse läbijooksu, kolmandikul (35 %) on olnud probleeme välisseintes oleva vihmaveega ning 31 % korteritest on olnud torude leket. Pinnaseniiskuse poolt tekitatud kahjustusi ning WC ja vannitoa niiskuskahjustusi esines 19 % juhtudest. Katuse läbijooksude suur esinevus võib olla tingitud ka asjaolust, et uuringus on pea pooled korteritest viimasel korrusel (kuna enamjaolt on tegemist kahekordsete hoonetega). Pinnaseniiskuse poolt tekitatud kahjustuste vähesus tuleneb peamiselt ka asjaolust, et eluruume keldrites üldiselt ei esinenud ja eraldi küsimust keldri niiskuskahjustuste kohta korteriankeedis ei olnud.

Vastanutest üle pooltel (62 %) oli esinenud akende sisepinna uduseks muutumist, nendest pooltel juhtudel on see seotud söögi tegemisega, mis omakorda viitab köögi väljatõmbeventilatsiooni puudulikule toimimisele. Akende sisepinnale on tekkinud härmatist kolmandikul (29 %) küsitletutest, mis on poole rohkem kui telliselamute puhul (13 %).

Elanike küsitluse kohaselt oli eluruumide piirdetarindite sisepinnale tekkinud hallitust kolmandikus (27 %) korterites. Hallituse esinevus oli mõnevõrra väiksem kui telliskorterelamutes (37 % korteritest), peamiselt seetõttu, et puitkorterelamute välispiiretes on vähem konstruktiivseid külmasildu.

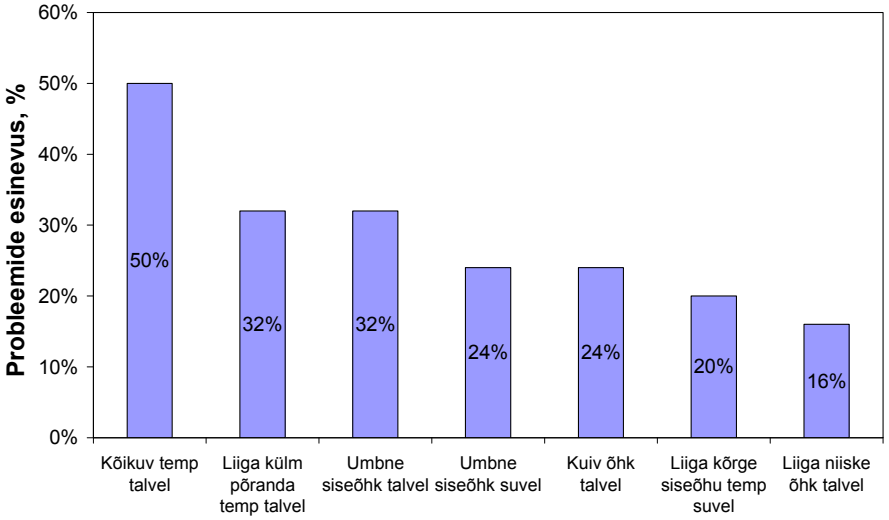
Pesemisvõimalusena korterites oli kasutusel dušš (65 %), vann (23 %), saun (8 %) ning üks korter, kus pesemisvõimalus puudub. Pesuruumides oli seina- ja põrandakatetest üle poolte korterite puhul kasutatud kiviplaatkatet. Kiviplaat on sobiv viimistlusmaterjal märgadesse ruumidesse, kuid selle taga peab olema ka veetõkkekiht. Veetõke oli tehtud nii põrandale kui ka seintele siiski alla pooltel korteritest (43 %), ning nende korterite osakaal, kus pole tehtud mingisugust veetõket ei seinale ega põrandale, oli 29 %. Märgade ruumide aluspõrandad olid uuritud korteritest tehtud nii puidust kui ka betoonist suhtega ~50/50.

Niiskuskahjustuste teket mõjutab ka siseruumide niiskuskoormus. Küsitlusele vastanutest 47 % kuivatas aastaringselt pesu toas, 35 % kuivatas pesu kas õues või rõdul, pesukuivatit kasutati vaid ühes uuringus osalenud korteris. Tihemini kui kord nädalas pestakse veega põrandat 42 % korteritest ning vähemalt korra päevas teevad sooja toitu 84 % vastanutest. Duši või vanni kasutatakse kolm korda päevas või rohkem 20 % korteritest ning vähem kui kord päevas vaid ühes korteris. Gaasipliit on kasutusel 23 % korteritest, ülejäänutel on elektripliit, kuid nendest veerand kasutab ka olemasolevat puupliiti. Õhuniisuti ei ole kasutusel üheski uuringus osalenud korteritest.

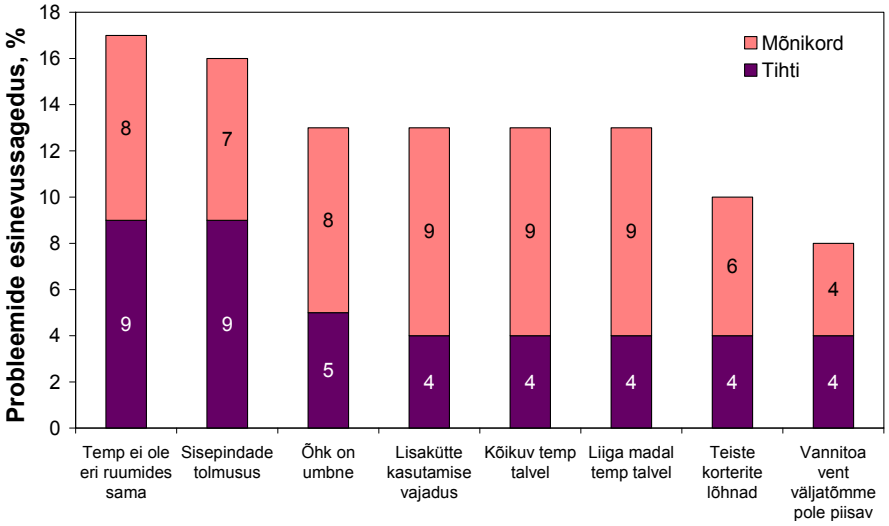
12.4 Sisekliimaprobleemid

Kütte ja ventilatsiooniga seotud sisekliimaprobleemide väljaselgitamisele on sarnaselt eelnevalt läbiviidud uuringutele ka puitelamute puhul suurt tähelepanu pööratud. Üle poolte puitelamute uuringus osalenud elanikest hindas, et nende korteris on kaks või enam kütte või ventilatsiooniga seotud probleemi.

Kütte ja ventilatsiooniga seotud sisekliimaprobleemide väljaselgitamiseks küsiti nii probleemide esinevust kui ka probleemide esinemissagedust. Nende kahe küsimustiku abil peaksid välja kooruma suurimad sisekliimaga seotud probleemid.



Joonis 12.2 Sisekliimaprobleemide esinevus.



Joonis 12.3 Sisekliimaprobleemide esinemissagedus.

Kõige suuremaks probleemiks pidasid korterite elanikud kõikuvat siseõhu temperatuuri (perioodiline ahi küte) ning madalat põranda temperatuuri talveperioodil (põranda puudulik soojustatus). Kõige sagedamini esinevaks probleemiks peeti korteri erinevate ruumide temperatuuri erinevust (lokaalne ahiküte, mis ei soojenda kogu elamispinda ühtlaselt), umbset siseõhku (rohkem talvel, aga probleem ka suvel) ning sisepindade tolmusust. Samuti toodi sageli esineva probleemina välja ka lisakütte kasutamise vajadust.

Kõige enam oli kortereid, milles oli üksikud sisekliima probleemid (25 %), ning probleemid puudusid täielikult 17 % korteritest. Peaaegu pooled uuringus osalenud korteritest (46 %) olid nn. mitmeprobleemsed: neis esines kolm või enam probleemi.

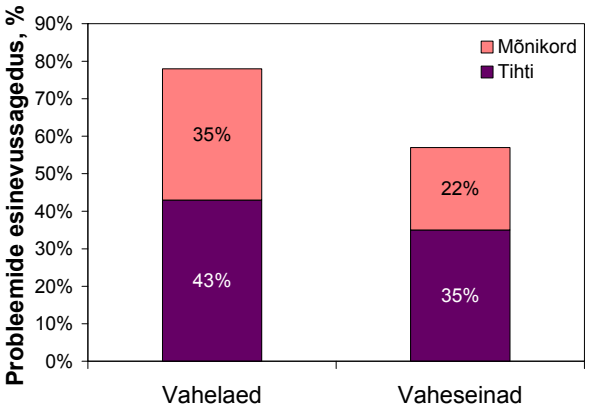
Mitmeprobleemseid kortereid asus kõige enam Tartus, kus uuritus kuuest korterist neljal esines kolm või enam kütte- või ventilatsiooniga seonduvat probleemi, ning Pärnus, kus uuritud neljast olid mitmeprobleemsed kolm korterit. Kõige vähem esines neid Tallinnas, kus uuritud üheksast korterist vaid ühes oli üle kolme probleemi ning Viljandis oli uuritud seitsmest korterist kolm mitmeprobleemsed.

Antud korteritest pea pooled (45%) olid väga madala elamistihedusega, üle 35 m^2 elaniku kohta ja ühe või kahe elanikuga. Kokku üheteistkümnest mitmeprobleemsest korterist vaid kaks olid alla 15m^2/inim elamistihedusega ning enam kui kolme elanikuga korterid.

Kolme kõige enam probleeme esinenud korteri puhul olid põhilisteks temperatuuriga seotud probleemid (talvel liiga madal ning kõikuv, korteri eri ruumides erinev) või ebapiisav ventilatsioon (vannitoas ebapiisav väljatõmme, umbne õhk, teiste korterite lõhnad).

12.5 Müraga ja päevavalgusega seotud probleemid

Uuringus osalenud korterite elanikud pidasid vahelagedest kostuvat müra kõige enam esinevaks, kokku 77 % vastanutest ning nendest enam kui pooled pidasid seda probleemi iganädalaseks. Siseseintest kostuvat müra pidasid probleemiks 57 % vastanutest (vt. Joonis 12.4). Telliselamute puhul oli samuti vahelagedest kostuv müra enam probleemi tekitav (69 %) kui siseseintest (51 %).



Joonis 12.4 Müraprobleemid uuritud korterites.

Tehnoseadmetest tulenevat ajutine või pidev müra ei ole puitkorterelamutes suureks probleemiks, kuna vaid alla 20 % vastanutest märkis seda probleemi.

Koridore ja trepikodasid pidasid ebapiisavalt päevavalgusega varustatuks 38 % vastanutest ning eluruume 22 %, mis on tunduvalt enam kui telliskorterelamutes uuritud korterite puhul, kus vastavad arvud olid 17 % ja 11 %.

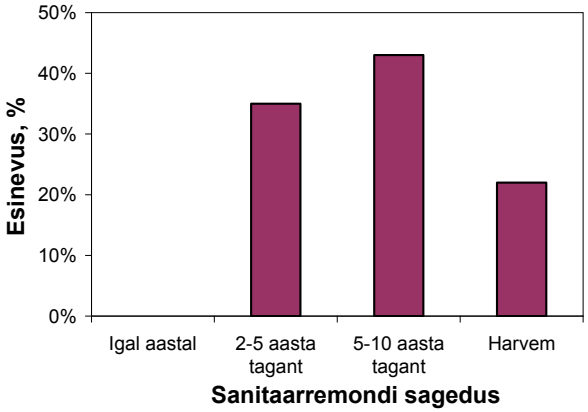
12.6 Korterielanike märgitud terviseprobleemid

Terviseprobleemidest on enim välja toodud kodus olles põhjendamatu väsimuse tunnet (11%), kuid kõikidel juhtudel on seda peetud pigem harva esinevaks nähuks. Tihti esineva probleemina on mainitud allergilisi sümptomeid ning astmaatilisi tervisehäireid, kuid sarnaselt telliselamute uuringu tulemustega on ka puitelamute küsitluses need terviseprobleemid seotud elanike juba olemasolevate haigustega ning pole eeldatavasti seotud korteri sisekliimaga.

12.7 Korterite sanitaarremont

Erinevalt eelnevalt tehtud uuringutest tellis- ja suurpaneelelamute kohta, on puitelamute puhul enam kortereid, kus on tehtud kapitaalremont ning korterid, kus pole viimase kümne aasta jooksul üldse remonttöid tehtud, praktiliselt puuduvad. Remonttööd on vastavalt hoonete iseloomule olnud erinevad, 38% korterite puhul on paigaldatud kas osaliselt või täielikult sisemist soojustust, mida telliselamutes uuritud korteritest oli osaliselt tehtud vaid alla 10 % korterites. Erinevatest soojustusmaterjalidest oli kasutatud lisaks tavapärastele ka pilliroomatti ning rooplaati.

Sanitaarremondi tegemise sageduse intervallidest oli kõige levinum viie kuni kümne aasta tagant teostatav remont, 43 % (vt. Joonis 12.5). Harvem kui kümne aasta tagant teevad remonti 22 % vastanutest. Tellis- ja suurpaneelelamute uuringutes oli samuti kõige levinum sanitaarremondi sageduse intervall 5-10 aastat (vastavalt 39 % ja 53 %).



Joonis 12.5 Uuritud korterites tehtava sanitaarremondi sagedus.

13 Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest

Sõna „renoveerimine“ on uurimistöö aruandes kasutatud kui üldine termin. Spetsiifilisemalt on igal terminil oma täpsem tähendus. Need terminid tekitavad sageli segadust, ja mitte üksnes Eestis. Ehitus, vanade hoonete taastamine on erialadevaheline tegevus, kus üks mõiste võib teises valdkonnas omandada uue, hoopis teise tähenduse. Kahetsusväärselt kleebitakse mõnikord mõnedele terminitele teises erialavaldkonnas külge halvustavaid silte. Selline tegevus põhjustab segadust ja viib tähelepanu põhieesmärkidelt kõrvale. Järgnevalt on toodud mõnede ehitiste kordategemise, remontimise või uuendamisega seotud terminite selgituste variandid, kuidas neid on uurimistöö aruandes mõistetud:

Konserveerimine on tööde kompleks, mille eesmärk on tõkestada ehitise või mälestise lagunemise või edasise hävinemise peatamine või aeglustamine ning pikaajaline säilimine selle konstruktiivsete ja dekoratiivsete elementide kindlustamine ja kaitsega. Pinda ega vormi ei muudeta, kui see ei ole säilitamise eesmärgil vajalik. Konserveerimisega on võimalik vältida või vähendada edaspidiseid kahjustusi. Kahjustusi tekitab keskkond ise ja selle pidev muutumine: temperatuur, valgus, niiskus, mädanik, hallitus, ultraviolettkiirgus jne.

Restaureerimine tuleneb ladinakeelsest sõnast *restituo (re-statuo)*: uuesti panema, tagasi asetama, tagasi tooma, tagastama, taastama, ennistama, uuesti heaks tegema, tühistama, kehtetuks tunnistama. Restaureerimise mõistet kasutatakse eelkõige mälestiste juures ehitise, arhitektuuriansambli või kultuuriväärtuse teatud aegse kuju (ja funktsiooni) täpse taastamise juures. Restaureerimine on tööde kompleks, mis tagab mälestise autentse ajaloolis-arhitektuurse seisundi fikseerimise väärtusetute ja ilmet rikkuvate lisandite (kihistuste) eemaldamisega ning puuduvate osade taastamisega teaduslikult põhjendatud kujul. Restaureerimise korral kasutatakse peamiselt töövõtteid ja tehnikaid, mida kasutati ehitise või tema osade esialgsel ehitamisel.

Rekonstrueerimise all mõeldakse eelkõige ümberehitamist ehk on see ehitise piirdetarindite muutmine ning kande- ja jäigastavate konstruktsioonide muutmine ja asendamine eesmärgiga tagada hoone või tema üksikute ruumide põhilised kasutusomadused, sh plaanilahendused. Hoone ehituslik maht ja pinnad oluliselt ei muutu. Hoone plaanilahend ja tema ruumide kasutusotstarve võivad muutuda. Kui ehitustööde käigus ehitis ei säili või säilib ainult alus või vundament, on tegemist uue ehitise ehitamisega, mitte ehitise rekonstrueerimisega. Tallinna linna 1932. aasta ehitusmäärus kasutas terminit *«ümberehitamine»*, mille all mõisteti „töid, millega muudetakse ehitise väliskuju, tehakse avausi välisseintesse või sisemistesse kapitaalseintesse või tehakse ümber või kinni nendes seintes olevaid avausi, vahetatakse ehitise kapitaalosade materjali teise materjali vastu või muudetakse ehitise sisemiste kapitaalseinte, treppide ja trepikodade, ahjude, kollete, korstnate, suitsulõõride jne asetust.“ Aeg-ajalt võib segadust põhjustada asjaolu, et kuigi ehitusseaduse kontekstis tähendab rekonstrueerimine konkreetselt olemasoleva ehitise ümber ehitamist, võidakse sama sõna mõnel puhul kasutada ka hävinud hoone või hooneosa taastamise tähenduses, sest humanitaarteaduste kontekstis laiemalt tähendab see ka “taasloomine”, “taas esile manamine” vms (“*kirjanik püüab ajaloosündmuste võimalikku käiku rekonstrueerida*”). Seda kasutust kohtab ehitistega seotuna ennekõike arhitektuuriajaloo-alases kirjanduses (näiteks lauses: “*Hoone vasak tiib on säilinud, sõjas hävinud parem tiib 1960. aastail taaspüstitatud rekonstruktsioonina*”).

Renoveerimine tuleneb ladinakeelsest sõnast *renovo*: korda seadma, uueks tegema, uuendama, taastama või *renovatio*: taastamine, uuendamine, tagasipöördumine. See on laiem mõiste, mille alla kuulub ehitise või tema osade korrastamine, taastamine, uuendamine. Hoone mahulised ja pinna põhiparameetrid oluliselt ei muutu, säilib ka põhiliselt tema kasutusotstarve. Hoone renoveerimine võib sisaldada ka tehnosüsteemide olulist rekonstrueerimist. Tulenevalt tehnoloogia arengust ja uutest teadmistest võidakse hoone või tema osade paremaks toimimiseks kasutada uusi lahendusi. Mälestise (näiteks arhitektuurimälestis, ajaloomälestis, tehnikamälestis) soovitatakse renoveerimise terminit

pigem mitte kasutada, kuna renoveerimise alla võib kuuluda ka teise stiili ja/või uue projektlahenduse järgi korrastamine või taastamine. Ka on siin nähtud võimalikku väärtushinnangute konflikti – renoveerimine sõnasõnaliselt ju justkui tähendab "taas uueks muutmist", väga väärtuslike ajalooliste hoonete puhul peaks eesmärgiks olema ehitise säilitamine ja kasutusvõimaluste leidmine, aktsepteerides samal ajal nende loomuliku vananemise protsessi, soovimata kõike uueks või uuega sarnanevaks muuta.

Parim on olukord, kus oleks võimalik hoonet säilitada ja hooldada nii, et renoveerimise vajadus oleks võimalikult väike. Siiski renoveerimist täielikult välistada on raske, kuna materjalide vananemise käigus nende omadused muutuvad ja nad ei pruugi tagada enam neile antud ülesandeid. Võrreldes ehitusjärgse olukorraga on muutunud ka tänapäeva inimeste elustiil ja -harjumused ning sageli on vaja kohandada hoonet sobivaks elanike vajadustele.

Puitkorterelamute renoveerimisel tuleb tähelepanu pöörata kõigile ehitisele esitatavatele olulistele nõuetele:

- mehaaniline tugevus ja stabiilsus;
- tuleohutus;
- hügieenilisus, tervise- ja keskkonnaohutus;
- kasutusohutus;
- mürakaitse;
- energiasääst ja energiatõhusus;
- jätkusuutlikkus;
- • esteetilised ja arhitektuuriajaloolised väärtused.

Renoveerimisel on esmatähtis hoone ohutuse (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus jne.) ja tervisliku sisekliima (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.) tagamine ehk esimesed neli ja osaliselt ka viies oluline nõue. Kultuuri- ja ajalooliselt väärtuslike hoonete ning miljööväärtuslike hoonete juures tuleb erilist tähelepanu pöörata ka nende väärtuste säilimisele. Alles seejärel võib pöörata tähelepanu energiasäästule ja mugavustaseme parandamisele. Loomulikult võib renoveerimistööd teha nii, et üheaegselt tagatakse hoone ohutus, tervislikkus, energiasääst ja parem elukvaliteet. See on parim lahendus.

Vanade hoonete juures on oluline tunda ja hinnata nende väärtusi, mis võivad olla näiteks:

- arhitektuurne väärtus (silmapaistva või muul moel olulise arhitektuurse lahendusega hoone);
- ehitusajalooline väärtus (hoone kaudu on võimalik teada saada vana aja ehitustraditsioone);
- isikuajalooline väärtus (hoone on mõne tuntud arhitekti loomingu hea näide);
- ansambliline väärtus (koos samalaadsete hoonetega moodustab väärtusliku koosluse e. linnaehituslik miljööväärtus).

Hoone väärtuste ja tähenduse hindamiseks tuleb tunda ka ajaloolist konteksti. Selleks on hea kaasata renoveerimisprotsessi arhitektuuriajaloolane või restauraator.

Et lihtsustada renoveerimistööde prioriteetsust, võib renoveerimistööd jaotada kolmeks tasemeks: **A**, **B**, **C**:

- **Tase A.** Selle juures pööratakse tähelepanu eelkõige hoone **ohutus**ele (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus) ja **tervislikkus**ele (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.);
- **Tase B.** Parandatakse hoone **energiatõhusus**t ja pikendatakse **säilivus**t ning **kasutusiga**;
- **Tase C**. Parandatakse hoonete **kvaliteet**i ja **elamismugavus**t.

Renoveerimise igas etapis tuleb tähelepanu pöörata ajalooliste väärtuste säilimisele ja miljööväärtuslikkuse tagamisele. Nende väärtuste prioriteetsus suureneb, liikudes tasemest A taseme C suunas. Kui ajaloo- ja miljööväärtuste säilimist võib pidada prioriteetsemaks üldisele elamismugavusele, kes neid väärtusi ei hinda, võib valida ka teise elukoha. Samas eluhoonete juures peab alati olema tagatud hoone ohutus ja tervislikkus. Siin on raske põhjendada järeleandmiste tegemist. Kui hoone ei ole elanikele ohutu ega tervislik, ei ole see elamiskõlbulik. Muidugi võib ju väita, et elatud on igasugustes tingimustes, kuid erandid kinnitavad reeglit.

Oluline on, et enne järgmise taseme töödega alustamist peavad olema eelmise taseme tööd tehtud või tehakse kõik korraga. Ei ole õige teha investeeringuid mugavuse jaoks või viimistluseks (…krohv, värv, lasuur jne.), 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).

Erinevatel renoveerimismeetmetel on erinev energiakulu vähenemine, mõju hoone kestvusele, erinev maksumus (ehitus-, kasutus-, hooldusmaksumus) jne. Eelistada tuleb hoone tervikrenoveerimist, pöörates korraga tähelepanu:

- hoone turvalisuse ja tervislikkuse tagamisele; ohtliku- või avariiolukorra likvideerimisele;
- hoone tarindite ja konstruktsioonide kasutusea pikendamisele;
- hoone energiatõhususe parandamisele;
- hoone arhitektuursele sise- ja välisilmele;
- ajalooliste väärtuste säilimisele ja miljööväärtuslikkuse tagamisele;
- maksumusele: ehitus, kasutus (energialuku), hooldus.

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.

Enne hoone renoveerimist tuleb teha teatud eeltööd:

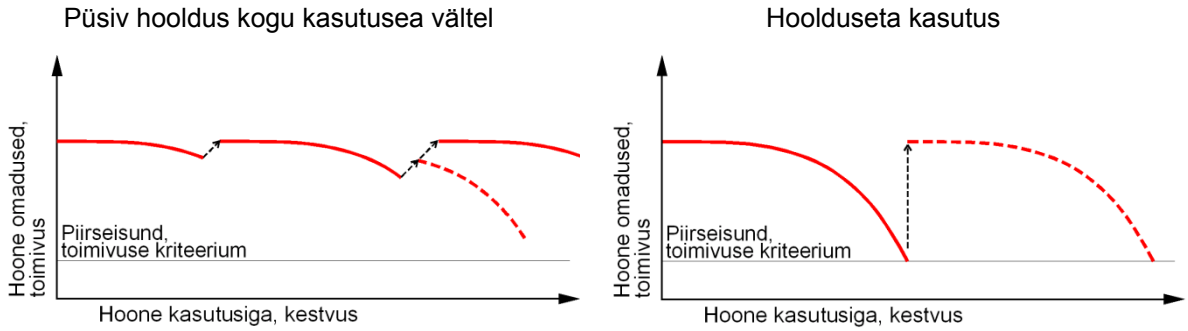
- Ehitusekspertiis, mille käigus uuritakse:
  - ehitiste, kande- ja piirdetarindite ja materjalide seisukorda,
  - võimalikke kahjustusi ja nende ulatust,
  - selgitatakse välja kahjustuste põhjused,
  - tehakse ettepanekud olukorra parandamiseks või likvideerimiseks;
- Energiaaudit, mille käigus selgitatakse:
  - kuidas kasutatakse energiat,
  - millised on võimalikud energiasäästumeetmed,
  - kuidas saab energiat tõhusamalt kasutada.
- Renoveerimistööde ehitusprojekt:
  - annab aluse tööde teostatuseks, tulemuse hindamiseks ning selged juhised tööde tegemiseks,
  - projekteerimise käigus saab koostada ja võrrelda erinevaid lahendusi, arvestades energiatõhususe, arhitektuursete, miljööväärtuslike, majanduslike jne. seisukohtadega,
  - projekteeritud lahendused peavad toimima nii ehitustehniliselt, ehitusfüüsikaliselt kui ka arhitektuurselt,
  - kahjustuste korral on esmatähtis kahjustuse või probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine,
  - võimalikult palju kasutada ja säilitada hoonete ajaloolisi väärtusi.

Hoone renoveerimisel tekib küsimus, milliseid projekteerimisnorme rakendada. Hooned on algselt ehitatud tänastest standarditest erinevate ja üldiselt väiksemat turvalisust nõudvate normide järgselt. Täna Eestis kasutusel olev projekteerimisstandard (Eurokoodeks) kehtestab näiteks suuremad lume- ja kasuskoormuse väärtused või ka materjalide tugevusomaduste varutegurid. Seetõttu tuleks renoveerimisel püüda

rakendada Eurokoodeksi turvalisuse taset nii palju kui võimalik, jäädes siiski reaalsuse piiridesse. Näiteks vahelae projekteerimisel Eurokoodeksi koormuste järgi ei ole otstarbekas tugevdada vundamente, kui ei ole märgata mitte ühtegi liigset deformatsiooni või muud ülekoormusele viitavat märki.

Lisaks hoone renoveerimisele on oluline ka hoone püsiv hooldus. Keskkonnamõjude tõttu hoone omadused ja nende tehniline toimivus üldjuhul vähemal või suuremal määral halveneb. Kui aga hoonet keskkonnamõjude ja kahjustuste eest piisavalt kaitsta, võib hoone kasutusiga olla sajandeid pikk. Selleks tuleb hoone omanikul või kasutajal hoonet pidevalt hooldada ja õigel ajal sekkuda. Sekkumata nn. loomuliku vananemise korral lõpeb kasutusiga ära. Samas tuleb hoolduse, restaureerimise, renoveerimise jne. juures arvestada, et ka vale tegutsemine võib tuua hoone kasutusea lõpu loomulikust lähemale. Hoolduse ja renoveerimise mõju hoone kasutuseale võib vaadelda Joonis 13.1-e abil. Igal omadusel (kandevõime, veepidavus) võib vaadelda teatud seisundit, mille ületamisel hoone/konstruktsioon/tarind lakkab rahuldamast talle esitatud nõudeid, edasine kasutamine tuleb katkestada, on vaja teha omaduste oluline parendamine. Seda seisundit nimetatakse piirseisundiks. Eristatakse kande- ja kasutuspiirseisundit:

- **kandepiirseisund**i ületamine põhjustab konstruktsiooni kandevõime kaotuse (purunemise, stabiilsuse kaotuse jne.);
- **kasutuspiirseisund**i ületamisel ei ole enam täidetud konstruktsioonile esitatavad kasutusnõuded:
  - konstruktsioonide läbipainded ja deformatsioonid on liiga suured (kahjustavad normaalset kasutamist, välimust, mittekandekonstruktsioone vms.),
  - kahjustavate pragude tekkimine,
  - kestvust vähendavad kahjustused (mädanik, korrosioon, soolade kahjustused vms.);
  - kahjulike mikroorganismide (hallitus, bakterid vms.) kasv,
  - hoone liigsuured kasutuskulud (energiakulu, hoolduskulu vms.) jne.



Joonis 13.1 Hoone kasutusiga sõltuvalt hooldusest.

Püsiva hoolduse ja vajadusel renoveerimise korral (Joonis 13.1 vasakul) on piirseisundi ületamine vähemtõenäoline kui hoolduseta kasutuse korral (Joonis 13.1 paremal). Püsiva hoolduse ja vajadusel renoveerimise korral on ka omaduste taastamiseks, parandamiseks tehtavatele töödele kuluv aeg, raha või mõni muu ressurss väiksem.

Vanemate majade renoveerimisel on mitmeid lahendusi ja ainuõiget lahendust alati ei ole. Igal lahendusel on oma riskid, millega tuleb arvestada. Et saada teada renoveerimistööde ulatus, on vaja selgitada kahjustuste ulatus. Renoveerida on vaja just nii vähe kui võimalik ja nii palju kui vajalik.

Järgnevates alajaotistes on esitatud mõnede tarindite renoveerimislahenduste põhimõttelised lahendused. Neid ei tule käsitleda konkreetsete tööjoonistena, vaid põhimõtteliste renoveerimisideedena.

Joonis 13.2-l on toodud näide puitkorterelamu lubamatust renoveerimisest. Hoone renoveerimisvajaduse põhjustanud põhjuseid ei ole tööde käigus kõrvaldatud. Peamine puudus madal sokkel põhjustab seina materjalide lagunemise jätkumist.

Renoveerimisaegne olukord Renoveerimisjärgne olukord



Joonis 13.2 Hoonet kahjustava ühekorruselise puitkorterelamu rekonstrueerimise näide.

Sõltumata renoveerimislahenduste üksikdetailidest tuleb renoveerimisele läheneda kui tervikule, seda nii arhitektuurses kui ka tehnilises mõttes. Kui soojustada hoonepiirded, jättes renoveerimata näiteks ventilatsiooni või küttesüsteemi, on lõpptulemus tehnilises mõttes sama halb nagu arhitektuurses üksikuid kortereid renoveerides, vt. Joonis 13.3



Joonis 13.3 Korterelamut tuleb renoveerida terviklikult, mitte jupikaupa nagu näha ülalolevalt fotolt.

13.1 Piirdetarindid ja ehituskonstruktsioonid

Puithooned tuleb hoida kuivana! Puithoonete puhul on väga tähtis konstruktiivne kaitse vee eest – st. õige keskkonna tagamine tarinditele konstruktiivsete abinõudega. Väga oluline on sealjuures korraline hooldus.

Piirdetarindite kattekonstruktsioonid nagu näiteks vooder, korstna- ja veeplekid vms on lühema kasutusajaga ning neid on ka võimalik tihedamini vahetada.

Kandekonstruktsioonide vahetamine on keerulisem ja seetõttu peavad kattekonstruktsioonid tagama kandekonstruktsioonide pikaajalisuse.

Uuringu käigus vaadeldud majade kandekonstruktsioonide probleemseimad kohad olid:

- katusekonstruktsioonide kahjustused tulenevalt katuse läbijooksust;
- seinapalkide kahjustused tulenevalt vundamendipealse hüdroisolatsiooni puudumisest või hävinemisest (kasetoht, tõrvapapp), vee sattumisest seina aknaliidete, varikatuste või kaablite ühenduste kaudu;
- niiskete ja märgade ruumide tarindite kahjustused tulenevalt vee sattumisest tarinditesse või ventilatsiooni puudulikkusest.

Väljaspool neid alasid on kandekonstruktsioonid üldjuhul rahuldavalt säilinud ning ei vaja pärast hoone kompleksrenoveerimist edasise korralise hoolduse korral hinnanguliselt vähemalt järgmise 50 aasta jooksul täiendavat renoveerimist. Kattekonstruktsioonid ja piirdetarindid võivad vajada tihedamat korrastamist.

13.1.1 Sokkel, vundament ja keldriseinad

Keldri- ja soklikorruse konstruktsioonide täpsema olukorra ja renoveerimislahenduste väljatöötamiseks on üldjuhul vajalik teha järgmised tööd:

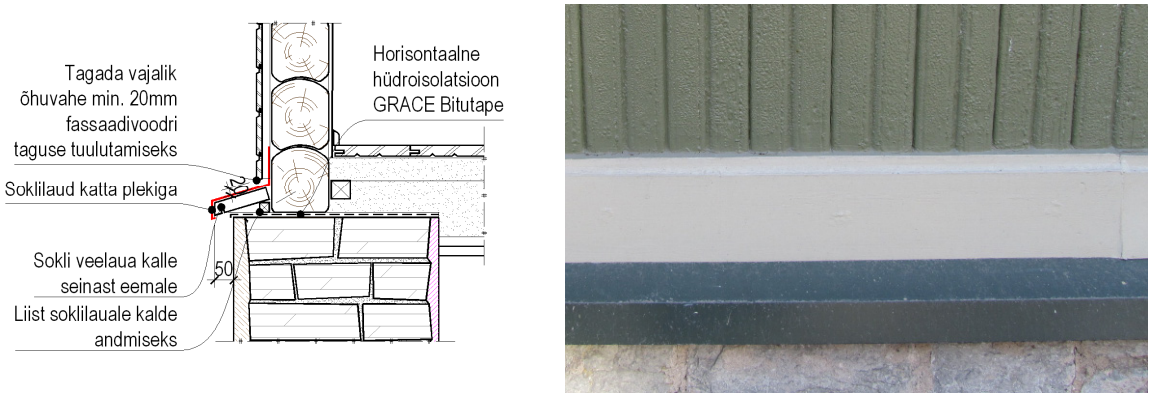
- ülesmõõdistused ja vaatlused;
- ümbritseva pinnase geoloogiline uuring;
- niiskusmõõdistused;
- veeslahustuvate faasinihkega soolade identifitseerimine;
- seenkahjustuste uuring;
- radoongaasi uuring.

13.1.1.1 Vundamendid

Vundamentide ülesanne on võtta vastu välisseintelt, katustelt ja vahelagedelt tulev koormus ja kanda see pinnasele üle. Vundamentide kahjustuste peamised põhjused on seotud pinnase kandevõime kaotusega või liiga suure deformatsiooniga (vajumiga). Kahjustuste põhjused on olnud pigem seotud pinnase tugevuse kui vundamendi enda tugevuse ammendumisega. Viimast võib ette tulla, kui vundamendikivid on laotud ilma mördita (liivaga), liiga nõrga mördiga või tulenevalt väga ebaühtlasest koormusest. Vundamentide tugevdamine on juhtumikohane, millele üldiseid soovitusi anda ei saa. Vundamendi renoveerimiseks võib leida võimalusi laiema taldmiku allavalamise, mikrovaiade paigaldamise, uue vundamendi ehitamise jne. juurest.

13.1.1.2 Sokkel

Sokli juures on olulisimaks renoveerimist vajavaks hooneosadeks puitseina ja vundamendi vaheline hüdroisolatsioon ja veelaud. Tavaliselt on algne puitseina ja vundamendi vaheline hüdroisolatsioon sellises olukorras, et see tuleb kindlasti uuendada. Hüdroisolatsioon on palkide kestvuse seisukohalt kriitilise tähtsusega. Kui hoone tehakse üldjoontes korda, siis on oht, et ainult hüdroisolatsiooni paigaldamise pärast ei taheta hakata seinu avama.



Joonis 13.4 Sokli renoveerimise põhimõtteline skeem (vasakul). Üldiselt korrektselt renoveeritud sokkel; vaid fassaadivoodri taguse tuulutus on jäetud tegemata, mis raskendab seina kuivamist (paremal).

Sokli veelaua proportsioonid on tüüpiliselt ajalooliselt nii, et see pikkus, mille võrra veelaud ulatub üle soklipinna, on pool sellest pikkusest, mille võrra sokli veelaud ulatub välja seina alumisest lauast. Ehk kui näiteks veelaud pealtpoolt mõõtes on 10 cm, siis sokli tagasiaste veelaua servast on 5 cm.

Madala soklikõrguse puhul tuleb otsida võimalusi, et tagada sokli kõrgus vähemalt 30 cm maapinnast. Esmajärjekorras tuleb otsida võimalusi hooneümbruse planeeringust, kuna üldjuhul on hoone ümbruse maapinna tõus just põhjuseks madalale soklile. Renoveerimisel tuleb esmajärjekorras tegeleda põhjuse , mitte tagajärje likvideerimisega.

Hooneümbrus planeerida kaldega 1/20 hoonest eemale. Et juhtida vett hoonest eemale, on hea rajada hoone ümber sillutisriba. Krohvitud sokli krohv tuleb parandada. Paekivist sokli lagunenud vuugid tuleb uuendada.

13.1.1.3 Keldriseinad

Veekoormusega arvestavad pinnasega kokkupuutuvatele ruumidele esitatavad normatiivsed nõuded Eestis puuduvad. Tegemist on üldjuhul üldistele normatiividele lisaks vastava ühingu töögrupi poolt välja töötatud täpsemate juhenditega. Samuti ei ole täna informatsiooni sellealastest üldistest EN (Euroopa standard) ja vastavast Eesti Vabariigi EVS standarditest.

Kivimaterjalides veega liikuvate soolade määramiseks on vaja teha laboratoorne analüüs. Selle analüüsi tulemusi saab kasutada renoveerimismeetodite väljatöötamisel.

Soovituslikud renoveerimislahendused lähtuvad:

- hoonet ümbritsevast keskkonnatingimusest;
- ruumide kasutusotstarbest;
- ehitusmaterjalide omadustest;
- olemasoleva soklikorruse konstruktsioonist;
- paigaldatava isolatsioonimaterjali omadustest.

Uurimise käigus vaadeldud keldrikorruste ruumid olid kas amortiseerunud tehnilised ruumid või renoveeritud olmeruumid.

Renoveerimislahenduse esmaseks eelduseks peale olemasoleva olukorra määramiseks vajalike mõõdistuste ja analüüside teostamist, on vaja määrata renoveeritavate ruumide uus kasutusotstarve. Kasutusotstarve määrab ära ruumide sisekliimale esitatavad nõuded ja neist lähtuvalt renoveerimislahenduse. On selge, et kui keldrit ei kasutata enam panipaigana, nagu see algselt oli mõeldud, vaid võetakse kasutusele olme- või eluruumidena, tuleb rakendada hoopis teisi renoveerimisvõtteid, et tagada seal nõutavad tingimused. Eestis reglementeerib antud teemat üldisel tasemel kehtestatud "Elamuseadus" § 7 lõike 1 punkt 1 alusel. "Eluruumidele esitatavad nõuded", kinnitatud Vabariigi Valitsuse 26.01.99.a. määrusega nr. 38.

Keldris asuvate eluruumide karmid soojus- ja niiskustehnilised nõuded ei ole midagi uut. Juba 1930. aastail määrati, et kõik elamiseks määratud keldriruumid peavad olema laitmatult isoleeritud niiskuse ja külmumise vastu ning ruumide põrandad ja seinad peavad olema kuivad (RT 59 – 1932, art. 495.).

Eriomaseid nõuete osas võib tugineda Briti Standardis 8102:1990 esitatud maa-alustele ruumidele määratletud nõuetele. Näiteks keldris asuvate tehnilistes ruumides on üldjuhul vastuvõetav suhteline õhuniiskus 35-50 % ning konstruktsioonimaterjalidel ei tohi olla nähtavaid niiskuslaike, Tabel 13.1. Kõrge niiskuskoormus nendes ruumides ei või põhjustada niiskuskahjustusi elu- ja olmeruumides ega ehituskonstruktsioonides. Olmeruumides on kõrge niiskus ja niiskuslaigud lubamatud (CIRIA Report 139:1995).

Tabel 13.1 Keldrikorruste ruumide kasutusotstarvete jaotus (CIRIA Report 139:1995).

Ruumi tüüp	Kasutus-otstarve	Suhteline niiskus	Temperatuur	Teostustase - niiskus
1	Garaažid	> 65 %	Autogaraaž: välisõhk Töökoda: +15°…+29 °C Seadmeruum: +32 °C	Nähtavad niiskuslaigud on lubatud
2	Töökojad ja seadme-ruumid	35-50 %	Jaemüügi ladu: +15 °C maks. Seadmeteruum: +42°C maks.	Nähtavate niiskuslaikudeta Konstruktsioonimaterjalid vastavalt õhu tasakaaluniiskusele
3	Olme-ruumid	40-60 % 55-60 % (restoranides suvel)	Bürood: +21°…+25 °C Eluruumid: +18°…22 °C Restoranid: +18°…+25 °C Köögid: +29° C maks.	Niiskuslaigud lubamatud Siseniiskuse kontrollimiseks võib vajalik olla aktiivne niiskusetaseme mõõtmine
4	Arhiivid ja arvuti-ruumid	50 % kunst > 40% mikrofilmid/ lindid 35% raamatud	Kunstilaod: +18…+22 °C Raamatuarhiivid: +13…+18 °C	Siseniiskuse kontroll tõenäoliselt hädavajalik

Lähtuvalt ruumide kasutusotstarbest tuleb valida ka hüdroisolatsioonitüüp. Sõltuvalt ruumi tüübist tuleb kasutada ühte või mitmeosalist hüdroisolatsiooni lahendust, vt. Tabel 13.2.

Tabel 13.2 Hüdroisolatsiooni tüübi valik ruumide kasutusotstarbe (CIRIA Report 139:1995) järgi.

Ruumi tüüp	Kasutus-otstarve	Keskkonnale	Hüdroisolatsiooni tüüp (kui nimetatud mitu, siis kõik)
1	Garaažid	Veelekked ja niiskus lubatud	• konstruktiivse materjali omadustega tagatud kaitse (tüüp B) pluss aurukindel membraan.
2	Töökojad ja seadme-ruumid	Niiskus lubatud	• katkematu hüdroisolatsioonimaterjalide süsteem (tüüp A); • konstruktiivse materjali omadustega tagatud kaitse (tüüp B) pluss aurukindel membraan.
3	Olme-ruumid	Kuiv keskkond	• katkematu hüdroisolatsioonimaterjalide süsteem (tüüp A); • konstruktiivse materjali omadustega tagatud kaitse (tüüp B) pluss aurukindel membraan; • vajadusel seina ventileerimine (tüüp C): ventileeritav õhkvahe seinas, aurutõke sisemisel küljel ja põranda õhkvahe koos niiskustõkkega.
4	Arhiivid ja arvuti-ruumid	Täiesti kuiv keskkond	• katkematu hüdroisolatsioonimaterjalide süsteem (tüüp A); • konstruktiivse materjali omadustega tagatud kaitse (tüüp B) pluss aurukindel membraan; • seina ventileerimine (tüüp C): ventileeritav õhkvahe seinas, aurutõke sisemisel küljel ja põranda õhkvahe koos niiskustõkkega.

Keldriseinte vee- ja niiskuskaitsesüsteemide liigitus on vastavalt McGrath 1985:

- veekindlad tõkkesüsteemid: takistavad vee sissetungi hüdrostaatilise surve all;
- niiskuskindlad tõkkesüsteemid: takistavad vee imbumist hüdrostaatilise surve puudumisel;
- kaitsvad tõkkesüsteemid: kaitsevad konstruktsiooni kahjustumist kemikaalide poolt ning seega väldivad sellele järgnevat konstruktsiooni kandevõime kaotust või takistavad konstruktsioonimaterjali pinnakihti murenemise eest või kaitsevad vedelikke konstruktsiooniosakestega saastumise eest;
- dekoratiivsed tõkkesüsteemid: konstruktsiooni värvi või välimuse muutmine või stabiliseerimine esteetilistel põhjustel.

"Tõkkesüsteemi" mõiste on laiendatud kui erinevate meetodite kombinatsioon. Samas ei välista kategooriate omavahelist kattumist, mis vaadeldavate olemasolevate konstruktsioonide puhul on vältimatu.

Konstruktiivsete materjalide omadustega tagatud kaitseks on kõnesolevas uuringus vaadeldud puitkorterelamute soklikorruse konstruktsioonimaterjale:

- seinad – paekivimüüritis – iseseisvalt, ilma täiendava hüdroisolatsioonikihita ei ole see konstruktsioon vee ega veeaurutihe.
- põrandad – betoonivalu – renoveerimisel kasutatav raudbetoonkonstruktsioon. Selle materjaliomadusi vaatleme lähemalt veeläbilaskvuse seisukohalt.

Planeerides olemasoleva hoone renoveerimisel uut betoonist põrandat, aetakse sageli segi erinevad suurusjärgud, millised veekogused läbivad konkreetset betoonkonstruktsiooni.

Betoonkonstruktsiooni veeläbilaskvuse tasandid

- kapillaarpoori tasand (Mehta 1986) – juuspraod suurusega 0,01 μm kuni 1 μm: kapillaarpoorid tekivad värske betooni veega täidetud aladel. Selle suurusjärgu tasandil tungivad vesi ja agressiivsed ioonid ühendatud kapillaaride kaudu betooni põhjustades täiendavalt armatuuri korrosiooni.
- mikroprao ja üleminekutsooni tasand (Ngab jt. 1981) – üleminekutsoon suurusega 10 μm kuni 50 μm ja mikropraod suurusega <0,1 μm kuni 100 μm: mikropraod võivad tekkida sisemise soojuse ja kahanemise või väliskoormuse mõjul. Üleminekutsoon on kergelt vett läbilaskev kiht täiteaine osakeste ümber. Täiteaine

osakesi ümbritsevad mikropraod ca 60 päeva pärast seda, kui betoon on saavutanud 65% survetugevuse (pärast ca 28 päeva). Need 28 päeva on umbkaudne aeg, lähtuvalt konkreetsetest ilmastikutingimustest, s.t. läheb veel palju aega enne, kui tasakaalustub valatud betooni veesisaldus;

- makrotasand – makropraod 100 μm kuni 3000 μm: Võivad sel tasandil võivad juba vesi ja sellega kaasnevad kemikaalid liikuda betoonkonstruktsiooni pragude, konstruktsiooni vuukide jne. kaudu;
- betooni tühikud – suurusjärk 1 mm kuni 10 mm: põhjustatud üldjuhul betooni valu vigadest.

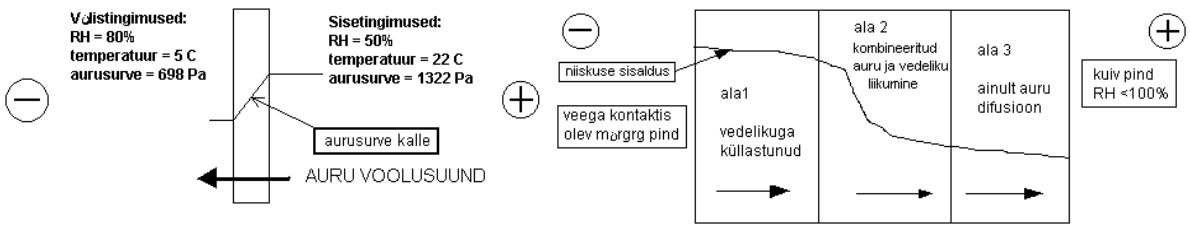
Need tasandid näitavad, milline on betoonpõranda olemus vee läbilaskvusest lähtuvalt. Soklikorruse põrandate renoveerimislahenduse väljatöötamisel tuleb täiendava tasandina valatavate põrandate r/betoonkonstruktsioon, mis ei võimalda teha seintega pragudeta ühilduvat monoliitset plaati ning eraldi on vajalik teha veekoormusele vastavad töövuukide ja deformatsioonivuugi lahendused, mis on juba millimeetriskaalal mõõdetavad.

Vanade ehitiste soklikorrusel asuva soklikorruse saneerimise materjalide valiku puhul on vaja lähemalt vaadelda auru liikumist läbi välispiirde, lähtuvalt ruumi kasutusotstarbest, ruumide õhu suhtelisest niiskusest ja temperatuurist. Selles osas on palju eksimusi materjalide valikul.

Läbi konstruktsiooni on võimalik veeauru liikumine difusiooni teel kõrge aurusurvega poolelt väiksema veeaurusisalduse e. veeauruosarõhu suunas. Difusiooni defineeritakse kui osakeste (gaas, pihustunud ioonid jne.) liikumisena kõrge kontsentratsiooniga alalt madalama kontsentratsiooniga alale.

Veeaur ei liigu tingimata kõrge suhtelise niiskuse taseme alalt madala suhtelise niiskuse taseme alale. Veeaur liigub alati kõrgema aururõhu tasemelt madalamale.

Kui soklikorruse maa-aluse osa konstruktsiooni välimine pealmine kiht on osaliselt küllastunud – s.t. seinal/põrandal puudub välimine hüdroisolatsioon, siis võib esineda kaht imandumist: auru liikumine tühjade pooride ning vedeliku liikumine läbi osaliselt täidetud pooride kaudu. Nüüd kui siseruumis on nn. kuiv õhk, toimub veeauru kombineeritud liikumine ruumiõhku, vt. Joonis 13.5. Joonisel on sein “kuiv” veesurve suhtes alumisel pinnal ja “märg” veesurve suhtes ülemisel pinnal. Toimub veeauru eraldumine seinapinnalt ruumiõhku. Sellest lähtuvalt toimub soklikorruse ruumide seinte saneerimismaterjalide valik. Ruumi kasutustarbes piiritletud nõuetest lähtuvalt on vaja kaaluda ka seinte ja põrandakonstruktsiooni täiendava õhkvahe teostust.



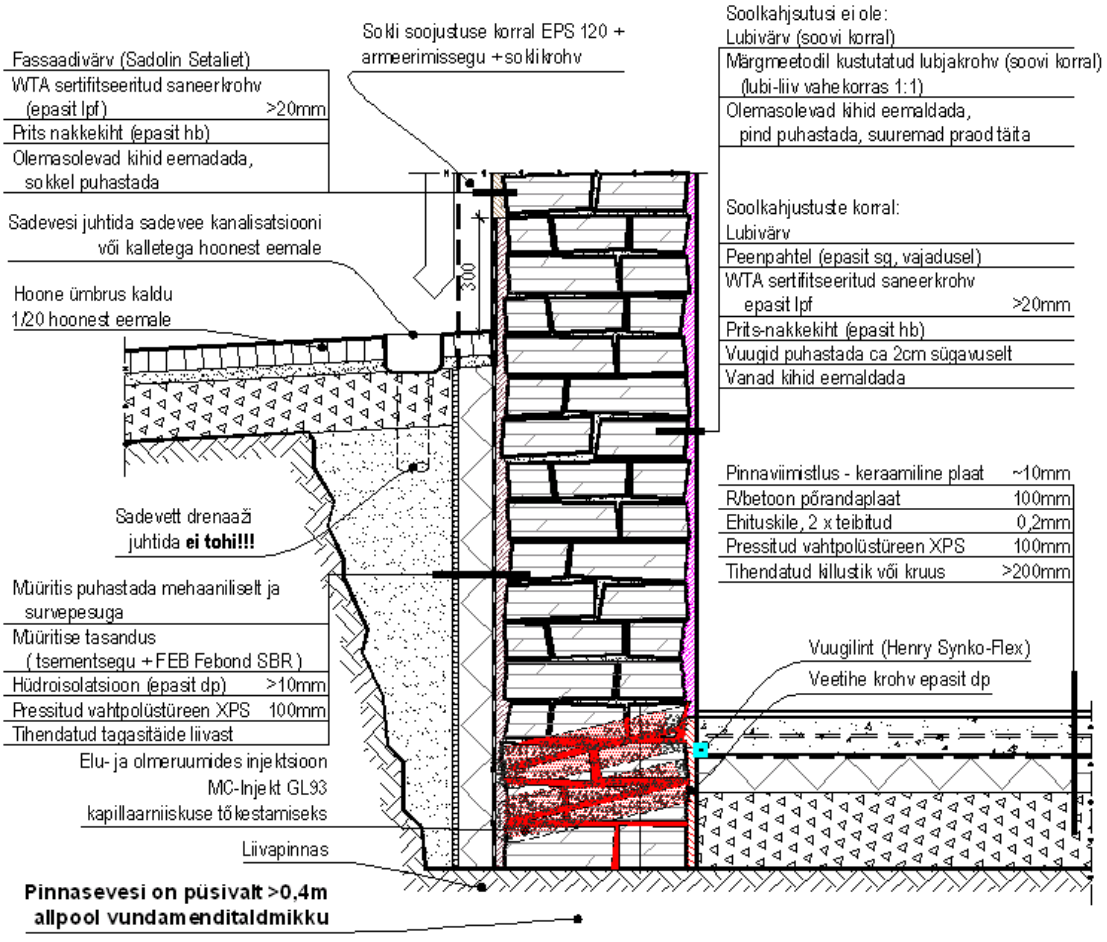
Joonis 13.5 Vee liikumine läbi konstruktsiooni.

13.1.1.3.1 Keldriseinte niiskus-saneerimistööd

Olemasolevate puitkorterelamute keldrikorruse müüritiste niiskussaneerimisel on soovitatav läheneda materjalide valikule pieteeditundega ja lähtuda WTA (International Association for the Science and Technology in Maintenance of Structures and Protection of Monuments) töörühma poolt välja töötatud põhimõtetest ja nõuetest.

Keldrikorruse tüüpjoonised on välja töötatud lähtuvalt järgnevatest variantidest:

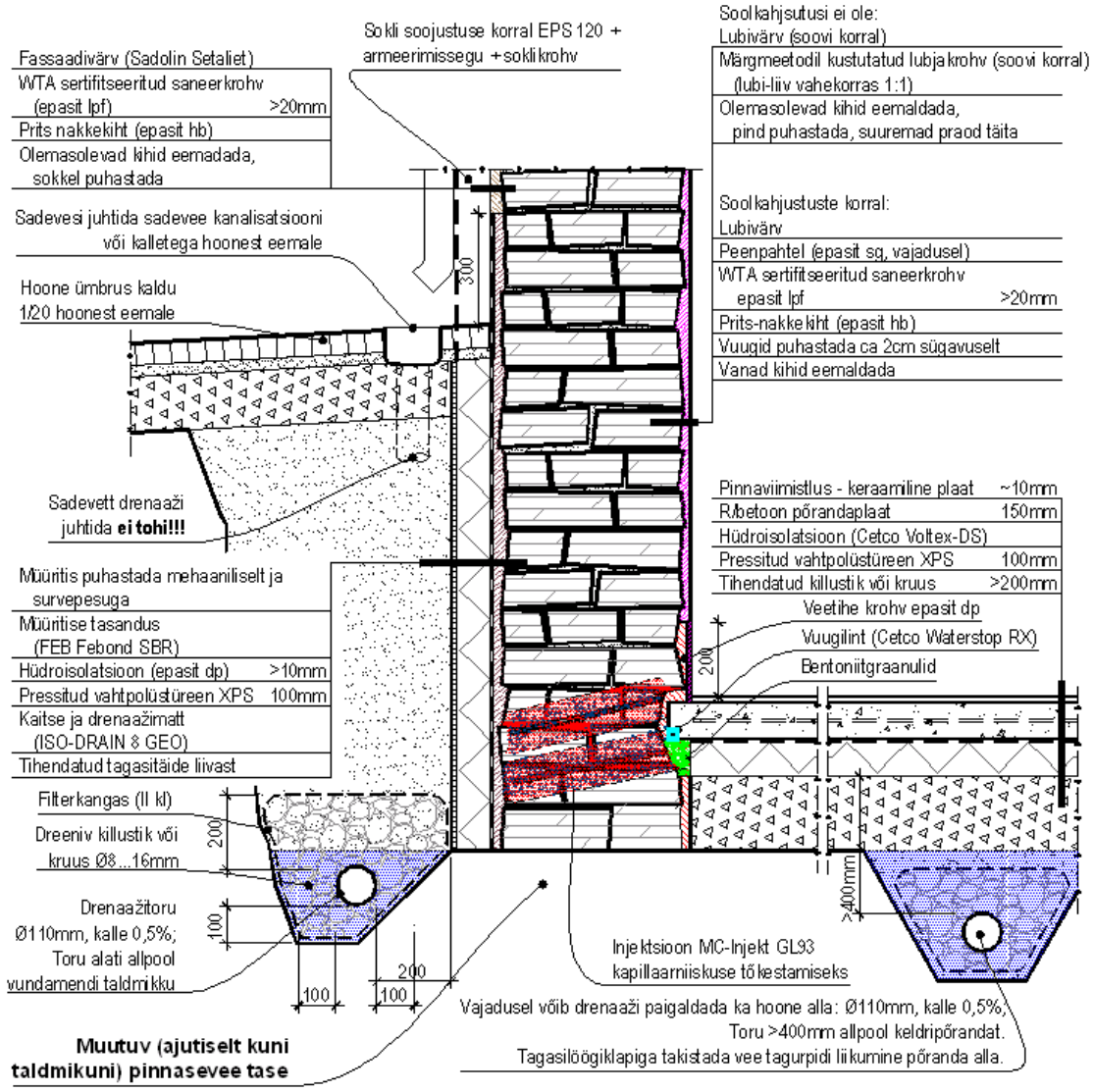
- konstruktsioonile mõjuva kolme veekoormuse järgi:
  - variant 1 – niiske pinnas, vt. Joonis 13.6. Saneerimislahenduste väljatöötamisel on niiske pinnase all mõistetud konstruktsiooni ümbritsevat liivpinnast (kobedad mittekaljupinnas – kruus-, jäme-, kesk- ja peenliiv ja jämepurdpinnas, mis sisaldavad rohkem kui 50 mahuprotsenti osakesi), mille dreneerimisvõime võimaldab ajutise sademevee koormuse ilma konstruktsioonile survet avaldamata ära juhtida). Tegemist on üldjuhul erijuhtumiga;
  - varinat 2 – muutuv pinnaveetase, vt. Joonis 13.7. Üldjuhul enamus keldrikorruseid jääb sellesse veekoormuse piirkonda, kus pinnasevee ülemine horisont sademete ja kevadise lumesulamisvee puhul võib tõusta kuni keldriseina taldmikuni (maks. 100 mm ülespoole keldri põranda pinda);
  - varinat 3 –pinnaveetase kuni 0,5 m üle keldripõranda tasapinna, vt. Joonis 13.8. Siin on põhimõttelised lahendused. Konkreetse sokli/keldrikorruse puhul on vajalikud täpsustatud lahenduste väljatöötamine.
- ruumide kasutusotstarbe järgi – puitkorterelamutel renoveerimisjärgselt enim kasutust leidvad:
  - olmeruumid;
  - tehnilised ruumid.
- niiskustehnilise renoveerimise viimistluskihi valikul – puitkorterelamute keldrikorrusel enim kasutust leidva krohvviimistluse teostamisel:
  - eelnevate uuringute tulemusena on määratud veeslahustuvad faasinihkega soolad;
  - uuringute tulemusena ei tuvastatud märkimisväärses koguses veeslahustuvaid faasinihkega sooli ning saneerimise käigus on eelnevalt pinnad välja kuivanud.



Joonis 13.6 Keldriseina põhimõtteline renoveerimislahendus tavalise pinnaseniiskuse korral (kuiv liivapinnas).

Soklikorruse niiskussaneerimisel on kvaliteetse lõpptulemuse saavutamiseks vajalik jälgida tööde organiseerimisel tehnoloogilist järjekorda. Arvestada tuleb keldriruumide seinte niiskussaneerimise juures täiendava ajakuluga, kuna keldriruumide müürid on eelnevalt niisked ja ruumide vähese õhuvahetuse tõttu on märgade protsesside kuivamine ning krohvikihtide karboniseerumine aeglustatud. Näiteks 2,5 cm paksuse krohvikihi karboniseerumisprotsess normaaltingimustes kestab ca. 28 päeva. Lubivärviga viimistlemisel on see nõue eriti tähtis.

Kui soklikorruse sisetööd planeeritakse tihedama ajagraafikuga (loomulik müüritiste väljakuivamine peale hüdroisolatsioonitööde teostust – niiskusallika likvideerimist - normaaltemperatuuril (18-20 °C) ja normatiivsel õhuvahetusel ca 1 cm seinapaksust 1 nädal, on soovitatav keldri seinte kuivatamisel kasutada ELMATEC mikrolaine kiirkuivatusmeetodit.



Joonis 13.7 Keldri veetõke muutuva (võib tõusta kuni taldmikuni) pinnasevee taseme korral.

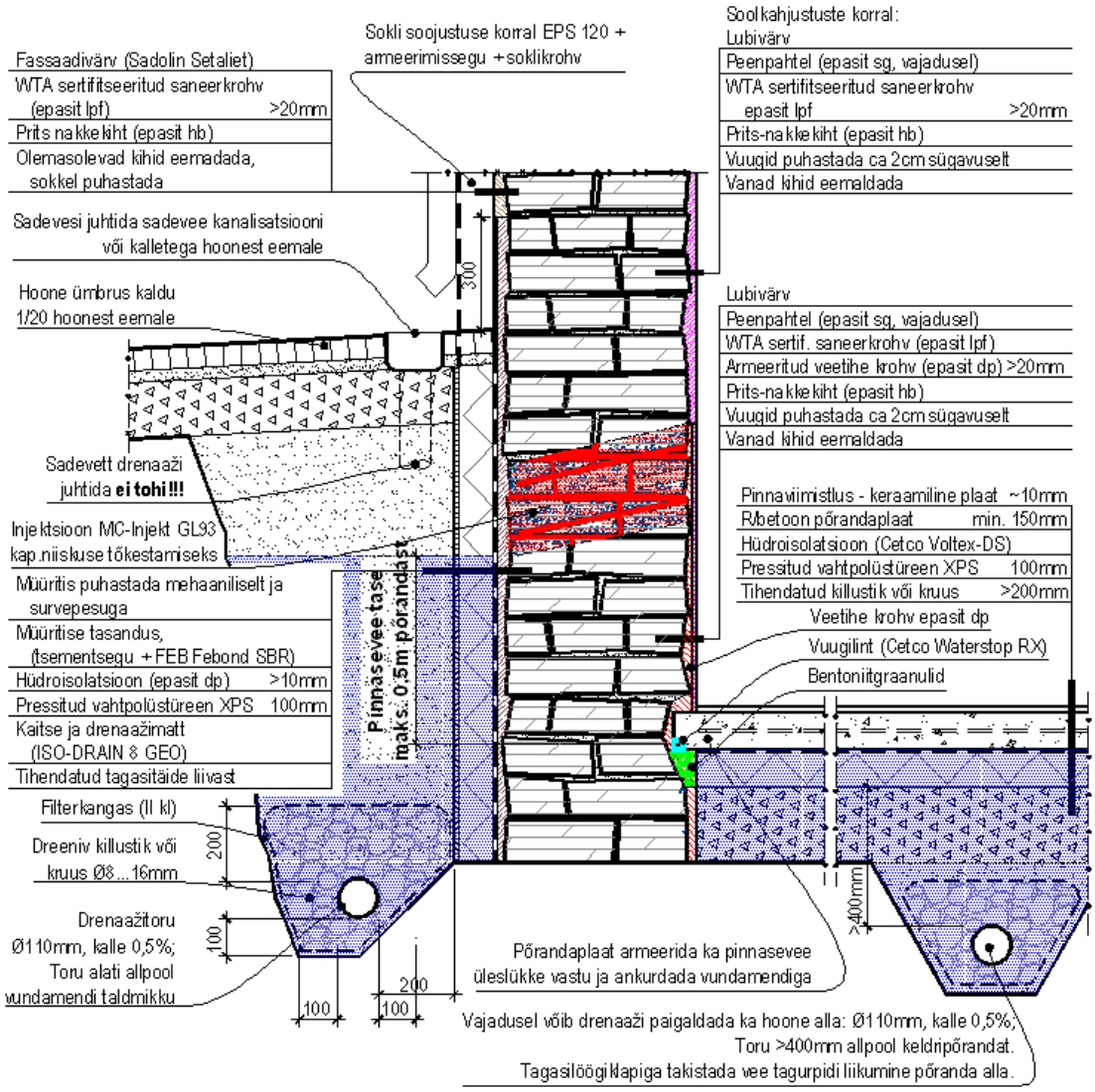
Kuivatites kasutatavad mikrolained (lainepikkusega 0,3…30 cm, sagedusel 2,5 GHz) mõjutavad märjas konstruktsioonis olevaid veemolekule. Mikrolaine poolt põhjustatud pöörlemine hakkab töötama vee molekulide vaheliste jõudude vastu: molekulide vahel tekib hõõrdumine ja vee kuumenemine ning konstruktsioonist välja aurustumine.

Kuivatustöö kiirus sõltub konstruktsiooni paksusest, niiskustasemest ja materjalist, kuid kuivati tööpinna alla jääva ala kuivatamiseks piisab üldjuhul 3…6 tunnist. Pärast mikrolainetega kuivatamist teostada keldriseinte krohvisaneerimise tööd.

- välimised tööd – teha esimeses järjekorras:
  - teha hoone sokli lahtikaevamine ja vertikaalseinte maa-aluse osa hüdroisoleerimine ning maapealse osa sokli saneerimine kihiti, lisatud jooniste järgi,
  - vertikaalne hüdroisolatsioon tuua maapinna joonest ca 300 mm kõrgemale. Vertikaalse hüdroisolatsioonimaterjali valikul on pakutud kaks varianti – polümeerselt modifitseeritud paks bituumenkate (materjal ei põhine kivisöetõrval) või mineraalne kiht (tsemendi baasil),
  - materjalid on välja töötatud nii pinnaseniiskuse kui ka survelise veekoormuse vastuvõtmiseks. Lahendusettepanekutel on arvestatud vertikaalse välimise sokliseina tasandamine astmeni, mis võimaldab XPS-soojustusplaatide paigaldust. Soojustuskiht täidab ühtlasi ka vertikaalse hüdroisolatsiooni kaitsefunktsiooni,
  - paigaldada vundamendi kaevikusse drenaaži ja sademevee ärajuhtimise torustikud. Sademevett ei tohi juhtida drenaažitorustikku. Vundamendi vastas oleva pinnase vertikaalne drenaaž on lahendatud geotekstiiliga drenaažimatiga, mis paigaldatakse vertikaalse soojustuskihi peale.
- ruumide sisemised tööd – tööde teine etapp, mille tehnoloogiline järjekord niiskussaneerimise töödest lähtuvalt on järgmine:
  - keldrikorruse seinad:
    eemaldada kõikide siseseinte vanad krohvikihid, müüritise vuugid puhastada ca 2 cm sügavuselt.
  - keldrikorruse põrand:
    - lammutada vanad põrandakonstruktsioonid, süvendada täitekihid etteantud kõrgusmärgile;
    - teha vajalikud põrandaaluste kommunikatsioonide paigaldustööd;
    - teha seinapindade puhastus;
    - teha seinte alumise osa hüdroisolatsioonikiht veetiheda mördiga;
    - tihendatud killustiku/kruusaalusele paigaldatud XPS soojustusplaatidele teha põrandate horisontaalne hüdroisolatsioon naatriumbentoniitmatiga. Rullmembraan nakkub valatava põrandaplaadiga, selles olev naatriumbentoniit graanul paisub kokkupuutel veega ja moodustab veetiheda kihi (veejuhtivus $<1 \times 10^{-9}$ cm/s), kus vesi ei saa tungida hüdroisolatsiooni ja valatava r/betoonplaadi vahele;
    - rullmembraanile valada kandev raudbetoonplaat ja teha viimistluskihid.
  - keldrikorruse seinte krohvsaneerimine teha alljärgnevalt, pärast põrandate tegemist:
    - teha seinte horisontaalne kapillaarniiskuse tõke puuraukmeetodil, puuraugud kahes reas, kasutades akrülaatalusel hüdrostruktuurvaiku. WTA-andmelehe 4–4–04/D liigituse järgi – kapillaare täitev toimetüüp. Hüdrostruktuurvaik on väga madala viskoossusega (5 mPa·s) kolmekomponentne vedelik, mis surutakse 4…8 bar rõhul müüritisse ja täidab selle poorid. Järelinjektsioon 2 korda.
    - eelnevate krohviproovide spektraalanalüüsi tulemuste põhjal, kui identifitseeriti veeslahustuvad faasinihkega soolad, teha seinte krohvsaneerimine saneerkrohvi süsteemiga, vastavalt WTA-andmelehele 2-9-04/D, min. 2 cm paksuselt. Tegemist on suure poorsusega (mahuprotsent > 40 %) ja väikse veeimavusega (≤ 5 mm) müüritise veeslahustuvaid sooli endas ladestava krohviseguga.
    - kui krohviproovide analüüsid ei tuvastanud veeslahustuvaid sooli, teha seinte krohvimine traditsioonilise märgmeetodil (mitte kuivmeetodil) kustutatud lubjakrohviga (lubi-liiv vahekorras 1/1). Lubjakrohviga krohvimisel on eriti oluline seinte tasakaaluniiskuse saavutamine.

- pärast seinte krohvi välja kuivamist ja karboniseerumisprotsessi lõppemist, teha värvviimistlus lubivärviga (lubjavesi segatuna 40-50 % märgkustutatud lubjataignaga).

Soklikorruse ruumide ventilatsioon on otseses seoses vana hoone niiskussaneerimise terviklahendusega.



Joonis 13.8 Keldri veetõke muutuva (võib tõusta kuni 0,5 m keldri põrandapinnast) pinnasevee taseme korral.

Soklikorruse ruumide ventilatsioon on otseses seoses vana hoone niiskussaneerimise terviklahendusega. Kui lisaks hüdroisolatsiooni teostamisele ja võimalikule sokli soojustamisele paigaldatakse samal ajal ka uued, senisest õhutihedamad keldriaknad või otsustatakse keldrikorruse aknad või vähemalt osa nendest sootuks kinni müürida, tuleb kindlasti pöörata tähelepanu keldrikorruse täiendava ventileerimise võimaluse leidmisele (konkreetne lahendus oleneb sellest, kuidas lahendatakse kogu hoone kui terviku ventilatsioon). Vastasel korral võib soklikorruse ruumide sisekliima teostatud tööde järel isegi halveneda, mitte paraneda. Vähemalt osa keldri aknaid tuleks võimalusel kindlasti teha avatavad, et vajadusel saaks tõhustada keldri loomulikku ventilatsiooni.

13.1.2 Välisseinad

Välisseinte renoveerimise juures on esmajärjekorras tähelepanu väärivad teemad:

- kahjustunud seinaosade asendamine;
- vundamendi ja seina vahelise hüdroisolatsiooni tegemine;
- välislaudise renoveerimine;
- soojuskadude (läbipuhutavus, soojusjuhtivus, külmasillad) vähendamine.

Enne renoveerimistöid tuleb alati selgitada välisseinapalkide seisukord. Tüüpilised kahjustunud piirkonnad on:

- alumised 1–3 palgirida;
- akende alune piirkond ja mujal, kus vesi on valgunud seina;
- lõuna- ja läänepoolne fassaad.

Nendes piirkondades vajavad puitosad reeglina asendamist või proteesimist. Asendamise vajalikkuse hindamise juures tuleb arvestada peale biokahjustuse ka veel puidu niiskust. Kui ei ole nähtavat kahjustust, kuid mõõtes saadakse puidu niiskuseks üle kiu küllastuse (>30 %) tuleb puit vahetada või kuivatada. Biokahjustunud puidu kuivatamisel peab lõppniiskus olema <15 % (selle juures puidus olev võimalik mädanikkahjustus hävib). Seda on välitingimustes raske saavutada. Seina jääva puidu niiskus tuleb mõõta. Oluline on, et puit oleks kuiv ka palgi seest, mitte ainult pinnalähedasest kihist. Selline kuivamisperiood võib olla väga pikk. Seina jäänud puit niisutab ka teisi ehitusosasid ja võib põhjustada kahjustusi seal.

Kui on oht, et puit saab jätkuvalt märjaks, tuleb puitu keemiliselt töödelda sügavalt puitu imbuvate õlialuseliste seenetõrjevahenditega (mitte vesialuseliste ega lahusti baasil toimivate vahenditega) või difusioonpreparaadiga.

Väiksemate kahjustuste korral piisab proteesimisest, kus kahjustunud palk, kandepost või alusvöö asendatakse lokaalselt uuega. Ulatuslikuma kahjustuse korral tuleb kaaluda palkide vahetust, kus kahjustunud palk asendatakse uue, võimalikult sarnase kujuga, palgiga. Sõrestikseinte puhul tuleb mädaniku esinemisel vahetada välja või proteesida aluspruss. MTÜ Vanaajamaja on koostanud tutvustava infomaterjali palkide vahetuse kohta (Uus, 2010 II), kust saab esmast infot selle töö kohta. Rõhtpalkhoones on alumise palgi vahetust lihtsam teha, kuna sein moodustab suure tala ehk terviku, mida saab tungrauaga tõsta ka vähestest kohtadest. Püstpalk või –plankseina puhul on asendustööd mõnevõrra keerukamad, kuid kindlasti tehtavad. On õige, et puitkonstruktsioonis hoone kahjustunud detailid asendatakse puiduga. Puitu puiduga asendades ei muudeta algset konstruktsiooni, mis on möödapääsmatu mälestiste korral ja soovitatav lahendus ka tavahoonete korral.

Alumiste palkide kahjustuse põhjuseks on palgi ja vundamendi vahelise hüdroisolatsiooni puudumine või liiga madal sokkel. Sokli kõrgus peaks olema üle 30 cm. Vajadusel tuleb maapinda planeerida, pöörates samas tähelepanu, et maapinna kalle (>1/20) jääks hoonest eemale ja ei kahjustataks vundamenti. Kui madala sokli likvideerimiseks ei ole hooneümbruse planeerimine võimalik, siis kahjustunud palgi asendamisel uue palgiga võib ka see uus palk vajada varsti väljavahetamist, kuna kahjustuse põhjus on likvideerimata. Sellisel juhul võib kaaluda vastupidavama ehitusmaterjali kasutamist. Üheks võimaluseks on kasutada keramsiitplokkmüüritist: seina alla laotakse 1…2 rida keramsiitplokke (vt. Joonis 13.9), millega viiakse niiskustundlikum materjal (puit) maapinnast kõrgemale. Soojustehniliselt ei ole see parim lahendus, kuna lisasoojustamata on selle seinaosa soojusjuhtivus ligi kaks korda suurem palkseina soojusjuhtivusest. Probleemi või suurendada veelgi selle paiknemine külmal vundamendil. Kui juba varem oli puitkorterelamu kriitilisim külmasild seina ja sokli liitekohas, siis keramsiitplokkmüüritise asendamisega suureneb see probleem veelgi. Seina ja sokli lisasoojustamise korral saab seda probleemi oluliselt vähendada. Kõrge sokli korral ei ole keramsiitplokkmüüritise kasutamine põhjendatud. Sokli alumiste palkide asendamine plokkidega vm kivimaterjaliga on õigustatud üksnes juhul, kui maja on maapinna tõstmise tagajärjel tugevasti pinnasesse “uppunud” ja hoonet ümbritseva maapinna tagasi

allapoole viimine ei ole mingil põhjusel mõeldav, mistõttu puitmaterjali ei saa kahjustatud alumiste palkide asendamiseks kasutada.



Joonis 13.9 Seina alumiste palkide asendamine keramsiitplokkmüüritisega on lahendus, mida korraliku kõrge sokliga majadel tuleks pigem vältida.

Tihti on kahjustunud palgi sisemus, samas kui palgi välispind on visuaalselt korras. Seetõttu tuleb alati vaadata ka palgi sisemusse. Selleks võib võtta puiduproovi südamikpuuriga või saega. Mädanikkahjustusega palke ei ole õige jätta alles. Joonis 13.10-l on võetud puiduproovid palgist, mille alumine osa ~10 cm on asendatud keramsiitplokkmüüritisega. Väliselt visuaalselt korras olnud palkidest võetud proovidest olid pooled biokahjustustega: pruunmädanik, mardikakahjustus. Seega kahjustunud puit on jäetud alles. Madala vundamendi ja külmakerkelise pinnase korral tuleb kasutada külmakerke soojustust.

Alati tuleb kontrollida alumise palgi ja vundamendi vahelise toimiva hüdroisolatsiooni olemasolu ning selle puudumisel tuleb see paigaldada.



Joonis 13.10 Seina alumiste palkide (vasakul) osaline (~10 cm) asendamine keramsiitplokkmüüritisega ja proovide võtmine säilinud puidust (paremal).

Kahjustunud välisvoodri korral tuleb see renoveerida. Kui lisasoojustustöid ei planeerita ette võtta, siis piisab üldjuhul vaid kahjustunud laudise ja ehisdetailide vahetusest samasuguste vastu, välisvoodri kruntimisest, värvimisest, soklilaudade, ääre- ja servaplekkide paigaldusest jne. Puithoone välislaudise renoveerimisest võib täpsemalt lugeda Muinsuskaitseameti vastavast infolehest „Puitmaja välislaudis. Tüübid ja parandamine“. Kui laudise vahetuseks kasutatakse vanu voodrilaudu (näiteks eemaldatud mõnelt lammutamisele kuuluvalt hoonelt), peab olema kindel, et need vanad lauad ei oleks kahjustustega. Kui asendatakse suurem hulk laudu uutega, võib kaaluda lahendust, kus uute laudadega kaetakse terve üks sein ja sealt eemaldatud kasutamiskõlbulike laudadega renoveeritakse teisi seinu.

Kui olemasolev laudis on ulatuslikult kahjustunud või planeeritakse välisseinad lisasoojustada, tuleb laudise ja ehisdetailide vahetusel lähtuda algupärastest mõõtudest ja

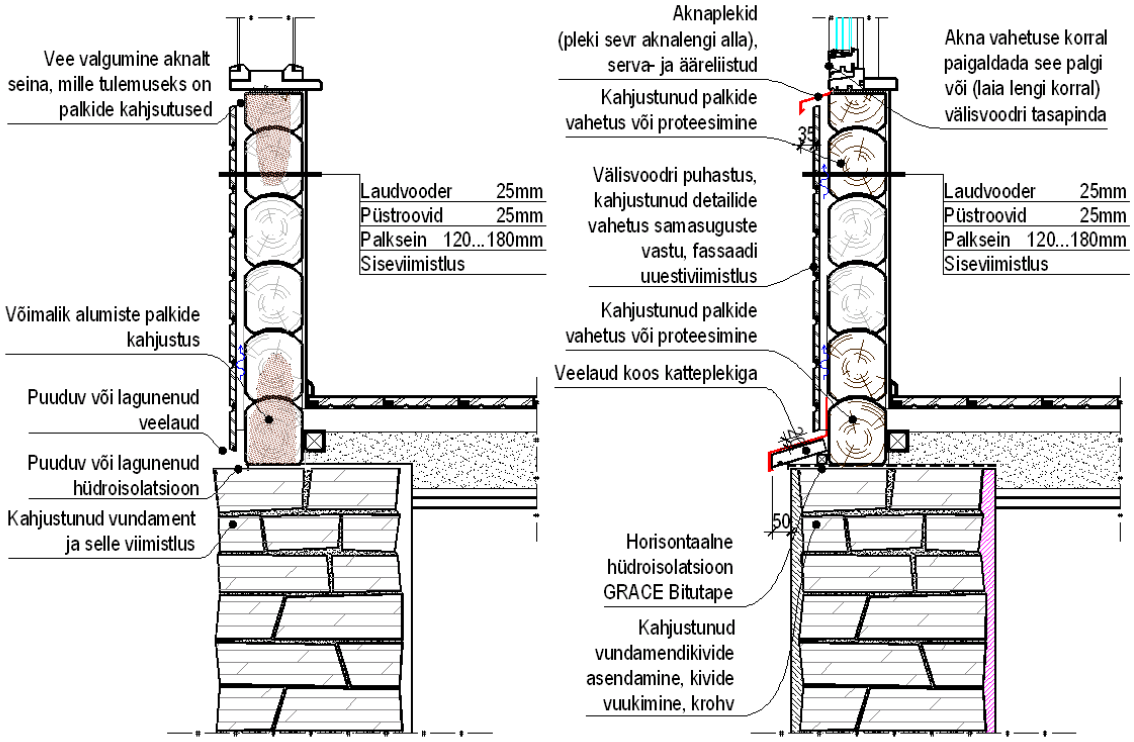
profiilidest. Lisasoojustamise korral tuleb hoolikalt läbi mõelda seina liitumine teiste ehitusosadega: akendega, sokliga, räästaga, et ei tekiks vastuolu hoone esialgse arhitektuurse välisilmega. Hoolika projekteerimise ja ehitamise korral on võimalik ka lisasoojustamise korral vältida hoone välisilme kahjustumist ja esialgse miljööväärtuse kadumist.

Välisseina liitumisel teiste tarinditega võiks lähtuda, et

- fassaadi välisel soojustamisel peaksid aknad ja uksed jääma seina välisvoodri tasapinda. Alati ei ole see võimalik ega otstarbekas, kuid maksimaalne aknapõskede sügavus 7 cm (mõõdetuna piirdeliistu pealt aknaraami või lengi peale). Ajalooline piirdeliistu paksus 2…4 cm;
- minimaalne sokli eenduvus 3 cm (arvestatuna sokli pinnast veelaua peal oleva laua pinnani. NB! See ei ole alati sama, mis seinapinnani, kuna tihti on laudise allosas veelaua peal nn soklilaud, mis eendub 2…3 cm põhilaudise pinnast.);
- maksimaalne sokli eenduvus 12 cm (samamoodi arvestatuna sokli pinnast veelaua peal oleva laua pinnani).

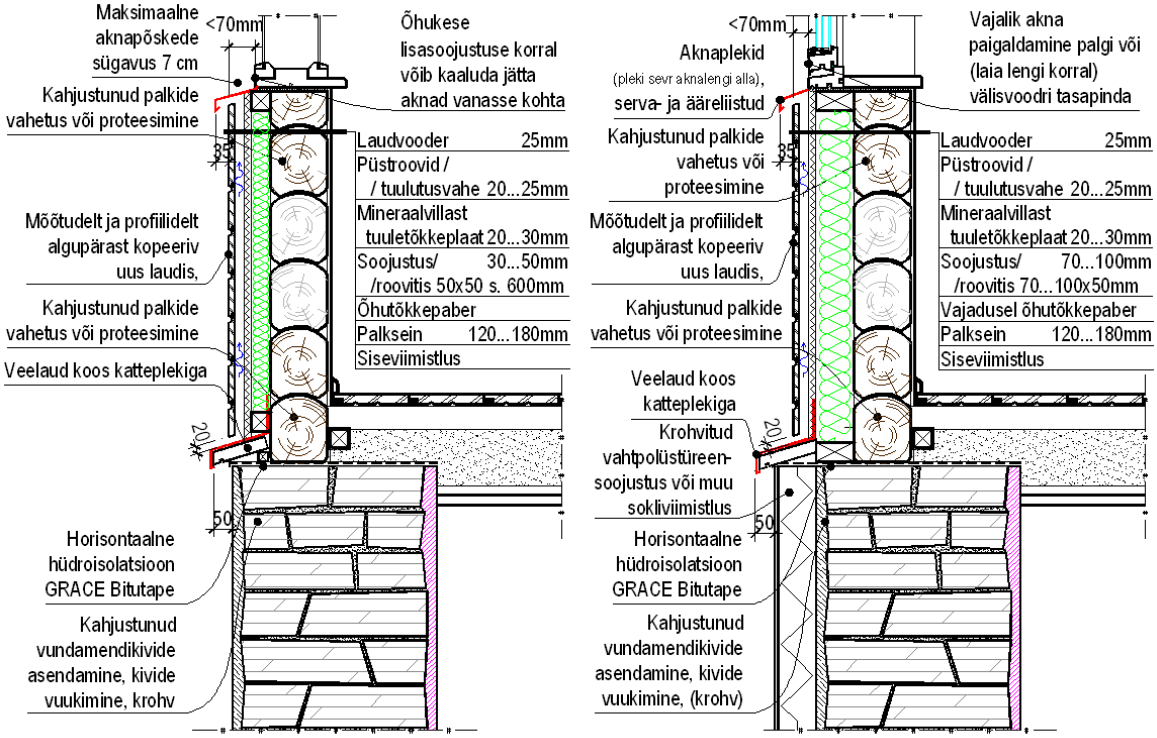
Välisseinte lisasoojustamisel tuleb vältida hoone välisilme ja proportsioonide olulist muutmist. Mõõtmised uuritud hoonetel näitasid, et akna ja sokli lahendused võimaldavad hoone välisilmet oluliselt kahjustamata paigaldada 5…10 cm paksust välispidist lisasoojustust. Lisasoojustus paigaldatakse puitroovide vahele ja kaetakse tuuletõkkeplaadiga. Tuuletõkkeplaadiks on soovitatav kasutada mineraalvillast tuuletõkkeplaati, kuna see on suurema soojustakistuse ja veeaurujuhtivusega. Need omadused parandavad välisseina soojus- ja niiskustehnilist toimivust. Need omadused parandavad välisseina soojus- ja niiskustehnilist toimivust. Koos tuuletõkkeplaadiga kujuneks siis soojustuse kogupaksuseks 7…13 cm. See suurendab oluliselt välisseinte soojustakistust. Koos lisasoojustustöödega tuleb viia läbi ka palgivahede toppimine ja tihendamine.

Joonis 13.11 ja Joonis 13.12 esitavad välisseinte peamised kahjustusega alad ja lisasoojustamise põhimõttelised lahendused.



Joonis 13.11 Välisseina renoveerimiseelne olukord ja peamised võimalike kahjustuste alad (vasakul). Kahjustunud osade vahetus ja säilitatava välisvoodri renoveerimine (paremal).

Õhukese lisasoojustuse korral (Joonis 13.12 vasakul) on üldjuhul võimalik jätta aknad nende endisesse asukohta. Väljastpoolt soojustatud hoonete juures tehtud vaatluse põhjal võib väita, et maksimaalne aknapõskede sügavus, mis puitkorterelamu puhul osutub veel vastuvõetavaks ja oluliselt silma ei häiri, on umbes 7 cm (mõõdetuna piirdeliistu pealt aknaraami või lengi peale). Krohvitud hooned on siinkohal visuaalselt pisut vähem tundlikud kui laudisega viimistletud hooned, kuna need meenutavad eemalt kivihoone ja aknapõsed ei ole seal olemuslikult nii võõrad. Akende nihutamisel on ehitustehniliselt õige koht jätta aknad samasse tasapinda tuuletõkkeplaadiga. Siis saab korrektselt tagada välisvoodritaguse tuulutuse ja läbi voodri tunginud sademevesi ei valgu akna peale. Kui aken tuua välisvoodri tasapinda, siis tuleb ehitada sademevee väljajuhtimiskanalid ja tuulutusvahed, mis muudavad oluliselt rohkem hoone üldilmet, kui see akna 4…5 cm-ne tagasiaste.



Joonis 13.12 Välisseina lisasoojustamine akende jätmisega endisesse asukohta (vasakul) ja paksema lisasoojustuse korral koos akende nihutamisega tuuletõkkeplaadi välispinda (paremal).

Soojustus paigaldatakse seinale kinnitatud roovide vahele. Roovide omavaheline vahemaa on 1 cm kitsam soojustusplaadi laiusest. Siis liibub soojustus tihedalt vastu roove. Palkseina läbipuhutavuse vähendamiseks tuleb palkide vahed hoolikalt tihendada ja toppida. Seinte läbipuhutavuse vähendamiseks on soojustuse ja palkseina vahele hea paigaldada õhutõkkepaber. Tuuletõkkeplaatide omavahelised liitekohad ja liitekohad akende, katusega, sokliga jne. peavad olema õhutihedad.

Lisasoojustamise korral tuleb lisaks tehnilistele aspektidele pöörata tähelepanu ka hoone visuaalsele poolele: lahendada tuleb välisseina liitumised akna, sokli, räästa jne. juures. Paksu välispidise lisasoojustuse korral tuleb aknad liigutada väljapoole, et ei tekiks puitelamule ebaloomulikke aukus aknaid. Hoolikalt projekteerides ja ehitades on võimalik hoone välispidisel lisasoojustamisel säilitada hoone ilme. Projekteerijal tuleks tutvuda hoone ning asula ehitusajalooga ja teha leitud eeskujude järgi maja ajastule sobilik välisviimistlus. Akende ja uste, sokli ja räästa sõlmed nõuavad kogenud projekteerija lahendusi. Hoone lisasoojustamine on üldjuhul piirdetarindite muutmine, mis eeldab ehitusluba ja ehitusprojekti. Ehitusprojektis tuleb anda ka konkreetsele hoonele sobivad sõlmede tehnilised lahendused, detailiderikka hoone puhul laudise ja dekoratiivdetailide joonised. Ei ole mõistlik tellida formaalset, üksnes asendiplaanist ja üldvaadetest

koosnevat ehitusprojekti, mis ei sisalda tellijale ega ehitajale vajalikku infot. Paksu välispidise lisasoojustuse korral tuleb ukse- ja aknaraamid liigutada väljapoole, et ei tekiks puitelamule ebaloomulikke aukus avasid.

Algse ajastutruu välisfassaadi taastamiseks nõuab välispidine soojustamine meisterlikku teostust. Seinte soojustamisele eelnevalt tasub konsulteerida projekteerijaga (ehitusinsener, arhitekt), ehitajaga, muinsuskaitsega (mälestis, muinsuskaitseala, miljööväärtuslik ala) ning võimalusel valitud materjalide esindajatega, et leida hoonele sobilik tehniline lahendus.

Laudvoodri valikul tuleb lähtuda sellest, et puitdetailid tuleks vahetada mõõtudelt ja profiilidelt algupäraseid kopeerivate vastu. Ehituskauplustes levinuim 9-10 cm laiune laud ei ole reeglina puitkorterelamute algupärane lauamõõt.

Laudvoodri ja välisseina kestvuse seisukohalt on tähtis, et välisvoodritagune oleks välisõhuga tuulutatav. Selleks tuleb jätta akna ja välisseina alumistesse ning ülemistesse osadesse ning voodri ja välisseina vahele tuulutuspilud. Laudvooder tuleb seina kinnitada kindlasti tsingitud naeltega. Püsivuse nimel tuleks nii poolpunnlaudade kui ka täispunnlaudade seinapanemisel jätta punnipõhja ja teise laua punni vahele umbes kolmemillimeetrine vahe. Punnidevaheline pilu laseb laudadel sügisniisketes ilmaoludes paisuda, et siis kuivades taas kokku tõmbuda. Eriti tundlikud on paisumisvahede suhtes täispunnlauad. Kui tihedalt üksteise vastu löödud poolpunnlaudadel on veel ruumi paisumiseks ja kahanemiseks, siis täispunnlaudadel see ruum peaaegu puudub ja lauad lähevad lõhki. Vertikaallaudise puhul kasutada täissulundlauda: siis ei pääse vihmavesi voodri vahele. Horisontaallaudise puhul võib kasutada ka poolsulundlauda. Ajalooliselt on linnades üldjuhul kasutatud hööveldatud laudist.

Puitseinte välispidisel soojustamisel kasutatakse tavaliselt kivi- või klaasvilla või tselluvilla. Välissein kaetakse tuuletõkkematerjaliga. Soojustusmaterjalidena võib kasutada ka roogplaate. Materjali valiku juures pööratakse peamisel tähelepanu nende soojuserijuhtivusele. Ruumide sisemist õhupidavust aitab seinade katmine krohvi, papi või tapeediga.

Krohvitud fassaadide puhul võib olla üheks võimaluseks vähendada soojusvoolu läbi välisseinte krohvitud soojustusvilla kasutamine. Sellise lahenduse juures tuleb meeles pidada, et fassaadi vihmatõkkeks on ainult kohvikiht, mis peab vältima vee seina sattumise. Siiski on soojustuskrohvi veepidavusega esinenud palju probleeme. Eriti suur probleem on olnud igasuguste liitekohtade, läbiviikude ja fassaadikinnituste veepidavusega. Kui vesi pääseb veetõkke taha, märgab ja niisutab see soojustust ja puitmaterjale, luues soodsad võimalused mikrobioloogilisele (hallitus, mädanik, bakterid jne) kasvule. Lisaks detailide ja liitekohtade hoolikale projekteerimisele (kõik detailid tuleb välja joonistada ja hinnata niiskustehnilisi riske) ja ehitamisele tuleb hoolikalt valida ka ehitusmaterjale. Krohvi ja fassaadivärvi puhul on olulised omadused veeaurujuhtivus, veeimavus, elastsus, tugevus jne. Väga õhukese krohvi korral küllastub krohv kiirelt veega ja vesi voolab mööda fassaadipinda alla. Kui krohvis on läbiviigud või praod, on oht, et mööda fassaadi allavoolav vesi voolab ka seina sisse, Mõnevõrra aitab seda probleemi vähendada paksema krohvikihi kasutamine, mis suudab siduda enesega suuremat veehulka vihma ajal, kust see siis pärast vihma lõppemist välja kuivab. Siiski on krohvitud soojustuse kasutamine puitkonstruktsioonidel riskantsem lahendus, kui tuulutusvahega laudvoodri kasutamine. Laudvoodri taga olev õhkvahe aitab takistada sademevee sattumist seina sisse, võimaldab paremini siseruumidest välja difundeeruva vee väljumist seinast ning vähendab õhurõhkude erinevust üle veetõkkena toimiva laudvoodri. Igal juhul vajab soojustuskrohvide kasutamine koos puitkonstruktsioonidega täiendavat analüüsi: testseina mõõtmist ning arvutuslikku analüüsi. Soojustuskrohve on palju kasutatud kivi- ja betoonhoonetel. Ka seal püsib risk vee seina sattumisele. Samas on puittarindid liigniiskusele palju tundlikumad, kui kivi- ja betoontarindid.

13.1.3 Katused

Katuste renoveerimise juures tuleb vaadelda mitut aspekti:

- katusekatte veepidavust;
- katusekonstruktsioonide kandevõimet;
- katuslae korral tema soojus- ja niiskustehnilist toimimist.

13.1.3.1 Katusekate

Katusekatte peamine ülesanne on tagada hoone kaitse sademete (vihm, lumi, rahe jne.) eest. Katusekatte lekkimine on vanemate hoonete lagunemise või katuse-konstruktsioonide kandevõime vähenemise üheks peamiseks põhjuseks. Sõltuvalt katusekatte materjalist on nende kestvus erinev. Katusekatte veepidavust ja kestvust mõjutavad lisaks materjali enese omadustele veel ehitustöö kvaliteet, kliimamõjud ja hooldustingimused. Kuna katusekatte veetihedus on tema peamiseid nõudeid ja üks olulisim katuse kestvust mõjutav tegur, on soovitatav katuse juures kasutada ennetavat renoveerimist. Katusekatte ennetav renoveerimine või vahetus võib olla vajalik hoone üldise kestvuse seisukohalt. Ei ole õige oodata, kuni katus hakkab läbi tilkuma. Hooldusele tuleb mõelda igal aastal ja katusekatte vahetusele ning põhjalikumale remondile tuleb mõelda, kui katuse oodatav kasutusiga hakkab lähenema lõpule.

13.1.3.2 Katusekonstruktsioonide kandevõime

Katusekonstruktsioonid peavad taluma lume-, tuule-, hoolduse- ja katuse-konstruktsioonide omakaalu koormusi.

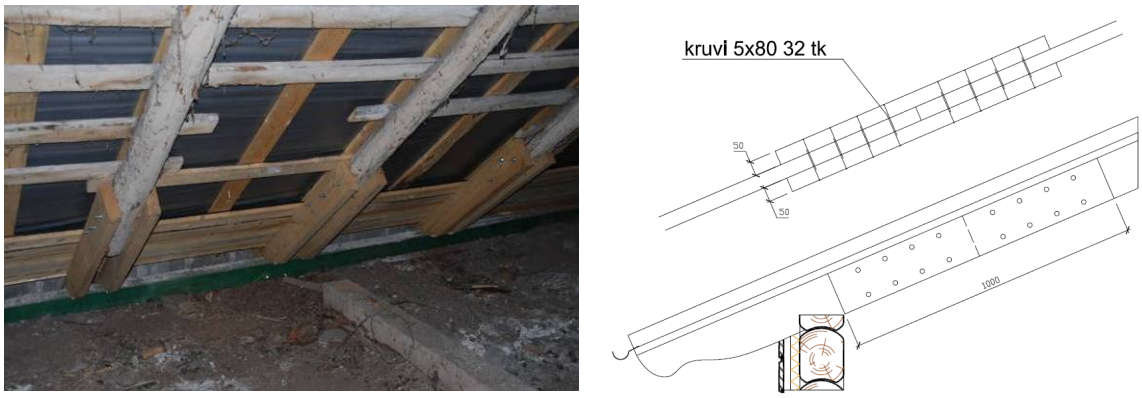
Eestis kehtivate projekteerimisstandardite järgi on normatiivne lumekoormus maapinnal vahemikus 1,0…1,75 kN/m^2, s.o. umbes 100…175 kg/m^2. Suurem lumekoormus on Pandivere, Otepää ja Haanja kõrgustikul ning väiksem Lääne-Eesti saartel.

Katusel oleva lumekoormuse juures arvestatakse lumekoormuse kujuteguriga, mis sõltub katuse kaldest ja katuse kujust ning on üldiselt vahemikus 0…1,6. Võimalikest tuulest kantud lumehangedest (nn. lumekott) võib normatiivne lumekoormus olla kuni neli korda suurem maapinnal olevast lumekoormusest. Lamekatustel on normatiivne lumekoormus üldiselt 0,8..1,2 kPa, mis võrdub seisnud lume puhul ligi 40…60 cm paksusega. Ilmade soojenedes lumekoormus ei suurene, lumi vajub kokku ja tiheneb, kuid kaal ei muutu. Märja lume puhul võrdub normatiivne lumekoormus vastavalt 20…30 cm lume paksusega. Kui lumele sajab vihma, võib koormus katusele oluliselt suureneda. Katustel, mille kalle on 30 kuni 60 kraadi, on lumekoormus vähendatud. 45 kraadi juures on maja projekteerijad tõenäoliselt arvestanud märja lume paksusega vastavalt 10…15 cm. Katustel, mille kalle on üle 60 kraadi, ei jää lumi püsima ning põhiliseks koormuseks on tuul. Erinevate katuste liitumisel või katuste külgnemisel kõrgema seinaga on tavaliselt uute elamute projektides arvestatud lume kuhjumisega. Siiski võib ka sellise lumekoti puhul märja lume paksusel üle 75 cm olla tegemist reaalse ohuga konstruktsioonide kandevõimele. Vanemate majade puhul või juurdeehituste tegemisel ei pruugi olla lume lokaalse kuhjumusega projekteerimisel arvestatud. Nagu näha, ei või ainult katusel oleva lume paksuse järgi otsustada katusele mõjuva lumekoormuse ja lume eemaldamise vajaduse üle.

Kui lume koormus katusel on suurem, kui konstruktsioonid (sarikad, roovid) kanda jõuavad, toob see kaasa katuste varisemise. Suured katuse läbivajumised toimuvad juba väiksemate lumekoormuste puhul. Kuigi läbivajumised üldjuhul taanduvad koormuse eemaldamisel, võivad suured läbivajumised vähendada katusekatte veepidavust. Kahjustunud konstruktsioonide kandevõime võib olla oluliselt väiksem kui kahjustamata konstruktsioonidel (ehitusjärgne olukord), kuna aja jooksul on konstruktsiooni omadused halvenenud. Seetõttu võib konstruktsioonide kandevõimekaotus juhtuda juba ka väiksema koormuse või lumepaksuse korral. Seetõttu tuleb katuselt liigse lume mahaajamisse suhtuda äärmiselt tõsiselt.

Kahjustunud kandekonstruktsioonidel tuleb likvideerida kahjustuse põhjus ning konstruktsioonid asendada või proteesida. Kahjustatud osa tuleb eemaldada (vähemalt

0,5 m kaugusel kahjustusest) ning asendada puidust või metallist proteesiga (Joonis 13.13). Puitproteesi kasutamisel tuleks see katta immutusvahendiga. Majaomanikul või kasutajal on soovitatav küsida konstruktsioonide kandevõime kohta nõu pädevalt ehitusinsenerilt. Kandekonstruktsioonide väljavahetamise või renoveerimise korral tuleb teha ehitusprojekt.



Joonis 13.13 Sarika proteesimised.

Amortiseerunud katusekate tuleb vahetada uue vastu. Enne katuse väljavahetamist on otstarbekas kontrollida, kas katuse veepidavust saab tagada remontimisega. Siiski tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et katus on hoone kestvuse tagamisel kriitilise tähtsusega ja siin liiga suurte riskide võtmine (jäetakse alles kohati lagunenud katusekate) ennast ei õigusta. Puitkorterelamute originaalne katusekate on olnud peamiselt valtsplekk. Seega tuleb eelistada katusekattematerjalina valtsplekist katusekatet. Mõnel pool, eriti Kesk- ja Lõuna-Eesti linnades ja teatud hoonetüüpide juures on levinud ka kivikatused. Katusekivi tuleks valida tüübilt ajaloolisega sarnane: vanematel hoonetel S-kivi, hilisematel esineb sageli nn. valtskivi. Kui hoonel soovitakse taastada kunagi seal olnud kivikatust (näiteks vanade fotode põhjal), tuleb eelnevalt selgitada, kas see eeldab ka katusekonstruktsiooni ümberehitust, sest kivikatus on suhteliselt raske ja vahepeal võib konstruktsioon olla remondi käigus kohaldatud kergematele kattematerjalidele ning osutuda kivikatuse jaoks kõlbmatuks.

Katusekatte vahetus eriliigilise vastu (näiteks eterniit pleki vastu) on alati töö, mis eeldab ehitusprojekti koostamist.

Lagunenud varikatused tuleb taastada.

13.1.3.3 Katuslae soojus- ja niiskusrežiim

Katusekattematerjal või katuse aluskattematerjal on üldiselt suure veeaurutakistusega. Seetõttu tuleb katuslae ja katusekattematerjali või katuse aluskattematerjali vahele jätta välisõhuga tuulutatav õhkvahe. Katuslagi soojustatakse 25-35 cm paksuse soojustusega, kaetakse väljastpoolt tuuletõkkeplaadiga ja seestpoolt õhu- ja aurutõkkega (vastav paber või kile). Sõltuvalt katuslae lahendusest peab õhu- ja aurutõkke veeaurutakistus olema 5…80 korda suurem kui tuuletõkkeplaadi veeaurutakistus. Vajalik veeaurutakistus arvutatakse vastavalt katuse tarindi lahendusele ja valitud ehitusmaterjalide omadusele. Ehitamise käigus tuleb tagada õhu- ja aurutõkke terviklikkus.

13.1.3.4 Sademevee äravoolusüsteemid

Kuna sademevee äravoolusüsteemide ebapiisava toimimise korral on suur fassaadi ja sokli kahjustuste risk, siis tuleb äravoolusüsteemid korrastada. Tegemist on lihtsate vahenditega tehtavate töödega, mis on aga väga tähtsad, sest nad mõjutavad tugevalt hoone konstruktsioonide kestvust.

Vihmaveetorude liiga kõrgel või liiga maa lähedal lõppemine tingib niiskuse sattumise soklile – korrektne on kasutada abinõusid (vt. Joonis 13.14), mis tagavad, et vesi pritsib vastu hoone seina või kust pole tagatud sademevee äravool.



Joonis 13.14 Korrektselt lõpetatud vihmaveetoru.

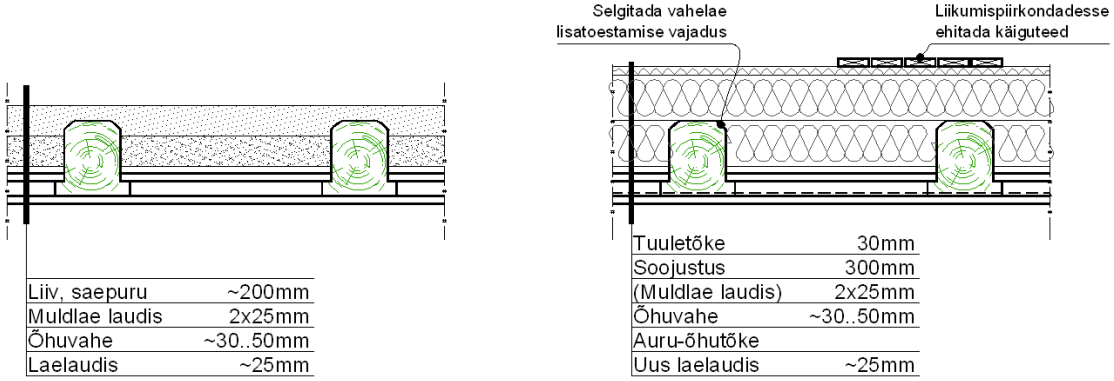
13.1.4 Vahelaed

Puithoonete vahelagede helipidavus väheneb, kui vahetada raske olemasolev täidis välja kerge mineraalvilla vastu. Samuti väheneb põranda omavõnkesagedus. Seetõttu ei ole otstarbekas seda teha.

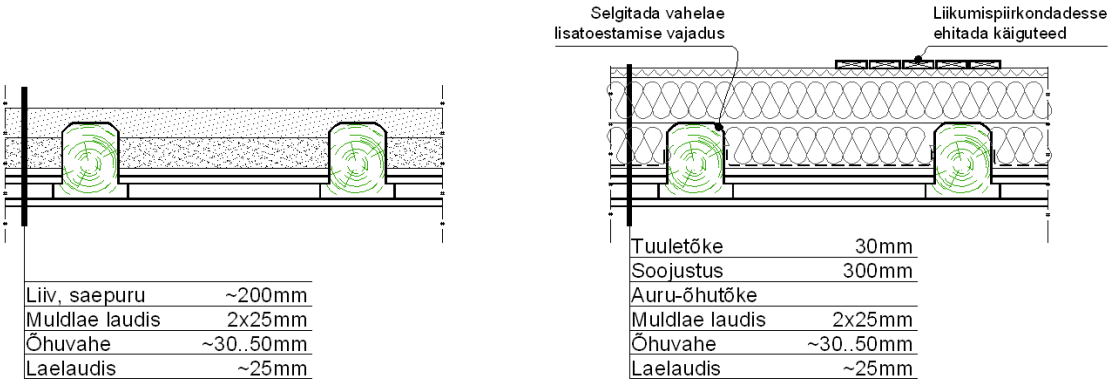
Pööningu vahelagi on ülevalt poolt viimase korruse köetavate siseruumide piirdeks. Kuna pööningu vahelaetalade vahe oli ehitusjärgselt täidetud liiva, saepuru, õlgede või linaluuga, ei ole vahelae soojustakistus suur. Kui elamu katusealune on köetav ja eluruumidena kasutatav, ei ole vahelae soojustamine vajalik. Renoveerimisel tuleb siis pöörata tähelepanu eelkõige kandevõime, tuleohutuse, läbivajumise ja helipidavuse probleemidele. Kui katusealune on kütmata ruum, tuleb tähelepanu pöörata ka õhu- ja soojuspidavusele.

Pööningu vahelae lisasoojustamise lahendused sõltuvad paljuski sellest, kas ruumide laelaudist soovitakse eemaldada/asendada või mitte. Laelaudise eemaldamisel/asendamisel (vt. Joonis 13.15) saab õhu- ja aurutõkke paigaldada laetalade alla ühtse tervikuna kogu ruumi ulatuses. Nii jääb võimalikke lekkekohti vähem. Tuleb vältida õhu- ja aurutõkkesse aukude ja läbiviikude tegemist ning kõik läbiviigud tuleb hoolikalt tihendada. Kui laelaudist ei eemaldata (vt. Joonis 13.16), tuleb õhu ja aurutõke paigaldada laetalade vahele, muldlaelaudise peale.

Kuna pööningu vahelae soojustamine ei nõua täiendavaid tarindimuutusi, võib soojustuse paksus olla 20…40 cm. Taladevahelise vana täite (liiv, saepuru vms.) võib eemaldada, siis saab tulemuslikumat soojustust paigaldada rohkem. Korstna ja katuseluugi juurde või teistesse liikumispiirkondadesse tuleb rajada käiguteed, et soojustust ära ei tallutaks.



Joonis 13.15 Pööningu vahelae lisasoojustamine olemasoleva laelaudise eemaldamisel/asendamisel: renoveerimiseelne olukord (vasakul), renoveerimisjärgne olukord (paremal).



Joonis 13.16 Pööningu vahelae lisasoojustamine olemasoleva laelaudise säilimisel: renoveerimiseelne olukord (vasakul), renoveerimisjärgne olukord (paremal).

Pööningule ruumide ehitamisel tuleb kontrollida vahelae kandevõimet ja läbivajumisi ning vajadusel tuleb vahelagi tugevdada.

13.1.5 Niisked ja märjad ruumid

Märgade ja niiskete ruumide kasutusotstarve ja kasutusaktiivsus seavad suuremast vee- ja niiskuskoormusest tulenevalt nende ruumide tarinditele erinõudmised. Erinevad lahendused tulenevad ka sellest, kas märjad ruumid ehitatakse esimesele või teisele korrusele, välisseina äärde või mitte.

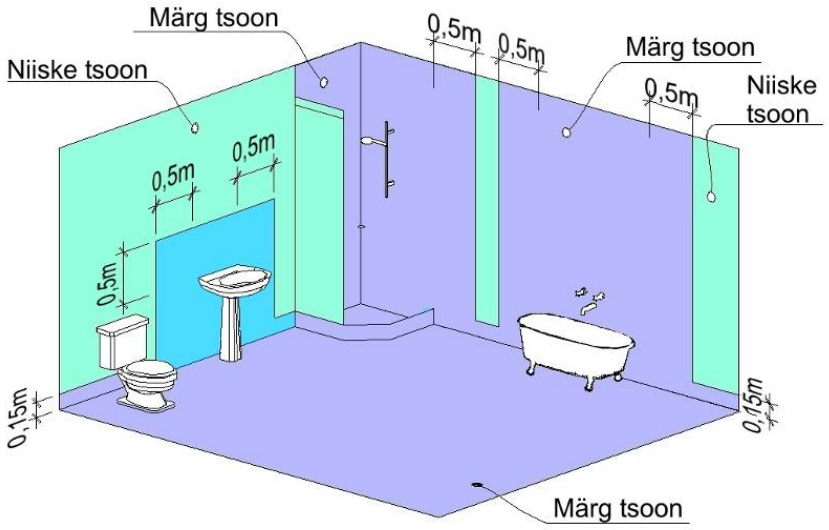
Märgades ruumides, nagu duširuumis, vannitoas, sauna pesu- ja leiliruumis, tuleb arvestada kõrge õhu suhtelise niiskuse tasemega ja et vee sattumine põrandale ja seintele on tavaline. Niisketes ruumides, nagu WC ja majapidamisruumid, võib õhu suhteline niiskustase tõusta kõrgeks või põrandale võib sattuda hetkeliselt vett, kuid see on hetkeline. Märgade ja niiskete ruumide tarindid tuleb projekteerida ja ehitada nii, et vesi ja liigniiskus ei pääseks tarinditesse ja niiskunud tarindid saaksid kiiresti ära kuivada.

Uute märgade ruumide planeerimisel olemasolevasse hoonesse on oluline läbi mõelda ruumide suurus ja paiknemine. Ehitustehniliselt on turvalisem paigutada märjad ruumid hoone keskele, mitte otse välispiirete (välissein, katuslagi) äärde. Ebapiisavalt soojustatud välispiirete sisepind on külm. Külmal pinnal võib suhteline niiskus tõusta tasemele, mis võimaldab hallitusseente kasvu või veeauru kondenseerumist. Keldrisse märgade ruumide rajamine ei ole hea lahendus. Välispiirde äärde ehitades tuleb välja selgitada olemasoleva välisseina tarindus ja veenduda, et ei tekiks kahte veeaurutihedat kihti, mille vahelt niiskus ei pääseks kuivama. Märgade ruumide kavandamisel kehtib üldine põhimõte: märjad ruumid ehitatakse vanasse majja omaette „kabiinina“: märgade ruumide sisepind on vee- ja aurutihe ja välispind veeaurujuhtiv, mis võimaldaks tarindisse pääsenud niiskusel teiselt poolt kiiresti välja kuivada.

Vee tarindi pinnale sattumise järgi võib märjad ruumid jagada niisketeks ja märgadeks tsoonideks. Märg tsoon on ala kuhu tõenäoliselt satub pritsmevesi ja kus on seetõttu vee koormus suurim. Märjad tsoonid on põrand, duši, vanni ja kraanikausi ümbrus, vt. Joonis 13.17.

Niiskus- ja veekahjustuste vältimiseks peavad märgade ja niiskete ruumide piirded olema varustatud tiheda aurutõkkega ja märjad tsoonid veetõkkega. Vee- ja aurutõke tehakse võimalikult sisepinna lähedale, vahetult viimistluse taha või kasutatakse vee- ja aurutihedat viimistlust. Puittarindite puhul tuleb veetõkke tegemisel olla eriti hoolikas, kuna puit on niiskuskahjustuste suhtes tundlikum, temperatuuri- ja niiskuskõikumistest tulenevad mahumuutused on suuremad (näiteks kolme meetri pikkune vineer pikeneb/lüheneb niiskuse mõjul $\approx 4\ldots5$ mm) kui kivimaterjalidel ja tavaliselt ei ole puittarindid nii jäigad kui kivitarindid. Eeltoodud põhjustel on alati kui võimalik soovitatav ehitada märgade ruumide seinad kivimaterjalidest (tellis, kergbetoonplokk) ja põranda

veetõkke alus betoonist. Kuid kivi ja betoonmaterjalidega tuleb arvestada, et need sisaldavad palju rohkem ehitusniiskust, mis tuleb lasta välja kuivada, enne kui katta seinad vee- ja aurutõkkega.



Joonis 13.17 Märjad ja niisked tsoonid.

Märgade ruumide põrandad peavad olema ühtlase kaldega põrandatrapi suunas >1/80 (min. 1/100) ja põrandatrapi ümber peab kalle olema suurem: >1/50. Põrandale võib kalde anda kas kaldu valatud alusbetooniga või kaldu paigaldatud talastikuga ja alusroovitisega. Ukse lävepaku kohal tuleb hüdroisolatsioon tõsta põranda tasapinnast kõrgemale ja liimida piida külge või piida alla.

Puittaladest vahelaele ehitatavate märgade ruumide põrandad võivad nõuda eluruumide omadest tugevamat ja jäigemat kandekonstruktsiooni, kuna märgade ruumide põrandad on raskemad ja lisakoormust võib lisada vann. Seetõttu tuleb olemasoleva põranda kandevõimet ja jäikust eelnevalt kontrollida. Tulenevalt põranda tarindi erinevast paksusest võib olla vajadus paigaldada märgade ruumide põrandatalad teistest vahelaetaladest erinevale kõrgusele. Piisava jäikuse saavutamiseks ei võiks põranda alusvineeri (veekindel, paksus 18…21 mm) toetavate põrandalaagide või -talade samm ületada 300 mm. Põranda alusplaadid tuleb toetada talastikule vaheldumisi malekorras ja kõik plaadid peavad olema perimetraalselt toestatud. Plaadid kinnitatakse alustalastikule kuumtsingitud kinnituskruvidega sammuga 150 mm servast ja 300 mm plaadi keskelt (kruvid süvistatakse 2…3 mm plaadi sisse).

Seina ja põranda liitekoht tihendatakse eelnevalt armeerimisriba ja veetõkkemastiksiga. Seejärel kaetakse kogu põrand (samuti dušinurga ja vanni alla) veetõkkega, mis tuleb tõsta ka seintele >15 cm (minimaalselt 10 cm) kõrgusele. Ülestõstele tehakse ülekate seina veetõkkega vähemalt 5-10 cm ulatuses. Põranda veetõke tehakse kahes kihis ja kihtide vahele jäetakse armatuurkangas, mis mitmes tükis paigaldatuna tuleb teha vähemalt 10 cm ülekattega. Ukse lävepaku kohal tuleb hüdroisolatsioon tõsta põranda tasapinnast >15 mm kõrgemale ja liimida piida külge või piida alla. Põrandatrappi ei ole hea paigutada seina äärde, kuna siis muutuvad põranda kalded liiga erinevaks.

Vabade valikute olemasolul tuleks eelistada märja ruumi piiretes kivimaterjalidest siseseinu, kuna need on niiskuskahjustuste suhtes vähem tundlikumad, temperatuuri- ja niiskuskõikumistest tulenevad mahumuutused on väiksemad ja veetõkkele saab jäigema ning tugevama aluse. Kergkarkassseinte korral on sobivaks materjaliks tsementkiudplaat või veekindel vineer, kuna tavalise kipsplaadi kasutamine märgades ruumides on seotud liiga suurte riskidega. Karkassipostide ja plaatide süsteem ning nende liitekohad peavad tagama seinale piisava tugevuse ja jäikuse. Karkassipostideks võib kasutada nii puitposte (45×95 mm), kui ka plekkprofiile (42×66 mm). Sõrestikupostide samm võib olla kuni 400 mm, kui kasutada 600 mm karkassipostide sammu, tuleb kasutada kahekihilist plaadistust. Kergkarkassseina alumist vööd ei või paigaldada märja ruumi põranda

tasapinnast allapoole. Parema lahenduse saab, kui kergkarkasssein ehitada 150…200 mm kõrgusele kivi- või betoonsoklile.

Välisseinte ja katuslagede korral on igale poole sobivaid lahendusi raskem anda. Esmalt tuleb selgitada vana tarindi lahendus, kuna see mõjutab väga palju kasutatava lahenduse valikut. Kui märgade ja niiskete ruumide välissein või katuslagi vajab lisasoojustamist, tuleb lahenduse saamiseks kindlasti pöörduda ehitusinseneri poole. Üldise põhimõtte järgi tuleb vana ja uue seinaosa vahele jätta õhkvahe, mis lõikab läbi võimaliku niiskuse sattumise vanasse tarindisse ja laseb uuel tarindil kuivada. Kui ruumides on korralik ventilatsioon ja küte, võib lahendus olla ka selline, kus uus seinaosa koos veetõkkega tehakse vaid märgadesse tsoonidesse: et kaitsta tarindeid otsese vee eest, kuna mujal piirdutakse vaid aurutõkkega. Selle kaitseseinaosa võib teha näiteks tsementkiudplaadist (mis kaetakse veetõkke ja keraamiliste plaatidega) või veekindlast vineerist. Et vesi ei pritsiks õhkvahesse, peab selle lahenduse juures põranda veetõkke ülespööre ja seina vooderdus olema piisava ülekattega ning nende vahe olema mitte väga lai. Välisseina ja kaitseseinaosa vahelisest osast on niiskuse väljakuivamine aeglane. Niiskust aitab kiiremini välja kuivatada õhkvahesse paigaldatav elektriküttekaablist küte. Vanale seinale veetõkekihi tegemisel tuleb jälgida, et seina ei tekiks kahte veeaurutihedat kihti (vana aurutõke ja uus veetõke) ning et veetõkke ja aurutõkke veeaurujuhtivused oleksid piisavad tagama välisseina niiskustehnilist toimivust. Keraamiline plaat ei ole veetõkkekihiks, kuna tema vuugid lasevad veeauru ja vett läbi. Ka puitvooderdust tuleb märgades tsoonides vältida: see ei ole veetihe.

Äärmiselt oluline on märgade ja niiskete ruumide korralik ventilatsioon. Põrandküte lisab ruumide kasutusmugavust, kuid aitab ka ruume kiiremini kuivatada. Põrandakütte olemasolu ei vähenda veetõkke ega ventilatsiooni vajadust. Ventilatsiooni väljatõmbe õhuvooluhulgaks tuleb vannitoas arvestada vähemalt 15 l/s ja WC-s 10 l/s. Lahendused, kus ventilatsioon on sisse-väljalülitatav koos valgustiga, on väga halvad. Sellise lahenduse korral töötab ventilatsioon vaid selle lühikese aja jooksul, kui ruumid on valgustatud ning teiste ruumide õhuvahetus ei ole tagatud.

13.1.6 Avatäited: aknad ja uksed

Aknad, mis on amortiseerunud, tuleb renoveerida: lokaalsed kahjustused plommida, tagada akende avatavus, paigaldada tihendid, asendada klaasid selektiivklaasi või klaaspaketi vastu, vt. (Kuressaare LV 2000). Kui kahjustused on ulatuslikud, alles siis tasub mõelda akende uute vastu vahetamise peale. Soovitatav on kasutada selleks puitaknaid, et mitte rikkuda puithoone arhitektuur-ehituslikku tervikut. Mälestistel ja muinsuskaitsealadel, nagu ka paljudel miljööväärtuslikel hoonestusaladel, on puithoonetele plastakende paigaldamine üldse keelatud.

Uute akende korral tuleb jälgida täpselt vanade akende kuju, mõõtmeid ja konstruktsiooni. Kahjuks ei toodeta tööstuslikult täpselt vana konstruktsiooniga aknaid. Tänapäevane puitaknatööstus on välja töötanud uued soojustehniliselt efektiivsemad aknatüübid. Peamiste aknatüüpidena võib välja tuua:

- üheraamiline välja avanev aken, lengi laiusega ~ 9 cm;
- kaheraamiline sisse avanev aken, lengi laiusega ~13 cm;
- üheraamiline sisse avanev aken, lengi laiusega ~7…8 cm.

Puitkorterelamule on sobivaimad kaks esimest aknatüüpi. Palju on väiksemaid ettevõtteid, kes eritellimusena siiski valmistavad ka traditsioonilisi välja ja sisse avanevaid kaheraamilisi aknaid. Hoonetel, kus on keeruka raamjaotusega erikujulised või eriti stiilsete detailidega aknad (näiteks on akna keskmine impost või tuuleliist kujundatud justkui miniatuurse pilastrina, tavaline on see kujundusvõte Pärnus) ongi mõeldav üksnes nn. käsitööakende tellimine.

Laiem leng vähendab akna ja välisseina liitekohast tekkivat külmasilla mõju (vt. Tabel 3.6, Tabel 3.7). Laia lengi eelised tulevad eriti esile, kui aken paigaldatakse välisvoodriga samasse tasapinda. Kui uus leng paigaldatakse olemasoleva lengi sisse, siis on lai leng tõsine probleem.

Niiskustehniliselt ei saa heaks kiita akna paigaldamist välisvoodriga samasse tasapinda. Parem koht on akna paiknemine tuuletõkke või lisasoojustamata seina korral palgi välimise pinna tasapinnas. Sellisel juhul on välisvoodri tagune täielikult tuulutatav ja välisvoodrisse sattuv sademevesi ei valgu aknale. Kui aken on tuuletõkke või lisasoojustavamata seina korral palgi välimise pinna tasapinnas, on tagasiaste laudvoodri pinnast 4…5 cm, mis ei kahjusta oluliselt hoone arhitektuurset välisilmet, on aga hoone kestvusele oluliseks positiivseks teguriks.

Aknad on puitelamu välimuse seisukohalt ühed kõige tundlikumad detailid, mis moodustavad olulise osa hoone stilistilisest tervikust. Kõiki ajalooliste aknatüüpide ning akende vahetamisega seotud nüansse ei saa siinkohal lähemalt käsitleda. Hoone terviklik renoveerimisprojekt peaks lisaks avatäidete spetsifikatsiooni tabelile sisaldama ka akende tööjooniseid, kus on välja joonistatud profiilid ning detailid, eriti, kui tegemist on arhitektuurselt väärtusliku ajaloolise hoonega, mille aknad tuleks valmistada täpselt vanade järgi.

13.1.7 Trepid ja trepikojad

Trepikojad, mis on TP2 tuleõhutusklassiga hoone osad ning mis on evakuatsiooniteed, ei tohi olla süttivast materjalist väljaarvatud põrand. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 315 (RT I 2004, 75, 525) kehtestab selle nõude ka tagasiulatuvalt. Trepikodade laed ja seinad tuleb renoveerimise käigus võimalusel katta mittesüttiva kihiga, kas mõne lakiga, krohvida või kipsplaatidega. Hoonetes, kus trepikojas on väärtuslik siseviimistlus (aaderdatud seinapaneelid, maalingud vmt) tuleb erilahendus välja töötada projekteerimise käigus. Kui vanu korteriuksi soovitakse säilitada, tuleb neile tulepüsivuse tõstmiseks paigaldada spetsiaalsed tihendid.

13.1.8 Korstnad

Enne korstna renoveerima asumist tuleb korsten lasta üle vaadata tuletõrje-päästeametnikul, väljaõppinud korstnapühkijal või pottsepal. Erialaspetsialist oskab hinnata, kas renoveerimine võib õnnestuda: tagatakse piisavalt pikk kasutusiga või tuleb mõelda uue korstna ehitamisele. Tavaliselt on suuremate kahjustustega piirkond korstna pööningu osa.

Korstna probleemidele ja renoveerimisvajadusele viitavad:

- praod korstna välispinnal;
- tõmbe puudumine, küttekeha ajab suitsu sisse;
- tellisepuru korstna sisemuses;
- tühjenevad vuugid;
- pigi korstna seintel;
- lagunev korstnapits.

Enne renoveerimist tuleb korsten hoolikalt puhastada. Telliskorstnate tühjaks pudenenud vuugid tuleb renoveerimise käigus täita. Tänapäeval on selleks võimalus kasutada renoveerimissegu (Schiedel Moodulkorstnad OÜ):

- renoveeritava korstna alumisse ossa tehakse vastav avaus, võimalusel kasutatakse tahmaluugi ava. Suletakse porolooni vms abil korstna olemasolevad ühendusavad (sleped jms.) ning vajadusel eemaldatakse vana siiber;
- seejärel puhastatakse korsten spetsiaalse kettpuhastaja ning harjade abil;
- puhastatud korstnalõõr niisutatakse seestpoolt veega ning paigaldatakse allpoololevast avast vastav renoveerimissegu laialijaotav element (näiteks poroloon) lõõri sisse, ühendades selle enne vastava renoveerimisvintsi trossiga, mis on paigaldatud korstna tipule;
- tõstes vintsiga elementi ülespoole, lisatakse samaaegselt lõõri ülemisest avast renoveerimissegu, mis surutakse elemendi (porolooni) poolt korstnalõõri vuukidesse ja pragudesse ning vormitakse ühtlase kihina lõõri pinnale. Vajadusel korratakse lõõrist elemendi läbitõmbamise protseduuri 2…4 korda sõltuvalt lõõri seisukorrast

ning segukihi paksusest. Antud segu võib paigaldada kuni 5 cm paksuse kihina ning segu kulu lõõrile sõltub tema mõõtmetest ning seisukorrast.

Korstnat on võimalik renoveerida sinna tulekindla suka paigaldamisega või uue korstna ladumisega.

Pööningul korstnad krohvida ja soojustada tulekindla mineraalvillaga. Seguga renoveerimist saab kasutada puuküttega hoonete puhul, mille küttekehadeks on pliidid, ahjud, kaminad, saunakerised jms. Renoveerimistööd saab põhimõtteliselt teha aastaringselt, kuid parim aeg on siiski kas enne või pärast kütteperioodi. Peale renoveerimist tuleks lasta korstnal paar päeva kuivada ning siis alustada rahuliku kütmisega.

13.1.9 Müratõrje ja helipidavus

Siseseinte õhuhelipidavuse parandamiseks on võimalik seinu krohvida või ehitada seintele ehitusplaatidest topeltsein. Vahelagede õhuhelipidavuse parandamiseks on võimalik täita need raske täitematerjaliga (tuleb kontrollida talade kandevõimet ja läbivajumist) või ehitada lae alla ehitusplaatidest aluslagi. Vahelagede löögimüraläbivuse vähendamiseks tuleb ehitada ujuv põrand: elastne vahekiht jäikade põrandamaterjalide vahel.

13.2 Tehnosüsteemid

13.2.1 Soojusvarustus

Soojusvarustuse renoveerimise sõltub oluliselt sellest, millise soojusallikaga on tegemist. Peamised soojusallikad korterelamutes olid:

- ahi/pliidiküte;
- korteripõhine gaasiküte;
- keskküte tsentraalse katla (levinuim gaasikatel) baasil;
- kaugküte;
- otsene elekterküte.

13.2.1.1 Ahi/pliidiküte

Enne ahju või pliidi renoveerima asumist tuleb ahi või pliit lasta üle vaadata tuletõrje-päästeametnikul, väljaõppinud korstnapühkijal või pottsepal. Erialaspetsialist oskab hinnata, kas renoveerimine võib õnnestuda: renoveerimisega tagatakse piisavalt pikk kasutusiga või tuleb mõelda uue ahju ehitamisele. Ahju probleemidele ja renoveerimisvajadusele viitavad:

- praod ahju ja suitsukäikude välispinnal;
- tõmbe puudumine, küttekeha ajab suitsu sisse;
- tellisepuru ahju sisemuses;
- tühjenevad vuugid;
- pigi ahju seintel.

Sageli on võimalik ahje renoveerida nii, et puudub vajadus nende lammutamiseks ja uuesti ehitamiseks. Väärtuslikud pottahjud tuleb kindlasti restaureerida.

Pliidikütte puhul võib kaaluda kasutada ka pliidi soojusenergiat tarbevee soojendamiseks.

13.2.1.2 Kaugküte

Kaugkütte puhul tuleb renoveerida vana soojussõlm, vajadusel asendada torustikud, paigaldada soojusvahetid, soojusenergia arvesti, asendada vajadusel ringluspumbad, sulg- ja ohutusarmatuur jne.

Kaugkütte väljavahetamine lokaalkatlamaja või muude soojusallikate vastu ei ole õige. Koostootmine võimaldab elektri tootmisel tekkivat heitsoojust kasutada kaugküttesüsteemis. Kui kaugkütte tarbijaid on vähe, kaob süsteemi efektiivsus.

13.2.1.3 Otsene elekterküte

Elekter on väga väärtuslik energiakandja, mida kütmiseks kasutada ei ole otstarbekas. Tema tootmiseks on kasutatud oluliselt rohkem primaarenergiat, kui kajastab hoonete energiatõhususe miinimumnõuete määruses kasutatav kaalumistegur 1,5. Elekter võib kõne alla tulle soojusenergia allikana vaid ruumides, mis on korstnast kaugel ja kui hoones ei ole keskkütet.

Otsene elekterküte on otstarbekas asendada soojuspumpsüsteemidega. Maaküttе kasutamise võimalus sõltub krundi suurusest ja kollektori tüübist. Olemasolevatele kruntidele maakollektori paigaldamine on komplitseeritud tegevus (reeglina võimatu). Avatud soojussüsteemi puurkaevu või -augu korral võib maapinnalähedasi taastuva põhjaveevaruga põhjaveekihte kasutada juhul, kui see tagab projektikohase vee koguse ja kvaliteedi või/ja soojusenergia saamiseks ei kasutataks kinnitatud joogivee tarbevaruna arvel olevat põhjavett. Üldjuhul ei ole need tingimused tagatud ja kasutada tuleb suletud süsteemi.

Õhk/vesi soojuspumpade kasutamine on puitkorterelamute juures võimalik. Soojuspumba välisosa tuleb paigaldada hoovi poole ja varjata nii, et see ei rikuks miljööd ja oleks tagatud soojuspumba töötingimused. Soojuspumba valikul tuleb lisaks tema soojustehnilistele omadustele jälgida veel tema müratasetet: soojuspump ei tohi tekitada liigset müra.

Õhk/õhk soojuspumbad ei ole sobivaks soojusallikaks puitkorterelamutes, kuigi on parem lahendus, kui otsene elekterküte. Puitkorterelamute ruumiplaneering ei ole sobivaim õhkkütte jaoks, kuna palju on väikeseid ruume, kus sooja õhu ringlus ei ole parimal moel tagatud. Puitkorterelamule soojusvarustuseks õhk/õhk soojuspumpadega peab arvestama iga korteri kohta vähemalt 1…3 soojuspumpa, mille välisosade mahutamisega tekib probleem.

Soojuspumpade välisosasid ei ole ilus paigaldada tänavapoolsetele fassaadidele ja vaadeldavatele külgfassaadidele. Soojuspumba välisosi ei tohi kinnitada puitseinale, vaid tuleb toetada maapinnale või kinnitada vundamendile. Kõikide korterite välisosasid on raske paigaldada hoone tagafassaadile nii tehnilistel (pikk ühendus soojuspumba sise- ja välisosa vahel) kui ka arhitektuursetel (fassaad saab rikutud) põhjustel.



Joonis 13.18 Soojuspumpade välisosi ei ole sobiv paigaldada tänavapoolsetele fassaadidele (vasakul) ja vaadeldavatele külgfassaadidele (paremal).

13.2.2 Küte

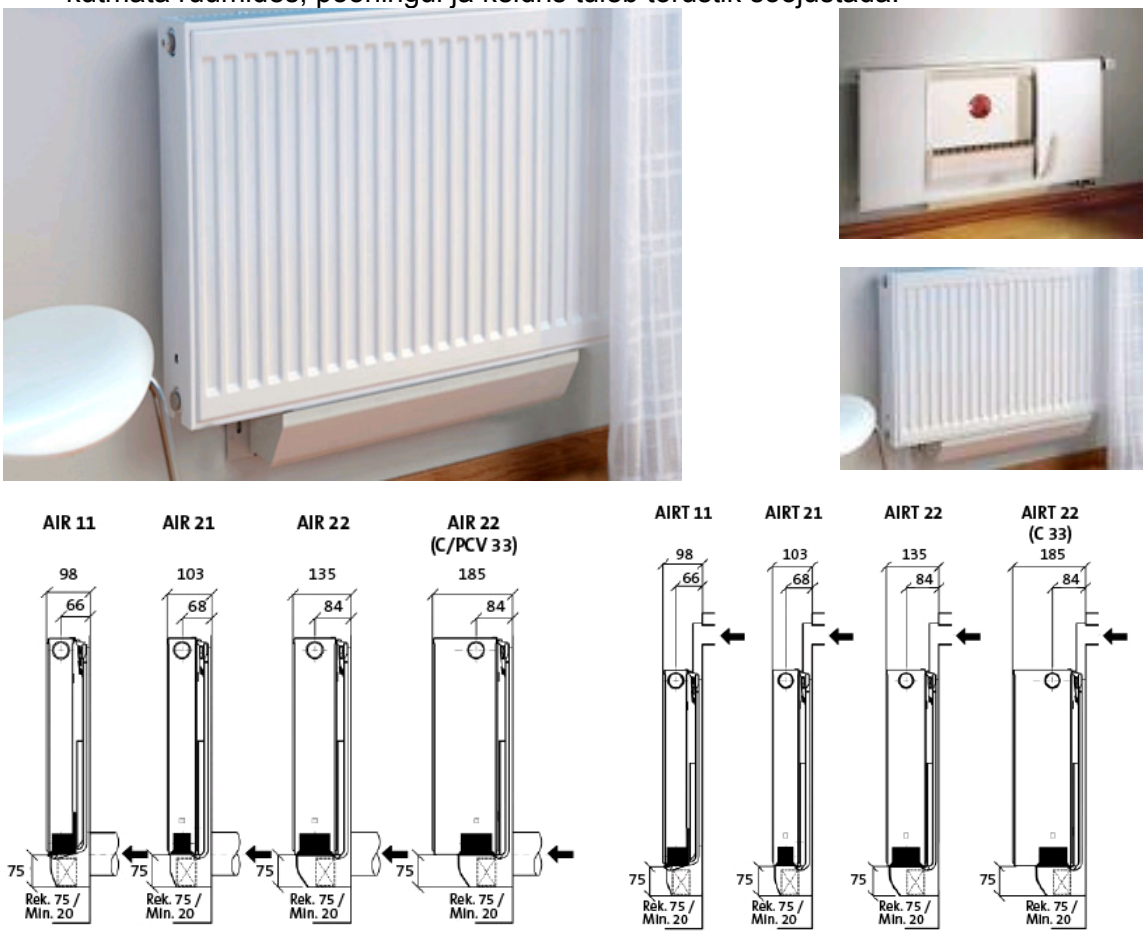
Küttesüsteemi renoveerimise juures tuleb tähelepanu pöörata torustiku ja küttekehade tehnilisele seisukorrale ja süsteemi kui terviku toimimisele. Kui ehitusjärgsed torustikud on amortiseerunud, vajavad nad väljavahetamist. Küttekehade osas on malmradiaatorite olukord hea, kuid plekkradiaatorid on rohkem 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. Keskküttega korterites on kõige otstarbekam seda teha nn. värske õhu radiaatoritega, vt. Joonis 13.19.

Küttesüsteemi renoveerimisel tuleb teha vähemalt järgmised tööd:

- süsteemi seadistada õigele temperatuurigraafikule ja vooluhulgale, et kõikides korterites oleks tagatud vajalik temperatuur;
- vajadusel ehitada kahetoru süsteem, mis tagab üldjuhul parema soojuse ringluse ja temperatuuri reguleerimise võimaluse;
- kõikidele radiaatoritele tuleb paigaldada termostaatventiil;
- tasakaalustada tuleb küttetorustikud, sh. keldrimagistraalid ja püstikud;
- paigaldada õhutusventiilid;
- püstikute ja magistraaltorustiku tasakaalustamine;
- olemasoleva süsteemi läbipesu;
- kütmata ruumides, pööningul ja keldris tuleb torustik soojustada.



Joonis 13.19 Värske õhu radiaatorid ja nende tööpõhimõte (all).

13.2.3 Ventilatsioon

Uuringu raames läbiviidud tehnosüsteemide ülevaatus kinnitab, et tellismajade loomulik ventilatsioonisüsteem on amortiseerunud ega võimalda nõutava õhuvahetuse tagamist. Sageli on tellistest ventilatsioonilõõrid ebatihedad, ummistunud ja seinad suure karedusega. Lisaks on kasutusaja vältel tehtud 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 ventilatsioonikorstnate tihendamist.

Ventilatsioonilõõride tihendamine on suhteliselt keeruline ja aeganõudev töö, mille sooritamist raskendab ruumipuudus. Erinevatest lahendustest saab kasutada tihendussegu, sukka või plekist ümarkanali paigutamist olemasolevasse šahti. Tihendussegu korral kaetakse kanali siseseinad ühe või mitmekordse segukihiga. Suka kasutamisel viiakse see köie abil šahti ja surutakse suruõhuga vastu olemasoleva kanali seinu. Ehituslikesse ventilatsioonilõõridesse ümarkanali 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.

Piisava õhuvahetuse tagamiseks tuleb elu- ja magamistubadesse paigaldada värske õhu klapid. Samas ei taga ka tavalised värske õhu klapid (vt. Joonis 13.26) tänu loomuliku ventilatsiooni liiga väiksele väljatõmberõhule soovitud õhuvahetust. Samuti on nende probleemiks talvetingimustes tekkiv külm õhuvool. Lahenduseks on ventilaatori ja kütteelemendiga varustatud värske õhu klappide paigaldamine.

Ventilatsioon on vajalik, et tagada 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), CO_2 (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. 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. Soovitud tulemuse saavutamiseks tuleb enne renoveerimise alustamist paika panna selle ulatus ja taotletav tase.

Et saavutada rahuldavat sisekliimat, peab ventilatsioonisüsteemid projekteerima vastavalt eluhoonetele ette nähtud ventilatsiooninõuete kohaselt. Elamute jaoks kehtib ventilatsiooni projekteerimisel hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (vt. Tabel 8.7). Oluliselt renoveeritavate hoonete sisekliima peab vastama vähemalt standardi EVS-EN 15251 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 13.3). Projekteerimisel tuleb kasutada tabelites toodud arvutusmeetoditest (õhuvahetuskordsus, õhuvahetus ruumide pindala kohta ja õhuvahetus inimese kohta) suurima õhuvahetuse tagavat lähtesuurust.

Tabel 13.3 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·m^2);
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk elamispinna (elu- ja magamistubade põrandapinna) järgi (1 l/(s·m^2), 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 $L_{pA,eq,T} \leq 25$ dB ja $L_{pA,max} \leq 32$ dB (RTL 2002, 38, 511).

Kõnesolevas uuringus tehtud energia- ja tasuvusarvutuste puhul on eeldatud, et korteris ei viibita pidevalt. Energiatõhususe miinimumnõude määruse 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 ette õhuvahetust 0,05–0,1 l/(s·m^2). Tüüpilises puitkorterelamu korteris peab sellisel juhul väljatõmbe õhuvooluhulk olema 4–10 l/s. Sellest lähtuvalt on selles 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 mainitud 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.

Kõnesolevas raportis on põhjalikumalt peatutud 5 võimalikul renoveerimislahendusel:

- ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon;
- korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon;
- tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus;
- tsentraalne mehaaniline väljatõmme koos väljatõmbeõhu soojuspumbaga, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus;
- lokaalne mehaaniline väljatõmme; värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus.

Erinevate variantide eeliseid ja puudused on esitatud tabelis Tabel 13.4.

Renoveerimislahenduste energiaarvutused on tehtud kraadpäevade meetodit kasutades. Üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust keskmise arvestusliku sisetemperatuuri (nn. tasakaalutemperatuuri) ja ööpäeva (24 h perioodi) keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Tallinna normaalaasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril 17 °C on 4220 C·d.

Õhu soojendamisele kulunud energiakulu saab leida, kasutades valemit 13.5:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} (L \cdot c \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \Psi)) \qquad (13.5)$$

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, ekspluatatsioonikulutusi kui ka renoveerimise tulemusel saavutatava sisekliima taset ja süsteemi kasutusmugavust. Erinevate lahenduste ehitusmaksumust ja kasutusaja 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 hetkel kehtivatele Tallinna kaugkütte ja Eesti elektrihindade kohaselt.

Tabel 13.4 Ventilatsiooni renoveerimislahendused.

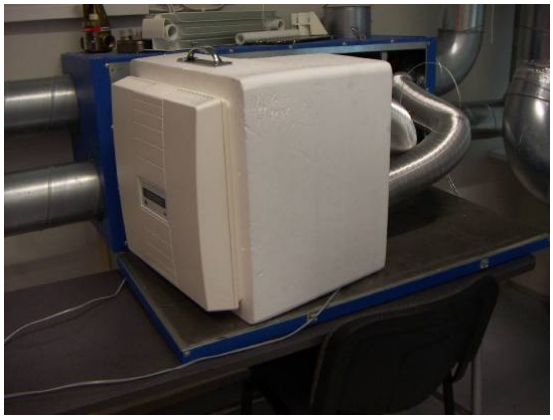
Lahenduse kasutusele-võtu eeldused	Eelised	Puudused	Märkused
Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon			
• korteri õhuvahetus ei ole piisav.	• ei pea renoveerima kogu hoonet või trepikoda; • üksteisest sõltumatud korterid; • suur energia-kokkuhoid; • väga hea õhujaotus ja sisekliima; • hea soojustagastus.	• müraprobleem; • suurem alginvesteering; • tuuletõmbuse oht; • kogu VT õhk ei liigu läbi soojustagasti; • palju reste välisfassaadil.	• väljatõmme sanitaarruumidest. toimub ventilaatori abil, mis töötab ruumide kasutamisel ja vastavalt aegreleele ka pärast ruumi kasutamise lõppu.
Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon			
• korteri õhuvahetus ei ole piisav.	• ei pea renoveerima kogu hoonet või trepikoda; • üksteisest sõltumatud korterid; • väga hea õhujaotus ja sisekliima; • väga hea soojustagastus.	• võrreldes teiste lahendustega rohkem ventilatsioonikanaleid; • suurem alginvesteering; • seadme müra.	• saab kasutada, juhul kui vent.kanalid saab tarinditesse hästi ära peita.
Tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus (ilma soojustagastuseta)			
• korteri õhuvahetus ei ole piisav; • kogu hoone või trepikoja renoveerimine; • ventilatsioonilõõride piisav tihedus.	• madal alginvesteering; • vähem ventilatsiooni-kanaleid.	• suur küttesüsteemi soojustarve; • tuuletõmbuse oht; • suur küttevõimsus; • korterid ei ole omavahel sõltumatud; • vajadusepõhine juhtimine keeruline ja kallis rajada.	• peakanaliga süsteemi puhul lisada korteritesse reguleerklapid.
Tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus ja ventilatsiooni soojuspump			
• korteri õhuvahetus ei ole piisav • kogu hoone või trepikoja renoveerimine	• soojustagastusega variantidest madalaim alginvesteering; • vähem ventilatsiooni-kanaleid.	• suur vent.seade pööningul; • tuuletõmbuse oht; • suur küttevõimsus; • korterid ei ole omavahel sõltumatud; • vajadusepõhine juhti-mine keeruline ja kallis.	• peakanaliga süsteemi puhul lisada korteritesse reguleerklapid.
Lokaalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest, värske õhu radiaatorite või -klappide paigaldus			
• korteri õhuvahetus ei ole piisav.	• madal alginvesteering; • võimalus korteripõhiseks reguleerimiseks.	• suur küttesüsteemi soojustarve. • suur küttevõimsus; • tuuletõmbuse oht.	• peakanaliga süsteemi puhul lisada kõigile püstikul asuvatele ventilaatoritele tagasivoolu-klapid.

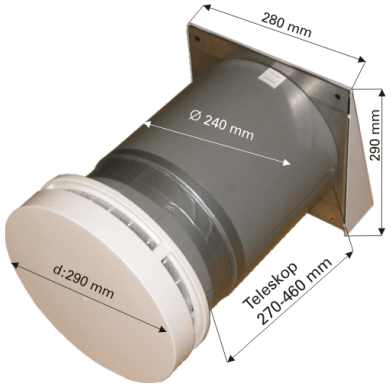
20 aasta arvestuses on parima tasuvusajaga korteripõhine ventilatsiooniagregaat ja ruumiagregaadid. Samuti tasub nende lahenduste puhul silmas pidada, et nende

lahenduste kasutamine tagab väga hea sisekliima. Et tagada 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 kõnesolevates 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 suuri ekspluatatsioonikulutusi.

13.2.3.1 Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon

Elu- ja magamistoa välisseintesse paigaldatakse soojustagastusega ruumiagregaadid (vt. Joonis 13.20). 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 värske 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 värske õhu klappe.





Joonis 13.20 Meltemi ruumipõhine ventilatsiooniagregaat M-WRG (vasakul) ja keraamilise soojustagastiga ruumipõhise paarisseadme üks osa (paremal).

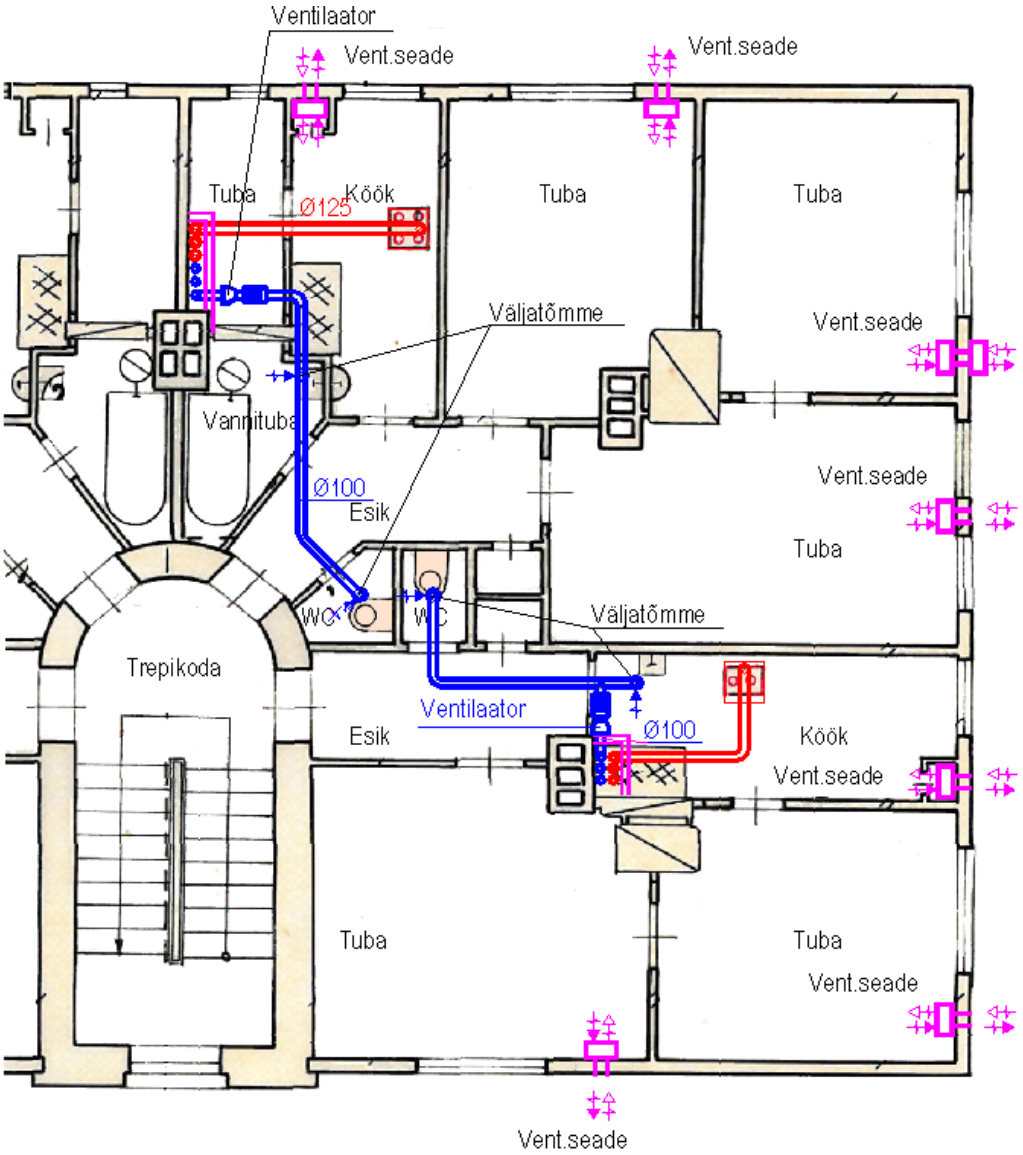
Soojustagasti tehnilise lahenduse alusel saab ruumiagregaadid jagada plaat- ja keraamilise soojustagastiga seadmeteks. Plaatsoojustagastiga agregaadil (vt. Joonis 13.20 vasakul) paiknevad sissepuhke ja väljatõmbe õhukanalid lähestikku ühes seadmes. Väljatõmbeõhult saadav soojus kantakse läbi plaatsoojusvaheti sissepuhutavale õhule. Keraamilise soojustagastusega seadmete puhul (vt. Joonis 13.20 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 tegemisel on eeldatud, et ruumide kasutusajal tagab ruumiagregaatidega lahendus korteri õhuvahetuse 35 l/s ja väljaspool kasutusaega 10 l/s. Mõõtmisandmete kohaselt 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 100 eurot aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise ruumiagregaatidega mehaaniliseks sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteemiks vt. Joonis 13.15.



Joonis 13.21 Ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem.

13.2.3.2 Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioon

Mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni 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 13.2 (Heidt 2006).

$$\varepsilon_{st,teg} = \varepsilon_{st} \cdot (1 - \frac{n_{inf}}{n}) \qquad (13.2)$$

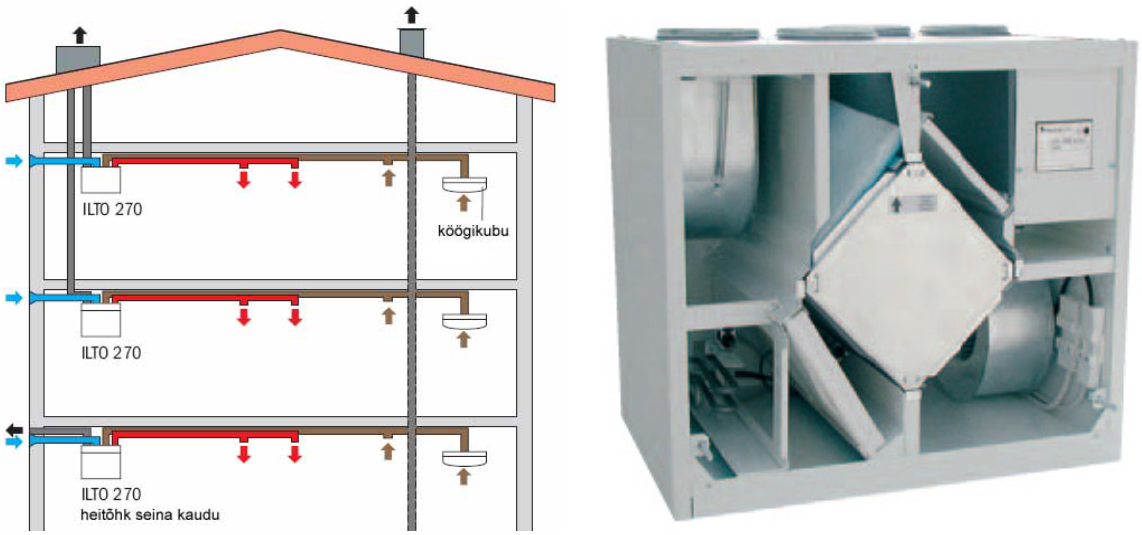
$\varepsilon_{st,\,teg}$ tegelik temperatuuri suhtarv, -;
ε_{st} soojustagasti temperatuuri suhtarv, -;
n_{inf} infiltratsioonist tingitud õhuvahetuskordsus, h^{-1};
n kogu õhuvahetuskordsus, h^{-1}.

Mitmetes riikides (Šveits, Belgia, Tšehhi) on õhupidavuse piirnorm sätestatud ventilatsioonisüsteemi tüübile. Näiteks Tšehhi normides (CSN 73 0540-2) on õhuvahetuskordsus erinev ka mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni (n_{50}=1,5 h^{-1}) ja mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni (n_{50}=1 h^{-1}) puhul. Tasakaalus olevate sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade puhul on in- ja eksfiltratsiooni osakaal suurem kui olukorras, kus ruumis on ala- või ülerõhk. Vastavalt Suurbritannias tehtud uuringute järgi (Lowe 2000) ei toimu väljatõmbeventilatsiooni puhul õhuvahetuskordsuse n_{50} = 3 h^{-1} juures enam märkimisväärset in- ja eksfiltratsiooni ning peaaegu kogu õhk läbib väljatõmbeventilaatorit. Samal ajal mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni puhul sellist kriitilist õhuvahetuskordsust olemas ei ole.

Korteri õhuvahetuse tagab kööki või esikusse paigaldatud ventilatsiooniagregaat. Värske õhk võetakse köögi välisseina kaudu. Selleks kasutatakse 125 mm läbimõõduga ja kondensaadivastase 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 väljatõmbekanalid paiknevad lae all ripplae taga ja on läbimõõduga 100-125 mm. Sissepuhkel kasutatakse Halton ULA-100 seina- või laeplafoone. Laeplafoonid tagavad parema õhujaotuse, kuid keset toa lage paigaldatud plafoonid võivad hakata inimesi häirima. Kuna ruumid ei ole reeglina piisavalt kõrged, siis ripplae ehitamine õhukanalite varjamiseks on raskesti teostatav. Väljatõmbel kasutatakse plafoone KSO-100 ja köögis toiduvalmistamise ajal ka pliidikubu. Lisaks eelmainitud elementidele kuuluvad ventilatsioonisüsteemi koosseisu veel mürasummutid ja reguleerklapid.

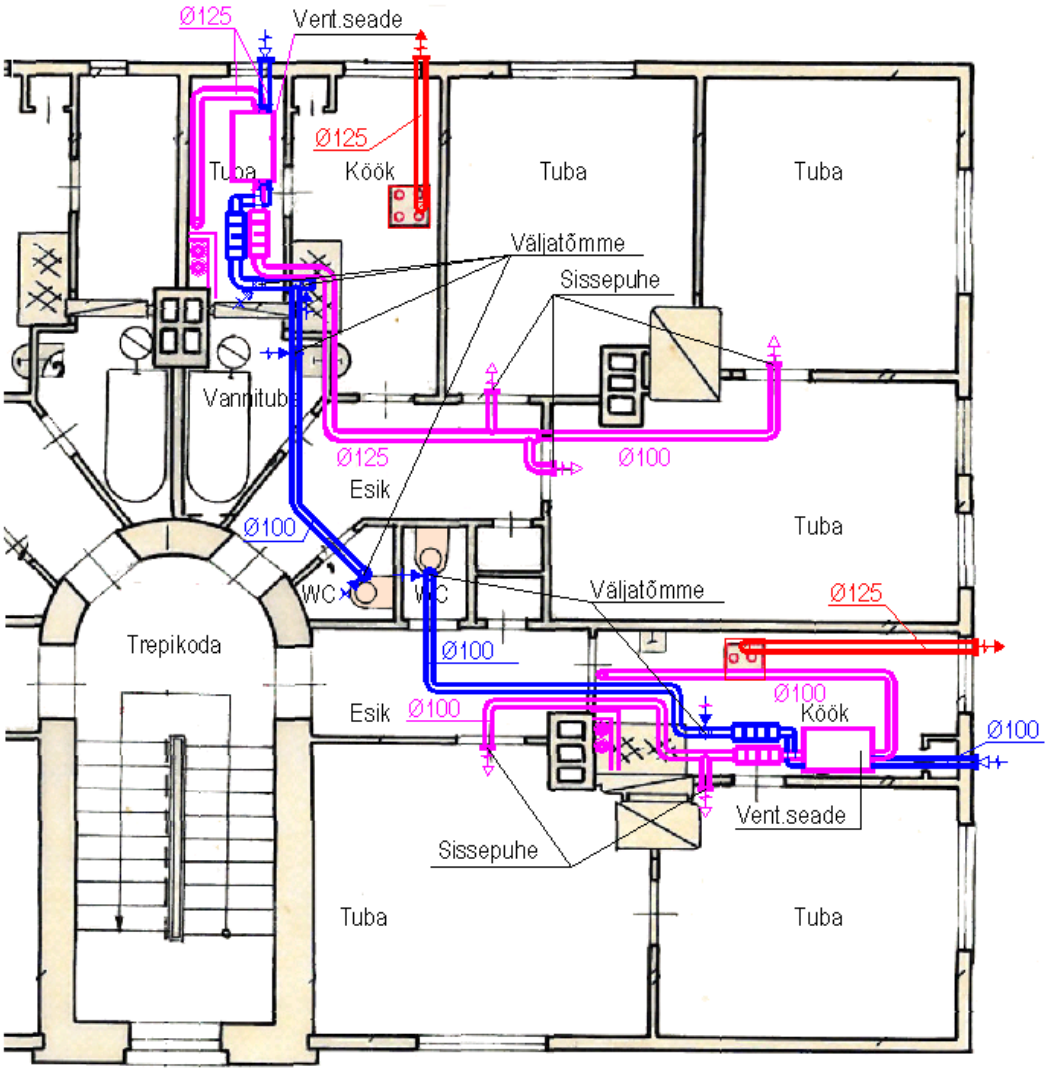
Kuna ventilatsioonisüsteemi läbib ka sanitaarruumide väljatõmbeõhk, siis ei tohi agregaadis tekkida sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvoolude segunemist. Samuti tuleb arvestada, et vannitoa niiske õhk võib talvetingimustes põhjustada soojustagasti jäätumist. Loetletud probleeme arvesse võttes, on korterisse sobivam valida plaatsoojustagastiga agregaat (vt. Joonis 13.22 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 13.22 Korteripõhise mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteemi põhimõtteline skeem (vasakul) ventilatsiooniagregaadi ILTO 270 K (paremal) baasil.

Energiaarvutuste tegemisel 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 110 eurot aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimist ruumiagregaatidega mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteemiks vt. Joonis 13.23.



Joonis 13.23 Korteripõhiste agregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem.

13.2.3.3 Tsentraalne mehaaniline väljatõmme, värskeõhuradiaatorite või värskeõhuklappide lisamine (ja ventilatsiooni soojuspump)

Hoone pööningule paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid. Olenevalt lahendusest võib ventilaatorid paigaldada igale ventilatsioonipüstikule või ühendada püstikud magistraalkanaliga ja seeläbi vähendada paigaldatavate seadmete arvu. Viimasel juhul tuleb kanalisüsteemi igale harule lisada reguleerklapp. Peakanaliga lahenduse puhul paigaldatakse igasse korterisse reguleerklapid. Elu- ja magamistubadesse tuleb kindlasti paigaldada värske õhu klapid.

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. Energia kokkuhoiu eesmärgil peaks sanitaarruumide ja köögi väljatõmberestid võimaldama õhuvooluhulka kohaloleku, ruumikasutuse, siseõhu niiskussisalduse järgi, CO_2 tasemele või elanike soovidele muuta. Samas tuleb tagada ka minimaalne kasutusväline õhuvahetus. Vajadusepõhiste lõppelementide (vt. Joonis 13.24) kasutamine nõuab väljatõmbeventilaatori rõhu järgi juhtimist ning süsteemi täpset häälestamist.



Joonis 13.24 Vajadusepõhiseks reguleerimiseks kasutatavad väljatõmbeelemendid. Vasakul 2-asendiline väljatõmberest BYFA-4 ja paremal niiskusanduriga juhitav 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 (Karlsson jt 2003). Rootsi elamutes läbiviidud uuringutes leitakse, 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 tingimustele.

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 pööningul kokku ja juhitakse sealsamas paikneva kompaktse soojuspumba 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 töömahukus 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 madalatemperatuurilist soojuskandjat. Väljatõmbeõhu kokkukogunemisest tingitud probleemid on samad mis eelmises lahenduses.
- Hoone katusel paigutatakse igale ventilatsioonikorstnale 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 magistraalkanalisse. Sealsamas paikneb ka VTSP süsteem, kus on kasutatud kompaktset VTSP-d või vesi-vesi soojuspumpa, mille primaarpoolde on ühendatud ventilatsioonikanalil 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 problemaatiline. 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-soojusvahetusse, 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 jooksul muutuv suurus ja oleneb suurel määral korterisisestest niiskuseraldistest ja välisõhu temperatuurist ning suhtelisest niiskusest. Selles 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 aastaringselt 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 13.3.

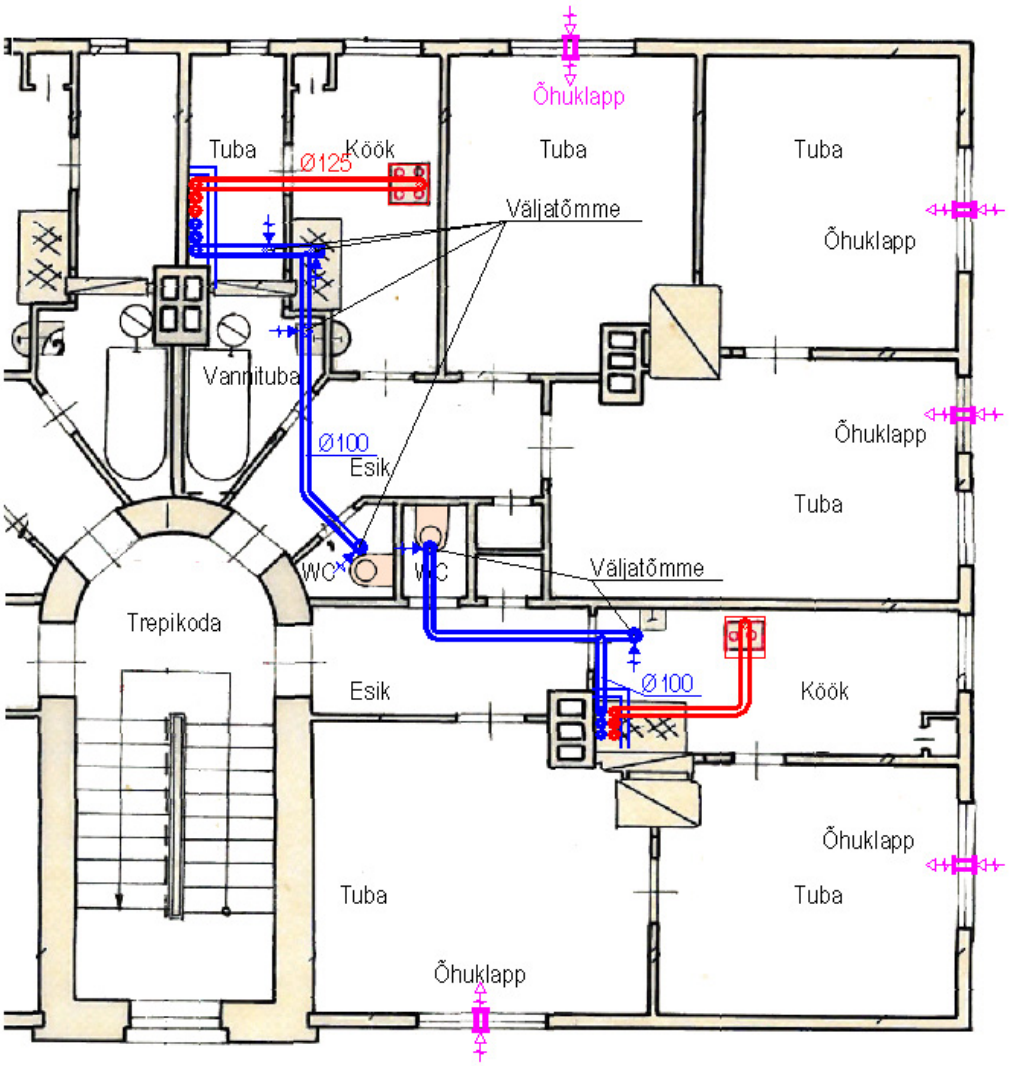
$$Q = L \cdot \rho \cdot n \cdot 10^{-6} \cdot (h_1 - h_2) \cdot \qquad (13.3)$$

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, $kJ/kg_{kõ}$.

Energiatõhususe miinimumnõuete määruse (RT I 2007, 72, 445) järgi tuleb täpsemate andmete puudumisel kasutada VTSP-d 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 kahetoalise korteri korral umbes 225 eurot aastas.

Korterelamu ventilatsiooni renoveerimise mehaanilise väljatõmbega süsteemiks vt. Joonis 13.25.



Joonis 13.25 Tsentraalse mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni lahendus.

13.2.3.4 Lokaalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest, värske õhu radiaatorite või -klappide lisamine

Mainitud lahendust kasutatakse ainult ajutise lahendusena ventilatsiooniõhuhulkade tagamiseks. Kuna sellel lahendusel puudub ventilatsiooniõhust soojuse tagastuse võimalus, ei saa seda lahendust pidada pikas perspektiivis jätkusuutlikuks.

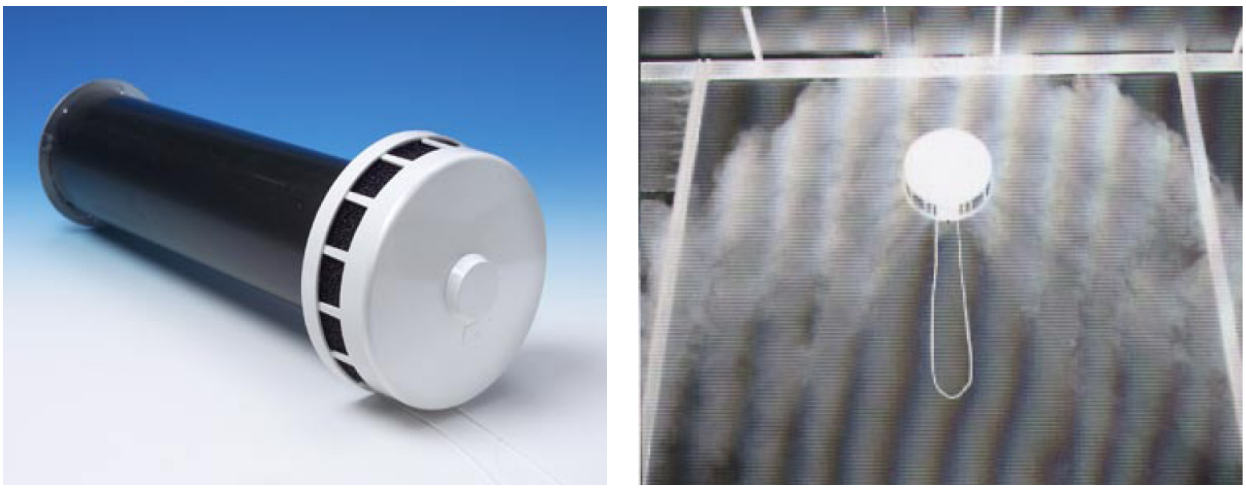
Kuna loomulik ventilatsioon ei võimalda tagada piisavat õhuvahetust, siis paigaldatakse kööki kubu ja sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) väljatõmbeventilaatorid. Väljatõmbeõhk kompenseeritakse välisseintesse paigaldatavate värske õhu klappide kaudu. Kubu ja ventilaatorite paigaldamine väljatõmberestide asemele suurendab ventilatsioonikanalite takistust ja vähendab seeläbi loomuliku ventilatsiooni õhuvooluhulka. Kuigi säilib siiski minimaalne õhuvahetus, juhul kui ventilaatorid ei tööta näitavad mõõtmistulemused, 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 mainitud püstikusse ühendatud kubud ja sanitaarruumide ventilaatorid on varustatud tagasivoolu klappidega. Samuti ei ole peakanaliga süsteemi puhul võimalik kasutada kasutusajavälise õhuvahetuse tagamiseks loomuliku ventilatsiooni väljatõmberõhku, kuna see on tagasivoolu klappide avamiseks liiga väike.

Lisaks tuleb iga korteri elu- ja magamistubadesse paigaldada värske õhu klapid (vt. Joonis 13.26). Et vältida tuuletõmbust on kõige parem paigaldada värske õhu klapid radiaatorite taha. Juhul kui see ei ole võimalik, siis akna ülapiirkonda 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, et korteri siseuste all peavad olema vähemalt 10 mm pilud. Vajadusel võib pilude asemel ustesse paigaldada ka siirdeõhu restid.

Sanitaarruumide väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu tuleks ühendada ühtsesse juhtsüsteemi. Kasutaja jaoks toimub süsteemi parameetrite muutmine esikus paiknevast juhtpuldist, kust on võimalik ventilatsioonisüsteemi seada vastavalt kasutusaegsesse ja kasutusajavälisesse 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.



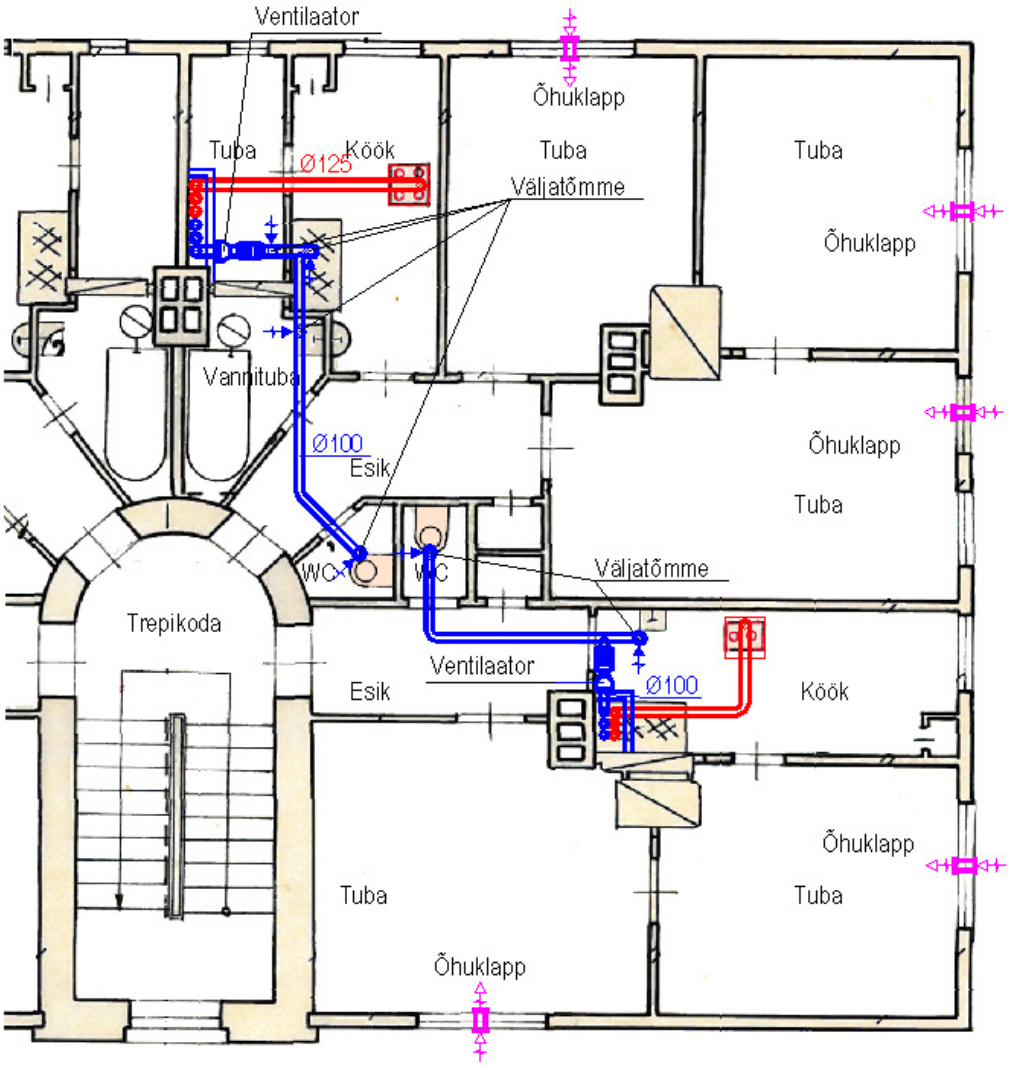
Joonis 13.26 Värske õhu klapp KIV-100 (vasakul) ja sama klapi õhujuga laboritingimustes sise- ja välistemperatuuride erinevusel 30 °C ning õhuvooluhulgal 8 l/s (paremal).

Normaalaasta energiakulu ventilatsiooniõhu soojendamisele on 3,0 MWh. Koos ventilaatorite elektrikulu ja süsteemi hoolduskuludega on see praeguste energiahindade juures 2-toalise korteri korral umbes 217 eurot aastas.

Lisasoojustamata hoone puhul 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 lokaalse mehaanilise väljatõmbega süsteemiks vt. Joonis 13.22.



Joonis 13.27 Lokaalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest.

13.3 Energiatõhususe renoveerimispaketid

Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte soojustamine ja efektiivse ventilatsioonisüsteemi kasutamine. Mehaanilise sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteemi väljaehitamine on vajalik hoones vajaliku õhuvahetuse tagamiseks kõige efektiivsemal viisil.

Erinevate renoveerimismeetmete samaaegsel kasutamisel tekivad nn. erinevad renoveerimispaketid, millega on võimalik saavutada suurem energiasääst võrreldes ainult ühe meetme kasutamisega.

Erinevate renoveerimismeetmete samaaegsel teostamisel, välja arvatud soojusallika muutmine, on võimalik saavutada võrreldes algolukorraga maksimaalselt energiatõhususarvu (ETA) klass E (energiatõhususarv ≤250 kWh/(m^2·a)) ahiküttе korral ja klass D (energiatõhususarv ≤200 kWh/(m^2·a)) gaasi- või kaugkütte korral. Et saavutada paremat energiaklassi kui D, on vaja lisaks hoone piirete parandamisele ja mehaanilise ventilatsioonisüsteemi väljaehitamisele muuta olemasoleva soojusallikas efektiivseimaks. Efektiivseima soojusallika all on mõeldud näiteks õhk-vesisoojuspumba paigaldamist. Soojusallika muutmine eeldab ka keskküttesüsteemi väljaehitamist või olemasoleva keskküttesüsteemi rekonstrueerimist, mis on tingitud temperatuurigraafikute erinevusest

võrreldes gaasi- või kaugkütte võrgu baasil saadava radiaatoritega küttesüsteemi soojuskandja temperatuurigraafikuga.

Erinevate renoveerimismeetmete samaaegsel teostamisel koos olemasoleva soojusallika asendamisega õhk-vesi-soojuspumbaga, on võimalik saavutada võrreldes algolukorraga energiatõhususarvu (ETA) klassi C (energiatõhususarv $\leq$150 kWh/(m^2·a)).

Energiatõhususe renoveerimispakettidesse on koondatud erinevate meetmete kombinatsioonid, mis tagaksid taotletava energiatõhusustaseme. Selleks et saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on tehtud renoveerimispaketid erinevatele hoone tüüpidele lähtudes, eri soojusallikatest.

Hoonetüübid on jaotatud kolme rühma: kütmata keldriga hoone, köetava keldriga hoone ja ilma keldrita hoone. Köetava keldri korral on eeldatud, et keldriruume saab kasutada eluruumina. Vastavalt soojusallikale on renoveerimispaketid jaotatud kolmeks: ahiküttega hooned, gaasi- ja kaugküttega hooned ning õhk-vesi-soojuspumba baasil soojusega varustatavad hooned. Õhk-vesi-soojuspumbaga lahendus on kõikide hoone tüüpide korral üks renoveerimismeede kogu renoveerimispaketis.

Tervikrenoveerimine on esmajärjekorras soovitatav lahendus. Renoveerimistööde mahtu ja järjekorda on võimalik mõningal määral muuta. Kui ei tehta kõiki töid korraga ja terviklikult tuleb tööde järjekorda seadmisel väga hoolikalt kaaluda võimalikke riske, mis võivad ühe või teise tööga kaasneda, ilma et tehakse terve maja renoveerimine samaaegselt. Kui täisrenoveerimist ei ole võimalik teha, tuleb teha tööd etapiviisiliselt, kui 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 kondensaat. Eri variantides on kasutusel erinev ventilatsioonisüsteem, mis ei tähenda, et ühe- või mitmeetapilisel renoveerimisel on võimalik vaid teatud ventilatsioonisüsteem. Selles aruandes on üritatud jääda põhimõtteliste lahenduste juurde. Konkreetse hoone renoveerimisprojekti juures on otstarbekas läbi analüüsida rohkem variante ja valida elamu renoveerimiseks otstarbekas strateegia.

13.3.1.1 Kütmata keldriga „Tallinna maja“ ja „Lenderi maja“ tüüpi elamud

Selleks, et kütmata keldriga „Tallinna maja“ ja „Lenderi maja“ tüüpi elamul saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on vastavalt soojusallikatele erinevatest renoveerimismeetmetest koosnevad renoveerimispaketid, vt. Tabel 13.5.

Lisaks energiatõhususarvule on tabelis esitatud ka soojusenergia erikasutuse (ruumide küte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamine) protsentuaalne vähenemine võrreldes algolukorraga. Õhk-vesi-soojuspumbaga soojusenergia erikasutuse algolukorraks on arvestatud kaugküttega algolukord.

Tabel 13.5 Kütmata keldriga „Tallinna maja“ ja „Lenderi maja“ tüüpi elamute energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 Õhk-vesi soojuspump
Energiatõhusus-pakett F (ETA >250 kWh/(m^2·a))	ETA=358 (340-376) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 30 % (23 %-38 %) • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine; • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,19 W/(m^2·K) (≈+17 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=279 (241) kWh/(m^2·a) (270-300 (232-256)) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 25 % (22 %-27 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont; • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8,5 m^3/(h·m^2). ETA=279 (243) kWh/(m^2·a) (261-299 (233-255)) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 26 % (20 %–36 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhuklappidega(II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 Õhk-vesi soojuspump
Energiatõhususpakett E (ETA 201-250 kWh/(m^2·a))	ETA=250 (219-288) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 58 % (52 %-63 %) • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine, • korteri- või hoone põhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,19 W/(m^2·K) (≈+17 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavus: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=216 (190) kWh/(m^2·a) (201-237 (179-206)) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 47 % (42 %-52 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=216 (208-230) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 60 % (60 %-61 %) • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8.5 m^3/(h·m^2).
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m^2·a))		ETA≈200 (184≈197 (172) kWh/(m^2·a) (192-230 (172-200)) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 50 % (45 %-56 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavus: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=194 (182-208) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 67 % (65 %-69 %); • radiaator küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • korteri või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon (η≥0,8); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2·K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad, U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavus: q_{50}=8.5 m^3/(h·m^2).

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 Õhk-vesi soojuspump
			ETA=158 (149-174 (140-160) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 76 % (73 %-78 %) • radiaator küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • korteri või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon (η≥0,8); • välisseina lisasoojustus U=0,19 W/(m^2·K) (≈+17 cm), • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,12 W/(m^2·K) (≈+20 cm), • keldrilae lisasoojustus (≈+10cm); • akende vahetus: uued aknad, U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).

13.3.1.2 Ilma keldrita „Tööliselamu“ tüüpi elamu

Selleks, et ilma keldrita „Tööliselamu“ tüüpi elamul saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on vastavalt soojusallikatele erinevatest renoveerimismeetmetest koosnevad renoveerimispaketid, vt. Tabel 13.6.

Tabel 13.6 Ilma keldrita „Tööliselamu“ tüüpi elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 õhk-vesi soojuspump
Energiatõhusus-pakett F (ETA >250 kWh/(m^2·a))	ETA=309 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 16 % • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,18 W/(m^2·K) (≈+17 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • põranda soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavus: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=293 (250) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine -16 % (-9 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8,5 m^3/(h·m^2).	
Energiatõhusus-pakett E (ETA 201-250 kWh/(m^2·a))	ETA=231 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 36 % • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine, • korteri- või hoone põhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm), • põranda soojustus (≈+10 cm); • akende remont: uued aknad U=1,8 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=244 (210) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 5 % (14 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,22 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • põrandad soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavus: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=229 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 42 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8.5 m^3/(h·m^2).

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 õhk-vesi soojuspump
Energiatõhususpakett D (ETA 151-200 kWh/(m^2·a))	ETA=180 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 66 % • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine • korteri- või hoone põhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,18 W/(m^2·K) (≈+17 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • põranda soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=166(147) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 47%(50 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,42 W/(m^2·K) (≈+2 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • põranda soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=195 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 53 % • radiaator küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske õhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,29 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2·K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad, U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2). ETA=161 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 65 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8.5 m^3/(h·m^2).

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 õhk-vesi soojuspump
Energiatõhusus-pakett C (ETA 121-150 kWh/(m^2·a))		ETA=150 (134) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 56 % (58 %) • olemasoleva küttesüsteemi remont, • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni-süsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,18 W/(m^2·K) (≈+17 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • põranda soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=134 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 75 % • radiaator küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele; • soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,42 W/(m^2·K) (≈+2 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2·K) (≈+20 cm); • keldrilae lisa-soojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad, U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).

13.3.1.3 Köetava keldriga „Lenderi“ tüüpi elamu

Selleks, et köetava keldriga „Lenderi“ tüüpi elamul saavutada teatud energiatõhususarvu (ETA) klassi, on vastavalt soojusallikatele erinevatest renoveerimismeetmetest koosnevad renoveerimispaketid, vt. Tabel 13.7.

Tabel 13.7 Köetava ja eluruumidena kasutatava keldriga „Lenderi maja“ tüüpi elamu energiatõhususarvu klassi tagavad renoveerimispaketid.

	Variant 1 Ahiküte, soe vesi elektriga	Variant 2 Gaas (kaugküte)	Variant 3 õhk-vesi soojuspump
Energiatõhusus-pakett F (ETA >250 kWh/(m^2·a))	ETA=327 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 20 % • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	ETA=321 (265) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 5 % • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhu-klappidega (II klass); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8,5 m^3/(h·m^2). ETA=265 (227) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 15 % • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	
Energiatõhusus-pakett E (ETA 201-250 kWh/(m^2·a))	ETA=236 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 57 % • olemasoleva küttesüsteemi korrastamine, • korteri- või hoone põhine	ETA=233 (201) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 28 % • olemasoleva küttesüsteemi remont, • korteri- või hoone põhine soojustagastusega	ETA=242 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 53 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme

	soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	sissepuhke-väljatõmbe-ventilatsioonisüsteem (η≥0,8); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8,5 m^3/(h·m^2). ETA=258 (222) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 17 % • olemasoleva küttesüsteemi remont, • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	väljaehitamine soojuspumba lahendusele • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värske-õhuklappidega (II klass); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8,5 m^3/(h·m^2).
Energiatõhusus-pakett D (ETA 151-200 kWh/(m^2·a))		ETA=178 (157) kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 50 % • olemasoleva küttesüsteemi remont; • korteri- või hoonepõhine mehaaniline välja-tõmbe vent.(η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K);	ETA=200 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasu-tuse vähenemine 56 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon värskeõhu-klappidega (II klass); • Välisseinte lisasoojustus U=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K)

	• õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).	(≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavuse parandamine: q_{50}=6 m^3/(h·m^2). ETA=182 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 63 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • soojussõlme väljaehitamine soojuspumba lahendusele • korteri- või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon (η≥0,8); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K), • õhupidavuse parandamine: q_{50}=8.5 m^3/(h·m^2).
Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 kWh/(m^2·a))		ETA=141 kWh/(m^2·a) Soojusenergia erikasutuse vähenemine 75 % • radiaatoritega küttesüsteemi renoveerimine või väljaehitamine; • korteri- või hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon (η≥0,8); • Välisseinte lisasoojustus U=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm); • sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm); • pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm); • akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K); • õhupidavus: q_{50}=6 m^3/(h·m^2).

14 Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs

Ehitusmajandusliku analüüsi põhieesmärgiks oli energiasäästumeetmete majandusliku mõju hindamine. Kompleksse hindamise läbiviimiseks tuleb hinnata nii soovituslike meetmete investeerimis- kui ka ekspluatatsioonikulusid. Kõnesolevas peatükis on ehitusmajanduslik analüüs keskendunud peamiselt energiasäästumeetmete hindamisele. Kui elamut otsustatakse pikaajaliselt kasutada, siis tegevused, mis:

- likvideerivad avariiohtliku olukorra,
- tagavad hoone turvalisuse,
- tagavad tervislikud elutingimused

tuleb teha igal juhul sõltumata selle investeeringu tasuvusest. Elamu väga halva seisukorra puhul võib nende renoveerimis-rekonstrueerimistööd maksta väga palju, mistõttu investeeringu tasuvus on väike või tasuvusaeg ebamõistlikult pikk. Sellisel puhul tuleb kaaluda elamu lammutamise ja uue kvaliteetse elamu ehitamise otstarbekust. Hoonete puhul, mis on olulise arhitektuurse või kultuuriloolise väärtusega või moodustavad tähtsa osa asumi tervikmiljööst, võiks põhikonstruktsioonide väga halva seisundi korral mõnel juhul olla mõistlik lahendus ka konstruktsioonide osas kaasaegse, kuid välimuselt endisega sarnase koopiahoone ehitamine, kasutades välisilme taastamisel ära vana hoone kasutuskõlbulikke dekoratiivdetaile ja paremini säilinud uksi-aknaid. Korterite kaupa erastatud hoonete puhul osutub selline arengustsenaarium tihti paraku ebarealistlikuks, mistõttu elamute taastamisväärsuse hindamisel ei saa alati lähtuda ainuüksi majanduslikust tasuvusest.

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 arengustsenaarium 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 maksumuse määramisel kasutatakse konstruktiivelemendi maksumuse määramise metoodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjõud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, mõistlikku kasumit ja käibemaksu (20 %). Projekti raames koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st. konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumuste küsimine potentsiaalsetelt ehitustöid tegevatelt ettevõtjatelt. 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 maksumuse kalkulatsiooni kohta:

- arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb tööde maksumuse eelarvestamisel näidis-elamutele võetud hinnapakkumistest, analoogobjektide tegelikest hinnapakku-mustest 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) tekivad renoveerimisega seonduvalt üldjuhul järgmised kulutused (lihtsustatud loetelu):

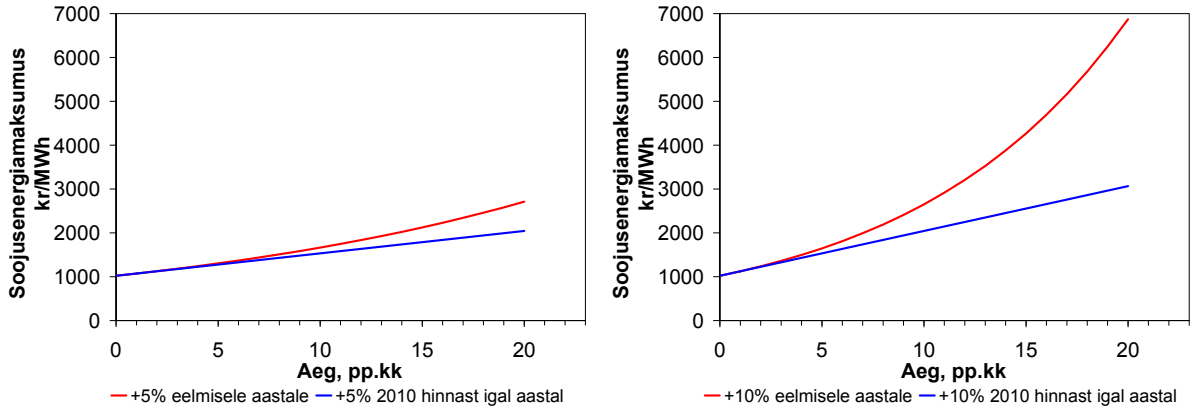
- korterelamu olemasoleva tehnilis-majandusliku olukorra hindamine vastavate spetsialistide poolt – kulutused uuringutele ja ekspertiisidele;
- arhitektuursete ja tehniliste projektdokumentide koostamine ning ehitusloa taotlemine –projekteerimiskulutused ja vastavate lubade taotlemisega seotud kulud;
- renoveerimistööde hanke korraldamine – kulutused (aeg, raha) hanke ettevalmistamiseks; vajadusel kulutused konsultantidele;
- tööde tegemiseks vajalike rahaliste vahendite leidmine laenu põhiosa ja intresside tagasimaksmise kulutused;
- kulutused omanikujärelevalvele.

Loetletud kulutuste katmiseks on arvestatud 11 500…14 500 € elamu kompleksse renoveerimise korral. Projekteerimiskulutused on võetud kõigi hoonete puhul samas suuruses, kuna tüüpelamute puhul on projektdokumentides võimalik probleeme detailselt lahendada tüüpsõlmede, tüüpkorruste ja tüüplõigete alusel. Elamu seisundi uuringud, kulutused uuringutele ja ekspertiisidele on suurema hoone puhul veidi suuremad. Suurema hoone puhul on suuremad ka järelevalve ja projektijuhtimise kulud, kuna renoveerimine võtab kauem aega.

Majandusarvutustes kasutatavate sisendandmete puhul lähtutakse järgnevast:

- hoone energiatõhususe parandamiseks võetava laenu intressimäär vastavalt hetkel kehtivale KredEx-i renoveerimislaenule on 4,2% kogu laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimaksmise aeg on 20 aastat;
- laenu tagasimaksmise ajal on konstantseks soojusenergia maksumuseks võetud:
  - AS-i Tallinna Küte soojusenergia 2011. a kehtiv hind 68,3 €/MWh,
  - AS-i Eesti Gaas arvutuslik soojusenergia 2011. a kehtiv hind 47,4 €/MWh,
  - puidukütte arvutuslik soojusenergia kehtiv hind 2011 aastal 47,1 €/MWh
  - elektrienergia maksumuseks on võetud AS-i Eesti Energia elektrienergia kehtiv hind alates 2011. a juunist 101,1 €/MWh;
- lihttasuvusaja arvutustes eeldatakse energiahinna 5 % aastast suurenemist võrreldes 2010. aastaga (st., et 20 aastaga energiahind kahekordistub, vt. alumine graafik Joonis 14.1)) 5 %-se iga-aastase hinnatõusu korral progresseerub hinnatõus aja jooksul (ülemine graafik Joonis 14.1). Kahe hinnatõusu muutuse erinevus on eriti suur suurema hinnatõusu korral;
- liht-tasuvusaja arvutustes eeldatakse energiahinna püsivust ning ei arvestata investeeringute tegemiseks võetud laenu intressimäära muutumisega; energia kallinemise analüüsiks on tehtud võrdlusarvutused ka juhtudel, kui energiahinna tõus on 10 % aastas võrreldes aastaga 2010 ning 10 % aastas võrreldes eelnenud aastaga.

Renoveerimistööde tegemiseks soodsaimatel tingimustel on soovitatav, et tellija küsib hinnapakkumusi mitmelt potentsiaalselt töid tegevalt professionaalselt ettevõtjalt. Hinnaküsimist võib tellija läbi viia ka ise, kuid soovitatav on kasutada professionaalse konsultandi-projektijuhi abi, kelle abil on tulemus kindlasti parem. Oluline on siinkohal märkida, et valiku tegemise objektiivsuse ja tulemuslikkuse tagamiseks tuleb koostada korralik renoveerimistööde ehitusprojekt ja tuleks 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 ehitusprojekti olemasolu. Samas tuleks nõuda pakkujatelt hinnapakkumuste esitamist ühtse struktuuri alusel, kasutades ehituskulude liigitamise süsteemi (nt. EVS 885 Ehituskulude liigitamine). Kavandatavate renoveerimistööde mahutabelid annavad võimaluse määratleda pakkuja jaoks tööde koosseisu ja esitatava pakkumiseelarve detailsustaseme.



Joonis 14.1 Soojusenergia hinna protsentuaalse muutuse erinev tõlgendus 5% (vasakul) ja 10% korral (paremal).

Investeeringu keskmise tootluse leidmiseks on võetud investeeringu tasuvuse aastate mediaankeskmine, mis annab kõige parema üldpildi tasuvusest. Laenumaksete suurused on arvutatud annuiteedimeetodil.

Investeeringute tasuvust võib hakata mõjutama ka ehitushindade muutumine, mille dünaamikat ei ole selles töös prognoositud. Ehitushindade tõusmisel (mis on küllaltki tõenäone) ning muude tegurite samaks jäämisel investeeringu tasuvus väheneb, kui ehitushinnad aga langevad võrreldes arvutuses eeldatuga, tasuvus suureneb.

14.2 Arvutustes kasutatud ehitustööde mahud

Energiatõhususe parandusmeetmete hindamiseks on valitud välja kogu puitelamufondist 4 hoonet, mis on võetud näidishooneteks. Hooned on järgmised:

- kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;
- kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;
- kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu;
- kahekorruseline köetava keldriga puitfassaadiga Lenderi tüüpi elamu.

Järgnev tabel (Tabel 14.1) võtab kokku näidishoonete täpsustatud üldmahud, mis on olulised energiatõhususe majandusliku seisukorra hindamiseks. Küttesüsteemide ja ventilatsioonisüsteemide mahuks võetakse köetav pind.

Tabel 14.1 Näidishoonete üldmahud.

Hoone tüüp Hoone element (mõõtühik)	Kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu	Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu	Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu	Kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu
Köetav pind, m^2	283	295	823	672
		Kelder		
Vundament, välisseina pindala (m^2)	168,6	119,4		188,7
Sokkel, kõrgus (m)	1,4	1,1	0,3	1,6
Sokkel, pindala (m^2)	63,6	61,8	29,7	94,2
Keldriaken, kogupindala (m^2	13,9	6,6		13,8
Keldri põrand, pindala (neto) (m^2)	130,0	117,5	399,0	188,0
Keldri seinad, pindala (m^2)	125,8	93,6		155,2

Hoone tüüp Hoone element (mõõtühik)	Kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu	Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu	Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu	Kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu
		Fassaad		
Fassaad, pindala, neto (koos viilualustega) (m^2)	259,1	251,4	520,7	460,0
Sokkel + fassaad, pindala (m^2)	322,6	298,1	550,4	554,2
Akende kogupindala, sh. kelder (m^2)	51,3	50	100,2	104,9
Akende pindala kokku, v.a. kelder (m^2)	37,4	43,2	100,2	91,1
		Katus		
Katus, pindala (m^2)	220,0	270,0	586,0	315,0

14.3 Arvutustes kasutatud ehitustööde maksumus

Arvutustes kasutatud ehitustööde maksumus on saadud tööde maksumuse eelarvestamisel, näidiselamutele võetud hinnapakkumistest, analoogobjektide tegelikest hinnapakkumustest ning kasutatud on ka konkreetsete hoonete osas ehitustöödele tehtud hinnapakkumusi ja sarnaste objektide renoveerimistööde tegelikku maksumusest. Ehitusturul varieeruvad hinnad küllaltki oluliselt, sõltudes samas paljudest nii objektiivsetest kui ka subjektiivsetest teguritest. Kõnesolevad hinnad on esitatud selleks, et näha, milliste ehitushindadega majandusarvutused on tehtud. Kui võrdlushinna päringute alusel saadakse kas suuremad või väiksemad hinnad, siis on teada, millises suunas lõpptulemus muutub. Järgnevalt (Tabel 14.2) on toodud ühikhindade tabel võimalike teostatavate tööde kohta puitkorterelamutes.

Tabel 14.2 Majandusarvutustes kasutatud ehitustööde ühikhinnad.

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
Keldrilae soojustamine	
• Keldrilae alla 10 cm paksuse lisasoojustuse paigaldamine ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K).	21,5 €/m^2
• Ilma keldrita hoone soojustamata põranda asemele soojustatud põranda ehitus; soojustuse paksus 10 cm ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)), põrandkütte korral 15…20 cm.	59,4 €/m^2
Katusekonstruktsioonide renoveerimine	
• Olemasoleva kahjustunud katusekatte ja kandekonstruktsioonide lammutus ja utiliseerimine. Vajadusel olemasoleva kandekonstruktsiooni tugevdamine või uue ehitus. Uue katusekatte paigaldus, uued ääreplekid, uued vihmavee lehtrid uued katuseluugid (kahekordsed, soojapidavad, töökindlad). Räästa kõrgust ei muudeta, harja kõrguse tõstmine on osal juhtudel võimalik.	*
• Korstnate renoveerimine.	*
• Pööningu uste ja akende asendus, tamburite renoveerimine.	*
Pööningu vahelae renoveerimine	
• Kahjustunud talade vahetus, vajadusel olemasolevate talade tugevdus, korstnatele tuletõkkekrae ehitus jne. muud tööd, mille eesmärgiks on avariiohtliku olukorra likvideerimine, kasutusea ning kandevõime tagamine..	*
• Pööningu vahelae olemasoleva täite eemaldamine kuni mustlae laudiseni. Õhupidavuse parandamine. Uue soojustuse (40 cm, ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) paigaldamine talade vahele. Uute käiguteede	33,6 €/m^2

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
(katuseluugi, korstnate ja muude vajalike kohtade juurde) rajamine. Välisseinast 1,5 m ulatuses tuuletõkkeplaat (2–3 cm, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)).	
• Uue soojustuse (20 cm, ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) paigaldamine talade vahele. Õhupidavuse parandamine. Olemasolevate käiguteede (katuseluugi, korstnate ja muude vajalike kohtade juurde) korrastamine. Välisseinast 1,5 m ulatuses tuuletõkkeplaat (2–3 cm, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)).	22,4 €/m^2
Soojustatud katuslae ehitus, vajadusel katusekatte vahetus ja pööningu väljaehitus	
• Katuslae soojustamine (õhu- ja aurutõke + soojustus 20 cm ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) + 2–3 cm tuuletõkeplaat ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) ja viimistlemine.	35,5 €/m^2
• Katuslae soojustamine (õhu- ja aurutõke + soojustus 40 cm ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) + 2–3 cm tuuletõkeplaat ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) ja viimistlemine.	46,8 €/ m^2
• Pööningukorruse väljaehitamine ja viimistlemine eluruumideks.	*
Välimise laudvoodriga välisseinte renoveerimine	
• Kahjustunud palkide vahetus (kriitilisimad piirkonnad: alumised palgiread, akende alune), palgi ja vundamendi vahele hüdroisolatsiooni tegemine jne. muud tööd, mille eesmärgiks on avariiohtliku olukorra likvideerimine, kasutusea ning kandevõime tagamine.	*
• Olemasoleva fassaadi puhastus, kahjustunud detailide vahetus samasuguste vastu, fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid).	29,7 €/m^2
• Kahjustunud laudise ja ehisdetailide vahetus uute, mõõtudelt ja profiilidelt algupäraseid kopeerivate vastu, õhutõkkepaberi paigaldus (väike veeaurutakistus, $Z_p \leq 0{,}2 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg), fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid jne.).	56,1 €/m^2
• Kahjustunud fassaadilaudise ja -detailide vahetus algupäraseid kopeerivate vastu, 2–3 cm paksuse tuuletõkkeplaadi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)), fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid jne).	66,6 €/m^2
• Kahjustunud fassaadilaudise ja -detailide vahetus algupäraseid kopeerivate vastu, õhutõkkepaberi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}2 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg), 5 cm paksune välimine lisasoojustus ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) puitsõrestiku vahel (5×5 cm s. 60 cm), 2–3 cm paksuse tuuletõkkeplaadi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)), fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid). Vajadusel sokli lisasoojustus ja akende nihutamine tuuletõkkeplaadi tasapinda.	69,9 €/m^2
• Kahjustunud fassaadilaudise ja -detailide vahetus algupäraseid kopeerivate vastu, õhutõkkepaberi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}2 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg), 10 cm paksune välimine lisasoojustus ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) puitsõrestiku vahel (10×5 cm s. 60 cm), 2–3 cm paksuse tuuletõkkeplaadi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)), akende tõstmine soojustuse välispinda, fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid jne.). Sokli lisasoojustus.	72,2 €/m^2
• Kahjustunud fassaadilaudise ja -detailide vahetus algupäraseid kopeerivate vastu, õhutõkkepaberi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}2 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg), 10 cm paksune välimine lisasoojustus ($\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)) puitsõrestiku vahel (10×5 cm s. 60 cm) , 2–3 cm paksuse tuuletõkkeplaadi paigaldus ($Z_p \leq 0{,}3 \cdot 10^9$ (m^2·s·Pa)/kg, $\lambda_D \leq 0{,}037$ W/(m·K)), 5 cm paksune sisemine lisasoojustus ($\lambda_D \leq 0{,}06$ W/(m·K)), akende tõstmine soojustuse välispinda, fassaadi uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid jne.), uus siseviimistlus. Sokli lisasoojustus.	75,9 €/m^2

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
Krohvitud roog või TEP-plaadiga välisseinte renoveerimine	
• Kahjustunud palkide vahetus samasuguste vastu (kriitilisimad piirkonnad: alumised palgiread, akendealune piirkond), alumise palgi ja vundamendi vahelise hüdroisolatsiooni tegemine jne. muud tööd, mille eesmärgiks on avariiohtliku olukorra likvideerimine, kasutusea ning kandevõime tagamine.	*
• Olemasoleva fassaadi puhastus, kahjustunud detailide vahetus samasuguste vastu, fassaadi uuestiviimistlus (krohviparandused, kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid), ehisdetailide taastamine.	38,5 €/m^2
• Vana krohvi ja soojustusplaatide eemaldus. Tuuletõkkeplaadi paigaldus ~2…3 cm ((λ_D ≤ 0,037 W/(m·K), fassaadi krohvimine ja uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid), ehisdetailide taastamine.	47,3 €/m^2
• Vana krohvi ja soojustusplaatide eemaldus. Tuuletõkkeplaadi paigaldus ((λ_D ≤ 0,037 W/(m·K), 5 cm krohvitava fassaadi mineraalvilla paigaldus (λ_D ≤ 0,037 W/(m·K)), fassaadi krohvimine ja uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid), ehisdetailide taastamine. Vajadusel sokli lisasoojustus.	53,9 €/m^2
• Vana krohvi ja soojustusplaatide eemaldus. Tuuletõkkeplaadi paigaldus ((λ_D ≤ 0,037 W/(m·K)), 10 cm krohvitava fassaadi mineraalvilla paigaldus (λ_D ≤ 0,037 W/(m·K)), fassaadi krohvimine ja uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid), ehisdetailide taastamine. Sokli lisasoojustus.	60,5 €/m^2
• Vana krohvi ja soojustusplaatide eemaldus. Tuuletõkkeplaadi paigaldus ((λ_D ≤ 0,037 W/(m·K), 15 cm krohvitava fassaadi mineraalvilla paigaldus (λ_D ≤ 0,037 W/(m·K)), fassaadi krohvimine ja uuestiviimistlus (kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid), ehisdetailide taastamine. Sokli lisasoojustus.	67,1 €/m^2
Soklite ja keldriseinte renoveerimine	
• Sokli maapealse osa kahjustunud kivide vahetus, krohviparandus jne. muud tööd, mille eesmärgiks on avariiohtliku olukorra likvideerimine, kasutusea ning kandevõime tagamine.	*
• Keldriseinte hüdroisolatsiooni tegemine (ilma seonduvate töödeta).	*
• Drenaaži ehitus (sh kaevetööd, tagasitäide)	*
• Keldriseinte soojustamine (kinnise ja tiheda kärgstruktuuriga, veeimavus <2 %, λ_D ≤ 0,036 W/(m·K)) väljast poolt 10 cm, sh. kaevetööd, tagasitäide ja sillutusriba fassaadi ääres.	88,4 €/m^2
• Soklite soojustamine (kinnise ja tiheda kärgstruktuuriga, veeimavus <2 %, λ_D ≤ 0,036 W/(m·K)) väljast poolt 10 cm, sokli uuestiviimistlus (krohvimine, kruntimine, värvimine, soklilaud, ääre- ja servaplekid jne).	75,8 €/m^2
• Juhul, kui sokliga koos elamu puitvälisseinu ei soojustata, saab hoone arhitektuursete proportsioonide säilimise huvides soklile paigaldada soojustust ainult 5 cm. Kuna see ei ole sokli soojustamiseks piisav, tuleb lisasoojustada ka hoone puitvälisseinad.	
Avatäidete renoveerimine	
• Olemasolevate akende restaureerimine (puit- ja metallosade puhastamine, värvi eemaldamine, puidu parandused, raamide kruntimine, pahteldamine, värvimine, tihendite paigaldus), klaaside asendamisel tavaliste klaaside paigaldus (U_w 2,8 W/(m^2·K))	308,0 €/m^2
• Olemasolevate akende restaureerimine (puit- ja metallosade puhastamine, värvi eemaldamine, puidu parandused, raamide kruntimine, pahteldamine, värvimine, tihendite paigaldus), klaaside asendamisel selektiivklaaside (ε ≤ 0,2) paigaldus (U_w 1,8 W/(m^2·K))	*
• Olemasolevate akende restaureerimine (puit- ja metallosade puhastamine, värvi eemaldamine, puidu parandused, raamide kruntimine, pahteldamine, värvimine, tihendite paigaldus), sisemise raami freesimine ja klaasi asendamine klaaspaketiga või uute sisemiste raamide paigaldamine (U_w 1,4 W/(m^2·K))	374,0 €/m^2

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
• Kõikide akende vahetus viimistluselt originaalsetega analoogsete uute puitakende vastu (U_w 1,8 W/(m^2·K)); palede viimistlus.	277,2 €/m^2
• Kõikide akende vahetus viimistluselt originaalsetega analoogsete uute puitakende vastu (U_w 1,1 W/(m^2·K)); palede viimistlus.	303,6 €/m^2
• Trepikoja välisuste renoveerimine või asendamine uute, viimistluselt originaalilähedaste akendega.	*
Ventilatsioonisüsteemi renoveerimine (köetava pinna m^2 kohta)	
• Soojustagastusega ruumiagregaatidega mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon: o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse, o elu- ja magamistoa välisseintesse paigaldatakse soojustagastusega ruumiagregaadid (välisrestid värvitakse fassaadi tooni), 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.	57,4 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 41,6…74,4 €/m^2)
• Korteripõhise agregaadiga mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon: o ventilatsioonikanalid puhastatakse, tihendatakse ning vajadusel ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse, o korteri kööki, san.ruumidesse või esikusse välisseina lähedale paigaldatakse soojustagastusega ventilatsiooniagregaat, o sanitaarruumid ja elu- ja magamistoad ühendatakse ventilatsiooniagregaadiga torustike abil (paigaldatakse võimalusel vahelakke ja siseseintesse), o välisõhu haare välisseinast, väljapuhkeõhu väljavise katusele (uued šahtid), o köögikubu asendatakse ventilatsioonisüsteemiga sobivaks, o trepikoja ventilatsioon, o ventilatsiooni paigaldusega seotud elektritööd.	72,9 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 43,6…98,9 €/m^2)
• Tsentraalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast, värske õhu klappide lisamine, väljatõmbeventilatsiooni soojuspump (soojust kasutatakse tarbevee ja võimalusel ruumide kütte soojuskandjate eelsoojendamiseks): o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse, o sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) paigaldatakse reguleeritavad plafoonid; köögi kubu on reguleeritava klapiga, o köögi ja sanitaarruumide ustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, o korteri elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/kohale paigaldada värske õhu klapid, o pööningule paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid ja mürasummutid, o soojuspumba soetamisega ja paigaldamisega seotud kulutused ja ehitustööd pööningul ja keldris; o vajadusel küttesüsteemi ümberehitus madalatemperatuurilisele küttegraafikule, o süsteem on juhitav ja reguleeritav tsentraalselt ning tagab ruumide püsiva ventileerimise, o väljatõmbeventilaatorid, pliidikubu ja soojuspump ühendatakse ühtsesse kesksesse juhtsüsteemi, o lisanduva elektrivõimsuse ostmine ja soojuspumba paigaldusega seotud elektritööd.	53,5 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 41,8…69,0 €/m^2)
• Tsentraalne mehaaniline väljatõmme (soojustagastuseta) köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast (olemasolevate ventilatsioonikanalite kaudu), värske õhu klappide lisamine: o ventilatsioonikanalid puhastatakse, vajadusel tihendatakse ning ühendatakse korterid õigetesse püstikutesse; vajadusel rajatakse	27,8 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 21,0…37,2 €/m^2)

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
uued ventilatsioonipüstikud, o sanitaarruumidesse (WC ja vannituba) paigaldatakse reguleeritavad plafoonid; köögi kubu on reguleeritava klapiga, o köögi ja sanitaarruumide ustesse paigaldatakse siirdeõhurestid, o korteri elu- ja magamistubadesse radiaatorite taha/kohale paigaldada värskeõhuklapid, o katusele või pööningule, ventilatsioonikorstnatele paigaldatakse väljatõmbeventilaatorid ja mürasummutid; süsteem on juhitav ja reguleeritav tsentraalselt ning tagab ruumide püsiva ventileerimise, o väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu ühendatakse ühtsesse kesksesse juhtsüsteemi.	
• Lokaalne mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest ning trepikojast, värskeõhuklappide paigaldamine (tagatakse õhuvooluhulgad): o olemasolevad ventilatsioonikorstnad puhastatakse (vajadusel tihendatakse või paigaldatakse uued väljatõmbekanalid) ja 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 paigaldatakse värskeõhuklapid, o väljatõmbeventilaatorid ja pliidikubu ühendatakse ühtsesse juhtsüsteemi.	25,4 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 19,3…33,3 €/m^2)
• Keldri ventilatsioon lahendatakse loomulikul tuulutusel, kui keldriruume kasutatakse vaid hoiuruumina ja puuduvad niiskuskahjustused.	*
Kütte- ja soojusvarustussüsteemi renoveerimine (köetava pinna m^2 kohta)	
• Ahiküte: o ahjude, pliitide remont, o korstna remont renoveerimisseguga või metallsüdamiku paigaldamisega, o korteri mittekasutamisel tagatakse külmumisvastane küte elektriga, o tarbevee soojendamine elektriboileriga.	*
• Keskküte õhk-vesi soojuspumba baasil: o olemasolevad ahjud ja pliidid säilivad (varuküte), o õhk-vesi soojuspumba paigaldamine õue välisseina juurde ja keldris soojasõlme väljaehitamine, o keldrimagistraalide paigaldamine ja soojustamine, o püstikutorude ja küttekehadega paigaldamine, o püstikutele paigaldatakse seadeventiilid ja küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiilid, o süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine, o tarbevee soojendamine õhk-vesi soojuspumba abil.	67.9 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 45,1…82,2 €/m^2)
• Kaugküttelt keskküttele õhk-vesi soojuspumba baasil: o olemasolev korterisisene küttesüsteem säilib (radiaatorid). o õhk-vesi soojuspumba paigaldamine õue välisseina juurde ja keldris soojasõlme väljaehitamine, o keldrimagistraalide vahetus, paigaldamine ja soojustamine, o püstikutorude ja küttekehadega vahetus, paigaldus, o püstikutele paigaldatakse seadeventiilid ja küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiilid, o süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine, o tarbevee soojendamine õhk-vesi soojuspumba abil.	44,5 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 31,0…55,1 €/m^2)
• Keskküte hoone gaasikatla (või muu hoone katla) baasil: o olemasolevad ahjud ja pliidid säilivad (varuküte), o katla paigaldamine keldrisse ja soojasõlme väljaehitamine, o keldrimagistraalide paigaldamine ja soojustamine, o püstikutorude ja küttekehadega paigaldamine, o püstikutele paigaldatakse seadeventiilid ja küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiilid, o süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine, o korstna remont metallsüdamiku paigaldamisega, o tarbevee soojendamine gaasikatla abil.	45,2 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 27,1…56,4 €/m^2)

Töö kirjeldus	Ühikhind koos km.
○ liitumistasu ja välistrasside rajamine*.	
• Keskküte korteri gaasiboileri baasil: ○ olemasolevad ahjud ja pliidid säilivad (varuküte), ○ gaasiboileri paigaldamine kööki või san.ruumi, ○ küttemagistraalide ja küttekehadega paigaldamine, ○ küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiilid, ○ süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine, ○ gaasiboileri heitgaaside juhtimine korstnasse, korstna remont metallsüdamiku paigaldamisega, ○ tarbevee soojendamine gaasiboileri abil; ○ liitumistasu ja välistrasside rajamine*.	67,2 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 50,2…90,5 €/m^2)
• Keskküte kaugkütte baasil: ○ olemasolevad ahjud ja pliidid säilivad (varuküte), ○ keldrisse kaugkütte baasil soojasõlme väljaehitamine, ○ keldrimagistraalide paigaldamine ja soojustamine, ○ püstikutorude ja küttekehadega paigaldamine, ○ püstikutele paigaldatakse seadeventiilid ja küttekehade ette paigaldatakse väikese takistusega termostaatventiilid, ○ süsteemi tasakaalustamine ja seadistamine, ○ korstna remont metallsüdamiku paigaldamisega, ○ tarbevee soojendamine kaugkütte abil; ○ liitumistasu ja välistrasside rajamine*.	46,1 €/m^2 (erinevatel hoonetüüpidel 28,0…58,4 €/m^2)
• Otsese elekterkütte rajamine: ○ olemasolevad ahjud ja pliidid säilivad (varuküte), ○ korteritesse termostaatidega elekterkütteradiaatorite paigaldamine, ○ tarbevee soojendamine elektriboileri abil, ○ lisanduva elektrivõimsuse ostmine ja radiaatorite paigaldusega seotud elektritööd; ○ liitumistasu ja välistrasside rajamine*.	33,6 €/m^2

*Maksumus on objekti- ja vajaduspõhine ning seda ei ole praegustes energiatõhususe parandamise majandusarvutustes arvestatud.

Märkus: ventilatsiooni- ning küttesüsteemide ruutmeetri hind on köetava pinna kohta.

14.4 Tulemused

Analoogselt energiaarvutustele on renoveerimistööde ehitusmajanduslik analüüs tehtud viiele korterelamu tüübile:

- kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;
- kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;
- kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu;
- kahekorruseline köetava keldriga puitfassaadiga Lenderi tüüpi elamu (tulemüüriga, mille taga teine hoone).

Kõigepealt on toodud kütmata keldriga hoonetele lahendused, mille alla käivad:

- kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;
- kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu;

Edasi on toodud variantlahendused keldrita elamu kohta, milleks on:

- kahe korruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu;

Viimaseks on ära toodud köetud keldriga hoone arvutused, mis on tehtud järgmiste hoonete põhjal:

- kahekorruseline köetava keldriga puitfassaadiga Lenderi tüüpi elamu (tulemüüriga, mille taga teine hoone).

Ehitusmajandusliku analüüsi selgitamiseks tuuakse selgitused välja esimese 2+1 korruselise 1 trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu kohta. Ülejäänud elamutüüpidel on sisu sama.

14.4.1 Kütmata keldriga variantlahendused

14.4.1.1 Kahekorruseline keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu

Vastavalt ehitise tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele koostati ehitusmahtude arvutus, mis on toodud Tabel 14.1 (Näidishoonete üldmahud).

Tabel 14.3 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui hoone küttesüsteeme ei muudeta (jääb ahiküte), kuid tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.3 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Energiatõhususpakett **F** (ETA=303 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
		F kokku	50 094
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			177
Energiatõhususpakett **E$_1$** (ETA=226 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	259	60,5	15 676
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		E$_1$ kokku	77 124
	Paketi maksumus koos toetusega		65 555
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			232
Energiatõhususpakett **E$_2$** (ETA=219 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	259	67,1	17 386
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355

	E_2 kokku	78 834
	Paketi maksumus koos toetusega	67 009
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta		237

Tabel 14.4 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel. Mainitud andmete alusel on arvutatud kokkuhoid, mis remondipaketi rakendumisel on saavutatav.

Tabel 14.4 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
F	168	-13
E_1	270	-13
E_2	279	-13

Majandusarvutused on tehtud nii praeguse energiahinna alusel kui ka olukorras, kus energia hind kerkib 5% või 10% aastas võrreldes aastaga 2011 ning kui energiahind kerkib 5% eelneva aastaga võrreldes. Laenu tagasimakse suuruse arvutamisel arvestatakse, et kogu remondipaketi maksumus kaetakse laenuvahenditega. Investeeringu keskmine tootlikkus kajastab seda investeeringu osa, mis tagastub vastava arvestusperioodi vältel. Investeeringu lihttasuvusaeg näitab, mitme aastaga on tehtud kulutused (sh laenuintressid) ennast ära tasunud. Mida kõrgem on energiahind ning säästetav energiahulk, seda suurem on algandmete samaks jäämisel investeeringu keskmine tootlus ja lühem tasuvusaeg.

Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu aastane soojus- ja elektrienergia kokkuhoid (kWh/(m^2·a)) on oluliseks sisendiks järgmisele majanduslikule võrdlusele, mille tulemusi kajastab Tabel 14.5.

Tabel 14.5 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2				
F	1,09	1,09	1,09	1,09	
E_1	1,43	1,43	1,43	1,43	
E_2	1,46	1,46	1,46	1,46	
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %				
F	2,51	3,7	4,0	4,9	
E_1	3,3	4,9	5,3	6,5	
E_2	3,4	5,0	5,4	6,6	
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat				
F	40	27	25	20	
E_1	30	20	19	15	
E_2	30	20	19	15	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.				
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F	88,2	50	46,0	26	35,8	20	3,9	2
E_1	77,8	34	5,6	2	0	0	0	0
E_2	77,4	33	2,1	1	0	0	0	0

Laenu igakuine tagasimakse, investeeringu keskmine tootlus aastas ja investeeringu lihttasuvusaeg on arvutatud vastava energiatõhususpaketi riigipoolse investeeringule antava lisatoetusega: E: 15%, D: 25%, C: 35%. Ehitushinna vajalik odavnemine, vajalik lisainvesteering (€/m^2) lisatoetusena või lisatoetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase jooksul, on arvutatud, arvestades esialgset toetust.

Investeeringu keskmist tootlikust saab vaadelda kui täiendavat investeerimisvõimalust. Teoreetiliselt on võimalik ka olukord, kus elanikud 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.

Tabel 14.6 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone gaasikatlamaja põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd. Mainitud elamutüübi korral on majanduslikult otstarbekam eelistada gaasikütet kaugküttele, seepärast ei ole ahiküttelt kaugküttele renoveerimistabeleid eraldi välja toodud.

Tabel 14.6 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F** (ETA=270 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	283	55,1	15 593
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		F kokku	66 437
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			224
Energiatõhususpakett **E** (ETA=250 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	283	55,1	15 593
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
		E kokku	65 687
	Paketi maksumus koos toetusega		55 834
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			197
Energiatõhususpakett **D$_1$** (ETA=199 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	283	55,1	15 593
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	259	53,9	13 965

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		D_1 kokku	91 007
	Paketi maksumus koos toetusega		68 255
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			241
Energiatõhususpakett **D_2** (ETA=192 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	283	55,1	15 593
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	259	60,5	15 676
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		D_2 kokku	92 717
	Paketi maksumus koos toetusega		69 717
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			246

Tabel 14.7 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.7 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)
F	240	-21
E	258	-21
D_1	308	-21
D_2	317	-21

Tabel 14.8 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.8 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
F	1,45	1,45	1,45	1,45
E	1,22	1,22	1,22	1,22
D_1	1,49	1,49	1,49	1,49
D_2	1,52	1,52	1,52	1,52

Energiatõhususpakett	2011 aasta energiahind		Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes		Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes		Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%		Intress 4,2%		Intress 4,2%		Intress 4,2%	
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %							
F	3,4		5,0		5,4		6,6	
E	4,3		6,4		6,9		8,4	
D_1	4,2		6,2		6,7		8,2	
D_2	4,2		6,3		6,8		8,3	
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat							
F	30		20		19		15	
E	23		16		15		12	
D_1	24		16		15		12	
D_2	24		16		15		12	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F	75,8	32	0	0	0	0	0	0
E	27,1	14	0	0	0	0	0	0
D_1	38,3	16	0	0	0	0	0	0
D_2	37,2	15	0	0	0	0	0	0

Tabel 14.9 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone soojuspumba põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.9 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **E** (ETA=211 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	283	79,2	22 414
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		E kokku	73 257
	Paketi maksumus koos toetusega		62 268
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			220
Energiatõhususpakett **D_1** (ETA=182 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	283	79,2	22 414
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
		D1 kokku	83 862
	Paketi maksumus koos toetusega		62 867
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			222
Energiatõhususpakett **D_2** (ETA=198 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	283	79,2	22 414
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
		D_2 kokku	72 507
	Paketi maksumus koos toetusega		54 381
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			192
Energiatõhususpakett **C_1** (ETA=141 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	283	79,2	22 414
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	259	67,1	17 386
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		C_1 kokku	101 248
	Paketi maksumus koos toetusega		65 811
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			233
Energiatõhususpakett **C_2** (ETA=145 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	283	79,2	22 414
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	283	98,9	27 989
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	259	60,5	15 676
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	220	35,5	7 810
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	130	21,5	2 795
• Akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K);	37	303,6	11 355
		C_2 kokku	99 538
	Paketi maksumus koos toetusega		64 699
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			229

Tabel 14.10 kirjeldab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.10 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
E	392	-64
D_1	392	-45
D_2	392	-55
C_1	392	-23
C_2	392	-25

Tabel 14.11 kajastab kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.11 Kahekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
E	1,36	1,36	1,36	1,36
D_1	1,37	1,37	1,37	1,37
D_2	1,18	1,18	1,18	1,18
C_1	1,43	1,43	1,43	1,43
C_2	1,41	1,41	1,41	1,41
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
E	3,7	5,4	5,9	7,2
D_1	4,2	6,3	6,8	8,3
D_2	4,5	6,7	7,2	8,8
C_1	4,7	6,9	7,5	9,2
C_2	4,7	6,9	7,5	9,2
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
E	27	18	17	14
D_1	24	16	15	12
D_2	22	15	14	11
C_1	21	14	13	11
C_2	21	14	13	11

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
E	57,9	26	0	0	0	0	0	0
D_1	33,7	15	0	0	0	0	0	0
D_2	18,1	9	0	0	0	0	0	0
C_1	14,2	6	0	0	0	0	0	0
C_2	13,8	6	0	0	0	0	0	0

14.4.1.2 Kolmekorruseline keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu

Tabel 14.12 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui hoone küttesüsteeme ei muudeta (jääb ahiküte), kuid tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.12 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F_1** (ETA=375 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	672	24,0	16128
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	460	75,9	34 914
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		F_1 kokku	108 424
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			161
Energiatõhususpakett **F_2** (ETA=322 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
		F_2 kokku	77 638
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			116
Energiatõhususpakett **E_1** (ETA=247 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	460	72,2	33 212
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		E_1 kokku	110 850
	Paketi maksumus koos toetusega		94 223
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			140
Energiatõhususpakett **E_2** (ETA=242 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	460	75,9	34 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
		E_2 kokku	140 210
		Paketi maksumus koos toetusega	119 179
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			117

Tabel 14.13 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.13 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
F_1	159	0
F_2	147	-15
E_1	248	-17
E_2	259	-17

Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu aastane kokkuhoid eurodes on oluliseks sisendiks järgmisele majandusanalüüsile, mille tulemusi kajastab Tabel 14.14.

Tabel 14.14 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% a. eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
F_1	0,99	0,99	0,99	0,99
F_2	0,71	0,71	0,71	0,71
E_1	0,86	0,86	0,86	0,86
E_2	1,09	1,09	1,09	1,09
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
F_1	3,1	4,6	5,0	6,1
F_2	3,2	4,7	5,0	6,2
E_1	4,8	7,1	7,6	9,3
E_2	4,0	5,9	6,3	7,8
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
F_1	32	22	20	16
F_2	32	21	20	16
E_1	21	14	13	11
E_2	25	17	16	13

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F_1	60,1	37	12,0	7	0	0	0	0
F_2	42,4	37	7,7	7	0	0	0	0
E_1	6,0	4	0	0	0	0	0	0
E_2	35,9	20	0	0	0	0	0	0

Tabel 14.15 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone gaasikatlamaja põhjal ning lisaks

tehakse tabelis toodud renoveerimistööd. Mainitud elamutüübi korral on majanduslikult otstarbekam eelistada gaasikütet kaugküttele, seepärast ei ole ahiküttelt kaugküttele renoveerimistabeleid eraldi välja toodud.

Tabel 14.15 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga "Tallinna maja" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F_1** (ETA=273 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	672	42,4	28 493
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		F_1 kokku	118 564
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			176
Energiatõhususpakett **F_2** (ETA=267 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	672	42,4	28 493
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
		F_2 kokku	106 131
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			158
Energiatõhususpakett **E_1** (ETA=216 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	672	42,4	28 493
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	460	69,9	32 154
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		E_1 kokku	165 943
	Paketi maksumus koos toetusega		141 051
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			210
Energiatõhususpakett **E_2** (ETA=209 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal	672	42,4	28 493
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	460	72,2	33 212

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		E_2 kokku	167 001
	Paketi maksumus koos toetusega		141 851
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			211
Energiatõhususpakett D (ETA=199 kWh/(m2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasiküttepõhjal;	672	42,4	28 493
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	460	75,9	34 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		D kokku	168 703
	Paketi maksumus koos toetusega		126 527
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			188

Tabel 14.16 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.16 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga krohvitud fassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)
F_1	188	-28
F_2	191	-30
E_1	245	-28
E_2	252	-28
D	256	-28

Tabel 14.17 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise majandusarvutusi.

Tabel 14.17 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010-aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
F_1	1,09	1,09	1,09	1,09
F_2	0,97	0,97	0,97	0,97
E_1	1,29	1,29	1,29	1,29
E_2	1,30	1,30	1,30	1,30
D	1,16	1,16	1,16	1,16
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
F_1	5,3	7,8	8,4	10,3
F_2	6,0	8,9	9,6	11,8
E_1	5,3	7,8	8,4	10,3
E_2	5,4	7,9	8,6	10,5
D	6,1	9,0	9,7	11,9
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
F_1	19	13	12	10
F_2	17	11	10	8
E_1	19	13	12	10
E_2	19	13	12	10
D	16	11	10	8

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F_1	0	0	0	0	0	0	0	0
F_2	0	0	0	0	0	0	0	0
E_1	0	0	0	0	0	0	0	0
E_2	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 14.18 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone soojuspumba põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.18 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **E** (ETA=211 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal	672	65,3	43 882
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		E kokku	133 953
Paketi maksumus koos toetusega			113 860
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			169

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **D_1** (ETA=195 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal	672	65,3	43 882
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		D1 kokku	149 178
Paketi maksumus koos toetusega			111 883
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			167
Energiatõhususpakett **D_2** (ETA=168 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	672	65,3	43 882
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	460	69.9	32 154
		D_2 kokku	181 332
Paketi maksumus koos toetusega			135 999
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			202
Energiatõhususpakett **D_3** (ETA=160 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal	672	65,3	43 882
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	672	71,3	47 914
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	460	75,9	34 914
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	315	35,5	11 183
• Keldrilae lisasoojustus (≈+10 cm);	188	21,5	4 042
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	91	303,6	27 658
		D_3 kokku	184 092
Paketi maksumus koos toetusega			138 069
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			205

Tabel 14.19 kirjeldab kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.19 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid kWh/(m^2·a)
E	373	-54
D_1	373	-43
D_2	373	-25
D_3	373	-20

Tabel 14.20 kajastab Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.20 Kolmekorruselise keldriga ühe trepikojaga puitfassaadiga “Tallinna maja” tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
E	1,04	1,04	1,04	1,04
D_1	1,03	1,03	1,03	1,03
D_2	1,25	1,25	1,25	1,25
D_3	1,27	1,27	1,27	1,27
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
E	4,8	7,1	7,7	9,4
D_1	5,4	7,9	8,5	10,5
D_2	5,0	7,4	8,0	9,8
D_3	5,1	7,5	8,1	10,0
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
E	21	14	13	11
D_1	19	13	12	10
D_2	20	14	13	10
D_3	20	13	12	10

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
E	0	0	0	0	0	0	0	0
D_1	0	0	0	0	0	0	0	0
D_2	0	0	0	0	0	0	0	0
D_3	0	0	0	0	0	0	0	0

14.4.2 Keldrita puitkorterelamu

14.4.2.1 Kahekorruseline keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu

Tabel 14.21 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui hoone küttesüsteeme ei muudeta (jääb ahiküte), kuid tehakse tabelis toodud renoveerimistööd. Mehhaanilise ilma soojustagastuseta ventilatsiooni korral tasuvusajad puuduvad.

Tabel 14.21 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **E** (ETA=222 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem	823	77,7	63 947
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,8 W/(m^2·K);	100	303,6	27 775
		E kokku	127 026
Paketi maksumus koos toetusega			107 972
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			131
Energiatõhususpakett **D** (ETA=180 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	823	77,7	63 947
• Pööningu vahelae lisasoojustus U=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Akende vahetus: uued aknad U=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
• Välisseinte lisasoojustus U=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	586	75,9	44 477
		D kokku	174 148
	Paketi maksumus koos toetusega		130 611
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			159

Tabel 14.22 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava remondipaketi rakendumisel.

Tabel 14.22 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
E	121	-13
D	176	-12

Tabel 14.23 kajastab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.23 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
E	0,81	0,81	0,81	0,81
D	0,98	0,98	0,98	0,98
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
E	2,3	3,4	3,6	4,5
D	3,0	4,4	4,8	5,8
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
E	44	30	28	22
D	33	23	21	17

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
E	71,2	54	42,7	33	35,8	27	14,2	11
D	63,8	40	18,7	12	7,8	5	0	0

Tabel 14.24 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone gaasikatlamaja põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd. Mainitud elamutüübi korral on majanduslikult otstarbekam eelistada gaasikütet kaugküttele, seepärast ei ole ahiküttelt kaugküttele renoveerimistabeleid eraldi välja toodud.

Tabel 14.24 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F** (ETA=293 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	823	27,1	22 303
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	823	25,8	21 233
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		F kokku	88 457
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			108
Energiatõhususpakett **E** (ETA=244 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	823	27,1	22 303
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	823	25,8	21 233
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^{2}K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Välisseinte lisasoojustus	586	72,2	42 309

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
U=0,32 W/(m^2·K) (≈+12 cm); • Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		E kokku	151 570
	Paketi maksumus koos toetusega		128 834
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			157
Energiatõhususpakett **D** (ETA=167kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	823	27,1	22 303
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	823	77,7	63 947
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+2 cm);	586	66,6	39 028
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		D kokku	191 002
	Paketi maksumus koos toetusega		143 251
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			174
Energiatõhususpakett **C** (ETA=150 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	823	27,1	22 303
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	823	77,7	63 947
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	586	75,9	44 477
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		C kokku	196 452
	Paketi maksumus koos toetusega		127 694
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			155

Tabel 14.25 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.25 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
F	13	36
E	62	36
D	146	3
C	162	3

Tabel 14.26 kajastab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe parandamise majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.26 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
F	0,66	0,66	0,66	0,66
E	0,97	0,97	0,97	0,97
D	1,07	1,07	1,07	1,07
C	0,96	0,96	0,96	0,96
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
F	2,6	3,9	4,2	5,1
E	2,8	4,1	4,4	5,4
D	2,8	4,1	4,4	5,4
C	3,5	5,1	5,5	6,8
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat			
F	38	26	24	20
E	36	24	23	18
D	36	24	23	18
C	29	20	18	15

	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F	51,2	48	24,4	23	17,9	17	0	0
E	69,2	44	27,8	18	17,7	11	0	0
D	77,1	44	31,0	18	19,9	11	0	0
C	47,6	31	0	0	0	0	0	0

Tabel 14.27 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu paketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone soojuspumba põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.27 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga “Tööliselamu” tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **E** (ETA=229 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	823	79,2	37 117
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega	823	25,8	21 233
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		E kokku	103 271
	Paketi maksumus koos toetusega		87 781
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			107
Energiatõhususpakett D_1(ETA=195 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	823	79,2	37 117
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	823	25,8	21 233
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	586	69,9	40 961
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		D_1 kokku	165 036
	Paketi maksumus koos toetusega		123 777
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			150
Energiatõhususpakett D_2 (ETA=161 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	823	79,2	37 117
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem	823	77,7	63 947
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		D_2 kokku	145 985
	Paketi maksumus koos toetusega		109 489
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			133
Energiatõhususpakett C (ETA=134 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	823	79,2	37 117
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	823	77,7	63 947
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+2 cm);	586	66,6	39 028
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		C kokku	205 816
	Paketi maksumus koos toetusega		133 780
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			163
Energiatõhususpakett B (ETA=122 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			14 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	823	79,2	37117
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	823	77,7	63 947
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,24 W/(m^2·K) (≈+17 cm);	586	75,9	44 477
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	586	35,5	20 803
• Uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	100	303,6	30 421
		B kokku	211 266
	Paketi maksumus koos toetusega		137 323
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			167

Tabel 14.28 kirjeldab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava remondipaketi rakendumisel.

Tabel 14.28 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid.

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
E	234	-75
D_1	234	-53
D_2	234	-51
C	234	-34
B	234	-25

Tabel 14.29 kajastab kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu majandusarvutuste tulemusi.

Tabel 14.29 Kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga puitfassaadiga "Tööliselamu" tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	
Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2					
E	0,66	0,66	0,66	0,66	
D_1	0,93	0,93	0,93	0,93	
D_2	0,82	0,82	0,82	0,82	
C	1,00	1,00	1,00	1,00	
B	1,03	1,03	1,03	1,03	
Investeeringu keskmine tootlus aastas, %					
E	2,3	3,4	3,7	4,5	
D_1	2,7	3,9	4,2	5,2	
D_2	3,0	4,4	4,7	5,8	
C	3,2	4,7	5,1	6,2	
B	3,4	5,1	5,5	6,7	
Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat					
E	43	29	27	22	
D_1	38	25	24	19	
D_2	34	23	21	17	
C	31	21	20	16	
B	29	20	18	15	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
E	57,3	54	33,8	32	28,2	26	10,4	10
D_1	79,6	47	36,5	21	26,0	15	0	0
D_2	54,1	31	16,7	13	7,6	6	0	0
C	59,3	36	10,2	6	0	0	0	0
B	52,3	31	0	0	0	0	0	0

14.4.3 Köetud keldriga variantlahendused

14.4.3.1 Kahekorruseline köetava keldriga puitfassaadiga Lenderi tüüpi elamu (tulemüüriga, mille taga teine hoone).

Tabel 14.30 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui hoone küttesüsteeme ei muudeta (jääb ahiküte), kuid tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.30 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F** (ETA=327 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	295	21,0	6 185
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Sokli lisasoojustus *U*=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm);	119	88,4	10 555
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		F_1kokku	71 095
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			241
Energiatõhususpakett E_1 (ETA=225 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151
• Sokli lisasoojustus *U*=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm);	119	88,4	10 555
		E_1 kokku	77 751
		Paketi maksumus koos toetusega	66 089
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			224
Energiatõhususpakett E_2 (ETA=236 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			8 000
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
		E_2 kokku	67 196
		Paketi maksumus koos toetusega	57 116
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			193

Tabel 14.31 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga(mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.31 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga(mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
F	61	-3
E_1	227	-17
E_2	212	-17

Tabel 14.32 kajastab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu majandusarvutusi..

Tabel 14.32 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2				
F	1,49	1,49	1,49	1,49	
E_1	1,38	1,38	1,38	1,38	
E_2	1,19	1,19	1,19	1,19	
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %				
F	0,9	1,4	1,5	1,8	
E_1	2,7	4,0	4,3	5,3	
E_2	2,9	4,2	4,6	5,6	
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat				
F	107	73	67	55	
E_1	37	24	22	18	
E_2	35	24	22	18	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20 aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.				
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F	204,3	81	182,0	72	176,7	70	160,0	64
E_1	107,4	46	47,4	20	32,9	14	0	0
E_2	85,7	42	30,6	15	17,2	9	0	0

Tabel 14.33 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone gaasikatlamaja põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd. Mainitud elamutüübi korral on majanduslikult otstarbekam eelistada gaasikütet kaugküttele, seepärast ei ole ahiküttelt kaugküttele renoveerimistabeleid eraldi välja toodud.

Tabel 14.33 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett **F_1** (ETA=312 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	295	56,4	16 610
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	295	21,0	6 185
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		F_1 kokku	49 414
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			168
Energiatõhususpakett F_2 (ETA=265 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	295	56,4	16 610
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	295	21,0	6 185
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151
		F_2 kokku	77 150
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			262
Energiatõhususpakett E (ETA=233 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	295	56,4	16 610
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		E_1 kokku	56 069
	Paketi maksumus koos toetusega		47 659
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			162
Energiatõhususpakett D_1 (ETA=178 kWh/(m2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasikütte põhjal;	295	56,4	16 610
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	251	69,9	17 573
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Sokli lisasoojustus *U*=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm);	119	88,4	10 555
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
		D_1 kokku	93 782
		Paketi maksumus koos toetusega	70 337
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			238
Energiatõhususpakett D_2 (ETA=185 kWh/(m2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine gaasiküttepõhjal;	295	56,4	16 610
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		D_2 kokku	83 805
		Paketi maksumus koos toetusega	62 854
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			213

Tabel 14.34 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.34 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
F_1	119	-3
F_2	167	-3
E	208	-11
D_1	262	-11
D_2	255	-11

Tabel 14.35 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimise majandusarvutusi.

Tabel 14.35 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes	Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes	Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes
	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%	Intress 4,2%
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2			
F_1	1,03	1,03	1,03	1,03
F_2	1,61	1,61	1,61	1,61
E	1,00	1,00	1,00	1,00
D_1	1,47	1,47	1,47	1,47
D_2	1,31	1,31	1,31	1,31
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
F_1	2,1	3,1	3,4	4,1
F_2	2,0	2,9	3,1	3,8

Energiatõhususpakett	2011 aasta energiahind	Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes		Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes		Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%	Intress 4,2%		Intress 4,2%		Intress 4,2%	
E	3,6	5,3		5,7		7,0	
D_1	3,2	4,7		5,0		6,2	
D_2	3,5	5,1		5,5		6,7	
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat						
F_1	47	32		30		24	
F_2	51	35		32		26	
E	28	19		18		14	
D_1	32	21		20		16	
D_2	29	20		18		15	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€r/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
F_1	96,1	57	64,8	37	56,2	32	29,5	17
F_2	159,5	61	115,8	42	103,6	38	65,3	24
E	45,5	28	0	0	0	0	0	0
D_1	87,5	37	16,4	7	0	0	0	0
D_2	66,2	31	0	0	0	0	0	0

Tabel 14.36 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe renoveerimispaketi realiseerimiseks tehtavaid kulutusi, kui minnakse ahiküttelt keskküttele hoone soojuspumba põhjal ning lisaks tehakse tabelis toodud renoveerimistööd.

Tabel 14.36 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe parandamise tööde mahud ja maksumuse kujunemine.

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
Energiatõhususpakett E (ETA=242 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	295	82,2	24 208
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	295	21,0	6 185
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		E kokku	57 012
	Paketi maksumus koos toetusega		48 460
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			164
Energiatõhususpakett D_1 (ETA=200 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	295	82,2	24 208
• Mehaaniline väljatõmbeventilatsioon värskeõhuklappidega;	295	21,0	6 185
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	251	69,9	17 573
• Pööningu vahelae lisasoojustus	270	35,5	9 585

Töö kirjeldus	Ehitusmaht, m^2	Ühikhind, €/m^2	Kogumaksumus, €
U=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);			
• Sokli lisasoojustus *U*=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm);	119	88,4	10 555
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		D_1 kokku	94 725
	Paketi maksumus koos toetusega		71 043
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			241
Energiatõhususpakett D_2 (ETA=182 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal	295	82,2	24 208
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem	295	43,6	12 840
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		D_2 kokku	63 667
	Paketi maksumus koos toetusega		47 751
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			162
Energiatõhususpakett C_1 (ETA=141 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	295	82,2	24 208
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,32 W/(m^2·K) (≈+7 cm);	251	69,9	17 573
• Sokli lisasoojustus U=0,52 W/(m^2·K) (≈+5 cm);	119	88,4	10 555
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		C_1 kokku	101 380
	Paketi maksumus koos toetusega		65 897
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			223
Energiatõhususpakett C_2 (ETA=146 kWh/(m^2•a))			
• Projekteerimine, projektijuhtimine, järelevalve;			11 500
• Keskkütte rajamine soojuspumba põhjal;	295	82,2	24 208
• Soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbeventilatsioonisüsteem;	295	43,6	12 840
• Välisseinte lisasoojustus *U*=0,19 W/(m^2·K) (≈+12 cm);	251	72,2	18 151
• Pööningu vahelae lisasoojustus *U*=0,15 W/(m^2K) (≈+20 cm);	270	35,5	9 585
• Akende vahetus: uued aknad *U*=1,1 W/(m^2·K);	50	303,6	15 119
		C_2 kokku	91 403
	Paketi maksumus koos toetusega		59 412
Hoone renoveerimise maksumus köetava pinna ruutmeetri kohta			201

Tabel 14.37 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud soojus- ja elektrienergia kokkuhoidu vastava energiatõhususe renoveerimispaketi rakendumisel.

Tabel 14.37 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu tarnitud energiate kokkuhoid

Energiatõhususpakett	Tarnitud soojusenergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)	Tarnitud elektrienergia kokkuhoid, kWh/(m^2·a)
E	371	-124
D_1	371	-96
D_2	371	-84
C_1	371	-57
C_2	371	-60

Tabel 14.38 kirjeldab kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu majandusarvutusi.

Tabel 14.38 Kahekorruselise väljaehitatava keldriga puitfassaadi ning tulemüüriga (mille taga teine hoone) Lenderi tüüpi elamu energiatõhususe majandusanalüüsi koondtabel.

Energiatõhusus-pakett	2011 aasta energiahind		Energiahinna tõus 5% aastas 2010. aastaga võrreldes		Energiahinna tõus 5% aastas eelneva aasta suhtes		Energiahinna tõus 10% aastas 2010. aastaga võrreldes	
	Intress 4,2%		Intress 4,2%		Intress 4,2%		Intress 4,2%	
	Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale (periood 20 a.), €/m^2							
E	1,01		1,01		1,01		1,01	
D_1	1,48		1,48		1,48		1,48	
D_2	1,00		1,00		1,00		1,00	
C_1	1,38		1,38		1,38		1,38	
C_2	1,24		1,24		1,24		1,24	
	Investeeringu keskmine tootlus aastas, %							
E	2,1		3,0		3,3		4,0	
D_1	2,2		3,2		3,5		4,2	
D_2	3,8		5,6		6,0		7,3	
C_1	3,6		5,3		5,7		6,9	
C_2	3,8		5,7		6,1		7,5	
	Investeeringu lihttasuvusaeg, aastat							
E	49		33		31		25	
D_1	46		31		29		24	
D_2	27		18		17		14	
C_1	28		19		18		14	
C_2	26		18		16		13	
	Vajalik ehitushinna odavnemine (€r/m^2) või lisainvesteeringu vajadus (€/m^2) või toetuse % investeeringust, et energiatõhususe parandamine muutuks tasuvaks 20-aastase remondijärgse kasutusperioodi jooksul.							
	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%	€/m^2	%
E	96,7	59	67,4	39	49,3	35	34,0	20
D_1	136,3	57	90,3	36	77,8	31	38,5	15
D_2	40,0	25	0	0	0	0	0	0
C_1	64,4	29	0	0	0	0	0	0
C_2	46,8	23	0	0	0	0	0	0

14.5 Kokkuvõte energiatõhususe parandamise majanduslikust mõjust

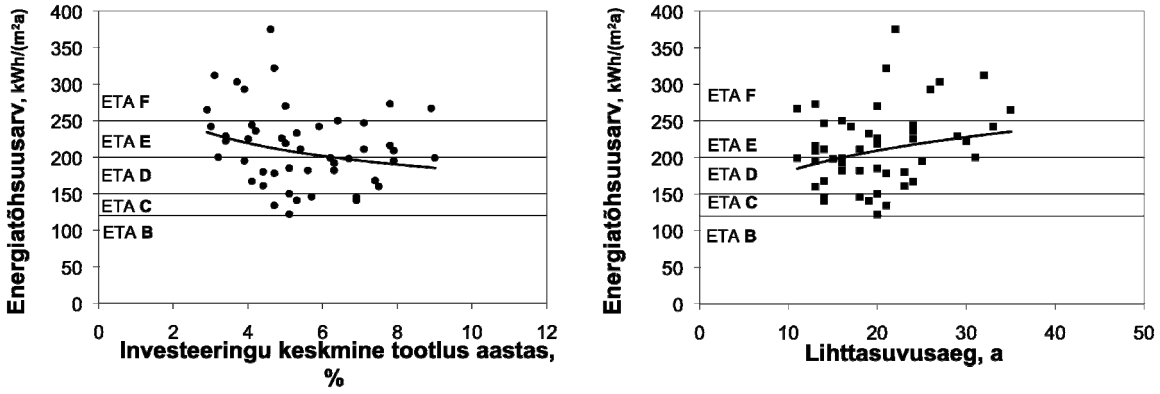
Vaadeldes võrdlevalt nelja näidiselamu renoveerimismaksumusi, on igati usaldusväärselt näha – mida kompaktsem (köetava pinna ja välispiirete pinna suhte alusel) on elamu, seda suhteliselt madalam on renoveerimistööde maksumus ruutmeetrile ning seda lühem tasuvusaeg.

Näiteks kahekorruselise keldrita kahe trepikojaga tööstuselamu puhul on mediaankeskmiseks renoveerimistööde maksumuseks 155 €/m^2 (sh. odavaim pakett 107 €/m^2 ning kalleim 174 €/m^2). Samas väiksema elamu (kahekorruseline keldriga "Tallinna tüüpi") puhul 177 €…165/m^2 ning kalleim 246 €/m^2). Kolmekorruselise keldriga "Tallinna maja" tüüpi elamu keskmine renoveerimismaksumus on 169 €/m^2 ning ühe trepikojaga kahekorruselise (köetava keldriga) hoone puhul 213 €/m^2.

Arusaadavalt on mitmetuhandeliste renoveerimismaksumuste puhul tööde tegemiseks vajalik investeering küllaltki suur võrreldes elamus asuva korteriühistu oma majandustegevusega, mistõttu probleemid võivad tekkida nii vajaliku suurusega laenu saamisega kui ka tagasimaksmisega korteriomanike poolt. Keskmiseks laenu tagasimakseks on 1,1 eurot köetava pinna ruutmeetri kohta kuus.

Järgnevatel joonistel on esitatu antud aruandes käsitletud kõikide näidishoonete meetmepakettide tulemused. Iga punkt joonisel tähistab ühe hoone ühe meetmepaketi tulemust.

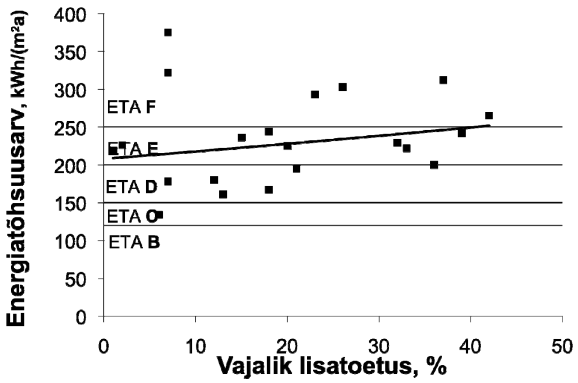
Elamu energiatõhususe parandamise paketid, mis tagavad väiksema energiatõhususarvu klassi (alla 200 kWh/(m^{2}a)) on lühema tasuvusajaga (vt. Joonis 14.2 paremal) ja suurema aastase investeeringu keskmise tootlikkusega (vt. Joonis 14.2 vasakul).



Joonis 14.2 Energiatõhususe renoveerimistööde lihttasuvusaeg (paremal) ja investeeringu keskmine tootlus aasta (vasakul).

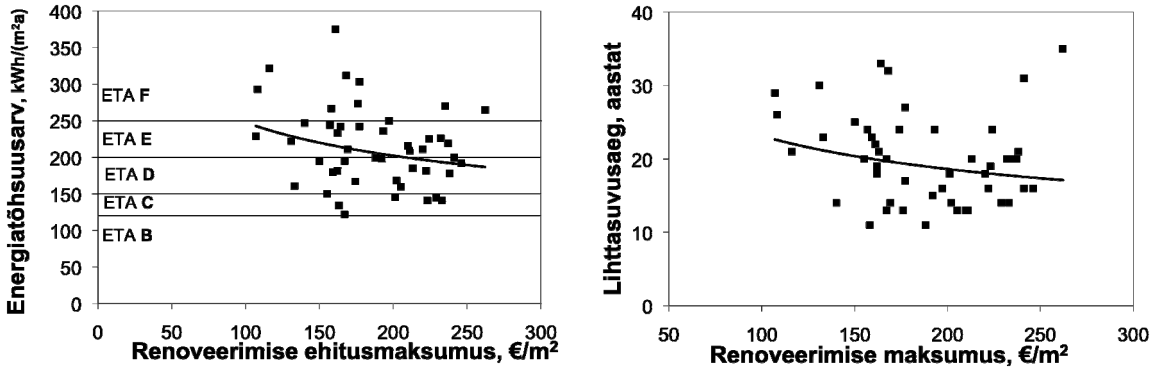
Ilma täiendavate toetusteta on korterelamute energiatõhusamaks renoveerimine praeguste energia- ja ehitushindade juures majanduslikult vähe otstarbekas (tasuvusaeg on liiga pikk ja investeeringu tootlikkus on liiga väike), vt. Joonis 14.3, , kus on näidatud vajalik lisatoetuse % kui energiahind jääks tänasele tasemel. Kui renoveerimise lõpplahenduseks on väiksema energiakasutusega elamu (energiatõhususarvu klass D, C), on vajalik lisainvesteering (lisatoetus) väiksem. Praeguste renoveerimistoetuste juures on otstarbekas renoveerida elamu väiksema energiakasutusega elamuks, kuna siis tagab pakutav toetus investeeringu tasuvuse 20-aastase perioodi juures paremini:

- energiatõhusus-pakett C, B: 35 % lisatoetus tagab investeeringu tasuvuse 20–aastase perioodi juures 86 % arvutatud juhtudest;
- energiatõhusus-pakett D: 25 % lisatoetus tagab investeeringu tasuvuse 20–aastase perioodi juures 63 % arvutatud juhtudest;
- energiatõhusus-pakett E: 15 % lisatoetus ei tagab investeeringu tasuvust 20–aastase perioodi juures 47 % arvutatud juhtudest;
- energiatõhusus-pakett F: 0 % lisatoetus tagab investeeringu tasuvust 20-aastase perioodi juures 33 % arvutatud juhtudest.



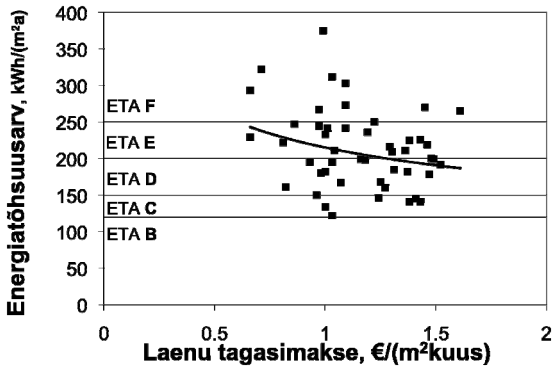
Joonis 14.3 Vajalik lisatoetuse % investeeringust, sõltuvuses energiatõhususklassist.

Suurema energiasäästu saavutamiseks on vaja teha rohkem investeeringuid, vt. Joonis 14.4 vasakul, kus näeb, et mida väiksem on energiatõhususarv, seda suurem on vajalik investeering. Joonis 14.4 paremal on näha renoveerimistööde maksumuse sõltuvus lihttasuvusajast. Ehk mida suurem on renoveerimistööde maksumus, seda väiksem on tasuvusaeg. Suuresti on see nii, et suurema ehitusmaksumuse puhul on ka suurem energiakokkuhoid ehk parem energiatõhusklass.



Joonis 14.4 Renoveerimistööde maksumuse mõju elamu energiatõhususarvule (joonis vasakul) ja renoveerimistööde maksumuse mõju elamu lihttasuvusajale (joonis paremal).

Suurema investeeringu korral on loomulikult laenu tagasimakse suurem, aga kuna suurema investeeringu korral saavutatakse väiksem energiakulu (vt Joonis 14.4 vasakul), on ka laenu tagasimakse suurem parema energiatõhususarvu korral (vt. Joonis 14.5).



Joonis 14.5 Laenu tagasimakse suuruse sõltuvus energiatõhususarvust

Järgnevalt mõned kokkuvõtvad soovitused puitkorterelamu energiatõhusamaks renoveerimisel:

- Kütmata keldriga hoonete puhul on soovitatav kindlasti ette võtta keldrilae soojustamine, mis on suhteliselt odava hinnaga võrreldes teiste meetmetega ning millel on positiivne mõju tasuvusajale. Järgmisena tuleks ette võtta pööningu vahelae või katuslae soojustamine, mis jällegi omab positiivset efekti tasuvusajale.
- Kui parandada hoone sisekliimat ventilatsioonisüsteemide loomise kaudu, siis tuleks kindlasti kasutada soojustagastusega ventilatsiooni, sest mehaanilisel väljatõmbel (lisaõhu klappidega välisseintes) puudub tasuvusaeg ning iga meetmekomplekti puhul, kus on antud lahendust kasutatud, pikeneb tasuvusaeg oluliselt võrreldes soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi puhul.
- Kuigi köetud keldriga hoonete puhul on sokli- ja keldriseina soojustamine majanduslik vähetasuv tegevus (pikendab tasuvusaega ligikaudu kaks aastat), on lisasoojustamine vajalik tulenevalt keldris vajaliku sisekliima tagamiseks. Loomulikult, kui sokli ja keldri seinte parendustööd ette võtta, on kindlasti tasuv lisada ka soojustus vundamendi seintele (keldri osa ning sokkel).

Seega eelnevast lähtub, et olulisem on renoveerimispaketis tehtavate tööde valik – ehk alati ei kehti ütlus, mida rohkem, seda parem. Olulist rolli mängib ka toetus ning seetõttu on ka tulemustest näha, et C energiamärgise saavutamisest alates energiatõhususe arvu edasine parendamine hakkab omama negatiivset efekti tasuvusajale (vt Joonis 14.2 paremal). Kui riik soovib hoonete renoveerimisel lõpptulemuseks väiksemat energiakulu, tuleb toetada C energiamärgise klassist väiksema klassi saavutamist suurema toetusprotsendiga.

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.

Puidust korterelamute olukorda analüüsides joonistub välja veel üks spetsiifiline probleem. Eestis on suhteliselt palju puitelamuid, mis on tunnistatud kultuurimälestiseks, paiknevad muinsuskaitse- või miljööaladel ning mille puhul, lähtuvalt kehtestatud kaitserežiimist, ei ole paljudel juhtudel võimalik rakendada kõiki nende ehitiste energiatõhustuse tõstmiseks vajalikke meetmeid. Seetõttu mõningal määral kannatab elamismugavus ning hoonete omanikel ei ole võrreldes muude majadega sama häid eeldusi renoveerimistoetuste taotlemiseks, kuna hoone energiaklass renoveerimistööde käigus piisavalt ei parane. Muinsuskaitseameti ja kohalike omavalitsuste poolt ajaloolistele hoonetele eraldatavad renoveerimistoetuste on praegu suhteliselt väikesed ega suuda seatavaid piiranguid alati piisavalt kompenseerida. Sellest tulenevalt peab nii riigi kui kohalike omavalitsuste tasandil kaaluma eraldi toetusmeetmete välja töötamist, mis ei toetuse eraldamise kriteeriumina ei lähtuks üksnes energiatõhususe parandamise vajadusest, vaid laiemast säästva arengu ideest tulenevalt oleksid orienteeritud just vanade elamute vajadustele ning toetaksid elu püsimist ajalooliselt välja kujunenud väärtuslikes ruumilistes keskkondades.

15 Järeldused

Puitelamuid on Eesti linnades püstitatud läbi aegade, 19. sajandi ja 20. sajandi alguse linnaeestlaste argiruumiks sageli just olidki puithoonestusega eeslinnad. Nii on meie inimesed puitkorterelamutega harjunud ja ka lähitulevikus ei kao need hooned meie elamufondist kuhugi. Puitelamud oma inimliku mastaabi ja intiimsusega pakuvad nüüdisaegses linnas paljudele huvitavaid võimalusi omanäolise kodu rajamiseks. Tänapäeval peame puumaju ka oluliseks osaks meie kultuuripärandist. Iga lisanduva aastaga tuleb vanadele elamutele väärtust ja väärikust üksnes juurde. Tõsi, lugupidav suhtumine puitarhitektuuri on alles viimase mõnekümne aasta ilming. Nõukogude ajal puitehitust üldjuhul ei väärtustatud ega peetud puitasumeid säilitamisväärseks, paljud hooned jäeti hooletusse ning seetõttu on nii mõnigi puitkorterelamu praeguseks jõudnud väga halba seisundisse. Ka on nüüdisaegse inimese nõuded elukeskkonnale ja ettekujutused mugavast kodust sageli sootuks erinevad nendest arusaamadest, mis valitsesid aastakümnete või -sadade eest, siis kui tänaseni säilinud puitelamud ehitati. Seetõttu on puitehitiste tehnilise seisundi hindamine, sobivate renoveerimislahenduste leidmine ja nende ehitiste nüüdisaegsetele vajadustele kohaldamine oluliseks töölõiguks nii inseneridele ja arhitektidele kui ka väljakutseks kinnisvaraarendajatele ja korteriühistutele.

15.1 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

Vaatamata hoonete soliidsele vanusele olid uuritud puitkorterelamute kandekonstruktsioonid üldiselt rahuldavas seisukorras. Siiski esines paljudel juhtudel puidumädaniku kahjustusi. Uuringu käigus võetud puurproovid näitasid, et 69 % hoonetes esines puidumädaniku kahjustust. Välisseina alumistest palkidest, katusesarikatest ja põrandataladest võetud proovidest osutusid 27 % mädanikseene kahjustustega olevateks. 10 % hoonetest oli välisseina alumises palgis mädanikseene kahjustus. Kahe hoone kandekonstruktsioone hävitas majavamm.

Kattekonstruktsioonid, nagu vooder, veelauad, vihmavee äravool, katusekate vajavad sageli renoveerimist, et kaitsta kandekonstruktsioone edasiste kahjustuste eest.

Vundamentide peamised kahjustused ja puudused olid vundamendi ebaühtlane vajumine, tühjakspudenenud kivide vahed, liiga madalad vundamendid (või ümbritseva maapinna tõus) ja vundamendi serva sademete eest kaitsmata jätmine või selle kaitsmiseks mõeldud mördiga tehtud kalde lagunemine.

Peamised kriitilised kohad välisseinte juures ja välisseinte kahjustuste peamised põhjused olid välisseina liitumine vundamendiga (liiga madal vundament, vajunud vundament, vundamendil hüdroisolatsiooni puudumine, välja astuv sokkel), sademevee sattumine fassaadipinnale (puuduvad vihmaveesüsteemid), puudulik sademevee juhtimine fassaadilt, eelkõige akende ja välisseina liitekohtadest (aknalt seinale valguv vesi, liiglühikesed ääreplekid).

Katuste ja katuslagede peamised kahjustused olid lekkiv katusekate, katuse puudulik hooldus (sammal, puulehed katusel), katusekatte puudulik kinnitus, katusekatte aluse läbivajumised, puudulikud ääre-, serva- ja katteplekid, ebatihedused katusekattest läbiviikude juures (korsten, antennid, ventilatsioonilõõr vms.) ja puudulik soojustus. Tähelepanu tuleb pöörata alati ka katusekonstruktsioonide kandevõime tagamisele.

15.2 Külmasillad

Palksein on soojuslikult suhteliselt homogeenne tarind ja puit on võrreldes soojustusmaterjalidega suure soojusjuhtivusega, siis lisasoojustamata palkseinas probleemseid konstruktiivseid külmasildu esineb vähe. Arvutustulemuste põhjal on kõige ohtlikum koht välisseina ja sokli liitekoht. See ka ainuke sõlm, kus temperatuuriindeks jäi alla hallituse vältimiseks vajaliku piirsuuruse $f_{Rsi} \geq 0{,}8$. Külmasilla teeb seal kriitiliseks

soojustamata kivivundament. Sokli lisasoojustamine vähendab oluliselt soojuskadu ja alandab külmasilla riski.

Samas ilmnes, et akende ebaõigel paigaldamisel seina võib tekitada külmasildu kohtades, kus neid enne ei olnud või nende mõju oli väike: ilmnes külmasildade tekkimise oht akende vahetamisel kitsama lengiga akende vastu.

Võrreldes tulemusi telliskorterelamute ja suurpaneelelamutega, siis puitkorterelamutes külmasillad oluliseks probleemiks ei ole. See on ka üheks põhjuseks, miks puitkorterelamutes esines välispiirete pindadel kasvavat hallitust vähem.

15.3 Hoonepiirete õhupidavus

Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv q_{50} = 10 $m^3/(h \cdot m^2)$ (min. 3,8 $m^3/(h \cdot m^2)$; maks. 22 $m^3/(h \cdot m^2)$) ja õhuvahetuvus 50 Pa juures oli n_{50} = 13 h^{-1} (min. 4,8 h^{-1}; maks. 24 h^{-1})). Peamised probleemid, mille üle inimesed kurtsid suure õhulekkega korterites, oli liiga kuiv õhk, kõikuv temperatuur talvel ja temperatuuride ebaühtlus eri ruumide vahel.

Kui tellis- ja suurpaneel-korterelamute õhupidavuse mõõtmistulemustes osas suuri erinevusi ei ole, siis palkkorterelamute hoonepiirded on oluliselt suurema õhulekkega.

15.4 Välisseinte soojus- ja niiskustehniline toimivus

Uuringu käigus läbiviidud seespoolse lisasoojustuse mõõtmised kuue seinalahendusega ja kolme soojustusmaterjaliga näitasid, et:

- puitkorterelamute välisseinte seespoolne lisasoojustamine on niiskustehniliselt äärmiselt riskantne (eriti suure niiskuskoormuse korral);
- kõikide uuritud seinatüüpide korral ei olnud lahendus soojus- ja niiskustehniliselt toimiv: soojustuse ja palgi vahele kondenseerus veeaur ja soojustuses tuvastati hallituse kasv;
- seespoolse lisasoojustuse tagajärjel tekkinud hallituse kasv seina sees tuvastati nii visuaalselt kui ka õhu- ja materjaliproovide abil;
- erinevused eri soojustusmaterjalide (pillirooplaat, mineraalvill, tselluvill) vahel olid väikesed.

15.5 Puitelamute helipidavus

Katsete käigus uuritud korteritevaheliste piirete helipidavus ei vasta tänapäeva nõuetele. Müra tajumise seisukohalt, uuritavates elamutes olmemüra valjus öisel ajal on kuni 4 korda suurem sellest, kui piirete helipidavus vastaks EVS 842 soovitustele.

Piirete helipidavus möbleeritud korterite puhul, sõltuvalt möbleeringu otsesest mõjust ja sellega seotud helivälja ebapiisavast difuussusest, võib olla mõnevõrra suurem kui möbleerimata korterites. Katsete käigus see kinnitust ei leidnud, kuna puudus võimalus katseid läbi viia korterites, kus ei ole mööblit.

Katsed näitasid, et topeltplankseinaga hoone korteritevaheliste seinte ja vahelagede helipidavus vastab INSTA 122 D-klassi nõuetele ja nende helipidavus võib ületada tüüpseeriate 1-464 ja 1-121 raudbetoonist korterelamute sisepiirete helipidavuse.

Uuritud ühekihiliste puittarindite õhuheli isolatsiooniindeks on sama massi korral kuni 15dB kõrgem arvutuslikust EVS - EN 12354 – 1:2005 järgi, viimane eeldab paindelaine levi piirdes sõltumatult selle levi suunast ja sobib seega raudbetooni ja kivikonstruktsioonide, mitte uuritud puittarindite hindamiseks.

Puittarindite helipidavuse parandamisvõimaluste selgitamiseks on vajalik eraldi uurimus nende helipidavuse arvutusaluste loomiseks või/ja vastavate võrdluskatsete läbiviimiseks.

15.6 Soojuslik ja niiskuslik olukord korterites

Korterite soojus- ja niiskuslik olukord mõõdeti 29 elamu 41 korteris ühetunnise intervalliga vähemalt ühe aastase perioodi jooksul.

Keskmine sisetemperatuur kütteperioodil oli +21 °C, varieerudes +20 °C ja +22 °C vahel ning tõuseb kuni +28 °C, välistemperatuuril +25 °C. 83 % korterites (5 % piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele. Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati kõikides korterites.

Kuigi keskmine suhteline niiskus puitkorterelamutes jääb sisekliima soovituslike piiride sisse (talvel 25…45 % ja suvel 30…70 %), on näha mõõtetulemuste suurt hajuvust, mis viitab niiskustootluse, ventilatsiooni ja ruumitemperatuuri suurele varieeruvusele.

Üldistades niiskuskoormusi vanemates korterelamutes, võib väita, et erinevused eri hoonetüüpide vahel ei ole suured. Korterelamute renoveerimisel võib niiskuslisa arvutussuuruseks (koormus 90 % tasemel) võtta külmal perioodil ($t_e \leq +5$ °C) +6 g/m^3 ja soojal perioodil ($t_e \geq +5$ °C) +2 g/m^3.

15.7 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu kvaliteet

Uuritud korterites vastas siseõhu kvaliteet (CO_2 järgi) II sisekliima klassile 43% ja III sisekliima klassile 74% mõõteperioodi ajast. Suveperioodil vastas siseõhu kvaliteet uuritud korterites II sisekliima klassile 56% ja III sisekliima klassile 84% mõõteperioodi ajast.

Arvutuste kohaselt jäi talveperioodil korterite keskmine õhuvahetuskordsus vahemikku 0,12-2,0 h^{-1} ja keskmine oli 0,56 h^{-1}. Keskmise õhuvahetuskordsuse järgi vastas EVS–EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 41 % ja 44 % uuritud korteritest.

Arvutuste kohaselt jäi suvel korterite keskmine õhuvahetuskordsus vahemikku 0,1-2,2 h^{-1} ja keskmine oli 0,79 h^{-1}. Keskmise õhuvahetuskordsuse järgi vastas EVS–EN 15251 II ja III klassi nõuetele vastavalt 53 % ja 60 % uuritud korteritest.

Olulist erinevust vahetamata ja vahetatud akendega magamistubade õhuvahetuste vahel ei täheldatud.

15.8 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline kahjustatus

Võrreldes telliskorterelamute ning suurpaneelelamutega esines puitkorterelamute sisepindadel, õhus kui ka materjalidel vähem erinevat liiki hallitusseeni. Nii renoveeritud kui ka vanadel puitakendel hallituskahjustust praktiliselt ei esine. Kleeplindiproovide analüüsid näitasid, et valdavalt oli seal tegemist õhumustusega. Leiuta proovide (tavaline õhusaaste) väga kõrge arv viitab ventilatsiooni puudulikule toimimisele.

Siseõhu mikrobioloogiline uurimine näitas, et rohkem kui pooltel mõõtmistel esines puitkorterelamute korterites hallitusseeni alla 150 PMÜ/m^3, mis on väga hea tulemus. Vähestel erandjuhtudel oli hallitusseente koguarv õhus väga suur, kuid see oli otseselt seotud väga halbade tingimustega korteris ja selle ümbruses.

Hallituskahjustuste esinemine ei sõltunud korteriomaniku „jõukusest“. Pigem oli olukord vastupidine. Nendes korterites, kus oli teostatud täielik renoveerimine, kuid polnud välja ehitatud uut ventilatsioonisüsteemi või kasutati seda valesti (ei lülitatud sisse), esines hallituskahjustust suhteliselt rohkem. Halb komme on kodust lahkumisel ventilatsiooni töölejätmise asemel vannitoa või dušširuumi uks avatuks jätta (et kuivaks).

Väga paljudes korterite kuivatati pesu tubades ning ka dušikabiinid olid kööki ehitatud. Keskmiselt viieaastavanused dušikabiinid lasid igalt poolt vett läbi ning silikoontihendid olid irdunud ning musta värvi. Vesi oli kohati valgunud ka põrandalaudade alla. Vastu seina ehitatud dušikabiinide puhul oli kahjustatud ka selle tagune sein.

Kuna uuritud puitkorterelamud olid valdavalt vanad majad ja uuringu valimi hulgas sattus olema palju tagasihoidlikumaid, algselt väikekorteritega elamuid, siis puudusid neis eraldi

pesuruumid. Dušikabiinide paigaldamine kööki või WC-sse ilma selleks vajaliku hüdroisolatsiooni ja ventilatsiooni ehitamiseta põhjustab hallitus- ja seenkahjustuse tekke.

Suureks probleemiks on puitkortermajades tühjalt ja kütmata seisvad korterid. Nendega piirnevates korterites olid ulatuslikud hallituskahjustused WC/dušširuumis, mis piirnesid külmade seintega.

Uuritud majades ei olnud probleeme trepikodades, välja arvatud majades, kus olid kivitrepikojad ning esines hallituskahjust trepikoja laes ja seintel.

Plastraamidega akendel esines hallituskahjustust akende allosas ning lengide alumistes nurkades. Kõikidel juhtudel, kui tegemist oli silikooniga tihendatud puitpakettakendega, esines ka hallituskahjustus, mis eranditult oli vaid silikoonikihi peal. Üksikutel juhtudel oli hallitus levinud ka kõrvalolevatele puitpindadele.

15.9 Tehnosüsteemide olukord

Peamised põhjused ventilatsiooni probleemsele toimivusele värske õhu puudulik (väike ja eelsoojendamata õhuvooluhulk) juurdevool ja ebapiisav väljatõmme (väikesed ja/või ummistunud õhuvoolukanalid).

Küttesüsteemide peamised probleemid on väikese efektiivsusega ahjud, temperatuuri väike reguleerimise võimalus ahikütte korral, elekterkütte suur osakaal abiküttena ja tarbevee soojendajana. Suhteliselt puudulik oli ka korstnate ja tulekollete puhastamine. Korstnad, tulekolded ning muud puitkorterelamute tuleohutust oluliselt mõjutavad tegurid mõjutavad regulaarset tuleohutuslikku järelevalvet.

Peamised elektri- ja sidepaigaldusega probleemid olid: kaabeldus paikneb suvaliselt seinal, pole korralikult kinnitatud, kaabliühendused olid tehtud ilma harutoosideta kaitstult, elektrikilbid ei vasta tänapäeva nõuetele, tänavale pandud elektrikilbid, mis on linnamiljööd oluliselt kahjustavateks elementideks. Vanad elektrikaabeldused vajavad kiiret väljavahetamist. Elamutes on vaja teha elektriohutuse kontroll-ülevaatus.

Vanad vee- ja kanalisatsioonitorustikud vajavad asendamist. Veetorudega seotud peamised probleemid olid: torude lekked, veeauru kondensaat külmavee torul, torude kasutusea lõppemine. Kanalisatsioonitorudega seotud muud probleemid on seotud ummistustega, mille põhjused võivad olla vanade torude karedus, valed kalded, torude läbivajumised jne.

15.10 Puitkorterelamute energiatarbimise analüüs

Keskmine elektrieritarbimine (valgustus ja elektriseadmete kasutamine) analüüsitud elamutes oli keskmiselt 58 kWh/(m^2·a) (26…103 kWh/(m^2·a)). Keskmine gaasieritarbimine köetava pinna ruutmeetri kohta oli 14,6 m^3/(m^2·a) (st. hälve 9,7 m^3/(m^2·a). Aasta keskmine vee eritarbimine analüüsitud elamutes oli 2,75 l/(m^2·d) (st. hälve 0,87 l/(m^2·d)) ja 149 l/(krt·d) (st. hälve 109 l/(krt·d)). Aasta keskmine sooja vee eritarbimine ruutmeetri kohta analüüsitud elamutes oli 1,1 l/(m^2·d) (st. hälve 0,35 l/(m^2·d)).

Puitkorterelamute energiatõhususarv on keskmiselt vahemikus 220…290 kWh/(m^2·a). Sõltuvalt elamutüübist on tavarenoveerimise korral saavutatav C…D energiatõhususe klass ilma hoone miljööväärtust rikkumata.

15.11 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud

Elamispinda oli uuritud korterites keskmiselt 26 m^2/inim ja keskmine elanike arv korteris on 2,9. Pesemisvõimalusena korterites oli kasutusel dušš (65 %), vann (23 %), saun (8 %).

Niiskuskahjustusi on viimase kümne aasta jooksul esinenud 85 % uuringus osalenud korterites ja enamikul neist on tegemist olnud üldjuhul mitme erineva probleemiga. Elanike küsitluse kohaselt oli eluruumide piirdetarindite sisepinnale tekkinud hallitust kolmandikus (27 %) korterites.

Kõige sagedamini esinevaks probleemiks peeti korteri erinevate ruumide temperatuuri erinevust (lokaalne ahiküte, mis ei soojenda kogu elamispinda ühtlaselt), umbset siseõhku (rohkem talvel, aga probleem ka suvel) ning sisepindade tolmusust. Samuti toodi sageli esineva probleemina välja ka lisakütte kasutamise vajadust.

Uuringus osalenud korterite elanikud pidasid vahelagedest kostuvat müra kõige enam esinevaks, kokku 77% vastanutest ning nendest enam kui pooled pidasid seda probleemi iganädalaseks.

15.12 Hoonete energiatõhususe parandamise majanduslik analüüs

Mida kompaktsem (köetava pinna ja välispiirete pinna suhte alusel) on elamu, seda suhteliselt madalam on renoveerimistööde maksumus ruutmeetri kohta ning seda lühem tasuvusaeg.

Elamu energiatõhususe parandamise paketid, mis tagavad väiksema energiatõhususarvu klassi (alla 200 kWh/(m^2a)), on lühema tasuvusajaga ja suurema aastase investeeringu keskmise tootlikkusega. Keskmiseks energiatõhususe parandamiseks võetava laenu tagasimakseks on 1,1 eurot köetava pinna ruutmeetri kohta kuus.

Kui renoveerimise lõpplahenduseks on väiksema energiakasutusega elamu (energiatõhususarvu klass D, C), on vajalik lisainvesteering (lisatoetus) väiksem. Praeguste renoveerimistoetuste juures on otstarbekas renoveerida elamu väiksema energiakasutusega elamuks, kuna siis tagab pakutav toetus investeeringu tasuvuse 20-aastase perioodi juures paremini. Mida suurem on renoveerimistööde maksumus, seda väiksem on tasuvusaeg. Suurema investeeringu korral on loomulikult laenu tagasimakse suurem, aga kuna suurema investeeringu korral saavutatakse väiksem energiakulu, on ka laenu tagasimakse suurem parema energiatõhususarvu korral.

16 Conclusions

Wooden apartment buildings have been constructed in Estonian towns throughout time; a typical Estonian neighbourhood in the 19th and beginning of the 20th century was often a suburb with primarily wooden construction. Thus our people are used to wooden apartment buildings and in the near future these buildings will not disappear from our dwelling stock/reserve. Wooden apartment buildings with their individual scale and intimacy offer interesting opportunities to establish a unique home in many modern towns. Today we consider old wooden apartment buildings to be an important part of our cultural heritage. Every year adds more value and dignity to these old dwellings. True, a respectful attitude to wooden architecture is only a phenomenon of the last couple of decades. During Soviet times, wooden apartment buildings were generally not valued and wooden suburbs were not considered worthy of preservation. Many building were neglected and therefore, many wooden apartment buildings are in a very bad condition today. Also, the modern demands for living environments and the perception of a comfortable home is often completely different from the ideas that dominated decades or centuries ago, when the surviving wooden dwellings were built. Therefore, it is an important job for engineers and architects to assess the technical conditions of the wooden apartment buildings, to find appropriate renovation solutions and to adapt the buildings to modern day requirements, and it is also a challenge for property developers and housing associations.

16.1 The technical condition and defects of building envelope and load-bearing structures

Despite advanced years, the load-bearing structures of the wooden apartment buildings examined were in a satisfactory condition. Nevertheless rot damage exists in many cases. The wood bore samples taken during the study revealed that 69% of the buildings showed wood rot decay. 27% of the samples taken from the lower logs of the external wall, roof rafters and floor beams were damaged by the wood rotting fungi. 10% of the buildings had some damage from wood rotting fungi in the bottom beam of the external wall. The load-bearing structures of two buildings were damaged by dry rot (*Serpula Lacrymans*).

Envelope structures such as siding, exterior window sills, rainwater drainage, and roof covering often need renovation to protect the load-bearing structures from further damage.

The main causes of damage and flaws in the foundations were the uneven subsidence of the foundation, the empty spaces between bricks where the mortar had fallen out, foundations that were too low (or ground elevation of the surrounding area) and the failure to protect the edge of the foundation from rain water, or the decay of the slope made of mortar for that purpose.

The main critical aspects of the exterior walls and the main causes of damage to exterior walls were the joints of the external wall and the foundation (foundation too low, foundation subsided, the absence of hydro-insulation, protruding foundation wall), the flow of rainwater on the surface of the facade (missing rainwater drainage systems), poor management of rainwater away from the facade especially from the joint distortions of the windows and exterior walls (water flowing onto the wall from the window, two short edging strips).

The main damage to roofs and combined roofs was leaky roof covering, flawed roof maintenance (moss or leaves on the roof), faulty attachment of roof covering, sinking of the roof covering underlay, insufficient edging strips and flashings, uneven density at wiring and plumbing routes (at the chimney, antennas, ventilation shaft, etc.) and the lack of insulation. Attention must always be given to the load bearing roof structures to guarantee the bearing capacity.

16.2 Thermal bridges

A log wall is thermally a relatively homogeneous structure and wood has a high thermal conductivity compared to common insulation materials, therefore uninsulated log walls have relatively few problematic thermal bridges. According to calculations, the most dangerous place is the joint between the foundation wall and the external wall. This is the only node in which the temperature factor remained below the threshold necessary to prevent the mould $f_{Rsi} \geq 0{,}8$. The thermal bridge becomes critical due to the uninsulated stone foundation. The additional insulation of the foundation wall significantly reduces heat loss and lowers the risk of thermal bridges.

However, it appeared that incorrect installation of windows could cause thermal bridges in places where there were none before or where their initial effect was small: the risk of thermal bridges appeared when the windows were changed for others with a narrower frame.

In comparison with results from brick or concrete apartment building, thermal bridges are not a significant problem in wooden apartment buildings. This is one of the reasons why wooden apartment buildings had less mould on building envelope.

16.3 The air tightness of building envelope

The average value of air leakage rate of all measured apartments was q_{50} = 10 $m^3/(h \cdot m^2)$ (min. 3.8 $m^3/(h \cdot m^2)$; max. 22 $m^3/(h \cdot m^2)$) and air change rate at 50 Pa was n_{50} = 13 h^{-1} (min. 4.8 h^{-1}; max. 24 h^{-1})). The main complaints in apartments with large leakage were of air that was too dry, fluctuating temperature in the winter, and the imbalance of temperatures in different rooms.

Whereas there were not big differences in the measurement of air tightness in brick and panelled apartment buildings, then the exterior boundaries of log apartment houses have significantly larger air leakage rate.

16.4 The hygrothermal performance of internally insulated external walls

The study on hygrothermal performance of internally insulated external walls that conducted on six wall and three thermal insulation solutions confirmed that:

- the additional insulation of the internal sides of the external walls is highly risky in terms of hygrothermal performance (especially in case of high moisture load);
- in the case of all of studied wall types, the internal insulation did not perform: water vapour condensed between the insulation and the log and mould growth was identified in the insulation;
- the growth of mould as a result of additional internal thermal insulation was identified both visually and though air monitoring and materials evaluation;
- the differences between different insulation materials (reed, mineral wool, cellulose) were small.

16.5 Sound insulation of wooden buildings

The sound insulation of structures that were examined during the study do not meet today's requirements. During the study, in terms of perception of noise and the loudness of noise in the buildings at night was up to four times greater than that set in the sound insulation recommendations of Estonian standard on sound insulation requirements in buildings EVS 842.

The sound insulation of walls may be somewhat higher in the case of furnished apartments than in unfurnished ones, depending on the direct impact of furnishings to the inadequate diffusion of the audio field. There was no confirmation of this during testing because there was no opportunity to carry out experiments in unfurnished apartments.

Tests indicated that the sound insulation of walls and ceilings in double-plank-walled apartments is in accordance with INSTA 122 D-class requirements and their soundproofing may exceed that of prefabricated concrete large panel apartment buildings type series 1-464 and 1-121.

The studied single layer wood structures air sound insulation index in the case of the same mass is up to 15 dB higher than according to the calculated EVS - EN 12354 - 1, the latter requires the spread of sound waves within the area irrespective of the direction of the spread and thus is more suitable for concrete and masonry structures than the wood structures under examination.

To clarify the basis for improvement of sound insulation of wood structures it is necessary to conduct a separate study for the creation of the basis of sound insulation and/or conducting respective comparative tests.

16.6 Hygrothermal conditions in apartments

The hygrothermal (temperature and humidity) condition of apartments was studied in 41 apartments of 29 houses with an interval of one hour within a period of at least a year.

The average internal temperature during the heating period was +21 °C, varying between +20 °C and +22 °C and rising to +28 °C occasionally, external temperature at +25 °C. In 83 % of the apartments (permitted excess of normative 5 %) the internal temperature did not comply with the lowest normative of indoor climate class III. All apartments exceeded the requirements of indoor climate class II.

Even though the average relative humidity in wooden apartment buildings remains within the recommended indoor climate requirements (25-45% in the winter and 30-70% in the summer), a great variation of measurement results can be seen, which refers to a great variety in moisture production, ventilation and room temperature.

To generalise the moisture loads in older apartment buildings, it can be argued that the differences between the different building types are not large. Upon renovation of apartment buildings, the calculated value of the amount of moisture excess (at 90 % critical level) during cold periods can be ($t_e \leq +5$ °C) +6 g/m^3 and during warm periods ($t_e \geq +5$ °C) +2 g/m^3.

16.7 Performance of ventilation and indoor air quality

In the apartments studied, the indoor air quality (according to CO_2) corresponds to indoor climate class II 43% and indoor climate class III 74% of the time of measurement period. In the summer period, the indoor air quality corresponded with the indoor climate class II for 56% and indoor climate class III 84% of the time of measurement period.

According to calculations, the air change rate in the winter remained in the interval 0.1-2.0 h^{-1} and the average was 0.56 h^{-1}. According to the average air change rate, 41% and 44% of the examined apartments corresponded with the requirements of EVS–EN 15251 class II and class III requirements respectively.

According to calculations, the air change rate in the summer remained in the interval of 0.1-2.2 h^{-1} and the average was 0.79 h^{-1}. According to the average air change rate, 56% and 60% of the examined apartments corresponded with the requirements of EVS–EN 15251 class II and class III requirements respectively.

There was no observable difference between air change in bedrooms with or without replaced windows.

16.8 The microbiological damage of building materials and indoor air

Compared to brick apartment buildings and prefabricated large panel buildings, fewer different types of mould occurred on the interior surfaces of wooden apartment buildings. Both renovated and old wooden windows have practically no mould damage. The analysis of tape lift sampling showed that there was predominantly only airborne dirt. The high number of samples without a result (normal air pollution) indicates deficiencies in performance of ventilation.

The microbiological examination of indoor air revealed that in the apartments of wooden buildings more than half of the measurements had less than 150 CFU/m^3 (colony forming units) mould, which is a very good result. In a few exceptional cases the total amount of mould fungi in the air was very high, but it was directly related to very poor conditions in and around the apartment.

The occurrence of mould damage in the apartment did not depend on the owner's "wealth". Rather, the situation was to the contrary. The apartments that had undergone a complete renovation, but did not have a new ventilation system built in or it was used incorrectly (not turned on), there was relatively more mould damage. It is a bad habit leave the bathroom or shower room door open (to dry) rather than leave the ventilation turned on when leaving the house.

In many of the apartments laundry was dried inside and shower cubicles were built in kitchens. Shower cubicles that were around five years old leaked water from various places and the silicone sealant had come loose and had black colouring. Water had seeped under the floorboards in some cases. The shower cubicles that were built against the wall had damaged the wall behind.

As the wooden apartment buildings were predominantly old houses and among the selection made for the study happened to have many modest dwellings, originally with small apartments, these lacked separate washing rooms. The installation of shower cubicles in kitchens or bathrooms without the necessary hydro insulation and ventilation causes damage through mould or fungi.

Empty and unheated apartments are a big problem in wooden apartment buildings. The apartments adjacent to these had extensive mould damage in the bathroom/shower rooms which were adjoined to the cold walls.

In the examined buildings, there were no problems in the stairwells, except in buildings that had stone stairwells and there was mould damage on the walls and ceiling of the stairwell.

Windows with PVC frames had mould damage in the lower part of the windows and in the lower corners of the frames. In all cases of wood frame windows that had been sealed with silicone there was mould damage without exception on the layer of silicone. In a few cases the mould had spread to adjoining wooden surfaces.

16.9 The condition of utility systems

The main reasons for the problematic performance of ventilation are restricted air inflow (small and not preheated) and insufficient air outflow (small and/or blocked air flow channels).

The main problems of heating systems are low-efficiency stoves, restricted temperature control options in the case of stove heating, the heavy reliance on electricity as an auxiliary heating source and for heating the household's water supply. The cleaning of chimneys and fireplaces is relatively lacking. Chimneys, fireplaces, and other factors affect the regular supervision of fire safety in wooden apartment buildings.

The main problems with electricity and communications installation are: the cabling is located randomly on the wall, is not attached properly, the cable connections are without

sockets, the switchboards do not meet modern requirements, switchboards are located on the street, which has significantly harmful elements for the city environment. Old electric cabling is in urgent need of replacement. Electrical safety inspection needs to be carried out in dwellings.

Old water and sewer pipelines require replacement. The main water-related problems are: leaking pipes, condensation of water vapour on cold water pipes, end of pipes' service life. Other problems related to sewer pipes are blockages caused by the roughness of old pipes, wrong gradient of pipes, sagging of pipes, etc.

16.10 Analysis of energy consumption of wooden apartment buildings

The average consumption of electricity (lighting and use of electrical appliances) in buildings studied is on average 58 kWh/(m^2·a) (26…103 kWh/(m^2·a)). The average consumption of gas per heated square metre of surface is 14.6 m^3/(m^2·a) (i.e. deviation 9.7 m^3/(m^2·a). The average water consumption in the buildings studied is 2.75 l/(m^2·d) (i.e. deviation 0.87 l/(m^2·d)) and 149 l/(apt·d) (i.e. deviation 109 l/(apt·d)). The average consumption of hot water per square metre in the buildings studies is 1.1 l/(m^2·d) (i.e. deviation 0.35 l/(m^2·d)).

The energy performance value of wooden apartment buildings is between 220…290 kWh/(m^2·a) on average. The energy performance value includes the heat and fuel needs for heating, ventilation, domestic hot water as well the electricity for lighting, electrical appliances, technical systems, and cooling. Weighting factors of energy carriers take into account the influence of the use of renewable energy. Depending on the type of housing, it is possible to achieve energy efficiency class C…D (121…200 kWh/(m^2·a)) upon renovation without spoiling the cultural and environmental value of the building.

16.11 The assessments and strategic attitudes of apartment owners

The living density of studied apartments was 26 m^2/per on average and the average number of residents was 2.9 in an apartment. Washing facilities in the apartments comprised 65% shower, 23% bath and 8% sauna.

In the last ten years there has been moisture damage in 85% of the apartments in the study and the majority of these generally had several different problems. According to the survey among residents, close to a third (27%) of the peripheral structures of living spaces had some mould.

Different temperatures in different rooms was considered to be the most frequent problem (localised stove heating that does not warm up the whole living space evenly), stale air indoors (mostly in the winter, but sometimes a problem in the summer too), and the dustiness of internal surfaces. Another frequent problem was also the need for additional heating.

The residents of the apartments that took part in the study, considered noise through ceilings and floors to be frequent – a total of 77% of the respondents – and more than half of them judged the problem to be weekly.

16.12 The economic analysis of improvement of energy performance of buildings

The more compact the dwelling (based on ratio of heated surface to area of envelope structure) the lower the cost of renovation per square metre and the shorter the payback period.

Energy performance packages of renovation that guarantee a smaller level of energy performance class (less than 200 kWh/(m^2a)) have a shorter payback period and higher

average annual investment yield. The average loan taken to improve energy efficiency has a repayment amount of € 1.1 per square meter of heated surface per month.

When the ultimate desired result of the renovation is a residential property with lower energy usage (energy performance class D and C), the additional investment required (additional payment) is lower. With current renovation grants it is feasible to renovate the building as a lower energy use residence, since the allowance available guarantees better return on investment over a 20-year period. The higher the cost of the renovation works the lower the payback period. In case of larger investments, the repayment amount of the loan is naturally bigger, but since with larger investment the achieved power consumption is lower, the repayment of the loan is greater in the case of improved energy efficiency value.

17 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.

Annus, T. 2008. Tolmulestad põhjustavad allergiat. Apteeker, 14. jaanuar 2008.

Arlian, L.G., Neal, J.S., Vyszenski-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 te Healthy Buildings 2000 Conference. 6-10 August 2000, Helsinki, Finland.

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.

BBR BFS 1998:38. Building Regulations, BBR, of the Swedish Board of Housing, Building and Planning. Mandatory provisions and general recommendations. December 2001. P9:212.

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., Järvholm, 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.

Bornehag, CG., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Matricardi, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T., Verhoeff, A. and Sundell, J. (2002) 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.

Bornehag, CG., Sundell, J., Hägerhed, Janson S. and the DBH-study group (2002) "The healthy pet-keeping effect". Pet-keeping in early childhood as a risk or a protection for allergic symptoms alter in life. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, p. 398.

Bornehag, CG., Sundell, J., Hägerhed, L., Spengler, J., Janson, S. and the DBH-study group (2002) Dampness in Buildings and Health (DBH). "Dampness" indicators in homes as risk factors for symptoms among 10 851 children in Sweden. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, pp. 431-436.

Bornehag, CG., Sundell; J., Hägerhed, L. and the DBH-study group. (2002d) Differences in possible risk-factors for allergic diseases between children living on farms and other children. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, pp. 477-482.

BS 8102. Protection against water from the ground, Underground structures, Structural design, Buildings, Basements, Waterproofing materials, Waterproof materials, Vapour

barriers, Ground-water drainage, Drainage, Grades (quality), Tanking, Site investigations, Render, Construction materials, Weather protection systems. British Standards, 1990.

C3. Rakennuksen lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset, 2007.

CIRIA Report 139. Water Resisting Basements'. Water-Resisting Basement Construction - A Guide - Safeguarding New and Existing Basements against Water and Dampness ,1995.

CR 1752. Ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment / European Commitee for Standardization. European Committee for Standardization. Brussels, 1998.

CSN 73 0540-2. Requirements – Heat Energy Demand. Czech National Standard, 2006.

D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet, 2007.

Dietz, R. N. and Goodrich, R. W. Measurement of HVAC system performance and local ventilation using passive perfluorocarbon tracer technology. Prepared in part for the State University of New York, College of Technology, Farmingdale, NY. Informal Report, BNL-61990, June 1995.

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.

Ehitusseadus, 1937.

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.

EN-ISO 717-1 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. Eesti Standardikeskus, 1996.

EN-ISO 717-2 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation. Eesti Standardikeskus, 2004.

EPN 11.1 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Ehitusteave (ET-1 0113-0108), 1995.

EVS 837-1:2003. Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Standardikeskus, 2003.

EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.

EVS 842:2003. “Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest. Eesti Standardikeskus, 2003.

EVS 885. Ehituskulude liigitamine. Eesti Standardikeskus, 2005.

EVS 845-1. Hoonete ventilatsiooni projekteerimine. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Standardikeskus, 2004.

EVS EN 13829 “Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method”. Eesti Standardikeskus, 2001.

EVS-EN 12354 Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Eesti Standardikeskus, 2005.

EVS-EN 12828. Hoonete küttesüsteemid. Vesiküttesüsteemide projekteerimine. Heating systems in buildings - Design for water-based heating systems. Eesti Standardikeskus, 2003.

EVS-EN 13829. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Eesti Standardikeskus; 2001.

EVS-EN 15251. 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 ISO 13788. Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Eesti Standardikeskus, 2001.

EVS-EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.

EVS-EN ISO 140-14. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 14: Guidelines for special situations in the field. Eesti Standardikeskus, 2004.

EVS-EN ISO 140-4:1999. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Eesti Standardikeskus,1999.

EVS-EN ISO 140-7. Acoustics - Measurements of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. Eesti Standardikeskus, 2000.

EVS-EN ISO 10211-1. Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid. Eesti Standardikeskus, 2001.

F.McGrath, P. A Guide to the Use of Waterproofing, Dampproofing, Protective and Decorative Barrier Systems of Concrete. ACI manual of Concrete Practice. ACI 515.1R-79.

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.

Frontczak, M J., Wargocki, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. Building and Environment 2011 46 (4): 922-937.

Guo, L. & Lewis, O. J. Carbon diooxide concentration and its application on estimating the air change rate in typical Irish houses. The International Journal of Ventilation, 2007, 6, 3, 235-244.

Hart, B.J. 1998. Life cycle and reproduction of house-dust mites: environmental factors influencing mite populations. Allergy 1998; 5 48: 13-17.

Hens, H. (toim.). Condensation and Energy, Guidelines and Practice. Vol. 2, Annex 14, International Energy Agency, KU Leuven, 1990.

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. Sisäilma ja terveys – tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitos, Ympäristöepidemiologian yksikkö Suomen Terveystalo Oy Kuopion aluetyöterveyslaitos, Työlääketiede Kuopion yliopiston painatuskeskus. ISBN 951-740-329-1, 2002.

Hägerhed, L., Bornehag, CG., Sundell, J. and the DBH-study group. Dampness in Buildings and Health (DBH). Buildings characteristics as predictors of "dampness" in Swedish dwellings. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, pp. 7-12.

Häupl, P., Fechner, H., Petzold, H. 2004. 'Interior retrofit of masonry wall to reduce energy and eliminate moisture damage: Comparison of modeling and field performance', Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IX, Florida.

Insenerikoda 1939. Välisseinte soojapidavuse mõõtmiste tulemustest. Kokkuvõte Insenerikoja välisseinte uurimise komisjoni töödest a. 1937-1939. Insenerikoja väljaanne. Tallinn, 1939.

INSTA 122. The Nordic standard proposal: “Sound classification of dwellings”, 1998;

International Centre for Diffraction Data (ICDD) Powder Diffraction File (PDF-4) Database, 2009

Investigation of Sick Buildings –Toxic Moulds. Indoor Built Environ 2010;19;1:40–47.

IOM Institute of Medicine 2004. Damp Indoor Spaces and Health. National Academy of Sciences. Washington D.C: National Academies Press.

ISO EN 7730. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 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.

Johansson, P., Samuelson, I., Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P.I., Sikander, E. Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial – kunskapssammanfattning. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. SP Energiteknik. SP RAPPORT 2005:11.

Johansson, P., Tobin, A-E., Bok, G. Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials, in proceedings of Indoor Air 2011 Conference 5-10 June 2011, Austin, USA.

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.

Juhart, J., Seiler, A. et al. 2005. ‘Product- and system development for an inside thermal insulation construction of historic houses using magnesite bonded woodwool panels’, Final Report-Building of Tomorrow within the program on technologies for sustainable development, Spittal an der Drau.

Jürgenson, L. Elamu soojapidavus. Tartu Eesti Kirjastus, 1942.

Jürgenson, L. Miks mitte neljakordsed aknaid. Tehnika Ajakiri, 1940, 5/6.

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. Hygrothermal criteria for design and simulation of buildings. Doktoritöö. Tallinna Tehnikaülikool, 2006.

Karlsson, F., Axell, M., Fahlen, P. Heat pump system in Sweden – Country report for IEA HPP Annex 28. Energy Technology Boras, 2003.

Klõšeiko, P., Agasild, T., Kalamees, T. Deterioration of building envelope of wooden apartment buildings built before 1940 based on external survey. 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011. 29.05 – 2.06. 2011, Tampere, Finland.

Koiv, T.-A., and Toode, A. Trends in Domestic Hot Water consumption in Estonia apartement 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.

Koski, T., Lindberg, R. & Vinha, J. 1997, 'Lisäeristettyjen hirsiseinien kosteustekninen kunto', Tamperen Teknillinen Korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Julkaisu 78.

Kuressaare LV 2000. Akende remont. Kuressaare Linnavalitsus, planeerimis- ja ehitusosakond.

Künzel, H.M. 1998. 'Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behaviour of exposed walls', Materials and Structures 31 (1998) 99–103.

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.

Leis, T. Korterelamu. 2008/2009. õ-a. arhitektuuri konserveerimise ja restaureerimise täiendkoolituse lõputöö. Eesti Kunstiakadeemia 2009.

Lemppu, M. 2007. Ehituslik tuleohutus kolme- ja enamakorruseliste puiteluhoonete rekonstrueerimisel. Sisekaitseakadeemia Päästekolledž. Tallinn 2007

Lowe, R.J. Ventilation strategy, energy use and CO_2 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.

Maděra, J. 2003. 'Computational analysis of optimal thermal and hygric properties of materials and systems for interior thermal insulation of historical buildings', Ph.D. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague, 2003.

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.

Mehta., P. K. Concrete Structure, Properties, and Materials. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1986.

Minenergie The MINERGIE®-Standard for Buildings. MINERGIE® Building .Agency.

Ngab, A. S.; Slate, F. O.; and Nilson, A. H., 1981, "Microcracking and Time-Dependent Strains in High-Strength Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 78, No. 4, July-Aug., pp. 262-268.

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.

Pavlovas, V. Demand controlled ventilation. Chamlers University of Technology, Göteborg, 2003, 17-50.

prEN 15242 Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration; 2005.

Päästeamet. Tuleohutusjärelevalve aastaraamat 2008. Tallinn 2009.

Reinikainen, L. M.; Jaakkola, J. J. K. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms, Indoor Air 2003, 13 (4), 344-352.

REN TEKNISK 1997 Statens Bygningstekniske Etat Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven.

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 1992, 17, 254. Elamuseadus (23.04.1992).

RT 41 – 1933 art. 332. Projektide koostamise määrus 2.5.1933.

RT 43 – 1937, art. 386. Nõmme linna ehitussundmäärus. 15.12.1936.

RT 59 – 1932, art. 495. Tallinna ehitusmäärus. 15.06.1932.

RT 89/9Õ1925. Sundmäärus võõrastemajade ja möbleeritud tubade kohta (Tallinna linn).

RT 89/90-1925. Sundmäärus võõrastemajade ja möbleeritud tubade kohta.

RT I 1999, 9, 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. VV määrus nr. 38. (26. 01. 1999).

RT I 2004, 75, 525. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 315, 27. oktoober 2004.

RT I 2007, 72, 445. Vabariigi Valitsuse määrus 258. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258.

RTL 2002, 38, 511. Sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määrus nr. 42. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja müritaseme mõõtmise meetodid".

Saarimaa, J., Krankka, J. & Sevon, J. 1985,'Ulkoseinien lisälämmöneristäminen. Lisäeristettyjen rakenteiden kenttäseuranta.', VTT, research notes 420.

Said, M.N.; Demers, R.G.; McSheffrey, L.L. 2003. 'Hygrothermal performance of a masonry wall retrofitted with interior insulation'. 2nd International Building Physics Conference (Leuven, Belgium 2003-09-14) pp. 445-454. 2003-09-01.

Sanders, C. (1996). IEA-Annex 24 HAMTIE, Final Report, Volume 2, Task 2: Environmental conditions. Laboratorium Bouwfysica, K.U.-Leuven, Belgium.

Seppänen, 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.

Singh J: Allergic reactions: occupational hygiene: Health and Safety, February 2000, pp.14–16.

Singh J: Biological contaminants in the built environment and their health implications: Building Res Inform 1993;21(4):216–224.

Singh, J., Singh, J., Yu, CWF., Kim, JT. Building Pathology, Investigation of Sick Buildings –Toxic Moulds. Indoor Built Environment 2010;19 (1): 40–47.

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.

Stopp, H., Strangeld, P., Fechner, H., Häupl, P. 2001. 'The hygrothermal performance of external walls with inside insulation', Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VIII, Clearwater Beach, Florida.

TLV-52. Tallinna linnavalitsuse määrus number 52 „Tallinna linna omandis oleva elamu soojusenergia teenustasu jaotus eluruumide vahel" (30.06.2008).

Toman, J., Vimmrová, A., Černý, R. 'Long-term on-site assessment of hygrothermal performance of interior thermal insulation system without water vapour barrier', Energy and Buildings, Volume 41, Issue 1, January 2009, Pages 51-55.

Toode, A. and Koiv, T.-A. Domestic hot water consumption investigation in apartment buildings. Proc.Estonian Acad. Sci. Engng., 11, 3, 2005, 207-214.

Uus, A. 2010 II. Palkide vahetus vanades hoonetes. MTÜ Vanaajamaja ja MTÜ Seto Käsitüü Kogo trükis (http://www.vanaajamaja.ee/files/Palgivahetus_infoleht.pdf).

Wang, F., Ward, I.C. Radon entry, migration and reduction in houses with cellars Building and Environment 2002;37(11):1153-1165.

Veski, A. 1948. Müüritööd. Pedagoogiline kirjandus. Tallinn.

Veski, A. Müüritööd. Pedagoogiline kirjastus. Tallinn 1948.

Veski, A. Puitehituse käsiraamat. Tartu Eesti Kirjastus, 1943

Veski, A. Puitehituse käsiraamat. Teaduslik Kirjandus, Tartu 1940.

Veski, A. Puusepa- ja laudsepatööd. Pedagoogiline kirjastus. Tallinn 1948.

Veski, A., Aarmann, K., Niine A. Individuaalehitaja käsiraamat. Eesti Riiklik Kirjastus. Tallinn, 1959.

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.

WTA 2-9-04/D. Restoration render systems as a leveling and porous base render within the Porosan restoration render system. International Association for the Science and Technology in Maintenance of Structures and Protection of Monuments.

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, Montery, USA; IV: 400-405.